

ARCHITETTURA E SECOND DIGITAL TURN

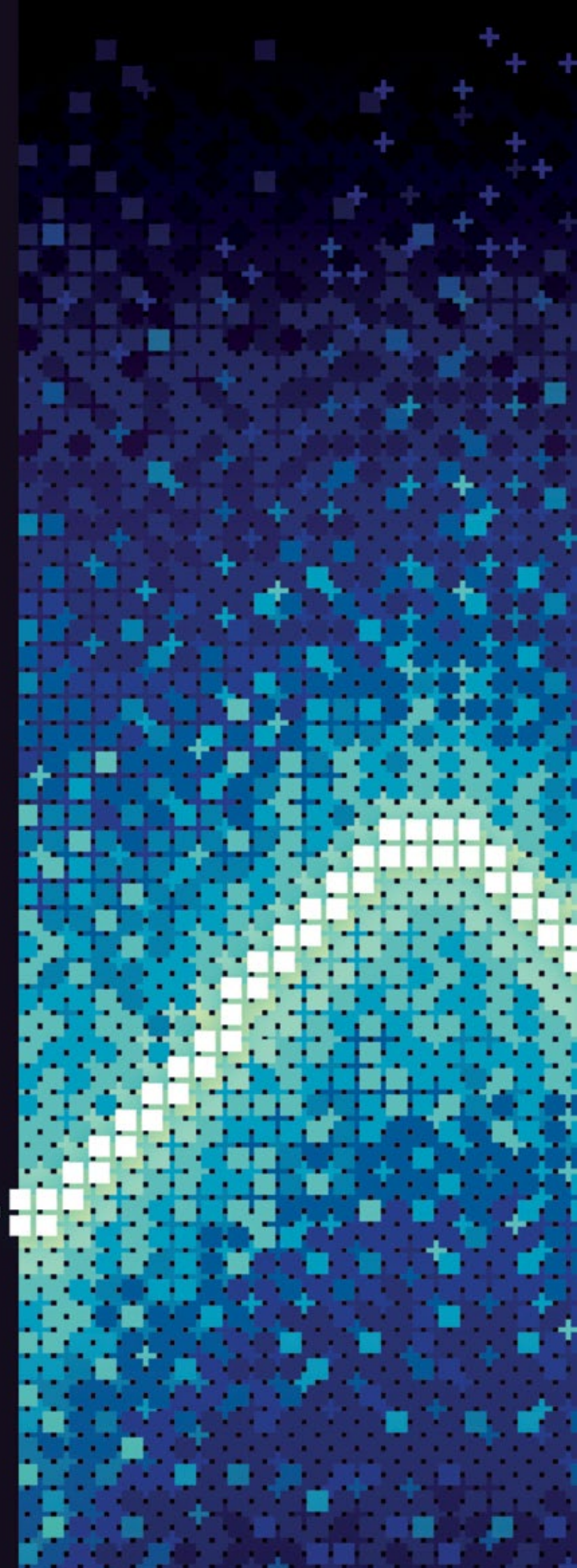
L'EVOLUZIONE DEGLI
STRUMENTI INFORMATICI
E IL PROGETTO



GIUSEPPE GALLO

TUTOR: Prof. Giovanni Francesco Tuzzolino
Università degli studi di Palermo

COTUTOR: Dr. Fulvio Wirz
University of East London



Nota sul copyright:

Qualsiasi riproduzione totale o parziale di questa tesi è consentita, a condizione che la fonte di citazione sia divulgata.

Copyright note:

Any full or partial reproduction of this dissertation is allowed, provided that the citation source is disclosed.

Università degli Studi di Palermo
Dipartimento d'Architettura
Dottorato di Ricerca in "Architettura, Arti e Pianificazione"
Ciclo XXXIII
Coordinatore del dottorato: Prof. Filippo Schilleci

Settore scientifico disciplinare di appartenenza
ICAR/14 - Composizione architettonica e urbana

**ARCHITETTURA
E SECOND
DIGITAL TURN
L'EVOLUZIONE DEGLI
STRUMENTI INFORMATICI
E IL PROGETTO**

Giuseppe Gallo

Tutor: Prof. Arch. Giovanni Francesco Tuzzolino
Università degli Studi di Palermo

Co-tutor: Dr. Fulvio Wirz
University of East London

2017-2021

INDICE

| | |
|--|-----|
| Inquadramento e struttura della ricerca | 1 |
| <i>Research framework and structure</i> | 2 |
| Capitolo 1 - Società contemporanea e architettura | 25 |
| 1.1 Indagine sulla contemporaneità | 27 |
| 1.2 Dalla griglia alla rete | 35 |
| 1.2.1 L'architettura e le reti dell'informazione | 39 |
| 1.3 La tecnica e la società | 48 |
| 1.4 Lo spazio nella contemporaneità | 62 |
| Capitolo 2 - Il progetto di architettura: Nuove complessità | 79 |
| 2.1 Considerazioni sul progetto di architettura | 81 |
| 2.2 Architettura e digitale: alcuni precursori | 94 |
| 2.2.1 Luigi Moretti | 95 |
| 2.2.2 Buckminster Fuller | 101 |
| 2.2.3 Frei Otto | 107 |
| 2.3 Venturi, Eisenmann, Gehry e Hadid | 112 |
| 2.4 Il primo digital turn | 124 |
| 2.5 Il secondo digital turn | 138 |
| Capitolo 3 - Il processo progettuale nell'era digitale | 155 |
| The architectural design process in the digital age | 156 |
| 3.1 Nuove sollecitazioni per il progetto | 157 |
| <i>New solicitations for architectural design</i> | 158 |
| 3.2 Iter progettuale e i ruoli nello studio di architettura | 181 |
| <i>Design process and roles in contemporary practices</i> | 182 |
| 3.3 La simulazione | 201 |
| <i>Simulation</i> | 202 |
| 3.4 Le relazioni con altri ambiti progettuali | 221 |
| <i>Relations with other design fields</i> | 222 |
| 3.5 Progetto e comunicazione | 245 |
| <i>Architectural design and communication</i> | 246 |

| | |
|--|-----|
| Capitolo 4 - L'evoluzione degli strumenti digitali in Architettura | 265 |
| 4.1 Informatica e architettura: dal CAD alla realtà virtuale | 267 |
| 4.2 La storia della curva computazionale | 280 |
| 4.3 Il Building information Model | 289 |
| 4.4 La diffusione di software e linguaggi di programmazione in architettura | 301 |
| 4.5 Il flusso di lavoro e l'interoperabilità | 312 |
| 4.6 Architettura e strumenti open-source | 323 |
| | |
| Capitolo 5 - I metodi di machine learning e l'architettura | 337 |
| 5.1 Il machine learning | 339 |
| 5.2 Il rapporto tra machine learning e architettura | 357 |
| 5.3 La ricerca sul progetto di architettura e questioni aperte | 371 |
| | |
| Capitolo 6 - Conclusioni | 387 |
| <i>Conclusions</i> | 388 |
| | |
| Apparati | 425 |
| Interviste | 427 |
| Casi studio | 517 |
| Schede dei software | 579 |
| Bibliografia | 589 |
| Indice dei nomi | 599 |
| | |
| Ringraziamenti | 605 |

| | |
|--------------|---|
| AI | Artificial Intelligence |
| AR | Augmented reality |
| BDS | Building Design system |
| BIM | Building information modeling |
| BLOB | Binary large objects |
| CAAD | Computer aided architectural design |
| CAD | Computer aided design |
| CAM | Computer-aided manufacturing |
| CEO | Chief executive officer |
| CGI | Computer graphics imaging |
| CIM | City information modeling |
| CNN | Convolutional neural network |
| DL | Deep learning |
| ECS | Entity component system |
| FEA | Finite element analysis |
| GAN | Generative adversarial network |
| GPS | Global positioning system |
| GUI | Graphical user interface |
| HMM | Hidden Markov model |
| ICT | Information and communications technology |
| IFC | Industry foundation classes |
| IGES | Initial graphics exchange standard |
| InSAR | Interferometric synthetic aperture radar |
| IOT | Internet of things |
| LOD | Level of development |
| LEED | Leadership in energy and environmental design |
| LIDAR | Laser imaging detection and ranging |
| MEP | Mechanical, electrical, and plumbing |
| ML | Machine learning |
| NURBS | Non-uniform rational basis spline |
| OOP | Object-oriented programming |
| SEO | Search engine optimization |
| STEP | Standard for the exchange of product data |
| VPL | Visual programming language |
| VR | Virtual Reality |
| XML | Extensible markup language |

Il testo contiene delle parti in doppia lingua, Italiano e Inglese: introduzione, capitolo tre e conclusioni. I testi in Inglese sono evidenziati da un carattere corsivo su pagine di sfondo grigio.

INQUADRAMENTO E STRUTTURA DELLA RICERCA

I. PROBLEMATICA DI RICERCA

La condizione digitale che ha gradualmente ibridato le nostre esistenze, trasformando atomi in bit, si è oggi cementificata sulla nostra società, arricchendone la postmodernità e determinando una nuova liquidità acuitasi con l'avvento di internet. Un momento storico segnato da una nuova maturità del digitale, evidente nel nostro diverso rapporto con i dati, e nella diffusione di metodi di *machine learning* avanzato, che promettono una nuova capacità di comprensione della complessità contemporanea e nel frattempo contribuiscono alla propagazione dell'apparato tecnico sul mondo. Questi cambiamenti, tanto profondi da toccare la nostra cultura, stanno modificando il nostro modo di interpretare e istituire lo spazio, e quindi di abitarlo: condizioni che hanno sicuramente delle ripercussioni sul progetto di architettura nella sua qualità di attività umana rivolta all'uomo. L'incremento di complessità che ha toccato la nostra disciplina con la postmodernità ha nel frattempo trovato nuovo sostegno nella decostruzione Derridiana, in un momento storico segnato da una grande enfasi sulle opportunità degli strumenti digitali, che abbiamo accolto all'interno della nostra disciplina dapprima esclusivamente come mezzi di rappresentazione e che hanno poi determinato l'emergere di nuovi approcci basati sulle potenzialità inclusive di continuità e variazione. Nessuno tra i protagonisti della prima svolta digitale immaginava probabilmente, gli effetti che la cultura digitale produce oggi sul progetto di architettura, forte di quasi trent'anni di sperimentazioni e cambiamenti, tanto metodologici e formali quanto organizzativi e strumentali, a partire dalla ascesa del BIM sino alle nuove possibilità algoritmiche ben rappresentate dai linguaggi di programmazione visuale e dalle simulazioni numeriche. Strumenti su cui si è concentrato lo slancio verso il digitale, che intanto in architettura ha vissuto una seconda svolta, identificata da Carpo negli approcci progettuali oggi possibili grazie a una nuova disponibilità di dati.

Una condizione che inevitabilmente tocca tanto la scienza quanto l'architettura, e che non è tuttavia sufficiente a descrivere una contemporaneità in cui la tecnica dispiega le ali sull'architettura, incidendo il significato del nostro ruolo all'interno della società. A partire da queste ramificate considerazioni, consapevole della complessità con cui dobbiamo dialogare nel tentativo di ricostruire una visione il più possibile neutrale, storica e organica della fase che l'architettura sta vivendo, è necessario, a mio avviso, un approccio olistico: inclusivo, capace tanto di estendersi fino ad acquisire una

RESEARCH FRAMEWORK AND STRUCTURE

I. RESEARCH QUESTIONS

The digital condition that has gradually hybridized our lives, transforming atoms into bits, has now cemented itself in our society, enriching post-modernity and determining a new form of liquidity that has sharpened with the advent of the internet. It is a historical moment marked by a new digital maturity, evident in our diverse relationship to data and in the spread of advanced machine learning methods, which both promise a new understanding of contemporary complexity as well as contribute to the propagation of the technical apparatus throughout the world.

These changes, so profound as to affect our culture, are changing our way of perceiving space, and therefore of inhabiting it: conditions that undoubtedly have repercussions on architectural design in its capacity as a human activity geared towards human beings. The increased complexity that has touched our discipline with Postmodernism has meanwhile found new support in Derridian deconstruction, in a historical moment marked by great emphasis on the opportunities that digital tools offer. These are means we first welcomed into our discipline exclusively as tools for representation, and ones that then themselves determined the emergence of new approaches based on the inclusive potential of continuity and variation. None of the protagonists of the first digital turn could probably have imagined the effects that digital culture would now be having on architectural design. A digital culture that has become increasingly stronger due to almost thirty years of both methodological and formal experimentation, as well as to organizational and instrumental changes, starting with the rise of BIM to new algorithmic possibilities represented by visual programming languages and numerical simulations. These have been the primary tools of concentration in the push towards digital, a digital which today has reached a second turn in the field of architecture, identified by Carpo in new design approaches that are now possible thanks to the larger availability of data.

A condition that inevitably affects both science and architectural design, but which, nevertheless, fails to fully share a contemporaneity where technology spreads its wings as far as architecture is concerned, thus affecting the meaning of our role within society. With these multifaceted considerations as a starting point, and fully aware of how complex the dialogue we must engage in in order to reconstruct a neutral, historical, and organic as possible vision of the phase that architecture is experiencing, it is my opinion a holistic approach must be established by us. One that

prospettiva filosofica, così come di scendere verso il dettaglio tecnico, operativo, metodologico, strumentale e relazionale. Un proposito che cerco di mantenere vivo all'interno di tutto il mio lavoro di tesi, condensazione di tre anni di ricerca, che nelle sue diverse fasi guarda alle mutazioni che la tecnica digitale sta producendo nella società e quindi nel progetto di architettura. Il mio percorso è arricchito da dieci interviste raccolte con importanti protagonisti dell'architettura contemporanea, che ringrazio sin da ora per la loro grande disponibilità. Queste testimonianze mi hanno permesso di toccare con mano le complessità della progettazione contemporanea e rappresentano un polo di questa tesi, ugualmente volta a fornire un'interpretazione storica delle sfide poste in essere dalla contemporaneità e quindi all'identificazione delle responsabilità che dobbiamo assumerci per mantenere l'uomo al centro del nostro fare.

II. LETTERATURA DI RIFERIMENTO

Le diverse fasi della mia ricerca trovano riferimento nei testi di importanti pensatori e nei contributi di ricercatori e progettisti che nell'arco degli ultimi decenni hanno proposto una diversa interpretazione della contemporaneità tecnica, sociale e del progetto di architettura. A partire dagli scritti di quei filosofi che prima di altri hanno riconosciuto l'impatto della tecnica sulla società postmoderna (Bauman, 2013; Galimberti, 2009), quindi nelle modificazioni che toccano in senso più ampio il nostro rapporto con l'architettura (Ciastellardi, 2009; Sennett, 2018; Taylor, 2001), e con lo spazio, ibridato nella condizione eterotopica dell'infosfera (Foucault, 1966; Floridi, 2015), che impoveriscono la fisicità decretando il proliferare di non luoghi. (Negroponte, 1996; Augè, 2007).

Il mio percorso verso la contemporaneità architettonica nasce in uno sguardo volto a riconoscere le qualità intrinseche del nostro operare, in una rilettura dei pensieri di diversi autorevoli teorici (Gregotti, 1966; Munari, 1981; Alexander, 1964) che ci permettono di affrontare l'estendersi della complessità sul progetto. Un fenomeno letto innanzitutto nelle parole di tre importanti precursori (Reichlin e Tedeschi, 2010; Fuller, 1969; Otto e Rasch, 1985), quindi nell'evolversi del dibattito architettonico dal secondo dopoguerra (Venturi, 1966) sino all'insinuarsi delle tecniche digitali in architettura (Carpo, 2013): una prima svolta che ha favorito il fiorire di nuove metodologie e approcci al progetto (Eisenman, 2004; Lynn, 2013; Schumacher, 2011), animando una nuova maturità del digitale in architettura a cui corrisponde temporalmente il second digital turn (Carpo, 2017).

Nell'identificazione delle nuove sollecitazioni che toccano il progetto di architettura contemporaneo sono stati fondamentali, oltre alle interviste raccolte con i dieci progettisti, diversi contributi presentati negli ultimi anni all'interno della rivista *Architectural Design*, insieme ad altri proposti da ricercatori, progettisti e aziende dello sviluppo di *software* per l'architettura in occasione di convegni di alcune delle principali associazioni internazionali sul CAAD, da ACADIA (Association for Computer-

is both inclusive and capable of expanding to the point of acquiring a philosophical perspective, as well as being able to attend to areas that cover technical, operational, methodological, instrumental, and relational details. This objective is one I have striven to keep alive throughout the three years of my doctoral research, which in its various phases looks at the mutations that digital technology is producing in society and therefore in architectural design. My research is enriched by the inclusion of ten interviews with prominent protagonists of contemporary architecture, for whose time and availability I am grateful. These testimonials allowed me to see the complexities of contemporary design up close and personal, and they represent a central part of this thesis, which equally aims to provide a historical interpretation of the challenges posed by contemporaneity and to identify the responsibilities that we must uphold for human beings to remain at the centre of our work.

II. LITERARY REFERENCES

I found support throughout the various phases of my research in referenced texts by illustrious thinkers and through contributions of researchers and architects who over the last few decades have proposed a different interpretation of social, technical, and architectural contemporaneity. These references go back, for example, to writings by those philosophers who recognized the impact of technology on postmodern society even before others did (Bauman, 2013; Galimberti, 2009), as well as to areas concerning modifications that affect our relationship with architecture and with space in a broader sense (Ciastellardi, 2009; Sennett, 2018; Taylor, 2001). Others deal with hybridized ones in the heterotopic condition of the info-sphere (Foucault, 1966; Floridi, 2015), which has a physical impoverishing effect through the imposition and proliferation of non-places. (Negroponte, 1996; Augè, 2007).

My path towards architectural contemporaneity stems from an outlook that aims at recognizing the intrinsic qualities of our profession, in a reinterpretation of the thoughts of various authoritative theorists (Gregotti, 1966; Munari, 1981; Alexander, 1964) so that we may face the far reach of complexity that it has on architectural design. This phenomenon first appears in the words of three important precursors (Reichlin and Tedeschi, 2010; Fuller, 1969; Otto and Rasch, 1985), then in the evolution of the architectural debate from Postmodernism (Venturi, 1966). and how digital technology insinuated itself into architecture (Carpo, 2013): a first digital turn that enabled new methodologies and approaches to architectural design to flourish (Eisenman, 2004; Lynn, 2013; Schumacher, 2011), thereby animating a new maturity in digital architecture which the second digital turn fits on the time line (Carpo, 2017).

Among those contribution that have been the most fundamental in helping to identify new solicitations and demands affecting contemporary architecture I have often cited contributon presented on Architectual Design. This is in addition to the interviews collected with the ten architects, together with other contributions proposed by researchers, designers, and companies of several, main international associations

Aided Design in Architecture), sino a CAADRIA (Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia). Dove il mio sguardo si è spinto verso gli aspetti più tecnici degli strumenti digitali adoperati in architettura ho fatto riferimento ai testi di alcuni dei più riconosciuti autori dei diversi ambiti disciplinari (Farin et al., 2002; Eastman et al., 2011; Oxman, 2006), così come successo per i capitoli sulle prime applicazioni dei metodi di machine learning (Domingos, 2015) in architettura.

III. IPOTESI E OBIETTIVI DI RICERCA

L'ipotesi posta alla base della ricerca è che la maturità degli strumenti digitali che animano il costituirsi di relazioni all'interno della società e nel formarsi del progetto di architettura della seconda svolta digitale producano un'influenza non soltanto nei metodi, nei processi e nel linguaggio architettonico, ma più profondamente nelle relazioni e nei significati che per mezzo di questi strumenti istituiamo con la pratica progettuale e con lo spazio. Ciò causa dissociazioni multidimensionali che coinvolgono il progetto di architettura, sollecitato da nuove possibilità tecniche e da un arricchimento di attori, materiali progettuali e strutture provenienti da altri ambiti del sapere con cui l'architettura è obbligata a confrontarsi all'interno di logiche di mercato. I principali obiettivi di ricerca dichiarati sono:

- Identificare gli effetti che l'adozione di tecniche digitali produce sulla società e sulla nostra diversa percezione dello spazio;
- Individuare il contributo di quei precursori di temi, metodi e processi che hanno posto le basi per il fiorire di approcci oggi sviluppati attraverso l'ausilio di calcolatori, confrontando il loro pensiero con quello di teorici e progettisti contemporanei;
- Identificare le nuove sollecitazioni che investono l'architettura in termini di requisiti, metriche e materiali per il progetto, indagando quanto tali cambiamenti siano frutto di una progressiva digitalizzazione dell'architettura e quali responsabilità immettano nel nostro ruolo;
- Definire iter, competenze, ruoli e strutture organizzative che si sono diffusi all'interno degli studi di architettura nell'ultima decade attraverso nuovi paradigmi digitali che animano il progetto;
- Comprendere il ruolo che la logica algoritmica assume nella composizione del progetto e nella generazione della forma architettonica dopo l'introduzione dei più recenti strumenti digitali per la progettazione;
- Osservare quanto le dinamiche di comunicazione della rete, insieme alle nuove possibilità tecniche di rappresentazione, producano uno sbilanciamento dei valori che animano il dibattito architettonico contemporaneo;
- Ricostruire l'evoluzione degli strumenti e dei paradigmi digitali in una prospettiva storica, valutando quanto siano frutto di processi interni o esterni alla nostra disciplina e come siano influenzati da attori esterni al progetto di architettura;
- Misurare l'effettiva diffusione dei diversi strumenti digitali adottati oggi all'interno dell'iter progettuale, provando a ricostruire un panorama il più possibile neutrale, lontano dal clamore commerciale;

during conferences held on CAAD, from ACADIA (Association for Computer-Aided Design in Architecture), up to CAADRIA (Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia). When focusing on technical aspects of digital tools used in architecture, I referred to the texts of some of the most recognized authors of various disciplines (Farin et al., 2002; Eastman et al., 2011; Oxman, 2006), likewise for the chapters on the first applications of machine learning methods (Domingos, 2015) in architecture.

III. HYPOTHESIS AND RESEARCH AIMS

The hypothesis at the foundation of this research is that digital tools, in their mastery of animating how relationships are set up within society and in the formation of architectural design have a profound influence on the relationships we establish with the architectural design practice, with space, and with meanings we assign to them through tools. This causes multidimensional dissociations that involve architectural design, prompted by new technical possibilities and complimented by new contributing figures, project materials and frameworks coming from other fields of knowledge, with which architecture is obliged to deal within the logic of the market. The main research objectives stated are:

- *Identify what effects the implementation of digital technology has on society and our different perception of space;*
- *Define the contribution made by those precursors of themes, methods, and processes that laid the foundation so that approaches developed today may flourish through the aid of computers, by comparing their thinking to that of contemporary theorists and designers;*
- *Identify new demands affecting architecture in terms of requirements, metrics, and project materials, by investigating to what extent these changes are the result of progressive digitization in architecture, and what responsibilities they pose to us regarding our role;*
- *Define processes, skills, roles and organizational structures that have spread among architectural firms in the last decade through new digital paradigms that animate architectural design;*
- *Understand the role that algorithmic logic plays in the how architectural design is shaped and the generation of the architectural form after the introduction of the most state of the art digital tools for design;*
- *Observing how the communication dynamics of the web, together with the new technical possibilities of representation, produce an imbalance in the values that enliven the contemporary architectural debate;*
- *Reconstruct the evolution of digital tools and paradigms from a historical perspective, evaluating how much they are a result of processes internal or external to our discipline, and how they are influenced by contributing figures far from the architectural project;*
- *Measure the actual spread of the various digital tools adopted today within the*

- Valutare l'effettiva competenza e consapevolezza dei progettisti nell'adoperare di strategie basate sull'adozione di strumenti digitali in grado di affrontare la complessità del progetto, soppesandone i risultati;
- Indagare il rapporto tra progettazione architettonica e strumenti *open-source*, misurandone l'effettiva adozione e l'ampiezza dei contributi, osservandone potenzialità e vincoli che ne limitano la diffusione.
- Considerare le prime applicazioni di metodi di *machine learning* all'architettura, sviluppando paragoni tra i risultati delle ricerche e le effettive applicazioni create all'interno degli studi, misurandone il peso all'intero dell'iter progettuale e identificandone possibili derive.

Domande a mio avviso indispensabili per comprendere la profondità dell'influenza prodotta dagli strumenti digitali tanto sul progetto quanto sul nostro ruolo di progettisti, e che coincidono con obiettivi e direzioni assenti o poco indagate nella ricerca attuale. Il raggiungimento dei propositi identificati ha lo scopo finale di ottenere una panoramica il più possibile ampia sui mutamenti che la tecnica digitale provoca nello scenario architettonico, non limitandosi ad uno sguardo meramente tecnico o procedurale, discostandosi dal clamore comunicativo che distorce la nostra percezioni e da opinione estreme. Cercando al contrario di indagare il collegamento tra tecniche e metodologie innovative con la teoria del progetto di architettura e i valori che lo animano.

IV. METODOLOGIA E FASI DI RICERCA

Date le complesse interrelazioni proprie della progettazione architettonica, oggi ampliate su dimensioni digitali, segnate tanto da pressioni anche discordanti provenienti da altre discipline, quanto da attività di comunicazione professionale e commerciale di nuova ampiezza, la mia ricerca si orienta verso l'osservazione multipla dei fenomeni. Ciò è possibile attraverso l'acquisizione di prospettive diverse, che insieme permettono una diversa ricostruzione della complessità, secondo un processo induttivo che ho utilizzato per ricostruire un modello, il più possibile sincero della realtà. Un approccio che a causa dell'ampiezza dei fenomeni indagati è più vicino alle scienze umanistiche che a quelle esatte, ma che trova una perfetta analogia nel rilievo dell'architettura, dove per determinare le coordinate di un punto sfruttiamo le triangolazioni. Allo stesso modo la mia ricerca tenta di stabilire l'esatta distanza tra i diversi temi, guardando tanto alla filosofia, alla teoria dell'architettura, quanto all'approfondimento di molteplici casi studio, di metodi e strumenti utilizzati nella formazione del progetto di architettura. L'attività di ricerca è stata sviluppata in una fase iniziale, per mezzo di un esteso studio bibliografico della letteratura scientifica di riferimento, attività svolta con l'obiettivo di individuare quelle direzioni di ricerca non ancora sufficientemente approfondite dalla comunità scientifica, o addirittura assenti: mancanze che questa mia ricerca tenta di colmare. Questo primo studio bibliografico, mi ha permesso di identificare una collezione di domande che ho avuto l'opportunità di proporre a dieci progettisti di grande consapevolezza nell'utilizzo di tecniche digitali. Le interviste, raccolte a Londra nel 2019 in concomitanza con il mio periodo di visita presso la University of East London

architectural design process, attempting to reconstruct a landscape as neutral as possible, far from commercial hype;

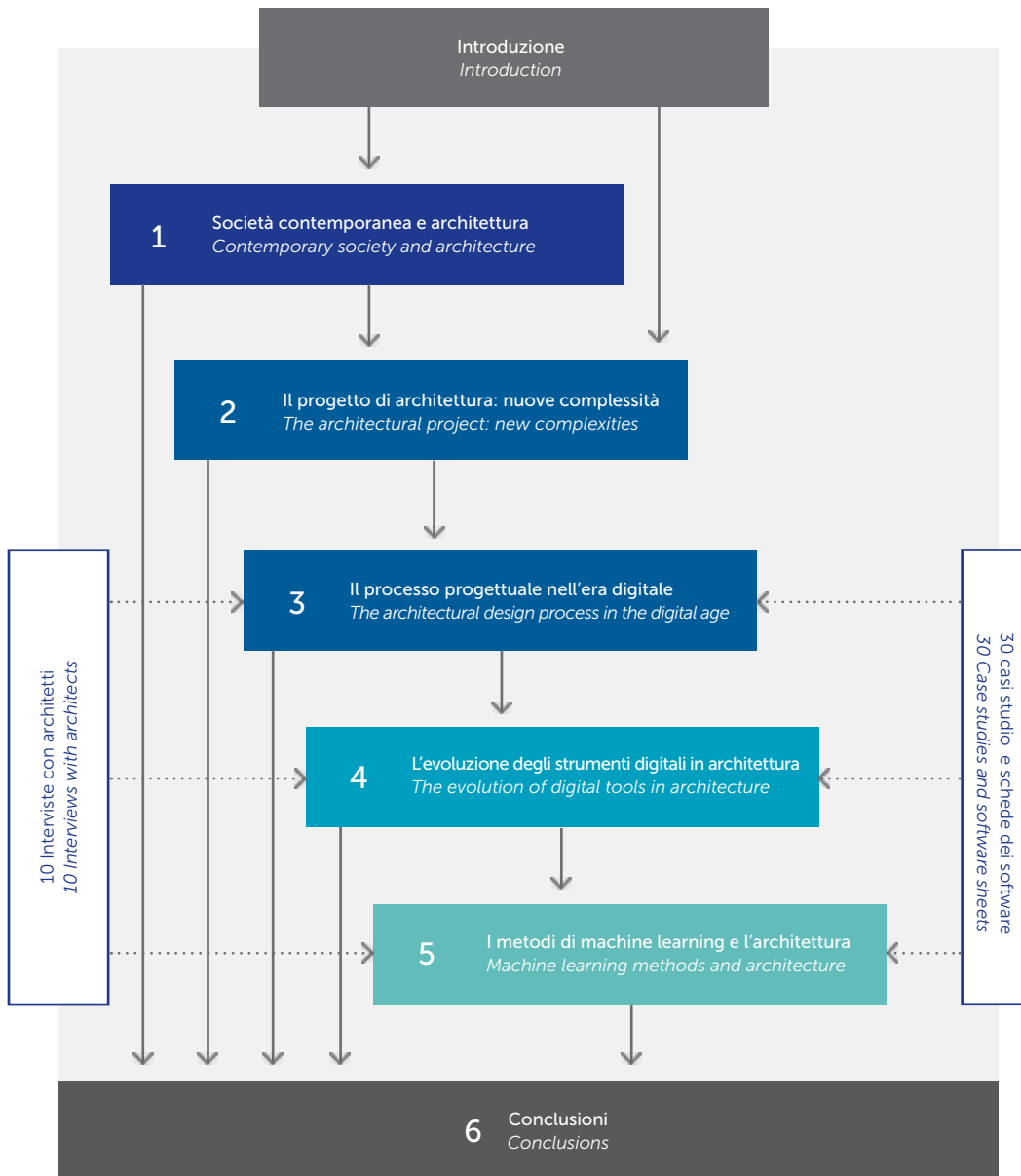
- *Evaluate the actual competence and awareness of architects in the adoption of strategies based on the implementation of digital tools capable of addressing the complexity of the project, weighing the results;*
- *Investigate the relationship between architectural design and open-source tools, measuring their effective implementation and the breadth of their contributions, observing potential and constraints that limit their spread.*
- *Consider the first applications of machine learning to architectural design, building a comparisons between research results and the actual applications developed within the practices, measuring their weight throughout the architectural design process and identifying any possible drift.*

In my opinion, these are indispensable questions to pose for understanding the depth of the influence produced by digital tools both on architectural design and on our role as architects, which coincide with objectives and directions that are inexistent or not looked into much in current research. The achievement of the identified aims has the final purpose of obtaining an overview, as broad as possible, on the changes that digital technology can cause in the architectural scenario, not limiting it to a merely technical or procedural fact, moving away from the communicative hype that may distort our perceptions and extreme opinions. On the contrary, the aim is to attempt an investigation on the connection between innovative techniques and methodologies with architectural design theory and the values that breathe life into it.

IV. METHODOLOGY AND RESEARCH PHASES

Given the complex interrelationships of architectural design, now extended to digital dimensions, marked as much by conflicting pressures from other disciplines as by new-scale professional and commercial communication activities, my research focuses on the multiple observation of phenomena. By acquiring different perspectives as a whole, I was able to perceive a diverse reconstruction of complexity, according to a process of inductive reasoning that I used to reconstruct a model, as true to reality as possible. An approach that, due to the breadth of the phenomena investigated, is closer to humanities than to hard science, but which finds a perfect analogy in the architectural survey: where we use triangulation to determine the coordinates of a point. In the same way, my research attempts to establish the exact distance between the different phenomena, looking both at the philosophy and the theory of architecture, also by delving deeper into multiple case studies, and analysis of methods and tools used in architectural design.

In the initial phase, the research activity grew out of an extensive bibliographic study of scientific literature. I carried out this research with the intent of identifying those research directions in which the scientific community had not gone in-depth into sufficiently, or where they were even non-existent: gaps that my research attempts to



Schema della ricerca.

Research plan.

rappresentano, non soltanto un valore aggiunto per questa tesi, ma anche e soprattutto l'occasione per ottenere una prospettiva professionale sui temi trattati. Punti di vista privilegiati, di sicura utilità per qualsiasi progettista che voglia comprendere le reali possibilità e quindi le implicazioni che l'utilizzo di strumenti digitali porta con se. Le finalità delle interviste sono state chiaramente descritte a ogni partecipante, a cui ho proposto principalmente domande a risposta aperta, delimitandone quando possibile i contenuti per evitare confusione. Dati i livelli di specializzazione raggiunti all'interno degli studi e le diverse competenze di ogni intervistato ho quindi diversificato le interviste, nel tentativo di avvicinarmi il più possibile alle esperienze dei singoli progettisti. Dove possibile e con maggiore cura per quelle domande che riguardano il futuro della nostra professione, ho chiesto agli intervistati di sintetizzare le loro previsioni in schemi ordinati che mi hanno permesso di descrivere un prospetto cumulativo, e quindi sviluppare un confronto esteso a dati e osservazioni frutto di successivi approfondimenti.

fill. This first bibliographic study allowed me to identify a series of questions that I had the opportunity to propose to ten architects who are highly knowledgeable in the use of digital technology. The interviews, conducted in London in 2019 during the period of my visit to the University of East London represent, not only an added value to this thesis but also and above all an opportunity to get a professional perspective on the topics covered. Privileged points of view indeed, most certainly useful to any architect wanting to understand the range of real possibilities and therefore the implications that the use of digital tools brings with it. Each participant of the interview got a clear overview of the final purpose of the interview, to whom I mainly posed open-ended questions, limiting content whenever possible to avoid confusion. Given the levels of specialization earned through studies and the different skills of each interviewee, I, therefore, diversified the interviews, in an attempt to hone in as much as possible on the individual experience of each architect. Where possible and with utmost care for those questions concerning the future of our profession, I asked the interviewees to summarize their predictions in orderly schemes that allowed me to describe a cumulative statement, and then develop an extensive comparison of data and observations resulting from subsequent insights.

Work regarding critical analysis of the projects occurred through the examination of thirty case studies, chosen from among examples of architecture recognized for quality, designed through digital tools in a period ranging from the first digital turn up to 2019. Architectures that are certainly representational of a much more vast landscape, but enabled me to recognize the extent and incidence of methodological and instrumental contributions relating to digital through the reconstruction of the architectural design process. The breadth of the timeframe of the proposed case studies was necessary due to the complexity of the differences, which are not possible to perceive by a simple observation of the architectural form alone, but require an in-depth designing analysis aimed at making the differences visible. The organization of such, within this research, came about by comparisons made between examples of architectures sometimes created by the same professional studio, but in moments characterized by a different maturity of digital approaches.

The area in which my research goes into the most detail relating to quantitative aspects is in the analysis of the main digital paradigms currently adopted within the architecture industry, measuring the spreading of most used tools. This evaluation, quite difficult to obtain through traditional survey activities, was possible thanks to data available on the Google Trends platform, which measures Google's users interest in certain topics. This was made possible out of respect for a rigorous and detailed methodology (Choi and Varian, 2012), which has already proved its validity with the publishing of hundreds of researches in international scientific journals. The data collected was then compared to answers collected in the interviews with the architects, making it clear that the global panorama is much more branched out than what commercial communication might suggest.

Il lavoro di analisi critica dei progetti è condotto attraverso l'approfondimento di trenta casi studio, scelti tra architetture di riconosciuta qualità, progettate per mezzo di strumenti digitali in un periodo che va dalla prima svolta digitale sino al 2019. Architetture rappresentative di una casistica sicuramente ben più ampia, ma che mi permettono, attraverso la ricostruzione dell'iter progettuale, di riconoscere la portata e l'incidenza di contributi metodologici e strumentali afferenti al digitale. L'ampiezza temporale dei casi studio proposti è necessaria a causa della complessità dei temi, che non è semplicemente intuibile da un'osservazione della forma architettonica, ma necessita di un approfondimento progettuale rivolto a renderne visibili le differenze. Ciò è articolato, all'interno di questa ricerca, attraverso confronti tra architetture realizzate anche dallo stesso studio professionale, ma in momenti caratterizzati da una diversa maturità del digitale.

Dove la mia ricerca si spinge con maggiore dettaglio verso aspetti quantitativi è nell'analisi dei principali paradigmi digitali attualmente adottati in seno all'industria dell'architettura, nella capacità e diffusione dei diversi strumenti. Un prospetto difficile da ottenere tramite attività di indagine tradizionale, e a cui mi sono potuto avvicinare grazie ai dati disponibili all'interno della piattaforma Google Trends, che misura l'interesse degli utenti verso determinati argomenti. Ciò è stato possibile grazie al rispetto di una metodologia rigorosa e descritta nel dettaglio (Choi e Varian, 2012), che ha già dimostrato la sua validità in occasione di centinaia di ricerche pubblicate su riviste scientifiche internazionali. I dati raccolti sono quindi confrontati con quelli raccolti all'interno delle interviste con i progettisti, rendendo evidente un panorama globale ben più ramificato di quello suggerito dalla comunicazione commerciale.

V. STRUTTURA DELLA TESI

La tesi è strutturata in 5 capitoli che corrispondono alle diverse fasi della ricerca:

Capitolo 1 - Società contemporanea e architettura.

- *1.1 Indagine sulla contemporaneità.* Il percorso di ricerca nasce nell'osservazione della società contemporanea da cui il progetto germina nella sua qualità di risposta a necessità umane. Una società che si confronta oggi con una condizione di modernità liquida, che ricostruisco a partire dal secondo dopoguerra, evidenziando i cambi di scala, la nuova velocità di collegamento, il dissolvimento delle strutture sociali, il diverso ruolo del lavoro e la corsa verso l'individualismo. Fattori riconosciuti tra gli altri da Baumann, Castells e Augè, e che trovano terreno fertile sulle dimensioni digitali che hanno raggiunto le nostre esistenze, rubando valore allo spazio e al tempo, favorendo distanze sociali e l'emergere della mixofobia;
- *1.2.1 Dalla griglia alla rete.* La metamorfosi che ha portato dalla società della griglia a dissolversi nelle reti viene rappresentata nel confronto tra architetture e pensiero di protagonisti della seconda metà del novecento, a partire dalle griglie di Mies Van der Rohe, che gradualmente si slegano con Venturi e raggiungono nuovi gradi di libertà nel progetto del Guggenheim di Gehry. Un percorso a cui è possibile aggiungere una quarta tappa nelle architetture liquide nel ciberspazio di Novak,

V. STRUCTURE OF THE DISSERTATION

The thesis has a 5-part structure that corresponds to the different phases of the research:

Chapter 1 - Contemporary society and architecture

- 1.1 Research study on contemporaneity. *The research path chosen stems from the observation of contemporary society from which the project develops as a response to human needs. A society that is confronted today with a condition of liquid modernity, which I reconstruct starting from the post-World War II period, highlighting the changes in scale, the new speed of connection, the disintegration of social structures, the different role of work, and the race towards individualism. Factors recognized among others by Baumann, and Castells and Augè, and which find fertile ground on the digital dimensions that have caught up with our lives, stealing value from space and time, and fostering social distances and the emergence of myxophobia;*
- 1.2.1 From the grid to the net. *Comparing examples of architecture and the thinking of protagonists of the second half of the twentieth century helps demonstrate the metamorphosis that led up to the dissolving of the grid society into networks. An example of this first goes back to the grids of Mies Van der Rohe, which then gradually untied themselves in works by Venturi, only to reach new heights in freedom in Gehry's Guggenheim project. With Novak's liquid architecture in cyberspace, there is an additional fourth stop on this path coinciding with liquid contemporaneity;*
- 1.2.2 Architecture and information networks. *In this chapter, I follow the evolution of relationships between architecture and information, a link that is perceptible from the birth of libraries to the spread of data-centres. I observe how the ubiquity of information determines the emergence of a diverse organization of knowledge, which breathes life into a new hybridization of disciplines. A lively feature in Camillo Delminio's idea for his Teatro, which was ahead of the logics of the database and Google's mission by five hundred years. I, therefore, focus on the influence produced by the exponential increase in data on society, from which Floridi deduces the advent of the info-sphere, a hybrid condition that has become an environment, producing a dissociation of spaces and identities, according to apparently invisible lines animated by digital operatives;*
- 1.3 Technics and society. *Here I reconstruct, through architecture and with particular attention to the formation of settlements, the constant evolution of values that have inspired the history of the Western world, in Galimberti's view of man's imposition on nature and therefore technical methods imposed on man. The first Greek villages of the Hellenic Middle Ages show a mutation that gradually occurred, followed by the newly founded Renaissance cities and then by the ideal cities, up to the contemporary smart-cities, of which Sennett recognizes the prescriptive limits. Circumstances as such inevitably force me to go back to the thinking of Hegel, Marx, Heidegger, and other important philosophers, including Weber and Jonas, promoters of new ethics based on responsibility;*
- 1.4 Space in the contemporary world. *The chapter opens with considerations on the different meanings of space and places; I, therefore, describe the spread of*

- coincidenti alla contemporaneità liquida;
- *1.2.2 L'architettura e le reti dell'informazione.* All'interno del capitolo seguo l'evolversi del rapporto tra architettura e informazione, legame che è possibile leggere dalla nascita delle biblioteche sino alla diffusione dei *data-centre*. Osservo come l'ubiquità dell'informazione determini l'emersione una diversa organizzazione del sapere, che anima una nuova ibridazione delle discipline. Una caratteristica viva nell'*Idea del teatro* di Camillo Delminio, che anticipa di cinquecento anni la logica del database e la missione di Google. Mi concentro quindi sull'influenza prodotta dall'aumento esponenziale di dati sulla società, da cui Floridi desume l'avvento dell'infosfera, una condizione ibrida che si è fatta ambiente, producendo una dissociazione degli spazi e delle identità, secondo direttrici apparentemente invisibili animate da agenti digitali;
 - *1.3 La tecnica e la società.* Qui ricostruisco tramite architetture e con particolare attenzione nei confronti del formarsi degli insediamenti, la costante evoluzione di valori che ha animato la storia dell'occidente, letta da Galimberti come l'imporsi dell'uomo sulla natura e quindi della tecnica sull'uomo. Una mutazione gradualmente visibile a partire dai primi villaggi Greci del medioevo Ellenico, seguiti dalle città di nuova fondazione rinascimentali e quindi dalle città ideali, fino alle smart cities contemporanee, di cui Sennett riconosce i limiti prescrittivi. Condizioni che mi obbligano a recuperare il pensiero di Hegel, Marx, Heidegger e altri importanti filosofi, tra cui Weber e Jonas, promotori di una nuova etica basata sulla responsabilità;
 - *1.4 Lo spazio nella contemporaneità.* Il capitolo si apre con delle considerazioni sui diversi significati di spazio e di luogo, descrivo quindi il diffondersi di non luoghi già riconosciuto da Augé: una condizione favorita dal digitale, che trasla funzioni dal mondo fisico a quello virtuale, trasvalutandone i significati, generando una nuova tipologia di luoghi. Eterotopie teorizzate da Foucault, e che impongono le loro strutture digitali alla realtà, producendo una dissociazione delle nostre città, e trasformandosi in un filtro che poniamo tra noi e la realtà, come nel caso di piattaforme digitali e dispositivi di realtà aumentata.

Capitolo 2 - Il progetto di architettura: nuove complessità

- *2.1 Considerazioni sul progetto di architettura.* Nell'intraprendere un percorso che ci porterà a toccare con mano il graduale incremento di complessità in architettura è necessario riallacciare i legami con i significati intrinseci del progetto di architettura, a partire dalle caratteristiche che definiscono la nostra funzione nella società. Condizioni che Gregotti legge nelle differenze tra il progetto di architettura e altri ambiti progettuali, ma anche nella natura interdisciplinare del progetto, che l'architetto custodisce nella qualità di mediatore, manipolatore di simboli eterotopici: un processo di formazione che non prescinde dalla tecnica e dagli strumenti di rappresentazione, ma che nonostante l'avvicinamento alla scienza, non può essere mai assimilabile a un programma o a un modello algoritmico come proposto dal primo Alexander, al contrario mantiene la sua caratteristica di processo euristico, promosso da Munari o da De Carlo;
- *2.2 Architettura e digitale: alcuni precursori.* Guardando alla contemporaneità dell'architettura è possibile procedere a ritroso, riconoscendo un panorama

non-places already recognized by Augè: the digital world's favourite environment, which translates functions from the physical to the virtual world, devaluing their meanings, thus generating a new typology of places. Heterotopies, as theorized by Foucault, which by imposing their digital structures on reality, produce a dissociation of our cities and transform themselves into a filter that we place between reality and ourselves as in the case of digital platforms and augmented reality devices.

Chapter 2 – The architectural project: new complexities

- 2.1 Considerations on the architectural project. *In embarking on a path that will lead us to touch first-hand the gradual increase in complexity in architecture, it is necessary to reconnect with the intrinsic meaning of architectural design, starting with the characteristics that define our function in society. Gregotti identifies these conditions in the differences between architectural design and other design areas, but they are also in the interdisciplinary nature of the project, which the architect safeguards as a mediator and manipulator of heterotopic symbols. It is a training process that never breaks away from technical methods and graphical tools, but which despite its approximation to science, can never be comparable to a program or an algorithmic model which Alexander postulated in his beginnings, on the contrary, its characteristic remains one tied to a heuristic process, as advocated by Munari or by De Carlo;*
- 2.2 Architecture and digital: some precursors. *Looking at the contemporaneity of architecture it is possible to go forth by going backward, by recognizing an undoubtedly vast array of precursors who in different ways and moments pre-empted themes of great importance that rang in the second digital turn. A list that includes designers such as Gaudì, Candela, Nervi, and Musmeci, but also and above all three protagonists of the twentieth century, far from movements and trends: Luigi Moretti, Buckminster Fuller, and Frei Otto;*
- 2.2.1 Luigi Moretti. *Within this chapter, I propose a re-reading of the thinking of this great Italian architect and a comparison of it to several influential contemporary theorists' thinking. A reconstruction that departs from his studies on works of art and architecture, which testifies to Moretti's interest in the perception of space and the relationship between form and structure. I, therefore, describe his architectural research activity, which ambitiously also took on mathematics, culminating in the genesis of his parametric architecture, which is both scientific and tied to the expressive will of the architect;*
- 2.2.2 Buckminster Fuller. *I have dealt with the second of the forerunners to contemporary digital based on his biography: from his first experiences in the navy to his coming into contact with architecture, a discipline that Fuller tackles as an inventor, questioning traditional approaches, and advancing, with projects such as the Dymaxion House, solutions aimed at global living. His different focus on geometry and energy would lead him to propose synergetic systems and geodesic domes, pre-empting not only a contemporary interdisciplinary approach but also and above all the cultural challenges that the world of architectural design must face today;*
- 2.2.3 Frei Otto. *What most distinguishes Frei Otto, one of the most recognized precursors of digital architectural thinking, is undoubtedly his approach to architectural design. We will follow his diverse architectural design philosophy*

sicuramente ampio di precursori che in modi e momenti diversi hanno anticipato temi di grande importanza per la seconda svolta digitale. Una lista che comprende progettisti del calibro di Gaudi, Candela, Nervi, Musmeci, ma anche e soprattutto tre protagonisti del 900, lontani da movimenti e correnti: Luigi Moretti, Buckminster Fuller e Frei Otto;

- **2.2.1 Luigi Moretti.** All'interno del capitolo propongo una rilettura del pensiero di questo grande italiano, confrontato con quello di importanti teorici contemporanei. Una ricostruzione che parte dai suoi studi su opere d'arte e architettura, e testimonia l'interesse di Moretti per la percezione dello spazio e per il rapporto tra forma e struttura. Descrivo quindi la sua attività di ricerca progettuale, tanto coraggiosa da avvicinarsi alla matematica, per culminare con la genesi della sua architettura parametrica, al contempo scientifica e vincolata alla volontà espressiva del progettista;
- **2.2.2 Buckminster Fuller.** Il secondo dei precursori del digitale contemporaneo viene trattato secondo la sua biografia: dalle prime esperienze in marina sino al suo arrivo in architettura, disciplina che Fuller affronta nella qualità di inventore, mettendo in discussione approcci tradizionali, e avanzando, con progetti come la Dymaxion house, soluzioni rivolte all'abitare globale. La sua diversa attenzione per geometria ed energia lo porterà a proporre sistemi sinergetici e cupole geodetiche, anticipando non soltanto l'interdisciplinarietà contemporanea, ma anche e soprattutto le sfide culturali che la cultura del progetto deve oggi affrontare;
- **2.2.3 Frei Otto.** Ciò che maggiormente contraddistingue Frei Otto, uno dei più riconosciuti precursori del pensiero architettonico digitale, è senza dubbio il suo approccio al progetto. Una diversa filosofia progettuale che seguiremo a partire dal suo interesse per le strutture leggere, e che lo condurrà a studiare il rapporto tra forme dell'architettura e processi di generazione delle forme naturali. Forme che progetterà grazie a modelli fisici, calcolatori *ante litteram*, anticipatori dei metodi di *form-finding* digitale. Il suo pensiero sul rapporto tra tecnica e natura, incredibilmente vicino a quello Greco corrisponde alla dichiarata necessità di una nuova sincerità architettonica;
- **2.3 Venturi, Eisenmann, Gehry e Hadid.** Con la riscoperta di complessità e contraddizione in architettura, evidente tanto nel pensiero che nelle opere di Venturi, avviene una svolta culturale, che coinvolge per anni importanti progettisti in tutto il mondo. Il diverso rapporto con la comunicazione posto in essere dal movimento è amplificato dal decostruttivismo, che a partire dalla decostruzione Derridiana, si evolve secondo percorsi anche controversi, avvicinandosi al digitale sia dal punto di vista metodologico che strumentale: un fenomeno che è possibile ricomporre nel pensiero e nelle opere di Eisenmann, e nei progetti di Gehry e Hadid;
- **2.4 Il primo digital turn.** La prima svolta digitale riconosciuta da Carpo viene descritta, non come una corrente o un movimento, ma come un momento di cambiamento nell'adozione di nuovi strumenti e in un diverso approccio al progetto di architettura caratterizzato dai temi di continuità e variazione. Un nuovo orientamento che è possibile leggere tanto nella *smoothness* di Lynn, quanto nelle *field conditions* di Stan Allen, nelle sperimentazioni partecipative di Frazer e Cache, nel progetto del Yokohama port terminal di Foreign Office Architects, e nell'avvento del parametricismo;

starting from his interest in lightweight structures, which would lead him to study the relationship between architectural forms and the processes of generation of natural forms. Forms that he would design thanks to physical models: computers ante litteram, precursors of digital form-finding methods. His thought on the relationship between technical methods and nature, incredibly similar to the Greek one, corresponds to a declared necessity for a new type of architectural truthfulness;

- *2.3 Venturi, Eisenmann, Gehry and Hadid. With the rediscovery of complexity and contradiction, evident both in the thinking and in the works of Venturi, a cultural change took place, which for years involved important architects all over the world. The diverse approach to the relationship with communication created by the movement heightened with Deconstructivism. Starting from Derridian deconstruction, it evolved along a path which was even considered controversial, approaching digital both from a methodological and instrumental point of view: a phenomenon that can be pieced together in the thinking and the works of Eisenmann, and the projects of Gehry and Hadid;*
- *2.4 The first digital turn. The first digital turn, recognized by Carpo, is described here not as a current or a movement, but rather as a moment of change due to the implementation of new tools, and in a different approach to architectural design characterized by the themes of continuity and variation. This new orientation can be seen clearly in both in Lynn's smoothness, as in Stan Allen's field conditions, in the participatory experiments of Frazer and Cache, in the Yokohama port terminal project by Foreign Office Architects, and in the advent of Parametricism;*
- *2.5 The second digital turn. With the second digital turn, caused as declared by Carpo by a new scientific paradigm possible thanks to the exponential increase in data, it becomes evident that architectural design would be opening up to new heuristic possibilities. This circumstance is evident in the project for the ICD / ITKE pavilion in 2012, which, however, is not the only characteristic of digital maturity: this is a moment marked by a diverse relationship with digital tools, set-up in varying levels as formation tools, for describing the architectural design, and for its construction. These are possibilities that we can detect clearly in the results and the applications of research by groups such as Gramazio and Kohler, Pottmann, and by other important contemporary researchers, architects and theorists.*

Chapter 3 - The architectural design process in the digital age

- *3.1 New solicitations for architectural design. Here architectural design is analysed regarding the new possibilities of description and precursors that are now an integral part of the contemporary architectural design practice and reconstructed thanks to the testimonials of the ten professionals interviewed and the analysis of recently designed works. Among subjects addressed: new algorithmic logic that projects' have been able to incorporate, the wide spread of BIM, and the advent of new 3D scanning techniques, numerical simulation, virtual reality and augmented reality, and the highlighting of changes that the digital world has instilled in our role as custodians and creators of architectural design.*
- *3.2 Design process and roles in contemporary practices. The focus here shifts to the structure and organization of contemporary architectural firms, to the emergence and spread of new skills and roles that are an integral part of an*

- *2.5 Il second digital turn.* Con la seconda svolta digitale, che Carpo dichiara causata da un nuovo paradigma scientifico possibile grazie all'esponenziale aumento dei dati, è evidente l'apertura del progetto verso nuove possibilità euristiche. Condizione osservabile nel progetto per il padiglione ICD/ITKE del 2012, e che tuttavia non è l'unica caratteristica del digitale maturo: un momento segnato da un diverso rapporto con i mezzi digitali, impostosi a diversa profondità quali strumenti di formazione e descrizione del progetto e di costruzione dell'architettura. Possibilità che leggeremo nei risultati di e nelle applicazioni delle ricerche di gruppi come quello di Gramazio e Kohler, di Philippe Block, Pottmann e altri importanti ricercatori, progettisti e teorici contemporanei.

Capitolo 3 - Il processo progettuale nell'era digitale

- *3.1 Nuove sollecitazioni per il progetto.* Viene qui analizzato il progetto di architettura nelle nuove possibilità di descrizione e anticipazione che hanno raggiunto la pratica progettuale contemporanea, ricostruite grazie alle testimonianze dei dieci professionisti intervistati e all'analisi di opere di recente progettazione. Viene quindi trattata la nuova logica algoritmica raggiunta dal progetto, l'ampia diffusione del BIM, e l'avvento di nuove tecniche di scansione, simulazione numerica, realtà virtuale e realtà aumentata, evidenziando le variazioni che il digitale infonde al nostro ruolo di custodi e autori del progetto.
- *3.2 Iter progettuale e i ruoli nello studio di architettura.* Lo sguardo si sposta qui sulla struttura e l'organizzazione degli studi di architettura contemporanei, sull'emersione e la diffusione di nuove competenze e nuovi ruoli che si integrano in una pratica progettuale sempre più corale e interdisciplinare. Caratteristiche descritte anche tramite le testimonianze dei progettisti intervistati, grazie ai quali è possibile ricostruire processi, identificare un diverso rapporto con la responsabilità, un nuovo orientamento verso la ricerca, ma anche il decentramento che il progetto contemporaneo vive nel rapporto con altri attori sempre più presenti e influenti;
- *3.3 La simulazione.* Il resoconto parte da considerazioni sul rapporto tra progetto e simulazione desunte dal pensiero di autori come Alexander, De Carlo e Otto, e si sviluppa orientandosi verso la contemporaneità, osservando le possibilità anticipatrici delle diverse tipologie di simulazioni fisiche evidenti nelle testimonianze degli intervistati e nel confronto fra architetture realizzate in momenti diversi. Possibilità che si ampliano nelle nuove capacità inclusive che il progetto di architettura contemporaneo ha raggiunto e che obbligano i progettisti a nuove responsabilità nell'accettare modelli e dati che arricchiscono il progetto, ma non lo concludono;
- *3.4 Le relazioni con altri ambiti progettuali.* Qui osservo come l'interesse dei progettisti sia rivolto con sempre maggior attenzione all'esterno della nostra disciplina, a partire dagli ambiti progettuali a noi più vicini, sino alla progettazione aerospaziale, il cui progresso è descritto da Ceccato in quei percorsi che anche la progettazione architettonica sembra aver intrapreso. L'attrazione verso il mondo dell'informatica è particolarmente viva tra i progettisti, che guardano agli sviluppatori di *software* soprattutto come modello organizzativo per la gestione della complessità del processo. L'interesse degli sviluppatori per la figura di Alexander e il pensiero di Fred Brooks, uno dei primi teorici dell'ingegneria del *software*, ci permettono di

ever-increasingly concerted and interdisciplinary architectural design practice. These characteristics are also described through the testimonials of the architects interviewed, thanks to which it is possible to reconstruct processes, identify a diverse relationship to responsibility, a new orientation towards research, but also the decentralization that contemporary architectural design experiences in the relationship with other increasingly present and influential contributing figures;

- *3.3 Simulation. The chapter starts with some observations gleaned from the thinking of authors such as Alexander, De Carlo, and Otto on the relationship between architectural design and simulation. It then unfolds in a way that leans towards contemporaneity, with observations on the anticipative possibilities of the different types of physical simulations, evident in the testimonials of the interviewees, and in the comparison between examples of architecture created at different times. These possibilities grow exponentially within contemporary architectural design thanks to all the new, inclusive competence achieved thus far that oblige architects to take on new responsibilities in accepting models and data that can enhance a project, but which are not a means to an end entirely for the completion of a project.*
- *3.4 Relations with other design fields. Here I observe how architects are increasingly interested in, and paying extra attention to, areas outside our discipline, starting from the design areas closest to us, up to aerospace design, a type of progress Ceccato describes as being part of those paths that architectural design seems to have gone down as well. Attraction to the world of information technology is particularly strong among architects, who look to software developers as an organizational model for managing the complexity of the process. The fact that software engineers are interested about the figure of Alexander and the thinking of Fred Brooks, helps us to grasp the similarities, no matter how distant they may be, that connect the two disciplines;*
- *3.5 Architectural design and communication. In re-evaluating the relationship between architecture and communication in the words of philosophers and theorists such as Brandi, Eco, Gregotti, and Luhmann, we get closer to the concept the contemporaneity of communication in architecture. There is a description of various possibilities of communication as well as of new needs that the area of architectural design present both within it and outside of it. Here I describe the diverse panorama that enlivens the architectural debate, enhanced today by a multiplicity of voices of a varying degree of importance. This openness influences the public's perception of architecture and risks a smoothing over of it until it conforms to an image and a trend, as made evident in the media revival of Brutalism, and with the advent of 'Very Important Designers': figures who are also filtering into our discipline.*

Chapter 4 - The evolution of digital tools in architecture

- *4.1 Information technology and architecture: from CAD to virtual reality. Here I deal with the bond between architecture and digital in the most instrumental sense according to a path that identifies the meanings and logical structures underlying digital models. I then describe how the main CAD tools have been improved and structured, with the analysis of certain specific technical features such as BIM, visual programming languages, and advanced tools for interactive visualization such as AR and VR. I close by reconstructing new possibilities found*

- cogliere le assonanze, che nonostante la distanza, connettono le due discipline;
- **3.5 Progetto e comunicazione.** Nel rileggere il rapporto tra architettura comunicazione e linguaggio nelle parole di filosofi e teorici come Brandi, Eco, Gregotti e Luhmann, ci avviciniamo alla contemporaneità della comunicazione in architettura. Descrivendo le diverse possibilità comunicative così come le nuove necessità interne ed esterne al progetto, ma anche il diverso panorama che anima il dibattito architettonico, arricchito oggi di una molteplicità di voci dal peso diverso. Un'apertura che influenza la percezione dell'architettura da parte del pubblico, e rischia di appiattirla a immagine e moda, come evidente nella rinascita mediatica del Brutalismo, e nell'avvento dei *Very Important Designer*: figure che stanno raggiungendo anche la nostra disciplina.

Capitolo 4 - L'evoluzione degli strumenti digitali in architettura

- **4.1 Informatica e architettura:** dal CAD alla realtà virtuale. Il legame tra architettura e digitale viene qui trattato nella sua accezione più strumentale, secondo un percorso che identifica i significati e le strutture logiche alla base dei modelli informatici. Descrivo quindi l'arricchirsi e lo strutturarsi dei principali strumenti CAD, analizzati nelle peculiarità specifiche di tecniche come BIM, linguaggi di programmazione visuale e strumenti avanzati per la visualizzazione interattiva come AR e VR. Nuove possibilità che ricostruisco all'interno della classificazione di modelli per l'architettura proposta da Rivka Oxman;
- **4.2 La storia della curva computazionale.** Interamente dedicato alle spline, la famiglia di metodi di rappresentazione che ha segnato la produzione architettonica afferente alla prima svolta digitale. Qui ne ricostruisco la storia a partire dalla nascita in seno all'industria navale, descrivendo i diversi contributi di aziende dell'industria automobilistica e aerospaziale, e l'evoluzione metodologica che ha portato le NURBS e le *subdivision surfaces* all'interno degli studi di architettura. Un percorso che è possibile estendere alle *t-splines*, un più recente metodo di rappresentazione di superfici già utilizzato da diversi studi, ma il cui utilizzo è oggi limitato da questioni legate al mercato dei programmi informatici per la progettazione;
- **4.3 Il Building information model.** Il paradigma progettuale più diffuso nella pratica progettuale contemporanea viene qui discusso identificandone i progressi a partire dai primi *building design systems* degli anni 70 sino alle più recenti proposte di grandi aziende di costruzioni, progettisti, ricercatori e aziende informatiche. Vengono trattate le diverse strutture logiche che vincolano le produzioni dei modelli, e le nuove possibilità predittive rappresentate dalle nuove dimensioni del BIM. Possibilità che non sempre corrispondono a un'effettiva consapevolezza da parte dei progettisti, e comunque appaiono ancora lontane dal raggiungere quella completezza e uniformità che la comunicazione commerciale al contrario esalta;
- **4.4 La diffusione di software e linguaggi di programmazione in Architettura.** Per ottenere un prospetto il più possibile ampio e neutrale sull'effettivo utilizzo di programmi informatici e linguaggi di programmazione all'interno dell'iter progettuale propongo un confronto tra i dati globali sull'interesse per i diversi strumenti in architettura raccolti tramite la piattaforma Google Trends, e le interviste di progettisti esperti in pratiche digitali. Un paragone che mostra chiaramente

- within the classification of models for architecture proposed by Rivka Oxman;*
- 4.2 The history of the computational curve. *This chapter is entirely dedicated to splines, the branch of representational methods that left its mark on architectural production related to the first digital turn. Here I reconstruct their history starting from the inception within the naval industry, describing the various contributions companies have made in automotive and aerospace industries, and the methodological evolution that has brought NURBS and subdivision surfaces into architectural firms. A pathway that can be extended to t-splines, a more recent method for representing surfaces that have already been used by several architectural studies, of which, however, use is now limited due to legal issues related to the market of software for architects and designers;*
 - 4.3 The building information model. *This chapter discusses the most widespread design paradigm in contemporary architectural design practice by identifying its progress starting from the first building design systems of the 1970s, up to what the latest definitions are that large construction companies, designers, researchers, and IT companies have put forward. It also discusses the various logical structures that limit the production of models, as well as new predictive possibilities represented by new proportions that BIM has taken on. These possibilities do not always correspond to actual awareness on the part of architects, and in any case, still appear far from achieving the completeness and uniformity that commercial communication otherwise praises;*
 - 4.4 The diffusion of software and programming languages in architecture. *To obtain a prospectus, as broad and neutral as possible, on the actual use of software and programming languages within the architectural design process, I propose a comparison between overall data regarding interest in various architectural tools collected through the Google Trends platform, and interviews with architects who have expertise in digital practices. This comparison demonstrates clearly across the board the speed at which different contributing figures were able to adopt advanced tools, now necessary for the development of new anticipatory capabilities for projects;*
 - 4.5 Architectural workflow and interoperability. *This subject developed out of and is in line with the testimonials of the architects interviewed, which describes the different approaches that BIM has to usage as well as the need to use an ever-increasing collection of tools, which must be able to establish concrete interoperability between them. This need is not so recent, and despite attempts, there are no solutions fully found in IFC models, which are, furthermore, not even close to being capable of understanding the algorithmic language of the most advanced models. A condition that has fostered the emergence of specific software packages created both by computer giants, as well as by small groups and even architectural practices, which propose and develop new open-source platforms useful for solving the problem;*
 - 4.6 Architecture and open-source tools. *The chapter describes the relationship that our profession has established with open-source, a definition that unites shared knowledge software products like Linux. Perfect examples of what Eric Raymond calls the bazaar approach, already alive in the landscape of architectural tools. A key feature in the success of Grasshopper, which in the space of a few years has formed an ecosystem of open-source tools such as Kangaroo, but also*

- l'eterogenea velocità che i diversi attori dimostrano nell'adozione di strumenti avanzati, oggi necessari per sviluppare le nuove capacità anticipatrici del progetto;
- *4.5 Il flusso di lavoro e l'interoperabilità.* Il tema viene sviluppato secondo le testimonianze dei progettisti intervistati, descrivendo il diverso approccio all'utilizzo del BIM così come la necessità di utilizzare una collezione di strumenti sempre più ampia, che devono poter instaurare tra loro una concreta interoperabilità. Una necessità non recente, ma che nonostante i tentativi non trova pienamente soluzione nei modelli IFC, poco o per nulla capaci di comprendere il linguaggio algoritmico dei modelli più avanzati. Una condizione che ha favorito il nascere di pacchetti specifici realizzati tanto da giganti dell'informatica, quanto da piccoli gruppi e addirittura studi di progettisti, che propongono e sviluppano nuove piattaforme *open-source* utili a risolvere il pesante problema;
 - *4.6 Architettura e strumenti open-source.* Qui viene descritto il rapporto che la professione ha instaurato con l'*open-source*, una definizione che accomuna programmi a sorgente aperta e come Linux. Perfetto esempi di quello che Eric Raymond definisce l'approccio del bazaar, già vivo nel panorama degli strumenti per l'architettura. Una caratteristica determinante nel successo di Grasshopper 3D, che nell'arco di pochi anni ha costituito un ecosistema di strumenti *open-source* come Kangaroo physics, ma anche per tanti altri applicativi che rappresentano oggi una valida alternativa ai programmi commerciali. Strumenti citati anche dagli intervistati, e che potrebbero negli anni conquistare sempre più spazio, garantendo maggiore libertà al progetto.

Capitolo 5 - I metodi di machine learning e l'architettura

- *5.1 Il machine learning.* Qui si introduce il tema del *machine learning*, diverso approccio allo sviluppo del *software* basato sull'abbondanza di dati e una nuova potenza di calcolo. Se ne ricostruisce l'evoluzione e il differenziarsi a partire dalla nascita negli anni 50, sino ad oggi. Una contemporaneità che Domingos distingue in cinque principali approcci, sviluppati negli anni a partire da statistica, biologia, neurologia, e adoperati oggi con diverse finalità. L'argomento viene quindi trattato nelle implicazioni anche etiche che induce sull'uomo e sulla società a partire dal pensiero di Floridi;
- *5.2 Il rapporto tra machine learning e architettura.* Nel ricostruire l'avvicinarsi dell'architettura verso l'adozione di questi metodi all'interno del progetto se ne descrivono i primi contatti già alla fine degli anni novanta, quindi l'avvento dei primi *solver* generici adottati oggi da un numero crescente di studi e le più recenti applicazioni di tecniche innovative sperimentate principalmente da ricercatori. Vengono trattati e discussi i risultati dalle prime ricerche orientate allo sviluppo di un modello architettonico comprensibile per la macchina, alla verifica di affidabilità di energetica, e alla configurazione di spazi interni. Viene quindi trattata l'applicazione di queste tecniche quali anima del manufatto architettonico, una strada percorsa da Sidewalk Labs a Toronto, e che mostra chiaramente la portata dei temi con cui l'architettura deve oggi confrontarsi;
- *5.3 La ricerca sul progetto di architettura e questioni aperte.* All'interno di questo ultimo capitolo volgo lo sguardo alla pratica professionale, testimoniando la fiducia

for many other applications that today represent a valid alternative to commercial software. Tools also mentioned by the interviewees, and which could conquer more and more space over the years, guaranteeing greater freedom to the project.

Chapter 5 - Machine learning methods and architecture

- 5.1 Machine learning. *Here I introduce the topic of machine learning, a different approach to software development based on the abundance of data and new computing power. Its evolution and differentiation are reconstructed from its birth in the 1950s up to today. A contemporaneity that Domingos distinguishes in five main approaches, developed over the years starting from statistics, biology, neurology, and used today for different purposes. The topic is then treated in the ethical implications that it induces on man and society starting from Floridi's thought;*
- 5.2 The relationship between machine learning and architecture. *In reconstructing the approach of architects towards the adoption of these methods within the architectural project, the first contacts are described already at the end of the nineties, therefore in the advent of the first generic solvers adopted today by a growing number of studies, and in the most recent applications of innovative techniques experimented by researchers. Researches aimed at the development of an understandable architectural model for the machine, the verification of energy reliability, and the configuration of interior spaces are treated and discussed. The application of these techniques is then treated as the soul of the architectural artefact, a path travelled by Sidewalk Labs in Toronto, and which clearly shows the extent of the themes with which architecture today has to deal with;*
- 5.3 The research on architectural design and open issues. *Within this last chapter, I look at professional practice, testifying the confidence of the interviewees in the contribution that machine learning will bring to architecture over the next ten years. A contribution that is still limited, and achievable according to strategies which, in the case of more advanced techniques, can be pursued by a limited number of actors who possess IT skills and familiarity with the data necessary to apply them. Here I emphasize the different approaches tested within several practices, reflecting in conclusion on the possible erosions that these techniques will cause within our profession, and on the expansion of responsibility that with them invests our role within society.*

VI. RESEARCH RELEVANCE

The research is aimed at reconstructing a panorama that is as neutral and concrete as possible on contemporary architectural design, who over the next few years, and already now, has to confront himself, not only with an increase in design complexity proportional to the skills supported by new tools, but also, and above all, with the different structures that these means and methods impose both on the project and architecture as a discipline.

Conditions that increase the possibilities of technocratic drifts already evident in the rise of new machine learning methods, which promise an erosion of our work according to the directions indicated by the technics. This imposes new awareness and responsibilities for architects, who can steer the project towards an increasingly

degli intervistati nel contributo che il *machine learning* porterà all'architettura nei prossimi dieci anni. Un contributo ancora limitato, e realizzabile secondo strategie che, nel caso di tecniche più avanzate, sono perseguibili da un numero ristretto di attori che possiedono le competenze, la capacità di calcolo e la familiarità con i dati necessari ad applicarle. Sottolineo qui i diversi approcci sperimentati all'interno degli studi, riflettendo in conclusione sulle possibili erosioni che queste tecniche provocheranno all'interno della nostra professione, e sull'ampliamento di responsabilità che con loro investe il nostro ruolo all'interno della società.

VI. DESTINATARI DELLA RICERCA

La ricerca sviluppata è rivolta a ricostruire un panorama il più possibile neutrale e concreto sulla progettazione architettonica contemporanea, che già adesso si deve confrontare, non soltanto con un incremento di complessità progettuale proporzionale alle capacità di indagine sostenute da nuovi strumenti, ma anche, e soprattutto con le diverse strutture che questi mezzi e metodi impongono tanto sul progetto nello specifico, quanto sull'architettura come disciplina. Condizioni che incrementano le possibilità di derive tecnocratiche già evidenti nell'ascesa di nuovi metodi di *machine learning*, strumenti che promettono un'erosione del nostro operare secondo le direzioni indicate dalla tecnica. Ciò impone nuove consapevolezze e responsabilità per i progettisti: possiamo orientare del progetto verso un approccio sempre più inclusivo, ma al contempo rischiamo di scendere in approcci prescrittivi, che tendono a fossilizzare il progetto. Un rischio particolarmente vivo nella massiccia diffusione del BIM, paradigma progettuale dai grandi vantaggi, che favorisce un'assimilazione del progetto di architettura all'apparato tecnico e un orientamento sempre più rivolto verso consegna e efficienza economica. A ciò va aggiunta la presenza di nuovi attori che contribuiscono con sempre maggior peso alla definizione dei progetti e del panorama globale dell'architettura, come le aziende di sviluppo software: produttori degli strumenti che utilizziamo nella qualità di consumatori. Non meno importante la diversa strutturazione degli studi nella qualità di imprese digitalmente distribuite e la pesante e pericolosa influenza che la comunicazione digitale impone sull'architettura, appiattendola alla moda. Fattori poco o per nulla trattati all'interno della letteratura scientifica e riviste scientifiche del settore, dove nel parlare delle possibilità digitali spesso si rincorrono opinioni entusiastiche sull'efficacia di metodi e non si affronta criticamente lo stato di salute del progetto di architettura, senza sviluppare un effettivo confronto tra processi, metriche, e progetti che assorbono con avidità modelli da altre discipline provocando derive che rischiano di segnare con maggior pesantezza i progettisti più giovani. Questo studio che vuole guardare in modo olistico al rapporto tra progetto e tecniche digitali, potrebbe quindi dimostrare un'utilità per i docenti di progettazione architettonica o di storia dell'architettura. Arricchendo l'insegnamento di esempi chiari su una problematica non ancora sufficientemente indagata dal punto di vista progettuale, storico e sociale e fornendo nuovi strumenti di comprensione utili per interpretare la contemporaneità.

inclusive results, but at the same time risk falling into prescriptive approaches, which risk fossilizing the project. A particularly strong risk in the massive diffusion of BIM, a design paradigm of great advantages, which favours the assimilation of architectural design to the technical apparatus and an orientation increasingly directed towards delivery and economic efficiency. To this, must be added the presence of new players who contribute with increasing importance to the definition of projects and the global panorama of architecture, such as software development companies: producers of the tools we use as consumers. No less important is the different structuring of firms as digitally distributed companies, and the heavy and dangerous influence that digital communication imposes on architecture, flattening it to fashion. Factors little or no dealt within the scientific literature, wherein talking about digital possibilities one often chases enthusiastic opinions on the effectiveness of methods, and do not critically address the state of health of architectural design, without developing an effective comparison between processes, metrics, and projects, that greedily absorb models from other disciplines, causing drifts that risk marking younger designers with greater heaviness. This study, which wants to look holistically at the relationship between design and digital techniques, could therefore prove useful for teachers of architectural design, or history of architecture, enriching the teaching with clear examples on a problem not yet sufficiently investigated from a architectural, historical and social point of view, and providing s with new tools, useful for interpreting the architectural contemporaneity.

- Alexander, C., 1964. *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge.
- Augé, M., 2007. *Tra i confini. Città, luoghi, interazioni*, Pearson Italia Spa, Torino.
- Bauman, Z., 2013. *Liquid modernity*, John Wiley & Sons, London.
- Carpo, M., 2013. *Digital Turn in Architecture 1992-2012*, John Wiley & Sons, London.
- Carpo, M., 2017. *The second digital turn: design beyond intelligence*, MIT press, Cambridge.
- Choi, H., Varian, H., 2012. Predicting the Present with Google Trends, *Economic Record*, vol. 88, pp. 2-9.
- Ciastellardi, M., 2009. *Le architetture liquide: dalle reti del pensiero al pensiero in rete*, LED Edizioni Universitarie, Milano
- Domingos, P., 2015. *The master algorithm: How the quest for the ultimate learning machine will remake our world*, Basic Books, New York.
- Eisenman, P., 2004. *Eisenman inside out: selected writings, 1963-1988*, Yale University Press, London.
- Farin, G., Hoschek, J., Kim, M.S., 2002. *Handbook of computer aided geometric design*, Elsevier, Amsterdam.
- Floridi, L., 2015. *The onlife manifesto: Being human in a hyperconnected era*, Springer Nature, New York.
- Foucault, M., 1966. *Utopies Et Hétérotopies*, tr. It, Moscati, A. 2004. *Utopie eterotopie*, Cronopio, Napoli.
- Fuller, R.B., 1969. *Operating manual for spaceship earth*. Estate of R. Buckminster Fuller.
- Galimberti, U., 2009. *I miti del nostro tempo*, Feltrinelli Editore, Milano.
- Gregotti, V., 1966. *Il territorio dell'architettura*, Feltrinelli, Milano.
- Lynn, G., 2013. *Folding in Architecture (1993)*, Academy Editions, London.
- Munari, B., 1981. *Da cosa nasce cosa: appunti per una metodologia progettuale*, Laterza, Bari.
- Negroponte, N., 1996. *Being digital*, Vintage Books, New York.
- Otto, F., Rasch, B., 1995. *Finding Form: towards an architecture of the minimal*, Axel Menges, Stuttgart.
- Oxman, R., 2006. *Theory and design in the first digital age*, Design studies, vol. 27, pp. 229-265.
- Reichlin, B., Tedeschi, L. 2010. *Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività tra barocco e informale*, Electa, Milano.
- Schumacher, P., 2011. *The Autopoiesis of Architecture, Volume I: A New Framework for Architecture*, John Wiley & Sons, London.
- Sennett, R., 2018. *Building and dwelling: ethics for the city*, Allen Lane, London.
- Venturi, R., 1966. *Complexity and contradiction in architecture*, The Museum of Modern Art, New York.





1. SOCIETÀ CONTEMPORANEA E ARCHITETTURA

- 1.1 INDAGINE SULLA CONTEMPORANEITÀ
- 1.2 DALLA GRIGLIA ALLA RETE
 - 1.2.1 L'ARCHITETTURA E LE RETI DELL'INFORMAZIONE
- 1.3 LA TECNICA E LA SOCIETÀ
- 1.4 LO SPAZIO NELLA CONTEMPORANEITÀ

Figura 1.1: Una visitatrice della National Gallery di Londra. (immagine Giuseppe Gallo, 2019)

1. SOCIETÀ CONTEMPORANEA E ARCHITETTURA

1.1 INDAGINE SULLA CONTEMPORANEITÀ

L'architettura è da sempre prerogativa della razza umana, con l'uomo si è evoluta alla ricerca di soluzioni sempre più articolate, in grado di assolvere a nuove funzioni, veicolando i nostri valori, riflettendo le aspirazioni delle nostre società. Le architetture prodotte da una civiltà sono quindi indissolubilmente legate alla stratificazione sociale, alla condizione umana in quel dato periodo storico e posizione geografica. Per questo, con il fine di interpretarne i valori e le necessità che stanno trasformando la pratica architettonica contemporanea e i prodotti dell'iter architettonico, è opportuno partire dalla condizione dell'uomo nel mondo contemporaneo.

Un mondo che Zygmunt Bauman, sociologo e filosofo Polacco, dichiara liquido, a causa della postmodernità, condizione da lui paragonata alla modernità liquida. La modernità è contraddistinta dall'esigenza del movimento, dalla velocità e da un processo di individualizzazione che ci spinge continuamente verso nuovi obiettivi, affamati di gratificazione. Bauman divide quindi la modernità in due fasi, una fase solida oramai passata, e una liquida, quella attuale: durante la prima fase, solida, tutto era dato come una solida costruzione, esisteva una struttura della società distinta in classi, segnata da regole, al contrario, la modernità liquida ha perso struttura, categorie e gerarchie, tutto può essere modificato artificialmente e per questo tutto viene rimodulato di continuo, non esistono più contorni nitidi e fissati (Bauman, 2013).

L'uomo moderno è impegnato in una costante corsa in vista di una gratificazione mai appagata, ogni successo è semplicemente una tappa verso un orizzonte lontano, nella modernità liquida questa condizione è esasperata dalla consapevolezza che non esiste uno stadio finale da raggiungere, ma che tutti viviamo in una continua ricerca di affermazione individuale e non collettiva, questo è dovuto proprio alla destrutturazione della società, (Deleuze e Guattari, 1976) che porta alla disgregazione dell'ordine precedente e alla rottura delle sue barriere. Alle vecchie classi sociali della prima modernità che hanno animato il secolo scorso vincolando e tutelando i propri membri, si sostituisce l'assenza di strutture e di regole, non ci riconosciamo più in una classe sociale, siamo più liberi che mai di definire la nostra esistenza. Siamo al contempo gli unici fautori del nostro destino, tutte le responsabilità sono sulle nostre spalle e ciò ha alimentato enormemente l'individualismo, spetta al singolo il compito di trovare il proprio posto nella società, e così come viene insegnato, la vita è piena di problemi che vanno risolti da soli: sfide che vanno raccolte con coraggio. Allo stesso modo la malattia, la mancanza di lavoro, l'incapacità di mantenere uno stile di vita adeguato, diventano

Figura 1.1.1: I moduli di Hyperloop che permetteranno ai viaggiatori di spostarsi tra nazioni a velocità superiori ai 1.200 km orari. (Lo Campo, 2019)



colpe personali. La velocità di movimento insinua nella modernità liquida una diversa percezione dello spazio e del tempo, ogni distanza infatti può essere tradotta nel tempo necessario per attraversarla, oggi più che mai, non è importante che Roma disti da Londra 1.500 km, ma che sia possibile coprire questa distanza in poco meno di due ore. Il fenomeno iniziato con la diffusione dei primi mezzi di trasporto meccanici è incrementato enormemente con la democratizzazione del trasporto aereo, e raggiungerà probabilmente nuovi apici grazie a sistemi di trasporto umano in fase di sperimentazione come l'Hyper Loop, un super treno in grado di raggiungere 1.200 Km orari, questo nuovo mezzo permetterà di coprire la distanza Torino-Milano in 7 minuti, figura 1.1.1 (Lo Campo, 2019). Come nel passato, il tentativo dell'uomo è quello di abbattere le distanze, il sogno è quello di annullare la resistenza dello spazio, di renderlo irrilevante, arrivando però ad un cambio di scala che ci proietta tutti in una prospettiva globale.

Il cambio di scala è ancora più evidente se guardiamo ai vorticosi mutamenti che la società della comunicazione ha favorito e il fenomeno della globalizzazione. Una rivoluzione di rapporti tra globale e locale che si è maturata in seno a una delle maggiori crisi socio economiche a memoria d'uomo: quando nel 2008 ogni settore economico a partire dalla finanza ha dovuto reinventarsi per rispondere alla crisi, trovando nuovi equilibri, cercando nuove opportunità globali, in un pianeta sempre più piccolo. Quello della globalizzazione è un tema molto sentito sin dall'inizio del millennio, su giornali e televisioni si dibatte, a volte abusando del termine, di quanto la globalizzazione sia pericolosa o al contrario di come sia una grande opportunità per la nostra economia. Per definizione con il termine globalizzazione si intende il "fenomeno di omologazione, di integrazione e di interdipendenza delle economie e dei mercati internazionali, uniformazione di modalità produttive e di prodotti su scala mondiale", un fenomeno che Bauman (2017) collega alla compressione dello spazio e del tempo, questa influisce sul modo in cui la società si organizza e definisce la sua struttura e

le sue relazioni. La liquidità è una caratteristica permeante della globalizzazione, che agisce su ogni scala delle relazioni economiche e personali generando effetti contrastanti: da un lato unendo e uniformando, dall'altro dividendo e creando nuove distinzioni, in una polarità dove globale è sinonimo di libertà di movimento e nuove relazioni mondiali, locale di una ristretta mobilità, limitata al territorio di appartenenza, così:

La mobilità assume al rango più elevato tra i valori che danno prestigio e la stessa libertà di movimento, da sempre una merce scarsa e distribuita in maniera ineguale, diventa rapidamente il principale fattore di stratificazione sociale dei nostri tempi. (Bauman, 1998, 3)

Tutto e tutti sono in movimento, fisicamente e virtualmente, non solo merci e persone, ma anche informazioni, la società richiede il movimento, l'immobilità non è una possibilità, ciò che distingue gli individui è l'estensione del movimento di cui sono capaci. Così, chi può abbandona il locale per proiettarsi in una dimensione sempre più globale, chi non è libero di muoversi resta limitato alla dimensione locale. La diversa capacità di movimento genera ineguaglianze: essere locali significa non essere in grado di dialogare su una dimensione globale in cui si decidono le sorti degli eventi e dello spazio. Questo vale anche per le imprese, che dipendono sempre meno da fattori locali come i lavoratori, ma sono vincolate sempre di più agli investitori, i quali possono svolgere il loro ruolo indipendentemente dalla loro posizione geografica. I lavoratori al contrario, nonostante facciano parte dell'impresa e siano attivamente coinvolti nella fase produttiva, non hanno alcuna possibilità di intervenire sulla gestione. La condizione del lavoratore non è diversa da quella del cittadino contemporaneo, inserito in un contesto su cui può intervenire sempre meno, perché le decisioni non dipendono dalla comunità che abita il luogo, ma da fattori esterni e lontani dalla realtà locale. I centri decisionali, insieme alle motivazioni che determinano le decisioni, si distaccano sempre dai vincoli territoriali, divincolandosi da doveri o obblighi sociali, in questo senso la libertà di movimento va intesa come assenza di responsabilità.

È in atto una profonda mutazione nel ruolo del lavoro, come dimostrato anche da Castells (1996) che descrive il periodo che stiamo vivendo come postindustriale, e legge lo spostamento dell'occupazione verso l'economia dei servizi. Se già con la prima modernità il lavoro diventa mobile, è pur sempre legato ad un ordine costruito, progettato secondo principi razionali, viene visto come uno strumento per migliorare le sorti dell'umanità, con il fine ultimo di ordinare la società. Al contrario durante la seconda modernità ci si è resi conto che il mondo non è così facilmente ordinabile e il lavoro ha perso parzialmente questa valenza ordinatrice: non esiste uno stato di perfezione ultima da ottenere, si è anzi compreso che gli sforzi verso modelli di crescita continua possono generare conseguenze non previste che ci dirottano rovinosamente nella direzione opposta. Capitale e lavoro sono sempre meno dipendenti, i sistemi del lavoro sono diventati gradualmente sempre più elastici, mentre prima capitale e lavoro erano vincolati al suolo, immobilizzati, adesso il lavoro può essere reso sempre più incorporeo, svolto da qualsiasi luogo del globo e da sempre meno persone. Questa

condizione accentua il peso del capitale su quello del lavoro, quest'ultimo ha perso la centralità che aveva nel periodo di modernità solida, tanto che cambiare lavoro più volte durante la propria esistenza non è più anomalia ma regola, ci spostiamo molto più facilmente da un lavoro all'altro, da un luogo all'altro, impegnati in continui traslochi, abbiamo guadagnato una velocità di movimento senza precedenti nella storia, ma abbiamo perso definitivamente la speranza di poter arrivare ad una sistemazione definitiva. Il concetto di mobilità si lega nella contemporaneità a quello di consumo, tutti siamo potenzialmente consumatori, in gradi diversi: l'archetipo della vita liquida è lo shopping, in ogni frangente della nostra esistenza, in ogni situazione, stiamo in realtà facendo shopping, scegliamo di acquistare qualcosa piuttosto che qualcos'altro. La vita risulta modellata sul paradigma del consumatore, anche nella ricerca di nuovi e migliori esempi e ricette di vita, per affrontare ogni situazione, dal lavoro alle relazioni intime, non facciamo altro che shopping, si tratta di un mondo che richiede la capacità di essere acquirenti infaticabili, il desiderio ha sostituito il bisogno ed è una forza infinitamente più volatile. Tramite il consumo siamo capaci di soddisfare i nostri desideri entro il grado di mobilità che possediamo, questo crea una differenza sostanziale nel modo in cui viviamo lo spazio:

Per il primo mondo, il mondo di chi è mobile su scala globale, lo spazio ha perduto la sua qualità di vincolo e viene facilmente attraversato sia nella sua versione "reale" sia nella sua versione "virtuale". Per il secondo mondo, quello di coloro che sono legati a una località, di coloro cui è vietato muoversi, costretti perciò a sopportare in modo passivo qualsiasi cambiamento che il luogo cui sono legati è costretto a subire, lo spazio reale va rapidamente restringendo. (Bauman, 1998, 27)

Gli uomini del primo mondo non conoscono ostacoli, superano facilmente confini e hanno facilmente accesso agli spazi e virtuali e fisici della globalità, vivono una dimensione cosmopolita e i confini statali sono sempre aperti per loro, come per le merci e la finanza. Al contrario, gli uomini del secondo mondo sono legati ad un luogo e da lì non possono muoversi, esistono, per loro, limiti al movimento rappresentati dai controlli all'immigrazione, leggi su residenza e tolleranza zero, veri e propri fossati che li relegano nei luoghi di origine. Entrambi sentono la necessità di muoversi, diventando quelli che Bauman distingue rispettivamente in turisti e vagabondi:

I turisti stanno in un luogo o si muovono come vogliono. Abbandonano un porto quando nuove opportunità, non ancora sperimentate, chiamano altrove. I vagabondi sanno che non staranno a lungo in un posto, per quanto possa loro piacere, perché dovunque si fermano non sono accolti con entusiasmo. I turisti si muovono perché trovano che il mondo alla loro portata (globale) è irresistibilmente attraente, i vagabondi si muovono perché trovano che il mondo alla loro portata (locale) è inospitale, fino ai limiti della sopportazione. I turisti viaggiano perché lo vogliono; i vagabondi perché non hanno altra scelta sopportabile. (Bauman, 2010, 13)

L'accorciamento del tempo necessario per spostarsi nello spazio influisce sul significato del tempo, inibisce la sua capacità di conferire valore: se ogni luogo è raggiungibile nello stesso tempo, nessun luogo ha un valore speciale. Così con la nostra percezione di

tempo e spazio cambiano anche il nostro rapporto con la geografia, il clima, e quindi il paesaggio: esiste, come ricorda Marc Augè, una dimensione psicologica, intellettuale, affettiva del paesaggio, storicamente tramandata dalla letteratura, di cui ognuno di noi può avere un'esperienza sempre più labile. La crisi del paesaggio è per Marc Augè legata al cambiamento di scala che sta avvenendo nella nostra percezione del mondo a causa dell'accelerazione dei trasporti e alla quasi istantaneità di trasmissione delle informazioni (Bertelli, 2016).

Autostrade, aerei e linee ferroviarie ad alta velocità contribuiscono alla compressione dello spazio e del tempo, fornendoci visioni del mondo sconosciute alle generazioni precedenti, creando nuovi paesaggi che contribuiscono a dare forma e funzione ai luoghi in modi inimmaginabili fino a qualche decennio fa. Gregotti porta ad esempio una celebre architettura progettata da Santiago Calatrava e inaugurata nel 2008, figure 1.1.2 e 1.1.3, la Stazione TAV Medio-Padana di Reggio Emilia: nonostante la riconoscibilità e l'identità del suo aspetto, assoluto *landmark* del paesaggio, la grande opera è aliena al contesto e ai flussi tradizionali di mobilità della provincia agricola Emiliana, un frammento di un'altra società, di un'altra velocità, estranei al territorio con cui dovrebbe relazionarsi. Guardarla viaggiando su un treno ad alta velocità o in macchina a 130 km orari significa dover riallacciare fili e ritrovare significati che non hanno relazione con il paesaggio, ed è paradossale, come è stato raccontato dai giornali, che pur essendo un luogo di passaggio per migliaia di persone al giorno, non sussista la densità minima necessaria per far funzionare un'edicola o un bar. Non è necessario, però, muoversi fisicamente per sentire il restringimento del pianeta, ci bastano una connessione a internet e un computer per scaricare gratuitamente il programma Google Earth, allora potremo visitare qualsiasi città senza la necessità di percorrerne le strade, annullando il tempo necessario a raggiungerla, grazie ad innumerevoli immagini raccolte da satelliti.

Così la quinta facciata, diventa la prima disponibile in ordine di tempo, la più facile da raggiungere e conoscere, tetti e coperture diventano sempre più importanti e diffondono una nuova immagine del paesaggio globalmente.



Figura 1.1.2 (in basso a sinistra): La stazione TAV Medio-Padana di Reggio Emilia e la sua relazione al contesto. (foto Carlo Vannini)



Figura 1.1.3: I binari della stazione TAV di Reggio Emilia. (foto Roberto Tedeschi, 2014)

Figura 1.1.4: Vista del centro di Londra e dei suoi grattacieli. (foto Joao Barbosa)



Il restringimento del pianeta è inoltre evidente nella città globale, dove il centro è diventato un disordinato bricolage di edifici iconici (Schumacher, 2018) che difficilmente si relazionano tra loro e non sono in grado di instaurare un dialogo con il paesaggio cittadino, non tenendo in considerazione la scala della città e quella umana. La Londra contemporanea alla Brexit ne è, a mio avviso, un perfetto esempio: un centro finanziario affollato da alcuni dei più grandi grattacieli d'Europa, spesso sedi di importanti banche e corporazioni internazionali, con un paesaggio segnato da edifici cresciuti senza alcuna logica collettiva, figura 1.1.4, prodotti con l'intenzione di primeggiare sul contesto. Qui lo spazio è quasi unicamente finalizzato al lavoro, e le attività commerciali si occupano principalmente di fornire prodotti e servizi ai lavoratori,

lo spazio pubblico è stato parzialmente sostituito da spazi privati aperti al pubblico, sviluppando uno degli ambienti urbani di maggiore densità al mondo nelle giornate lavorative, deserto nei fine settimana. Al contempo, ai limiti della città globale si diffonde un paesaggio in via di urbanizzazione, da tempo la città ha superato le sue mura, adesso si espande come mai precedentemente lontana dal suo centro storico, lungo coste, fiumi, vie di comunicazione, secondo strutture logiche apparentemente inesistenti, per legarsi alle sue città vicine ben oltre la scala regionale.

La perdita di struttura e l'incremento dell'individualismo modificano i nostri timori legati all'evoluzione della società: se la prima parte della modernità è caratterizzata dalla paura della distopia Orwelliana, ovvero un mondo diviso fra una maggioranza controllata e una minoranza di controllori, obbligati a sottostare a una continua supervisione, tanto pressante da raggiungere velocemente lo stato di oppressione con il timore di un progressivo aumento del controllo, di totalitarismi, di sorveglianza e repressione; Al contrario la modernità liquida ha portato con se il fenomeno opposto: in passato si sentiva la necessità di difendere il privato dal pubblico, oggi è il privato che colonizza il pubblico, la sfera pubblica è invasa da questioni private, queste vengono sviscerate in pubblico, ci si è allontanati dal pubblico, perché la conquista dell'autonomia individuale è possibile soltanto all'interno di una società libera da costrizioni superiori. Così l'individualismo riduce l'*agorà* a interessi privati, ci muoviamo verso vantaggi sempre più personali, lontani da concetti come il bene comune e l'interesse collettivo, non siamo più cittadini, ma sempre più estranei. Questo si ripercuote sul modo in cui viviamo la città e gli spazi pubblici che da sempre hanno significato l'incontro con l'estraneo: in città gli estranei si muovono tra noi, con noi risiedono onnipresenti, ma basta la loro presenza per generare incertezza, l'estraneo è per definizione un individuo mosso da intenzioni che possiamo ipotizzare ma di cui non possiamo essere sicuri, è sempre un essere singolare, "strano", del tutto dissimile a noi gente comune. Eppure quella di condividere i propri spazi con degli estranei è una necessità per chi vive in città, per questo motivo sentiamo la necessità di sperimentare un *modus vivendi* capace di alleviare la nostra sensazione di incertezza, lo facciamo ogni giorno, scegliendo deliberatamente o in maniera implicita come comportarci, quali percorsi seguire, quali persone frequentare. Una possibile scelta è quella di rinunciare del tutto a vivere con ciò che è estraneo, il fenomeno sempre più diffuso nella città contemporanea è la *mixofobia*, questa si manifesta attraverso la tendenza a costruire isole di affinità e uguaglianze, allontanando il più possibile l'estraneo: quello che Richard Sennett (2007) definisce il "sentimento del noi" esprime il desiderio di essere simili fornendo l'occasione per "evitare la necessità di guardarsi più a fondo, attraverso gli altri" evitando la comprensione, le negoziazione e la capacità di creare compromessi. Come afferma il sociologo "Il desiderio di evitare la partecipazione è innato al processo di formare un'immagine coerente della comunità. Il sentimento comune unisce senza che si verifichi l'esperienza comune, in primo luogo perché gli individui sono intimoriti dalla partecipazione, impauriti dai pericoli e dalle sfide, spaventati dalla sofferenza" (Sennett, 1992). Scegliere la fuga guidati dalla *mixofobia*, porta con se pericoli insidiosi, più questa "strategia" è autoinflitta e meno diventa efficace, portandoci a dis-imparare l'arte del negoziare significati condivisi e una possibile modalità di convivenza reciprocamente gratificante. Avviene così che, avendo dimenticato le abilità necessarie a condividere la

differenza, l'apprensione di fronte ad un incontro faccia a faccia aumenta, incrementando le distanze con il diverso. Questa pulsione ha delle ripercussioni sul modo in cui affrontiamo lo spazio, influenza le nostre scelte e quindi l'ambiente costruito, un esempio lampante sono quelle che in America chiamano le *gated communities*, letteralmente comunità chiuse da una porta, comprensori residenziali recintati, protetti da sorveglianti, anche armati, telecamere a circuito chiuso e allarmi, figure 1.1.5 e 1.1.6. I cittadini più abbienti negli Stati Uniti e in Europa, si rinchiodano in queste gabbie dorate, pagando cifre esorbitanti con la speranza, invana di non mischiarsi con degli estranei. Neppure all'interno di comunità simili si è però al sicuro, dalle strade deserte del comprensorio qualcuno può sporgersi nel nostro giardino, guardarci alla finestra, addirittura suonare al campanello: chiunque potrebbe essere un intruso mal intenzionato, la tecnologia informatica e delle telecomunicazioni ci hanno permesso di scambiare messaggi e informazioni digitalmente con la quasi totalità delle persone che conosciamo, è più facile scambiarsi i messaggi su un social network come Facebook o scriversi su un sistema chat come Whatsapp che incontrarsi in un luogo fisico: ogni visita quindi può essere adeguatamente anticipata. L'inaspettato suono del citofono è un evento straordinario, messaggero di un potenziale pericolo. Come riportato da una ricerca dell'università di Glasgow che ha studiato il fenomeno delle *gated communities* in Inghilterra: «Non si evidenzia alcun apparente desiderio di entrare in contatto con la comunità della zona delimitata, ... Nelle *gated communities* il senso di comunità è meno sentito che altrove.» (Atkinson e Blandi, 2003, 4).



Figura 1.1.5: Una guardia ai cancelli della gated community di Bandar Damai Perdana in Malesia (foto di pubblico dominio)

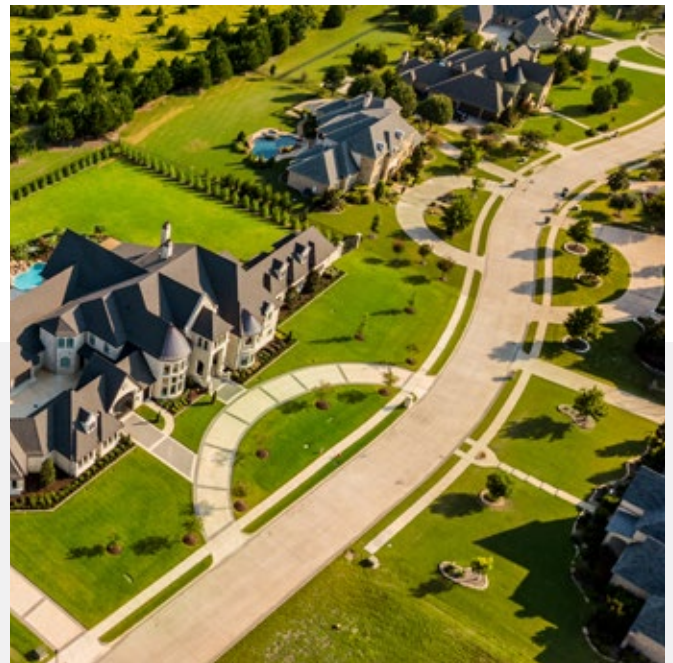


Figura 1.1.6: Una gated community di lusso nella città di Houston in Texas. (foto Daniel Barnes, 2017)

1.2 DALLA GRIGLIA ALLA RETE

Il pensiero di Bauman è in linea con quello di Mark Taylor (2001), che legge a partire dalla seconda metà del 900 un processo di costante ed esponenziale metamorfosi, avviatosi al termine della seconda guerra mondiale, quando le organizzazioni industriali moderne hanno iniziato a trasformarsi, soprattutto grazie all'adozione di tecnologie dell'informazione e della comunicazione. L'ampia diffusione dei media sul finire degli anni 60 ci ha quindi portato a definire il tema della postmodernità, da allora le tecnologie telematiche ed elettroniche hanno raggiunto nuovi gradi di sofisticazione ed efficienza, con un punto di svolta all'inizio degli anni 90, in concomitanza con la caduta del muro di Berlino e la nascita di internet. Il 1989 ci ha portato infatti da una società basata sull'industria, a quella contemporanea basata sull'informazione: così la globalizzazione ha preso il posto della guerra fredda, lo status sociale del muro, quindi della divisione, ha lasciato spazio a quello aperto dell'integrazione e del web, non più fondato su trattati che strutturano i rapporti, ma su accordi.

Taylor, consapevole dello stretto legame fra architettura, società e cultura, esamina tre grandi architetti del novecento: Mies van der Rohe, Robert Venturi e Frank Gehry, riuscendo a leggere nelle opere e nel pensiero dei progettisti, trasformazioni analoghe a quelle che da una società industriale ci hanno portato alla cultura dei media e quindi a quella della rete. I progetti di Mies e il concetto di griglia sono il punto di partenza dell'analogia di Taylor: come l'architettura di Mies van der Rohe mira a un'obiettività, lontana dall'inclinazione personale e dall'invenzione, così la società moderna è divisa in classi, i ruoli e le gerarchie sono definite, esiste quindi la volontà razionale di organizzare lo spazio in modo che rifletta le aspirazioni del dopoguerra. La griglia la risposta adottata da Mies nel progetto dell'Illinois Institute of Technology, figura 1.2.1, per organizzare gli spazi e le architetture in modo autonomo e auto riferito, la conformità alla griglia è evidente anche nel Seagram Building di New York, arretrato rispetto ai vicini edifici per generare una gerarchia urbana, incarna nella sua configurazione i valori della razionalità e della semplicità propri della società industriale moderna.

Una prima mutazione del ruolo della griglia in architettura è imputabile al pensiero di Robert Venturi (Venturi et al., 1972), che con *Learning from Las Vegas*, figura 1.2.2, anticipa la condizione postmoderna di Lyotard, criticando le semplificazioni dell'architettura moderna, incapace di accettare la complessità, colpevole di favorire la separazione e l'esclusione di elementi, piuttosto che l'inclusione di requisiti differenti e la loro relativa sovrapposizione. Venturi rifiuta la griglia come proposta urbanistica, scegliendo un approccio più tollerante, più adatto alla modernità complessa: così forme e strutture all'apparenza astratte diventano segni in grado di riflettere e comunicare valori estetici, in un mondo governato dai media dove tutto è immagine (Taylor, 2001).

Inizia con Venturi il distacco da una cultura a griglia, emergono nuove risposte a scenari sempre più complessi, cambia l'approccio al progetto e l'astrazione geometrica, necessaria per la rappresentazione e la configurazione dell'architettura, diventa un mezzo per creare gli spazi dell'abitazione e della comunicazione, traducendo le sue configurazioni spaziali in dimensioni prettamente sociali e culturali. Inizia la transizione

Figura 1.2.1:
Fotomontaggio del
progetto per l'Illinois
Institute of Technology
di Chicago, 1939-41.
(DIGITAL IMAGE © The
Museum of
Modern Art/Scala)



Figura 1.2.2: Las Vegas,
descritta da Venturi come
città archetipo della
condizione postmoderna.
(Venturi et al., 1972)



Figura 1.2.3: Vista aerea
del museo Guggenheim
di Bilbao in relazione
al contesto urbano e al
fiume. (foto Fondazione
museo Guggenheim di
Bilbao)



che ci condurrà verso una geografia di relazioni (Ciastellardi, 2009), nuovo modello di costruzione ambientale, comunicativa e architettonica. Non siamo ancora arrivati alla rete come fenomeno dell'informazione *on-line*, intanto però, continua l'evoluzione all'interno delle reti sociali, dell'architettura e del design, sino ad un'ulteriore svolta che Taylor paragona alle architetture di Frank Gehry. Il progettista trova nel celebre Guggenheim Museum di Bilbao, figura 1.2.3, l'occasione per deformare ulteriormente la griglia, creando strutture complesse, un'ulteriore evoluzione verso la rete, ottenuta consentendo nuovi gradi di libertà rispetto alla razionalità euclidea. La griglia muta e si espande, adattandosi al contesto, integrandosi ad un sistema di comunicazioni formato da strade, linee ferroviarie, e le sponde del vicino fiume. Il risultato è una nuova geografia di relazioni, dove il rigore lascia spazio all'elasticità, permettendo configurazioni più articolate, paragonabili alla condizione postmoderna accelerata dalla caduta del muro di Berlino e dalla prima diffusione di internet. Si arriva quindi a un momento della complessità che può essere inteso come il passaggio da un mondo strutturato in base a griglie verso un mondo organizzato in reti. Questa differente strutturazione segue la logica delle connessioni multiple, mutevoli, in grado di autodefinirsi reciprocamente, senza margini di controllo. Il proliferare delle connessioni, l'informatica e il digitale accelerano ogni cambiamento, emergono nuove configurazioni e scenari, quelli che prima sembravano solidi e sicuri muri diventano degli schermi permeabili, attraverso cui le correnti più eterogenee possono raggiungerci.

Per proseguire ulteriormente il pensiero di Taylor è possibile esaminare il lavoro di altri progettisti che hanno ulteriormente contribuito a sciogliere le griglie in reti e campi, Matteo Ciastellardi (2009) identifica un'ulteriore possibile analogia nelle architetture liquide nel cyberspazio di Marcos Novak (1991), figura 1.2.4. Volendo definire le architetture liquide è necessario introdurre il concetto di cyberspazio, ovvero una visualizzazione spaziale di informazioni generata da un sistema di connessioni possibili grazie alle reti di comunicazione, che permettono la compresenza e l'interazione di diversi utenti, la simulazione di realtà virtuali e fisiche, l'acquisizione di dati remoti e il controllo tramite la tele presenza, insieme alla totale integrazione con prodotti e ambienti intelligenti nello spazio reale. Il cyberspazio porta con sé un nuovo modo di interazione con l'informazione computerizzata, se in una prima fase queste informazioni erano esterne rispetto agli utenti, adesso gli utenti fanno parte dell'informazione, si immergono in una nuova dimensione, e per farlo devono essi stessi essere tradotti in informazione, ridotti a *bits* e rappresentati all'interno del sistema. Questa nuova condizione, possibile grazie alla tecnologia digitale, separa dati e informazioni dalla forma, e ci pone, attraverso la simulazione, sullo stesso piano di oggetti e processi, egualmente rappresentati grazie al sistema binario, creando nuove mappe e quindi permettendo la scoperta di relazioni precedentemente invisibili (Heim, 1994).

Il *cyberspace* è un habitat per l'immaginazione: se fino ad ora la nostra interazione con i computer ha seguito il pensiero lineare, nel *cyberspace* è necessario procedere secondo il pensiero poetico: così come per comprendere la poesia è necessario superare la corrispondenza 1 ad 1 tra parola e significato, per vivere il *cyberspace* dobbiamo essere in grado di leggere relazioni, sovrapposizioni di significati che si generano dal

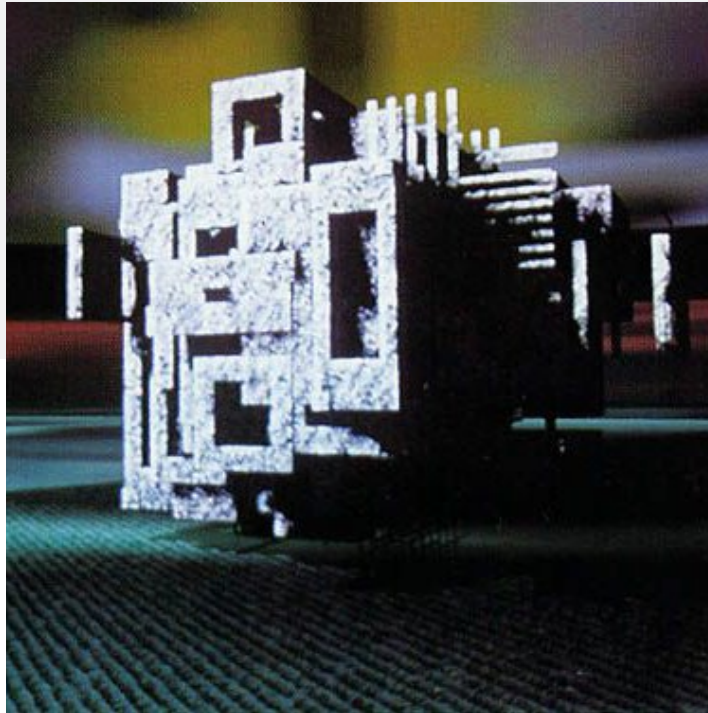


Figura 1.2.4: Modello delle architetture liquide nel ciber spazio. (Novak, 1990)

nulla, crescono, interferiscono fra loro e spariscono per riapparire nuovamente. Per Novak la metafora chiave per riassumere il *cyberspace* è "*being there*" letteralmente "essere lì", dove "essere" e "lì" sono variabili definite dagli utenti, in un sistema dove esistono il minor numero necessario di restrizioni, così da permettere la massima facilità di implementazione, e la maggiore possibilità di connessioni, tanto che qualsiasi cosa può essere combinata ad un'altra, fino a farla aderire in un nuovo significato: ciò implica che spetti adesso al singolo utente discernere quali sono le implicazioni di ogni nuova combinazione, in ogni singola circostanza. Il *cyberspace* è un mondo inventato, che ha necessità di soggetti, oggetti, leggi e processi, ma essendo una nostra creazione, è possibile reindirizzare i flussi in molteplici rappresentazioni, così svaniscono i confini tra le cose, i dati che rappresentano un utente possono essere reindirizzati e combinati con i dati che rappresentano un oggetto, generando una nuova rappresentazione precedentemente inesistente (Grosz, 2001). Nel ciber spazio la forma è governata dalla rappresentazione: i dati sono un flusso binario a cui è data una forma tramite uno schema di rappresentazione, così l'informazione emerge dall'interazione di dati e schemi, differenti schemi permettono a diverse correlazioni di manifestarsi dalla stessa struttura di dati, così l'apparenza è una conseguenza di molteplici schemi sovrapposti tra loro. La transizione dallo spazio fisico al ciber spazio, dalla prosa alla poesia, dallo statico al dinamico, dal passivo all'attivo, dal definito al fluido, può essere compresa facendo un'analogia con quello sforzo umano che da sempre è volto a combinare scienza e arte, spirituale e materiale, contingente e permanente, ovvero l'architettura. Il requisito primario dell'architettura è che possa essere abitata, la scultura al contrario può essere osservata e non ci permette di abitarla. Proprio come con una scultura, quando interagiamo con i computer adesso, ci interfacciamo con uno spazio che nonostante le più complesse visualizzazioni informatiche, possiamo soltanto osservare, il ciber spazio al contrario è per definizione un luogo in cui possiamo entrare, è indubbiamente

uno spazio architettonico, al punto che non esiste cyberspazio senza architettura. È quindi in atto, per Novak, un profondo mutamento nel modo in cui l'architettura viene concepita e percepita, un cambiamento che va oltre le potenzialità del CAD, o nuove invenzioni formali, il cyberspazio codifica il sapere architettonico secondo nuove possibilità, ogni informazione, ogni dato può diventare architettonico e abitabile. Le stesse nozioni di città, piazza casa, infrastruttura, vengono permanentemente estese, La città tradizionalmente continua e luogo di prossimità fisica diventa la città discontinua di una comunità intellettuale e culturale, la sua architettura slitta verso una struttura fatta di relazioni, connessioni e associazioni che formano legami liquidi tra loro, nelle parole di Novak:

Cyberspace is liquid, liquid cyberspace, liquid architecture, liquid cities. Liquid architecture is more than kinetic architecture, robotic architecture, an architecture with fixed parts and variable links. Liquid architecture is an architecture that breathes, pulses, leaps as one form and lands as another. Liquid architecture whose form is contingent on the interest of the beholder; it is an architecture that opens to welcome me and closes to defend me; it is an architecture without doors and hallways, where the next room is always where I need it to be and what I need it to be. Liquid architecture makes liquid cities, cities that change on the shift of a value, where visitors with different backgrounds see different landmarks, where neighbourhoods vary with ideas held in common, and evolve as the ideas mature or dissolve. (Novak, 1991, 253)

L'autore estende il significato di architettura liquida oltre il cyberspazio con un'analogia ai culti animisti: così come nell'animismo le entità hanno degli "spiriti" che guidano i loro comportamenti, allo stesso modo l'architettura liquida è animata da entità che la modificano di continuo nella forma, tanto che ogni particolare sembianza è momentanea e perde di valore. Questo fattore è di enorme importanza per l'architettura e per il progettista, che per la prima volta nella storia è chiamato a progettare non l'oggetto, ma i principi tramite cui l'oggetto viene generato e si evolve nel tempo: l'architettura liquida richiede più che semplicemente delle variazioni sul tema, al contrario, necessita l'invenzione di qualcosa vicina ad una tradizione di istanze, non più un edificio, ma un continuum progettuale che si evolve nello spazio e nel tempo.

1.2.1 L'ARCHITETTURA E LE RETI DELL'INFORMAZIONE

Sin da quando l'uomo è diventato stanziale ha sentito la necessità di raccogliere e tramandare il sapere per creare una cultura collettiva e condivisibile, quella fase, che coincide con il passaggio dalla preistoria alla storia, ma anche la nascita del diritto, segna l'avvio del nostro rapporto con l'informazione, e con le tecnologie adottate per la registrazione, la conservazione e la comunicazione dell'informazione (Floridi, 2014). Una relazione incredibilmente viva nella contemporaneità, e a cui l'architettura ha dato un contributo determinante e duraturo: l'esistenza delle prime biblioteche è documentata nelle città stato del vicino oriente antico, e durante il medioevo, quando la conoscenza viene raccolta e custodita all'interno di costosissimi manoscritti, le biblioteche,

figura 1.2.1.1, diventano nodi di vere e proprie reti del sapere: la conoscenza è organizzata e disponibile per monaci e studiosi che hanno il privilegio di accedere fisicamente all'interno di biblioteche. Questo tipo di informazione viaggia lentamente da un nodo all'altro: all'interno di una biblioteca è possibile copiare i libri che dopo mesi o anni saranno disponibili in altre biblioteche. Durante i secoli, il ruolo di questa tipologia architettonica è cambiato, seguendo i diversi "formati" adottati dall'umanità per conversare ed organizzare il sapere, le diverse tipologie di griglie con cui abbiamo organizzato la nostra cultura, e le nuove velocità nella diffusione del sapere: dall'invenzione della stampa all'illuminismo, sino alla multimedialità che ha reso necessario l'utilizzo di interfacce digitali per la fruizione dell'informazione. Le informazioni che una volta dovevamo registrare con pazienza all'interno di tavolette d'argilla o libri, oggi vengono raccolte all'interno di *database*, generiche collezioni di dati che registriamo secondo logiche matematiche binarie. Nonostante la loro incredibile capacità, i *database*, per quanto accurati, mantengono caratteristiche di rappresentazione, modelli che comprimono la realtà secondo una logica discontinua e non lineare, questo ci forza ad una visione del mondo come un sistema spaziale di dati piuttosto che in un continuo temporale. Se la teoria della relatività prima e la fisica quantistica dopo, ci hanno portato ad abbandonare la presunta verità di spazio e tempo come contenitori di entità separati l'uno dall'altro (Rovelli, 2014), oggi i *database* schiacciano il tempo nella categoria dello spazio, tanto è vero che il database è stato definito come l'opposto della narrazione (Barker, 2012). Una caratteristica di cui



Figura 1.2.1.1: La Sala Vaccarini della Biblioteca Ursino Recupero di Catania. (foto Danilo Pavone, Ibam CNR)

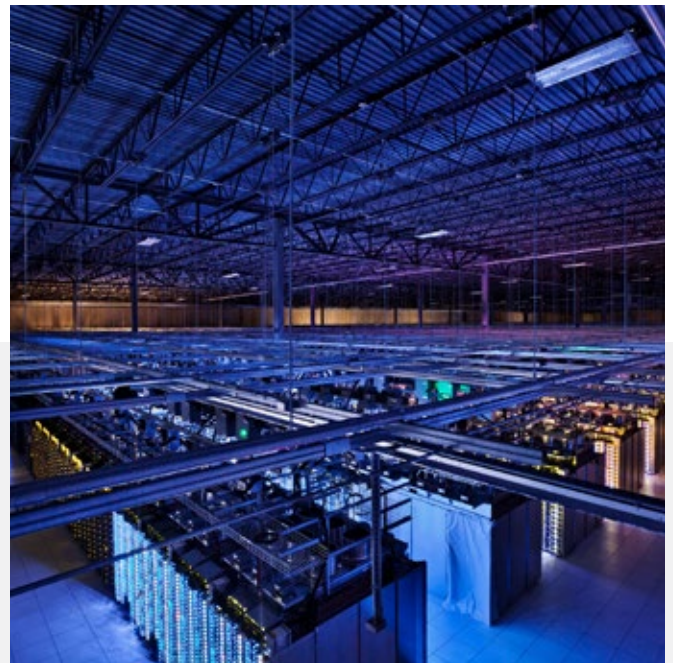


Figura 1.2.1.2: Data-centre del colosso tecnologico Google a Council Bluff, Iowa, Stati Uniti. (foto Connie Zhou)

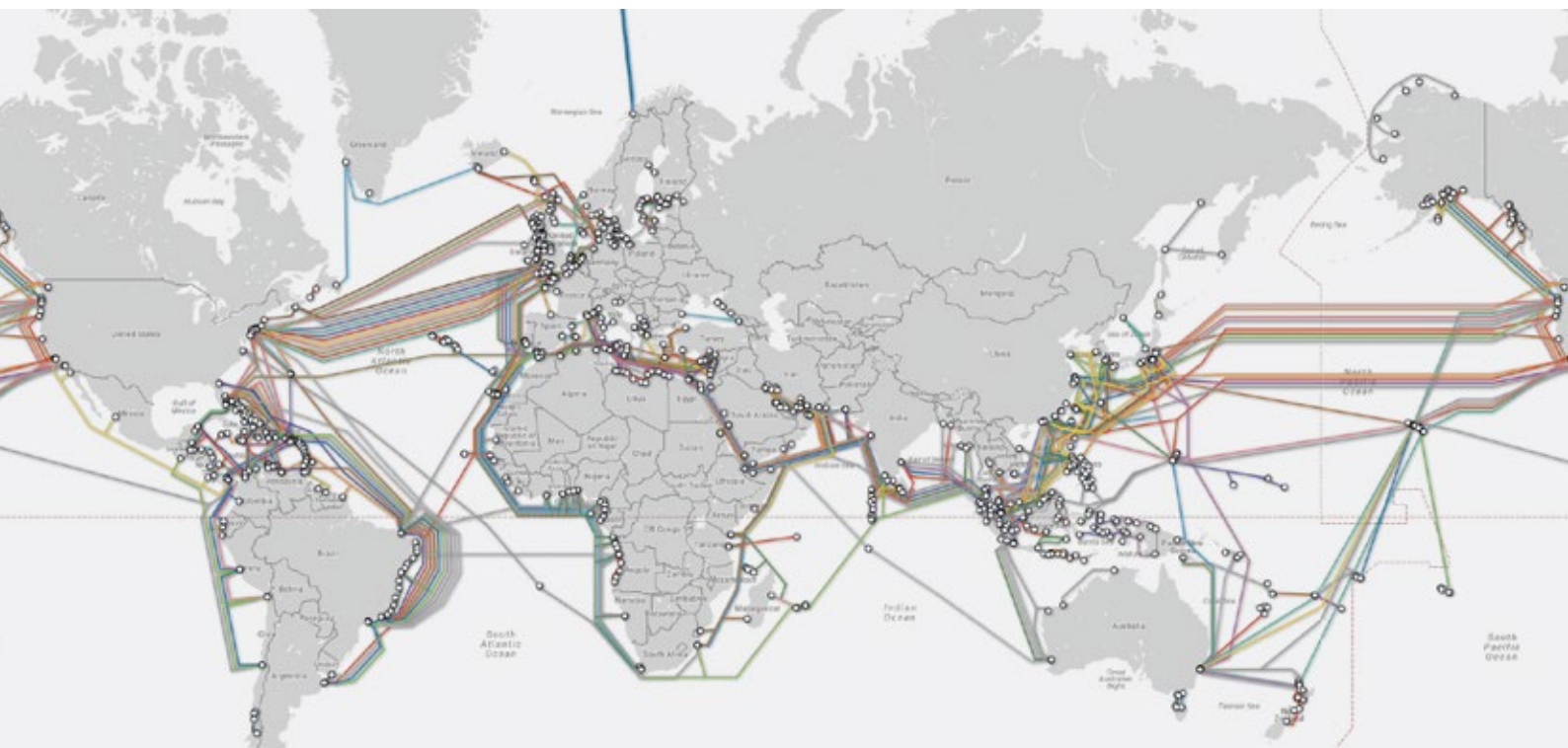
osserviamo l'effetto *on-line*, dove l'informazione è immediatamente disponibile al consumo, a prescindere di quanto lontano nel tempo sia stata prodotta, utile a costruire narrative alterate, svincolate dalle relazioni temporali che le caratterizzano e quindi i significati. Quando si parla di internet, siamo portati a pensare a qualcosa di invisibile, immateriale, eppure, ovviamente non è così, anche internet ha una sua fisicità, rappresentata dall'infrastruttura che attualmente permette il funzionamento globale dell'apparato digitale. Un apparato che comprende, non soltanto i *data-centre*, figura 1.2.1.2, disseminati per il mondo dove custodiamo informazioni di ogni tipo, ma anche e soprattutto una rete fisica di cavi, un'opera di scala geografica che i governi mondiali hanno costruito nell'arco di anni, e attualmente rappresenta la vera fisicità di internet, figura 1.2.1.3 (Fabbri, 2018). Un'informazione che ci permette di intravedere la scala dell'apparato tecnico contemporaneo, ma non è di grande interesse per un utente medio, a cui poco importa dove sia conservata fisicamente un'informazione. Perché, come anticipato da Negroponte (1995) l'informazione è disponibile virtualmente ovunque, bastano un dispositivo digitale e una connessione ad internet per raggiungerla, è onnipresente, istantanea e digitale.

L'ubiquità dell'informazione ha segnato una svolta culturale: è cambiato il modo in cui ci relazioniamo tra noi, l'informazione è diventata l'unico vero strumento tecnico di relazione di massa (Severino, 2011), dando un contributo alla trasformazione dalla cultura della griglia a quella della rete e innescando nuove ramificazioni del sapere. I meccanismi culturali nati e supportati in precedenza da griglie, ritenute necessarie alla propagazione e all'utilizzo delle informazioni, si sono riorganizzati senza apparente regola quando il rigore si è scontrato con movimenti caotici generati da una cultura in fermento a causa di riassetamenti politici, economici e tecnologici. La rete non è, come la griglia, animata da agenti disposti dall'alto secondo un disegno progettato, al contrario nella rete ogni utente gode di una completa autonomia, capacità di relazione e di influenza sulla struttura stessa della rete, non esiste una gerarchia imposta dall'alto, al contrario si sviluppano dinamiche *bottom-up*, letteralmente dal basso verso l'alto. Questa nuova direzione nei processi di costruzione del sapere è esplosa nel fenomeno del web 2.0 (Murugesan, 2007), ed ha tra le sue particolarità l'impiego di *tag*, etichette utilizzate originariamente per descrivere e assegnare ruoli ai componenti delle pagine web. In pochi anni i tag si sono diffusi sino a definire una evoluzione nella categorizzazione e classificazione del sapere, rendendo liquide architetture che in passato si sono fondate sulla gerarchia e la predeterminazione del loro apparato costitutivo. Oggi le gerarchie vengono meno, la struttura del sapere, che storicamente ha visto il suo apice di rigidità nel periodo Illuminista è adesso affidata agli utenti, chiunque può legare una o più parole utili a classificare i propri contenuti e quelli degli altri, senza seguire alcun vincolo scientifico, ma facendo riferimento a necessità e *modus operandi* singolari. Questo fenomeno avvicina la costruzione del sapere al concetto di *Folksonomy*, un neologismo derivante dai termini *folk* popolo e *taxonomy* tassonomia inventato da Thomas Vander Wal, che esprime un costrutto popolare, un metodo di classificazione che è sia personale, ma anche e soprattutto espressione dell'identità digitale dell'individuo all'interno di una comunità dove ogni membro

contribuisce alla costituzione del sapere. In una Folksonomia quindi categorie e gerarchie perdono forza, sostituite da forme liquide di architettura dell'informazione, superate da un nuovo ordine che riesce ad affermarsi grazie al numero di utenti che riconoscono la classificazione e non l'autorità del singolo utente. In un processo *bottom-up* è quindi fondamentale la partecipazione di un ampio numero di utenti, e basta che una moltitudine di individui condivida l'associazione di un *tag* ad un contenuto per determinare l'efficacia di un collegamento, la massa decide la parola chiave più rappresentativa in maniera spontanea, democratica e trasparente. Il diverso approccio alla strutturazione del sapere cambia inoltre il modo in cui le informazioni vengono cercate e reperite, l'attività di ricerca precedentemente basata sulla scansione di indici viene sostituita dal *browsing*, dall'inglese navigare, un processo fondato sull'individuazione dei contenuti tramite l'utilizzo di *keyword*. La navigazione fra contenuti è profondamente diversa dalla ricerca tradizionale, ne è un prova il modo in cui interroghiamo i *social network* quotidianamente, se ad esempio effettuiamo una ricerca per parole chiave su Twitter o Youtube, i risultati che otterremo non ci porteranno esattamente al contenuto che stiamo cercando, ma ad una collezione di risultati contestuali alla parola chiave che abbiamo ricercato. La conseguenza è la possibilità di una maggiore trasversalità nella fruizione del sapere: una maggiore facilità di connessione tra contenuti diversi che hanno in comune una o più *tags* favorisce una visione interdisciplinare di un contenuto, perché ancora una volta nel passaggio dalla griglia alla rete, diventano visibili connessioni precedentemente nascoste, e se ne generano di nuove, che contribuiscono ad incrementare la complessità della struttura (Cruciani, 2009).

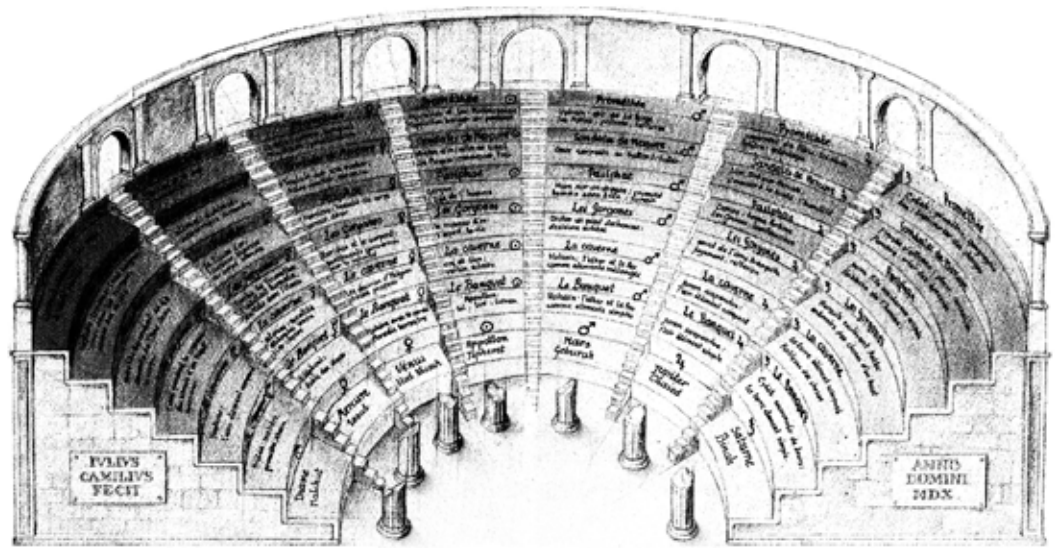
Se la trasversalità dell'informazione, e la conseguente *cross fertilization*, contaminazione fertile tra discipline sono una caratteristica della nuova cultura liquida, il desiderio di combinare saperi afferenti a discipline diverse non è una novità, ne troviamo un'interessante testimonianza legata all'architettura all'interno di un libro del sedicesimo secolo: *L'idea del teatro*, scritto da Giulio Camillo Delminio e pubblicato solo dopo la morte dell'autore. Camillo è stato un umanista e filosofo italiano, conosciuto al culmine della sua fama in tutta Europa, attivo nelle più grandi metropoli del continente,

Figura 1.2.1.3: La rete di cavi sottomarini che anima internet e ne consente il funzionamento. (Fabbri, 2018)



come Roma, Parigi e Venezia, città dove ha occasione di conoscere e frequentare personaggi del calibro di Erasmo da Rotterdam, Sebastiano Serlio, Tiziano Vecellio e Lorenzo Lotto. Proprio durante il periodo Veneziano il Delminio concepirà un progetto, un sogno che caratterizzerà tutta la sua esistenza: il Teatro della sapienza, un luogo dove poter racchiudere, organizzare e consultare tutto lo scibile umano, finalmente disponibile a chiunque voglia interrogarlo, e in grado di garantire all'utente la sapienza assoluta, anticipando di fatto il *database*, elemento fondante dell'ICT contemporaneo. È importante notare come l'autore descriva il teatro come una biblioteca, una macchina per tradurre, ma anche uno strumento per la creazione, immaginando un manufatto che mette in relazione conoscenza, memoria e creatività in un modo che solo dopo la diffusione degli strumenti informatici e di internet siamo capaci di comprendere appieno (Bottazzi, 2018). Per realizzare il suo progetto lo studioso immagina un'architettura, nella forma di un teatro classico, che diventa una macchina in grado di organizzare l'informazione e rimodularla di fronte agli occhi dello spettatore. Il teatro della sapienza è tanto un luogo fisico quando una mappa mentale organizzata in una griglia divisa in sette colonne, una per ogni pianeta del sistema solare allora conosciuto, e sette righe, che rappresentano diversi livelli di conoscenza, per un totale di 49 intersezioni, ognuna delle quali custodisce una parte dello scibile umano ed è rappresentato da un quadro, un'immagine mnemonica atta a simboleggiare un ambito della conoscenza. Nell'idea di Camillo la struttura in righe e colonne non ha soltanto un fine enciclopedico di divisione del sapere in comparti stagni, al contrario il teatro permette ai fruitori di combinare diversi elementi tra loro per generarne di nuovi. Il suo teatro è una macchina perfetta, non per la quantità di informazioni contenute, ma soprattutto per la qualità della conoscenza raccolta, esclusivamente derivante dai testi classici, l'apice del sapere umano in ogni branca della conoscenza. La stessa forma del teatro si rifà all'architettura del teatro classico come descritto da Vitruvio, la sua architettura ha però una radicale differenza rispetto al modello vitruviano: gli spettatori del teatro della sapienza non si trovano in platea, ma sul palco, rivolti verso una cavea divisa in 7 gradoni e 7 colonne, figura 1.2.1.4, una geometria convergente su cui viene rimodulata la griglia del sapere: ad ogni elemento rappresentato da un'immagine corrisponde un piccolo armadio con tre cassetti, ognuno dei quali contiene un libro, riccamente illustrato, con grafici e diagrammi. Come detto in precedenza, il teatro non sarebbe stato soltanto una biblioteca in grado di custodire la conoscenza, ma uno strumento creativo che avrebbe educato i suoi utenti a produrre nuove forme di espressione artistica, grazie anche all'ausilio di macchine, dispositivi mai precisamente descritti, probabilmente piazzati di fianco ad ogni mobile, in grado di prendere e accostare diverse immagini e testi per ottenere nuovi significati. Lo studioso immagina quindi una primissima forma di interfaccia studiata per permettere agli utenti di adoperare le macchine del teatro, nell'*Idea del teatro*, pubblicato nel 1552, Camillo parla di una "ruota artificiale", che gli utenti possono ruotare per generare contenuti casuali dai libri scelti. Anche se non è ben chiaro come, le macchine di Camillo sarebbero state in grado di decostruire un testo nelle sue diverse parti costituenti, rivelando meccanismi retorici, permettendo quindi una ricombinazione logica e la produzione di nuove raffigurazioni.

Figura 1.2.1.4: Immagine del teatro di Camillo Delminio ad opera di F. Yates. (Bottazzi, 2018)



L'opera letteraria di Camillo non verrà mai tradotta in una architettura costruita, e probabilmente ancora oggi la realizzazione di una "macchina" tanto complessa è impossibile nel mondo fisico, eppure oramai dal 1998, un'azienda condivide il sogno di Camillo Delminio ed ha fatto la sua fortuna con la missione di "organizzare le informazioni mondiali rendendole accessibili e utili a livello globale" (Google, 2017). Proprio Google, la più celebre multinazionale del web, è l'entità che più si avvicina al ruolo di erede di Camillo Delminio: come Camillo, per raggiungere il suo obiettivo e dominare un mondo fatto oggi di architetture liquide, utilizza largamente l'automazione e in particolare le nuove tecnologie dell'intelligenza artificiale, metodi statistici che prevedono scelte autonome da parte dei *software* e permettono al motore di ricerca di guidarci nella esponenziale complessità di internet: un'architettura liquida che si rigenera costantemente, dentro la quale non saremmo in grado di muoverci senza la guida di un motore di ricerca, incapaci di leggerne strutture e direttrici.

Ovviamente la mole di informazioni e quindi la complessità con cui si confrontava Delminio è quantitativamente e qualitativamente diversa dai dati con cui un motore di ricerca si deve misurare oggi. Ciò che la razza umana ha raccolto fino all'avvento di internet per come la conosciamo noi corrisponde ad una minima parte dei dati globalmente disponibili oggi. Un'altissima percentuale delle informazioni che costituiscono il web, almeno il 95%, è stata prodotta negli ultimi dieci anni. Una sproporzione che comunque non ci deve stupire, perché l'ultima decade è stata quella dell'avvento, non solo del web 2.0, ma anche e soprattutto della IOT, *Internet of things*, sensoristica avanzata in grado di raccogliere e comunicare dati autonomamente. Una variazione, che secondo Luciano Floridi (2015) ha prodotto una svolta epocale, il passaggio dalla storia alla iper-storia, intesa come quella fase in cui il numero di informazioni registrate e quindi disponibili ad interpretazione e utilizzo umano è cresciuto quantitativamente in modo esponenziale rispetto al passato. Una condizione acuita dalla nostra dipendenza dal digitale, che è alimentata dal consumo di dati e da

un continuo incremento nella produzione di dati.

L'esponenziale incremento di dati e dell'informazione sul web ci porta a credere che la sua struttura si sviluppi senza regola alcuna, è importante notare però che per rilevare una rete complessa come internet siamo soliti sfruttare un'astrazione topografica fatta di nodi e connessioni, astrazione che tiene conto della quantità delle connessioni tra nodi più che dei loro valori e delle relazioni qualitative che si generano tra loro: questo limite ci permette soltanto di leggere la complicazione e coimplicazione tra nodi, senza comprendere le variabili intrinseche di ogni singolo nodo.

Per comprendere davvero la complessità di una rete sono necessari nuovi modelli in grado di leggerne i diversi stati di sviluppo. In questa direzione si sono mossi gli studi del fisico Albert-László Barabási, che ha scoperto, analizzando il web, che non tutte le reti si comportano come sistemi casuali, ma che al contrario, possono presentare un comportamento altamente organizzato. Per Barabási e il suo gruppo i sistemi complessi come internet non possono essere considerati semplici connessioni tra hub, godono infatti di caratteristiche proprie dell'ecosistema, in analogia con le scienze biologiche. Un ecosistema è definito dall'insieme delle parti che lo costituiscono e dalle relazioni che le parti instaurano tra loro, per comprendere le reti è quindi necessario un approccio olistico. Partendo da questa considerazione i ricercatori hanno fatto un esperimento, mappando una piccola porzione del *world wide web*, per accorgersi di come: la maggioranza delle pagine web esaminate, l'80%, ricevevano al massimo 4 *link* in ingresso provenienti da altri siti, una piccola percentuale di siti web, lo 0,01% del totale, oltre 1000 *link*, e tra questi un numero esiguo di nodi oltre un milione di link, figura 1.2.1.4. Gli studiosi notarono inoltre che la distribuzione dei nodi in relazione al numero di *link* in ingresso diminuiva non con velocità lineare ma esponenziale, deducendo che la struttura del web fosse plasmata da un comportamento auto-organizzativo, simile a quello riscontrato all'interno dei frattali, in fenomeni biologici, o in tutti quei casi in cui le normali ipotesi statistiche non permettono una chiara lettura delle distribuzioni generali. (Newman et al., 2006)

Le considerazioni dei ricercatori spiegherebbero perché i grandi *hub* di internet, siti con milioni di visite giornaliere abbiano una probabilità maggiore di crescita in connessioni e al contrario siti web con pochi *link* in ingresso non ne acquistino di nuovi e vengano dimenticati nella vastità di informazioni disponibili e raramente consultate sul web. Questa lettura non è però sufficiente per spiegare perché alcuni siti web entrati in rete tempo dopo i grandi *hub* riescano in breve tempo a guadagnare connessioni, competendo con i nodi più popolari e in certi casi superandoli.

Per Ciastellardi (2009) è necessario riflettere sul concetto di spazio in rete, su come gli spazi della rete vengano costituiti dai comportamenti degli utenti che in rete interagiscono. Infatti, quando creiamo delle informazioni in rete, lo spazio su cui agiamo, seppur non identificabile geometricamente, conserva denotazioni socio-spaziali provenienti da condizioni culturali, sociali, politiche ed economiche proprie del comportamento umano. La spazialità, come la definisce Edward Soja, (1985) si distingue dalla definizione dello spazio esclusivamente come formulazione geografica, riguarda al contrario la sua produzione tramite azioni e relazioni sociali, ed è vera

Figura 1.2.1.4: la porzione della rete internet analizzata dal gruppo di Barabasi. (Newman et al, 2006)

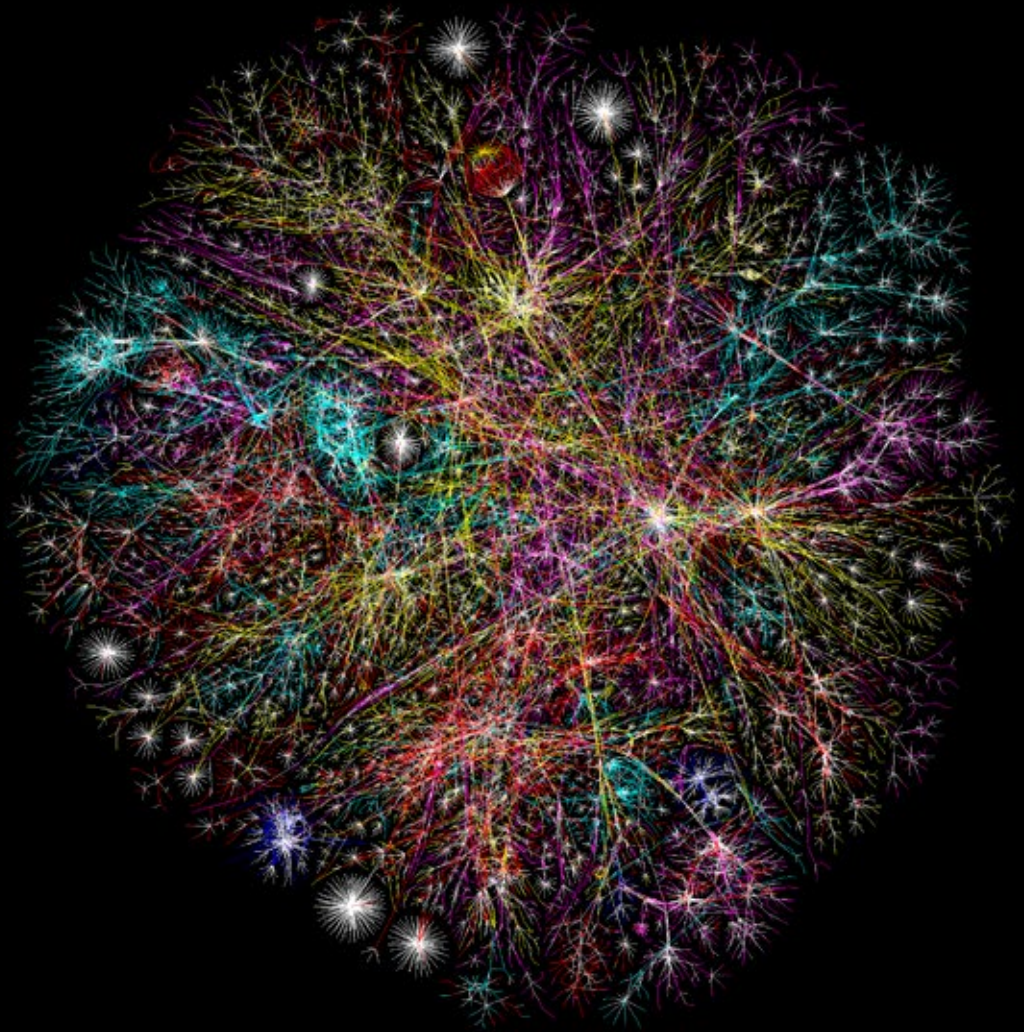


Figura 1.2.1.5: fotogramma del video immersivo Too many notifications di André Andrade, 2017.



tanto nello spazio fisico che in quello della rete. E importante quindi, nell'approcciarci alle reti dell'informazione, distinguere due livelli: un primo livello basato conoscenze tecnologiche, scientifiche e computazionali, necessarie per la corretta formulazione e realizzazione funzionale delle strutture entro cui la navigazione avviene; un secondo livello, quello della spazialità, che riveli con quali inclinazioni e in quali dimensioni si sviluppano le relazioni tra gli utenti e le informazioni che essi generano e utilizzano.

La spazialità delle reti dell'informazione è un fattore di incredibile importanza in un periodo storico come il nostro, caratterizzato da una diversa maturità del digitale rispetto all'avvento di internet negli anni novanta. Se prima infatti ci collegavamo alla rete principalmente tramite computer desktop o portatili, attraverso connessioni relativamente veloci, oggi al contrario, siamo costantemente connessi, figura 1.2.1.5, immediatamente reperibili all'interazione grazie all'istantaneità della rete internet, che non richiede cavi e ci raggiunge attraverso dispositivi personali che custodiamo con gelosia. Non è più possibile distinguere il tempo che passiamo su internet dalle esperienze che viviamo analogicamente, la nostra intera esistenza ha subito un'ibridazione digitale. Una condizione che Floridi descrive con un'immagine retorica, quella della società delle mangrovie, piante che affondano le loro radici in territori caratterizzati da acque salmastre, non salate come quelle del mare, né dolci come quelle dei fiumi. Allo stesso modo, la nostra esistenza precedentemente esclusivamente analogica, ora è anche digitale, ci siamo spostati in un habitat, quello dell'infosfera, che per Floridi (2010) rappresenta una sfida collettiva tanto grande da cambiare l'umanità in senso ontologico. Quando il medium per eccellenza era la televisione, ci relazionavamo con l'oggetto mediatico all'esterno di esso, non eravamo sulla televisione, ma di fianco ad essa, oggi al contrario siamo su internet, e insieme a noi ci sta tutta la società, seduta sull'apparato digitale da cui è diventata dipendente. Non è più necessario agire analogicamente per bloccare un sistema o un apparato umano, basta un attacco hacker capace di sfruttare una falla nel sistema. Se nell'arco degli ultimi 50 anni la guerra è cambiata, passando da grandi dispiegamenti di uomini per periodi continuativi, a piccoli interventi, limitati nel numero di partecipanti e con obiettivi chirurgicamente definiti, oggi si muove con sempre maggiore frequenza sulle dimensioni digitali. Un'organizzazione non governativa statunitense, il CSIC, Center for Strategic and International Studies (2020), ha stilato una lista dei più significativi attacchi informatici subiti da agenzie governative, militari e aziende high tech in tutto il mondo. Una lista che dal 2006 raccoglie più di 500 azioni che hanno colpito non solo governi ma anche ospedali, sistemi di distribuzione idrica, persino il Vaticano.

La naturalezza con cui utilizziamo internet oggi è tanta che forse non tutti ci siamo accorti che l'infosfera è un habitat dove non siamo soli, al contrario esistono altre entità, agenti puramente digitali, che svolgono azioni per conto loro, secondo obiettivi anche antropologicamente utili, ma comunque trasversali rispetto ai nostri, che restiamo analogici e ci dobbiamo adattare alla condizione digitale.

1.3 LA TECNICA E LA SOCIETÀ

La tecnica nel suo rapporto con l'uomo e la società è un tema fondamentale per comprendere la contemporaneità con cui si deve necessariamente interfacciare qualsiasi progettista oggi. Se da un lato è vero che l'architettura nasce in un dialogo costante tra arte e tecnica, e il rapporto tra le due in architettura è un tema ampiamente dibattuto sin da Vitruvio fino a tutto il 900, oggi con l'avvento dell'età della tecnica, ci affacciamo su un mondo largamente gestito da apparati tecnici, che creano nuovi equilibri all'interno della nostra società e influenzano il progetto di architettura, in modi che non siamo ancora in grado di comprendere. Come dirà Heidegger nell'Abbandono:

Ciò che è veramente inquietante non è che il mondo si trasformi in un completo dominio della tecnica. Di gran lunga più inquietante è che l'uomo non è affatto preparato a questo radicale mutamento del mondo. Di gran lunga più inquietante è che non siamo ancora capaci di raggiungere, attraverso un pensiero meditante, un confronto adeguato con ciò che sta realmente emergendo nella nostra epoca.
(Heidegger, 1959, 36)

Eppure, come ci ricorda Umberto Galimberti (2009), la tecnica è l'essenza stessa dell'essere umano, questo perché come affermano diversi filosofi, da Platone ad Arnold Gehlen (1940), l'uomo è l'unico essere vivente privo di istinti: l'istinto è qui definito come risposta rigida ad uno stimolo: se ad esempio porgiamo a un erbivoro un pezzo di carne, l'animale non percepirà la carne come cibo, al contrario non esiterà a mangiare un covone di fieno, ciò non avviene nell'uomo. Gli uomini non sono quindi dotati di risposte rigide ad uno stimolo, tanto che, nei suoi scritti Freud (1905) sostituisce la parola *Instinkt*, istinto, con *Trieb*, pulsione, ovvero una spinta generica verso qualcosa. Così l'uomo, privo di istinto, può sopravvivere in natura, soltanto se diventa immediatamente tecnico, in questo senso possiamo collocare la nascita dell'umanità nel momento stesso in cui il primo antropoide ha alzato un bastone per prendere un frutto, quando la componente tecnica è diventata la dimensione con cui l'uomo supplisce alla sua carenza istintuale, raggiungendo un nuovo livello di libertà. A differenza dell'animale che dalla nascita sa tutto ciò che deve fare sino al momento in cui muore, l'uomo, come ricorda Gehlen, "è un essere che per natura è così problematicamente dotato, da dover fare di una natura trasformata il punto di appoggio della sua propria, dubbia, capacità di vivere"(1957). Platone è il primo tra i filosofi a enunciare la teoria secondo cui gli esseri umani sono privi di istinti, raccontando all'interno del *Protagora*, di come Zeus incaricò Epimeteo, dal greco *epi-metis* colui che pensa dopo, di assegnare a tutti gli esseri viventi delle qualità. Quando ogni animale ha già ricevuto le sue qualità istintuali, e solo l'uomo deve ricevere la sua, Epimeteo ha già esaurito le qualità da distribuire, Zeus chiama così in aiuto Prometeo, da *pro-metis* colui che pensa in anticipo, chiedendogli donare all'uomo la sua virtù, l'antiveggenza, il prevedere. Lo stesso concetto è sviluppato da Hobbes, il filosofo inglese sostiene infatti che mentre gli animali mangiano quando hanno fame, al contrario l'uomo è affamato anche della fame futura, non ha infatti bisogno dello

stimolo della fame per procurarsi del cibo, prevede anche quando sazio, che arriverà un tempo in cui necessiterà di cibo, grazie ad una delle sue principali virtù, la capacità di previsione (Hobbes, 1658).

Dunque l'uomo nasce nell'istante in cui diventa tecnico, capace di superare i limiti dell'animale, in un rapporto tra tecnica e natura che nel corso della storia subisce oscillazioni, e soprattutto nel contesto della cultura occidentale, ha visto la natura perdere apparentemente il primato sul mondo, in favore di quello della tecnica e dell'uomo. Già la cultura greca si relaziona con il tema, affermando il primato della natura sulla tecnica, ne troviamo testimonianza nuovamente nel mito di Prometeo, raccontato stavolta da Eschilo nella tragedia *Prometeo incatenato*, dove il nostro eroe, amico degli uomini, ribelle alla volontà di Zeus dona all'umanità il fuoco, con cui poter trasformare i metalli e produrre strumenti, offrendo insieme all'uomo la capacità del calcolo e della previsione, i principi dell'operatività tecnica. Tanto è il potere della tecnica agli occhi degli dei e dell'uomo, che Zeus diventa timoroso che gli uomini possano tramite essa diventare più potenti degli dei, punisce quindi Prometeo, legando il titano ad una roccia, dove un'aquila gli rode il fegato, questo si rigenera in eterno, prolungando all'infinito il suo supplizio. Procedendo nel racconto di Eschilo, arriva un momento in cui il Coro chiede a Prometeo se sia più forte la natura o la tecnica. Per comprendere questa domanda è necessario addentrarsi nel pensiero greco, liberandosi da ogni vincolo con la tradizione giudaico-cristiana che vede la natura come prodotto della volontà divina regalata ad Adamo, al contrario nel mondo greco la natura è quel tutto immutabile, governata da una categoria potentissima: la necessità *Anánke*. Le leggi di natura non possono infatti subire alcuna modificazione, parafrasando Eraclito, questo cosmo che nessun Dio e nessun uomo fece, sempre è e sempre sarà, immutabile. Così gli uomini devono osservare la natura e cercare di contemplarne le costanti, sulla base di queste si deve costruire l'ordine della città e l'ordine dell'anima: la natura è quindi l'orizzonte di riferimento della politica e di ogni attività umana. Al contrario nella tradizione giudaico-cristiana la natura è consegnata nelle mani della razza umana, l'uomo la domina e la modifica a suo piacimento. Non esiste una contraddizione tra natura e tecnica, come avviene nella cultura greca, dove se la natura è immutabile, cosa succede se la tecnica modifica la natura? La risposta di Prometeo alla domanda del Coro è lapidaria: la tecnica è di gran lunga più debole della necessità che vincola la natura alla sua immutabilità e alla regolarità delle sue leggi.

Come ricorda Galimberti, la risposta di Prometeo è corretta solo perché la tecnica all'epoca dei Greci era molto modesta, così l'efficacia della tecnica è incapace di dominare la natura. Ne troviamo un evidente riscontro nell'architettura, e quindi nell'organizzazione di numerosi insediamenti della Grecia antica. Guardiamo ad esempio al periodo del medioevo ellenico, tra il XIII e l'VII secolo a.C., quando la popolazione Dorica si stanziava nel Peloponneso, in Grecia continentale a Creta e sulle isole dell'Egeo. Siamo ancora lontani dalle urbanizzazioni dagli schemi ortogonali e dal modello di Ippodamo di Mileto, nel periodo antecedente a quello dello sviluppo delle *poleis*: la città classica dell'immaginario collettivo non esiste ancora, e le popolazioni vivono in piccoli gruppi, spesso inferiori a cento individui. Si tratta di aggregati di

poche famiglie, capaci, insieme, di difendere il gruppo e sostentarlo grazie alle loro competenze tecniche, militari, agricole, costruttive.

Uno scenario assimilabile a quello della Itaca di Ulisse, re di una regione sulla quale esercita certamente un'autorità, che non appare però come un dinasta assoluto, il suo rapporto con i mezzi di produzione non si può inserire infatti all'interno di una struttura gerarchizzata di tipo piramidale, come avviene con i Micenei. Al contrario, ci troviamo in uno scenario dove l'autonomia produttiva dei *Basileis* dipende dalle loro capacità di lavorare fisicamente, costruire un rapporto con i suoi collaterali, insieme ai quali costituisce il corpo sociale dell'insediamento. Le comunità si organizzano quindi in nuclei abitativi che crescono intorno alla dimora del capo clan, le architetture sono incerte nelle forme, e spesso realizzate con materiali deperibili, tanto che ne è rimasta scarsa traccia. Gli edifici in pietra scarseggiano, soprattutto alla nascita degli insediamenti, questo perché realizzare murature in pietra è dispendioso e richiede competenze tecniche non sempre disponibili all'interno dei piccoli gruppi di "cittadini". Per questo motivo quando si stabiliscono i primi insediamenti, si scelgono, per ragioni evidentemente difensive, altipiani, ovvero luoghi facilmente difendibili, dove l'integrazione di poche strutture murarie e terrazzamenti può garantire la sicurezza del gruppo. Caratteristiche evidenti in insediamenti come quello di Tenos-Xobourgo, figure 1.3.1 e 1.3.2, riparo all'apice di una collina delle Cicladi, dove gli abitanti hanno realizzato dei terrazzamenti sul lato della città aperto verso valle sottostante, unico fronte da cui può avvenire un'aggressione esterna. Da quei nuclei, diventati nel tempo sempre più grandi, si sviluppano, proporzionalmente al fiorire delle proprie comunità, le prime *poleis*, in uno svolgimento morfologico che continua ad essere fortemente vincolato al territorio naturale. Allo stesso modo la casa greca è spesso una sommatoria di ambienti aggiunti intorno al nucleo primario e in concomitanza con la crescita delle famiglie (Lippolis et al., 2007). Gli altipiani, le rocche, centri originari della città, diventano quindi nel tempo l'area riservata alle case dei nobili, eredi dei fondatori della città, per poi trasformarsi secondo l'interpretazione di diversi studiosi, nel luogo consacrato alle divinità cittadine, come nell'Acropoli di Atene e in quelle di numerose altre *poleis* Greche.

Lo stesso approccio pragmatico alla produzione di architetture, fortemente influenzato dalla natura e dalla sua osservazione è ancora evidente nei periodi successivi, come nel V e IV secolo a.C quando nasce la tipologia architettonica del teatro Greco, figure 1.3.3 e 1.3.4, caratterizzato dalla sua cavea addossata ad una collina, in modo da garantire la visibilità della scena al pubblico e insieme un'ottima acustica. I Greci, che avevano probabilmente osservato in natura le relazioni fra la forma semicircolare poi adottata per la cavea, la pendenza delle gradinate, i materiali lapidei e il principio del riverbero delle onde sonore, si muovono quindi secondo le leggi della natura, replicando e amplificando condizioni già esistenti (Evola et al., 2010). Nonostante i progressi rispetto al medioevo ellenico, le capacità tecniche sono ancora minime, come già detto la cavea del teatro è realizzata sfruttando i fianchi delle colline, con interventi di rimozione, non addizione: secondo il principio dell'*anánke*, la natura e le sue necessità conservano il primato sulla tecnica, così come accadrà sino a tutto il medioevo.

Osserviamo un capovolgimento dei ruoli quando nel 1600, con l'avvento della scienza moderna, intellettuali come Bacone, Galileo, Cartesio, inaugurano un nuovo approccio nel rapporto tra uomo e natura, ci si allontana dal pensiero dei Greci che si limitavano a contemplare la natura nel tentativo di catturarne le leggi, si inizia ad adoperare il metodo scientifico: il processo è inverso rispetto al precedente, si formula un'ipotesi sulla natura per sottoporla a sperimentazione, quando la natura confermerà l'esperimento potremo assumere la nostra ipotesi come legge di natura. Come affermato da Kant riferendosi a Copernico Galileo e Torricelli, è cambiato il ruolo interpretato dall'uomo nei confronti della natura: "non si sono comportati come degli scolari che accettano tutto quello che dice il maestro, ma come giudici che obbligano l'imputato a rispondere alle loro domande"(Kant, 1781).

Possiamo quindi affermare che l'essenza stessa dell'umanesimo non è tanto rappresentata dalla letteratura intorno all'uomo, né dall'arte che inneggia alla grandezza dell'umano, quanto dalla scienza, perché come dice Cartesio, attraverso il metodo scientifico l'uomo diventa dominatore e padrone del mondo, capace quindi di indagare la natura per organizzarla secondo i propri progetti. A questo punto del discorso, Galimberti fa due precisazioni sul significato di scienza. Come prima cosa, l'autore ci ricorda che quando parliamo di scienza, non stiamo parlando di qualcosa di puro rispetto al quale la tecnica è semplice applicazione della scienza, al contrario la tecnica ne è l'essenza stessa. Questo perché la scienza non guarda al mondo semplicemente per contemplarlo e conoscerlo, lo guarda per manipolarlo, modificarlo a vantaggio dell'uomo, in questo senso potremmo dire che la scienza è mossa da un desiderio tecnico. La seconda precisazione riguarda il rapporto tra scienza e religione. Se da un lato è vero, che Zeus è invidioso dell'uomo, timoroso che questi possa grazie alla scienza-tecnica raggiungerlo e superarlo, tanto da punire Prometeo in eterno, è anche vero che il pensiero scientifico moderno è figlio della teologia medievale. Anche se si professa a-finalistica, e procede come se Dio non esistesse, la scienza è piena di metafore teologiche, il suo è pensiero intriso di teologia, a partire dalla divisione del tempo. Quando nasce la scienza moderna infatti, la teologia cristiana medievale aveva già scandito il tempo in tre diversi momenti: Il passato che è il male, il tempo del peccato originale, il presente che è riscatto, grazie alla venuta di Cristo e al suo sacrificio insieme alle opere buone degli uomini, e il futuro che è salvezza. Secondo il modello teologico non si tratta quindi di tre tempi omogenei (Natoli, 1991), ma caratterizzati da valori ben distinti, gli stessi che possiamo rintracciare nel tempo della scienza, dove il passato è male, perché ignoranza, il presente è ricerca, quindi opportunità di redenzione, e il futuro è progresso. Quando Bacone, nel *Novum Organum*, tratta del procedimento tecnico-scientifico afferma infatti che "la scienza concorre alla redenzione dell'uomo" (Bacone, 1620), perché attraverso la scienza gli uomini hanno l'opportunità di recuperare le virtù preternaturali che Adamo possedeva prima di essere bandito dal giardino dell'Eden, in un percorso che gli permette di ridurre gradualmente le pene del peccato originale: dolore e lavoro.

È nuovamente possibile leggere anche in architettura il capovolgimento dei ruoli nel rapporto tra natura e tecnica, recuperando il tema della città, che abbiamo già letto

Figura 1.3.1: Un'immagine delle rovine di Tenos Xobourgo. (foto Maria Delasoula)

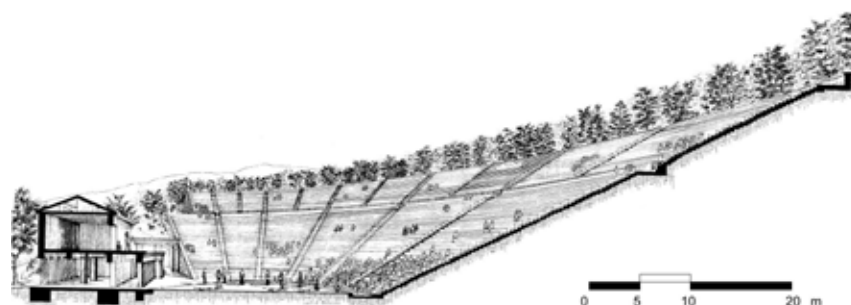


Figura 1.3.2: Ipotesi dei ricercatori sull'insediamento di Tenos Xobourgo ad opera dei ricercatori. (Lippolis et al., 2007)

Figura 1.3.3: Una foto aerea del teatro di Epidauro in Grecia. (foto Alan Groling)



Figura 1.3.4 (in basso): Una sezione del teatro di Epidauro.



agli albori della civiltà greca. Durante il Rinascimento la città è già il fulcro del progresso sociale e tecnico, nelle città confluiscie il benessere economico che alimenta la rinascita, così è naturale per architetti, artisti, poeti e filosofi, immaginare città ideali. Parlando di città ideali ci vengono immediatamente in mente quelle già dipinte alla fine dal 400 e custodite a Urbino, figura 1.3.5, Baltimora e Berlino: celebrazioni della geometria e della città come spazio per l'uomo, *topos* separato e distinto dalla natura, manufatto tecnico progettato e realizzato nella sua perfezione, pronto ad essere abitato (Krautheimer, 1994).

Nel 500 alcune città Ideali vengono progettate e realizzate, grazie a nuove capacità tecniche costruttive l'uomo è infatti in grado di modificare concretamente il paesaggio, i progettisti non sono più vincolati ad un approccio pragmatico come quello greco antico o medievale, seguono piuttosto un approccio progettuale di tipo cosmico: gli insediamenti non sono più limitati dai caratteri naturali e gli uomini riescono a realizzare forme geometriche complesse, frutto anche di considerazioni tecniche. Uno degli esempi più celebri è quello della città di Palmanova, figura 1.3.6, in Friuli Venezia Giulia, fortezza-città ideale, fondata dal governo della Serenissima nel 1593 per scoraggiare i tentativi di invasione Turche e Austriache sul fronte orientale. Concepita all'inizio esclusivamente come una fortezza, viene progettata da una commissione di esperti guidata da Marcantonio Barbaro, uno dei più importanti patrizi Veneziani dell'epoca. Sarà proprio Barbaro a spingere perché all'interno della fortezza si organizzi una vera e propria città, abitata poi anche da 15.000 persone. L'insediamento umano è quindi organizzato con il fine di sostenere la resistenza agli assedi della fortezza che la circonda, la pianta della città è di tipo centrale e circolare, le strade si sviluppano a raggiera verso le fortificazioni, elevate sulla pianura che la circonda in tutte le direzioni (Isman, 2016). La sua caratteristica forma nasce evidentemente da esigenze tecniche, ed è in qualche modo anticipatrice della tipologia del *panopticon*: l'elemento al centro della città è la piazza d'armi, di forma esagonale, sulla quale si affacciano gli edifici militari, e dalla quale è possibile facilmente raggiungere le mura, equidistanti in tutte le direzioni.

Contemporaneamente alla nascita del pensiero Scientifico, la società spinge sempre di più la città ideale a diventare una città tecnica: lo stesso Bacone (1627), alfiere del pensiero scientifico, ci racconta, all'interno de *La nuova Atlantide*, figura 1.3.7, la scoperta di un'isola dove vive una popolazione cristiana, sconosciuta al resto del mondo e organizzata secondo i dettami della scienza. Bacone parla brevemente degli usi e costumi della civiltà appena scoperta, sappiamo che gli abitanti utilizzano macchine volanti, navi subacquee, e lavorano per sole 4 ore al giorno. Condizioni sicuramente invidiabili, che possono raggiungere esclusivamente grazie alla scienza. L'architettura più importante del regno, largamente descritta dall'autore, è la casa di Salomone, ovvero il luogo centrale dell'isola, dove si organizza e realizza continuamente la ricerca scientifica necessaria ad un inarrestabile progresso tecnologico. La casa di Salomone è descritta come un edificio di proporzioni gigantesche, ramificato nel sottosuolo da un intricato sistema di caverne, e organizzato in laboratori dove si svolgono i più svariati tipi di esperimenti, necessari ad interrogare la natura e a garantire il progresso in architettura, ingegneria, chimica, medicina e agricoltura. L'edificio è quindi il nodo



Figura 1.3.5: Il dipinto della città ideale, custodito presso la Galleria Nazionale delle Marche, ad Urbino. (immagine di pubblico dominio)

Figura 1.3.6: Una vista aerea della città di Palmanova in Friuli Venezia Giulia nel 2016.



centrale di una rete di ulteriori luoghi di sperimentazione e raccolta dati, come torri e laboratori definiti "case" dove si replica il comportamento della natura per comprenderlo. L'attività di ricerca è fortemente regolamentata, ogni nuova scoperta procede secondo una continua validazione, classificazione, sperimentazione, operate da un gruppo di scienziati e saggi, fino ad essere applicata in tecniche di utilità per la vita umana. L'intera descrizione di Bacone è quella di un apparato tecnico, una macchina all'interno del quale ogni ruolo e ogni responsabilità sono definiti a priori, dove la natura è ora

totalmente desacralizzata: materia sulla quale è lecito ogni tipo di manipolazione tecnicamente possibile.

Due secoli dopo la nascita della scienza moderna, quando la cultura tecnico-scientifica raggiunge una prima maturità, Hegel (1812) fa due importanti considerazioni che ci sono utili nel leggere lo strutturarsi di quella che diventerà la nostra età della tecnica. La prima è una previsione fatta all'interno della *Scienza della logica*, dove l'autore afferma che in futuro la ricchezza non sarà più definita da beni, bensì da strumenti: mentre un bene si consuma ed esaurisce, uno strumento è in grado di creare nuovi beni. Questo concetto, per noi ovvio, è nuovo all'epoca, basta ricordare che solo 40 anni prima Adam Smith nei suoi scritti indica i beni come misuratore della ricchezza, è quindi un importante cambio di prospettiva. La seconda considerazione riguarda il rapporto tra qualità e quantità: il filosofo tedesco afferma infatti che quando un fenomeno cresce da un punto di vista quantitativo, non si ha soltanto un aumento nell'ordine della quantità, ma anche una variazione qualitativa radicale. Per chiarire il concetto Hegel fa un esempio banalmente semplice: se mi tolgo un capello, non intacco la mia qualità di persona-con-capelli, lo stesso se mi tolgo due capelli, se il fenomeno aumenta e mi tolgo tutti i capelli, allora sarò calvo, il semplice incremento quantitativo del un gesto ha determinato quindi una variazione qualitativa. Sarà Marx a riprendere il pensiero di Hegel, spostandolo in economia con riferimento al denaro, questo è usualmente considerato da tutti un mezzo per raggiungere degli obiettivi, quali la soddisfazione dei bisogni e la produzione di beni. Se però, come afferma Marx nei *Manoscritti di Parigi* (1844), il denaro aumenta quantitativamente sino a diventare la condizione universale per raggiungere qualsiasi obiettivo e produrre ogni bene, allora il denaro non è più un mezzo, ma il fine. Il cambiamento quantitativo induce una variazione qualitativa, i precedenti fini diventano mezzi utili a raggiungere quel fine, il denaro, che noi tutti continuiamo a considerare esclusivamente un mezzo, sbagliando. Facendo nostra l'importante riflessione di Marx, e applicandola analogamente nel nostro discorso sulla scienza-tecnica, ci rendiamo conto che, come osserva Emanuele Severino: quando la tecnica diventa la condizione universale per raggiungere qualsiasi scopo, questa non è più un mezzo, ma il principale fine da raggiungere per perseguire tutti gli altri scopi, irraggiungibili senza l'ausilio della tecnica. Troviamo un perfetto esempio in un fatto storico relativamente recente, come il crollo dell'Unione Sovietica, un evento epocale che ha segnato la fine della guerra fredda. Questo viene spesso motivato in ragioni umanistiche, come le condizioni materiali di vita delle persone o la mancanza di libertà politiche e civili. Ma non sono mai le condizioni umanistiche a determinare i collassi storici, infatti il crollo dell'Unione Sovietica è una battaglia persa nel campo della tecnica.

Agli inizi degli anni 60, nel pieno della guerra fredda, quando gli Stati Uniti non erano ancora riusciti a mandare in orbita il loro primo satellite e l'Unione Sovietica aveva già mandato in Orbita lo Sputnik, il collasso del Comunismo era inimmaginabile, perché le capacità tecniche in mano al mondo comunista erano allora pari se non superiori a quelle in mano al mondo capitalista. Al contrario, negli anni 80, la strumentazione tecnica americana ottiene risultati irraggiungibili per la tecnica russa, tanto che nel 1986 Gorbaciov sarà costretto a chiedere a Reagan di non costruire lo scudo stellare,

Figura 1.3.7: Illustrazione dell'isola di Nuova Atlantide, al centro la casa di Salomone (Bacone, 1627).



poiché l'Unione Sovietica non ha nulla da contrapporre a quella tecnica. La sconfitta avviene effettivamente in quel momento, e sul piano tecnico, perché, come ci ricorda Severino: se lo scopo, il comunismo è realizzabile esclusivamente attraverso una capacità tecnica, venendo questa a mancare, il comunismo perde ogni sostegno ed è destinato a crollare (Severino, 1993).

La tecnica, diventata il mezzo per raggiungere qualsiasi obiettivo dal comunismo al capitalismo, è quindi il fine a cui tutti aspirano, questo ha un importante peso in ambito politico. La politica, ci ricorda Galimberti, è stata inventata da Platone, prima della politica la forma di governo predominante era quella della tirannide, oggi però, come scrive Giacomo Marramao, "la politica appare come un sovrano spodestato che si aggira tra le antiche mappe dello stato e delle società, rese inservibili perché più non rimandano alla legittimazione della sovranità"(Marramao, 1995). La politica non è più il luogo dove si fanno delle decisioni, è diventato il luogo dove queste decisioni vengono esclusivamente rappresentate, raccoglie identità e appartenenze, ma rimanda le sue scelte ad una dimensione economica. L'economia a sua volta, nel decidere dove e come investire, guarda alle disponibilità e alle risorse tecnologiche. Questa perdita di

efficacia della politica a favore della tecnica ci porta su un terreno dissestato, come infatti ci dice Platone, le tecniche fanno come si fanno le cose, non perché le cose vadano fatte. Per questo è necessaria una "tecnica regia", *basiliké téchne*, la politica, capace di dare alla tecnica una finalità per orientare le sue procedure. Con l'età della tecnica è cambiata la struttura stessa del potere, perché la tecnica conferisce potere a chiunque operi all'interno di un apparato: bastano 10 controllori di volo a bloccare il traffico aereo, quando uno sciopero in passato necessitava di adesioni tra i lavoratori con percentuali dell'80% per essere efficace. La semplice interruzione di un piccolo segmento nella gerarchia tecnica può sospendere l'intero apparato, chiunque abbia un ruolo all'interno del sistema è forte di un *no making power*, il potere di non fare, capace bloccare il sistema globale. Ciò influisce ulteriormente sul significato della politica, dove il decisionismo ha ben poca efficacia, perché basta la minima astensione per bloccare tutto l'apparato. In questo senso, afferma Galimberti, la politica dovrà rendersi capace di mediazione più che di decisione, perché la decisione non è sufficiente, è necessaria invece la funzionalità dell'intero apparato. La tecnica potrebbe addirittura determinare la fine della democrazia, sostituita da quella che Platone chiama *telecrazia*, una forma di governo dominata dalla retorica. Quotidianamente, infatti, siamo chiamati ad esprimerci in merito a problemi su cui non abbiamo alcuna competenza: basti pensare al dibattito sulle centrali nucleari, il *global heating*, o il referendum italiano di qualche anno fa sulla fecondazione assistita. Su questi temi, diversi e specifici, sono in grado di giudicare con consapevolezza rispettivamente un fisico nucleare, un climatologo e un genetista, tutti gli altri, privi dell'adeguata preparazione prenderanno posizioni su basi irrazionali, quali l'ideologia politica, la fascinazione esercitata da un personaggio pubblico o la sua capacità oratoria. Inoltre, con l'età della tecnica, iniziata secondo Galimberti in concomitanza alla seconda guerra mondiale, avviene una mutazione antropologica senza precedenti nella storia. Non perché la tecnica non avesse già conquistato il mondo occidentale già dall'800, ma perché si forma in quegli anni un modo di pensare paradigmatico di quello che domina la nostra società. Ne è convinto Günther Anders, allievo di Heidegger ed esule in America, dove lavorerà come operaio all'interno delle fabbriche Ford. Anders dichiara che, nonostante il suo maestro gli avesse insegnato che l'uomo è il "pastore dell'essere", lui si sentiva un "pastore delle macchine", le quali esprimono una precisione, una competenza, talmente superiore agli uomini da farci provare una "vergogna prometeica". L'uomo è appiattito all'interno di un apparato tecnico e ciò determina il passaggio dall'agire al puro e semplice fare: posso dire di agire quando compio delle azioni in vista di uno scopo, al contrario per fare basta eseguire correttamente il mio mansionario, prescindendo dagli scopi finali che non conosco, o di cui non sono comunque responsabile.

La parola lavoro, carica di implicazioni universalmente positive, diventa nell'età della tecnica un termine insidioso, come ci ricorda Adriano Zamperini (1998), perché limita le responsabilità individuali alla corretta esecuzione di ordini, una responsabilità nei confronti dei superiori, senza alcuna considerazione in ordine agli effetti della propria azione. Si è perso, come scrive Heidegger, già citato all'inizio del capitolo, il pensiero meditante, capace di confrontarsi con le profonde mutazioni della nostra epoca. Nell'età della tecnica disponiamo esclusivamente di quello che il filosofo chiama il

pensiero "calcolante" capace soltanto di contare, di rispondere al richiamo dell'utile, di "fare" unicamente nel ridotto tratto che connette i mezzi ai fini, in modo da ottimizzarne l'impiego al minor costo possibile. Tutto viene processato secondo il pensiero calcolante, persino la bellezza non può entrare all'interno dell'apparato tecnico se non dopo essere stata quantificata, tanto che un'opera d'arte diventa tale quando entra nel mercato, valutata, calcolata. Non sappiamo più cosa è "il bello", "il buono", "il giusto", e il pensiero libero superstite è relegato a passatempo, incapace di incidere in un mondo dove tutto ruota intorno all'utilità. Ci affidiamo alle macchine, che, anche se ideate dall'uomo, contengono un'oggettivazione della intelligenza umana largamente superiore a quella dell'individuo, così le macchine, appiattiscono ulteriormente il nostro pensiero ad una logica binaria, uno schema 1/0 che ci permette di dire solo "sì" o "no". Si tratta di una notevole regressione, se pensiamo che il pensiero umano si è evoluto quando ha superato i binomi su cui era fondato in epoca preistorica: luce e tenebre, bianco o nero, giusto o sbagliato, riuscendo a ragionare in modo problematico e complesso. Oggi la logica binaria è onnipresente nella nostra società, la incontriamo quotidianamente all'interno dei quiz televisivi, sui *social network*, nelle nostre scuole e università, e ovviamente in architettura. Abbiamo già trovato nei primi insediamenti Greci e nelle città tecnico ideali numerosi legami con l'organizzazione della società e il pensiero umano nel tempo, in un percorso che ha visto la tecnica prendere sempre maggior peso nella concezione della città. Volendo riflettere sul tema alla ricerca di analogie contemporanee, è facile la connessione con un argomento onnipresente in accademia, pubblica amministrazione, politica e persino nel marketing di numerose grandi aziende tecnologiche, quello delle *smart cities*: letteralmente città intelligenti, realizzabili tramite strategie di pianificazione finalizzate all'ottimizzazione e all'innovazione dei servizi pubblici, caratterizzate da potenti infrastrutture ICT che permettono un miglioramento della qualità della vita per i cittadini (Caragliu, 2011). Per rendere le nostre città intelligenti è necessario un cambiamento nell'approccio alla vita cittadina, partendo dalle amministrazioni sino agli abitanti, utenti finali del sistema: le relazioni avvengono tramite servizi collettivi e individuali che sfruttano le nuove opportunità di infrastrutture tecnologiche, reti informatiche ubique, tanto che un primo passo nella pianificazione della città *smart* è la realizzazione di uno *smart environment* (Streitz, 2011), letteralmente ambiente intelligente, composto da sensori, videocamere, reti, mezzi di trasporto e interfacce, con capacità di calcolo e comunicazione diffusa ad ogni livello del sistema. Il collegamento con le riflessioni di Anders e Galimberti è immediato, non soltanto la tecnica ha surclassato la natura, ma è diventata l'ambiente entro al quale ci muoviamo, e sempre più ci auguriamo di abitare.

La relazione privilegiata non è più quella uomo-uomo, ma quella uomo-macchina, i sensori raccolgono informazioni quantitative che gli algoritmi analizzano secondo metodi finalizzati alla scoperta di nessi qualitativi, così siamo in grado di sapere con certezza fra quanti minuti arriverà il prossimo tram, quale è il percorso più veloce per raggiungere l'altro capo della città, ma lo facciamo utilizzando una tecnologia, il GPS, brevettata e controllata dall'esercito americano. Regaliamo, a volte rendendoli pubblici, dati e informazioni sulla nostra vita di cui non siamo pienamente consapevoli, sentiamo sempre meno il bisogno di relazionarci con altri esseri umani, e ci esaltiamo

all'idea di sistemi di guida autonoma e spostamenti individuali che ci permetteranno una maggiore facilità negli spostamenti ma ci renderanno sempre più soli.

Chiaramente ogni città è potenzialmente una smart city, grazie alla relativa facilità con cui è possibile installare quel sistema infrastrutturale necessario a creare un "ambiente intelligente", esistono ad ogni modo delle nuove città, progettate ex novo per essere realizzate come smart cities, una di questa è Songdo, figura 1.3.8, in Sud Corea (Townsend, 2013), realizzata su terreni rubati al mare, è stata concepita dal governo come nuovo polo di attrazione economica per il fervente mercato asiatico, un centro abitativo e d'affari, con meno tasse e maggiore libertà commerciale. La città appare come una moderna metropoli, ricca di torri e parchi, dove l'immondizia virtualmente non esiste, viene infatti risucchiata in tubi pneumatici che la trasportano in sistemi che la differenziano, riciclano e smaltiscono secondo criteri ecologici, l'acqua è recuperata depurata e riutilizzata, all'interno degli edifici è possibile controllare digitalmente luce, temperatura, umidità, anche da remoto. Un moderno *eden* digitale possibile grazie ad un sistema nervoso che unisce un numero incredibile di sensori e interfacce a un luogo ben preciso, il centro tecnologico della città, definito dai tecnici *cockpit*, cabina di pilotaggio, come se una città potesse essere guidata come un aereo. Richard Sennett ce lo descrive come una interfaccia composta da schermi dove è possibile visionare dati sui consumi energetici dell'intera città, con informazioni su traffico, su emissioni di anidrite carbonica e qualsiasi altro dato che la nostra tecnologia ci permetta di raccogliere. Esiste un limitato gruppo di tecnici al lavoro in cabina di pilotaggio: non c'è bisogno di molto personale, il "sistema operativo" della città è in grado di mantenere, grazie a formule matematiche e algoritmi, la perfetta funzionalità tecnica, correggendo automaticamente parametri per mantenere i valori entro i regimi stabiliti.

L'attività umana si limita quindi ad un continuo monitoraggio, persino gli operai sono monitorati e il loro supervisore è in grado di sapere dove si trovano in qualsiasi momento grazie ai loro *smartphone*. Nonostante i programmi prevedessero il fine lavori per il 2015, il progetto non è ancora stato totalmente realizzato, in seguito a una seconda visita Sennett la descriverà come una città fantasma, abitata da 10.000 persone che si aspettavano di vivere all'interno di una metropoli internazionale piena di uffici e possibilità, e si sono poi ritrovati in un sobborgo tecnologico a un'ora di treno da Seoul, incastrati in una città dove la vita è più facile, ma è difficile creare legami o semplicemente avere una socialità degna di quel nome.

Un'altro esempio, probabilmente più famoso di Songdo è Masdar, figura 1.3.9 e 1.3.10, una città progettata dallo studio Foster and Partners, e basata esclusivamente sull'utilizzo di fonti energetiche verdi, con l'obiettivo di raggiungere un'economia a emissioni zero e un'ecologia senza rifiuti. L'utilizzo di tecnologie costruttive di tipo passivo e una conformazione dello spazio pubblico ripreso dalla città araba tradizionale permettono di contenere le temperature all'interno della città, con un risparmio energetico pari al 70% rispetto alla vicina Abu Dhabi. La città sarà, nelle previsioni del 2006, totalmente libera da automobili, sostituite da oltre 2.000 navette a emissioni zero che porteranno i facoltosi residenti ovunque vogliano. Oggi la città di Masdar non è ancora terminata, questo anche a causa della bolla immobiliare che ha colpito gli Emirati Arabi Uniti, così

Figura 1.3.8: Vista aerea della smart city di Songdo in Sud Corea. (Towsend, 2013)



Figura 1.3.9: Il masterplan di Masdar, presentato nel 2006 dallo studio Foster and Partners. (immagine Foster and Partners)



Figura 1.3.10: La città di Masdar nel 2017. (foto di Micheal Wills)

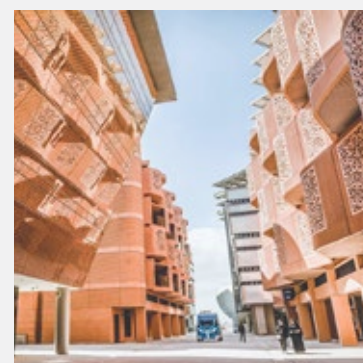


Figura 1.3.11: Le navette a guida autonoma all'interno di una stazione di ancoraggio. (foto Julian Wu)

non ha mai accolto le oltre 90.000 persone che avrebbero dovuto abitarla, tanto che alcuni l'hanno descritta come la prima città ecologica fantasma. Questa ci aiuta però a comprendere quali siano le problematiche da affrontare quando il progetto si affida in modo prescrittivo alla tecnica, che è in grado di evolversi più velocemente dell'architettura, così, progettando forme e spazi in ottica puramente funzionale, siamo condannati ad un obsolescenza tecnica precoce. Ne sono un perfetto esempio le famose navette a guida autonoma da utilizzare a Masdar, figura 1.3.11, che ancora in fase di progetto si

sono evolute diventando più grandi e rendendo necessarie stazioni di ancoraggio di dimensioni maggiori a quelle previste inizialmente.

Sennett non critica le smart cities in quanto tali, ne riconosce i vantaggi, contesta semmai l'approccio prescrittivo, calato dall'alto, adottato a Masdar e Songdo, un approccio che privilegia la risoluzione di problemi conosciuti piuttosto che l'identificazione di nuovi problemi, che limita la città, luogo di evoluzioni e stratificazioni ad un mero apparato tecnologico. Questo tipo di smart city implica, inoltre, questioni di tipo etico. I programmi che velocizzano i trasporti sono perfettamente efficienti nel permetterci di spostarci dal punto A al punto B nel modo più veloce possibile, lo fanno nel più comune dei casi dirottandoci su autostrade e grandi arterie di connessione, evitando, ad esempio, una piazza affollata per uno sciopero o una strada dove si svolge un mercato. Quello che ci offre è uno spostamento *user-friendly* ottimizzato in funzione dello spazio percorso, quello che ci nega, come già riconosciuto da Augè, è l'esperienza dell'altro e del diverso, ci rende quindi incapaci di imparare (Wiener, 1965) e quindi comprendere, sempre più stupidi e isolati.

Alla luce di quanto discusso, in un percorso che attraverso la cultura e l'architettura dagli albori della civiltà greca sino alla contemporaneità ha descritto l'evolversi del rapporto fra natura e tecnica, e il graduale imporsi della tecnica come regola e misura dell'esistenza umana, è importante pronunciare una parola che è da sempre insita nel nostro ruolo di progettisti, e che tornerà presente molte volte all'interno di questa tesi: responsabilità. Max Weber (1919) prima e Hans Jonas (1979) dopo hanno sviluppato una diversa morale basata sulla responsabilità, un principio che si contrappone alla morale dell'intenzione, nata in seno alle religioni cristiane e tuttora centrale nella nostra cultura. Nell'età della tecnica, afferma Jonas, non è più possibile giudicare le intenzioni con cui gli esseri umani compiono determinate azioni, al contrario è necessario giudicarli sulla base degli effetti che quelle azioni hanno comportato, finché questi effetti siano prevedibili. È necessario quindi sviluppare una nuova consapevolezza dei nuovi effetti che la tecnica regala alle nostre azioni, ampliandone la scala e la portata oltre le originarie intenzioni. Una consapevolezza che se da un lato necessita un costante ampliamento dei nostri orizzonti, dall'altro non sarà mai in grado di governare la tecnica, perché la tecnica è capace di produrre effetti imprevedibili. La tecno-scienza si sviluppa infatti secondo una mentalità procedurale, esplorando possibilità attraverso percorsi che incontrano solo trasversalmente ciò che è antropologicamente utile, e non ha altro scopo se non l'ulteriore auto-potenziamento. Ne è la prova il continuo finanziamento delle ricerche sul nucleare, assurdo se pensiamo che già oggi le potenze militari sarebbero in grado di distruggere il nostro pianeta diecimila volte, eppure ciò non arresta la ricerca sugli ordigni atomici. Oggi la tecno-scienza viene ancora influenzata dall'economia, che è animata dalla passione umana, quella per il denaro, elemento irrazionale che impone un vincolo alla perfetta funzionalità e ottimizzazione del rapporto mezzo-fine. Un vincolo da cui la tecno-scienza si libererà presto, perché è la forma più alta di razionalità raggiunta dall'uomo, trasformandosi definitivamente da mezzo a disposizione della razza umana, ad ambiente con cui la nostra esistenza dovrà confrontarsi e a cui dovrà adeguarsi.

1.4 LO SPAZIO NELLA CONTEMPORANEITÀ

Per indagare il rapporto tra contemporaneità e architettura, è necessario leggere come la trasformazione tecnica e quindi culturale stia influenzando sul modo in cui interpretiamo i nostri territori quotidiani: siamo innanzitutto obbligati a una distinzione tra due parole, spazio e luogo, due concetti apparentemente vicini, ma sostanzialmente differenti. Con il termine spazio definiamo infatti un'entità puramente geografica, fisica, disponibile a contenere cose materiali. Anche il luogo è uno spazio, ma sbagliamo se ci limitiamo ad una totale assonanza tra i termini, un luogo è infatti dal punto umanistico e antropologico, uno spazio emotivamente vissuto, carico di significati soggettivi e collettivi.

Lo spazio viene quindi generalmente inteso come un'estensione indeterminata, necessaria per ogni esperienza umana, il luogo non può esistere se lo spazio non è abitato, vissuto, è quindi frutto di una sovrapposizione di esperienze, di emozioni, di desideri (Fenoglio e Rago, 2007) con cui il progetto di architettura si deve sempre confrontare (De Sessa, 1990). Se vogliamo descrivere uno spazio possiamo limitarci a misurarne le coordinate geometriche e le forme, se al contrario parliamo di un luogo è indispensabile considerare ulteriormente la dimensione temporale, attraverso la quale gli spazi acquisiscono valori e si intensificano di relazioni umane, caratteristiche non semplicemente quantitative ma qualitative. In un'analogia storica con la cultura romana, possiamo riallacciarsi alla distinzione che c'è tra *Urbs* e *Civitas*, se la prima indica spazialmente l'insieme di edifici e infrastrutture che caratterizzano la città, con la seconda si intende la città delle anime, il luogo dove i cittadini abitano, instaurando una trama di relazioni che è il cuore della civiltà romana. Sono luoghi per antonomasia quelli delle città rinascimentali italiane, figura 1.4.1, organizzate in comunità di uomini liberi che si autogovernano tramite istituzioni appositamente create, in cui l'ambiente

Figura 1.4.1: Veduta di Piazza della Signoria a Firenze ad opera di Giuseppe Zocchi, prima metà del 700.



cittadino viene organizzato e progettato coerentemente con i dettami della vita comunitaria: la piazza è il luogo della convivenza, dell'incontro e dello scontro, teatro su cui si affacciano la chiesa, luogo dell'autorità religiosa, il palazzo del governo, luogo della politica cittadina, in prossimità della piazza centrale troviamo quindi le sedi delle corporazioni di mercanti e artigiani, le confraternite, il mercato, i palazzi delle famiglie nobiliari (Venturi, 2017) e tutti i luoghi che insieme definiscono l'ambiente cittadino. Spazi specifici all'interno dei quali la società civile fiorisce, come sommatoria di interazioni umane, in un processo che, strato dopo strato, li carica di significati prima soggettivi e poi collettivi, rendendoli luoghi.

Sentiamo spesso parlare di spirito del luogo, per esso si intende comunemente quell'insieme di caratteri morali ed estetici che superano quelli immediatamente percepibili tramite gli organi di senso, come la vista, il tatto o l'udito, e che richiedono un contatto diretto, una frequentazione tale da portarci ad acquisire una serie di legami, di tipo emotivo e sentimentale, significati che non è possibile misurare in centimetri e rientrano nel dominio dei simboli. Ne sono consapevoli già i Romani, i quali riconoscono delle entità soprannaturali, il *Genius Loci*, divinità minori, legate ai luoghi abitati e frequentati dall'uomo. Non a caso *Genius Loci* è anche il titolo di un saggio in cui Christian Norberg-Schulz (1979) indaga il significato di luogo in quanto fenomeno, è infatti impossibile, secondo l'autore descrivere atti ed eventi umani senza riferirsi immediatamente al luogo in cui essi accadono. L'abitare è il traguardo finale dell'architettura: se l'uomo abita quando è in grado di orientarsi e identificarsi nell'ambiente, allora gli spazi da abitare devono necessariamente essere luoghi, dotati quindi di carattere, in grado di assimilare i mutamenti che si rincorrono nel tempo della società umana. Da queste riflessioni nasce una prima critica ai risultati formali dell'architettura contemporanea e quindi alla città contemporanea, che riproponendo su larga scala i modelli del movimento moderno ha di fatto rinunciato alla tipicità del luogo, avvicinandoci sempre di più all'alienazione.

Chiaramente non tutti gli spazi possono essere elevati al rango di luoghi, e se è vero, che da sempre esistono spazi ed esistono luoghi, è anche vero, però, che nella modernità liquida o sur-modernità, come riconosciuta rispettivamente da Baumann e da Marc Augé, i luoghi scarseggiano, al contrario si osserva la massiccia diffusione di quelli che lo stesso Augé definisce "non luoghi". Questi sono spazi pubblici o aperti al pubblico, anonimi e stereotipati, privi di qualsiasi identità, di una dimensione storica e del calore della relazione umana, frequentati da individui o da gruppi di persone di passaggio, che non instaurano tra loro alcun tipo di relazione. Nelle parole di Augé: «Se un luogo può definirsi identitario, relazionale, storico, uno spazio che non può definirsi identitario, relazionale, storico, definirà un non luogo.» (Augé, 1993, p. 15). La proliferazione dei non luoghi è una caratteristica del nostro tempo, e deriva, per il sociologo francese, da tre decentramenti tipici della realtà metropolitana contemporanea, figura 1.4.2. Le metropoli sono decentrate rispetto a se stesse e definite principalmente da flussi, dalla loro capacità di spostamento di persone, beni, e informazioni, così diventano nodi all'interno di una rete che le comprende, parte di una meta-città virtuale. Le case che abitiamo sono decentrate, si è smarrito il senso

Figura 1.4.2: Spazi di connessione all'interno della stazione Bank della metropolitana di Londra. (foto Giuseppe Gallo)



di prossimità sociale ed emotiva con i nostri vicini, le nostre abitazioni che da sempre sono state centro di accoglienza e scambio, membrane di relazione con il contesto circostante, diventano luogo di connessione con il mondo esterno tramite i nuovi mezzi di comunicazione e informazione, come televisioni, computer, *tablet* e *smartphones* che hanno sostituito il tradizionale focolare domestico, occupando lo spazio centrale della casa. L'uomo stesso è decentrato, continuamente in contatto con l'esterno, e con ciò che è fisicamente distante, grazie ad internet e al largo utilizzo che facciamo di interfacce digitali. In questo contesto decentralizzato, dove si afferma l'individualismo, la stabilità non è più un valore e al contrario si preferisce ciò che è provvisorio ed effimero, abbondano i non luoghi, riconosciuti negli spazi di circolazione, comunicazione, consumo e tempo libero, ovvero: vie di trasporto, aeroporti, stazioni, autostrade e abitacoli di mezzi che si spostano tra i nodi della meta-città, grandi spazi commerciali, catene alberghiere, spazi per il tempo libero. Non-luoghi dove migliaia di persone al giorno transitano, incontrandosi fisicamente senza entrare in relazione tra loro, impegnati come sono a raggiungere la loro meta nel più breve tempo possibile, dove i flussi in continuo movimento che non lasciano traccia del loro passaggio, spazi dove le persone transitano, ma nessuno abita (Augé, 2007). Nei non luoghi possiamo leggere l'uniformazione dell'esperienza umana, in quella che Koolhaas (1995) chiama città generica, dove le identità territoriali diventano citazione e vengono fagocitate nell'esperienza di marca. Prendere un aereo all'interno di un aeroporto a Londra o Mumbai, sono lo stesso tipo di esperienza: seguiamo un percorso di identificazione che ci permette di accedere ad aree di attesa sempre uguali, disseminate di negozi dove comprare profumi, abiti e beni di consumo, dove possiamo mangiare lo stesso panino, certi che gli ingredienti e il processo di preparazione standardizzato sia identico in tutto il mondo, figura 1.4.3. In questo modo, smettiamo di conoscere, abituati come siamo a riconoscere ciò con cui abbiamo già dimestichezza e a sceglierlo: è più facile e sicuro restare all'interno dei binari della nostra quotidianità, piuttosto che rischiare un

nuovo percorso. La visita di un supermercato in una città straniera, in un contesto culturale diverso dal nostro, dove nessuno parla la nostra lingua, è spesso descritta come un'esperienza rassicurante, ci permette di riallacciare il rapporto con la nostra esistenza pregressa, riconosciamo i prodotti che preferiamo, attornati da marchi che continuano a parlare la nostra lingua anche se declinata in un idioma diverso dal nostro. Nella città-mondo globale è in atto un processo di smaterializzazione della specificità dei luoghi, questi, anche quando sopravvivono, possono essere clonati, replicati come nelle numerose "Venezie" costruite negli Stati Uniti, figura 1.4.4, o in Giappone, o negli *outlet* di grandi marchi che troviamo in tutta Europa, centri commerciali realizzati *ex-novo* ricalcando le forme delle città tradizionali, simulacri, dove nessuno abita e le uniche funzioni previste sono la vendita e l'intrattenimento degli avventori, fortezze del commercio di lusso, circondate da mura cieche, che non instaurano con il contesto alcuna relazione, se non con il parcheggio, in concomitanza del quale troviamo il portale di ingresso all'*outlet*.

Neanche la città storica si salva dalle nuove logiche globali, è in atto quella che Augé definisce la spettacolarizzazione del mondo, così i nostri monumenti e beni storici sono oggetto di una massiccia attività di comunicazione che li svuota dei suoi contenuti e significati antropologici, trasformandoli in immagine. Il nostro patrimonio culturale e naturale si trasforma in bene di consumo, è nuovamente decentrato rispetto al suo contesto fisico e sociale, allineato alla logica globale di circolazione e consumo. Il potere dirompente dell'immagine congela le caratteristiche tradizionali e le identità dei luoghi che diventano rappresentazione di se stessi, l'autore cita ad esempio il tema del restauro, che seguendo i dettami della ricostruzione fedele, spesso apparente, fossilizza l'immagine della città. I nostri centri storici subiscono quindi un'operazione di *make-up*, *Brand Marketing* (Bevan, 2020) che li allinea all'immagine più facile da comunicare secondo le logiche del mercato turistico, figura 1.4.5, più simili alle cartoline stereotipate che a luoghi dove l'attività umana è in grado di generare un'evoluzione dell'identità. I luoghi storici e naturali diventano nodi terminali nella rete globale, sono facilmente raggiungibili dal turista, che può visitarli e misurare la conformità della realtà con le aspettative alimentate dall'immagine già conosciuta attraverso internet. Il turista può quindi sostare all'interno dei luoghi di interesse, prendere un caffè a piazza San Marco o soggiornare in una stanza di Hotel con vista sul Pantheon, in contesti che nel tempo si svuotano delle funzioni sociali ed economiche che lo hanno animato, ricalcando il modello del centro commerciale, dove tutto è un simulacro ed ha l'unica finalità di generare ricchezza.

In contrapposizione ai monumenti globali spettacolarizzati, Augé esalta le "rovine", figura 1.4.6, uniche ancora esterne alle dinamiche del mercato turistico, in grado di risvegliare in noi quella che l'autore chiama la coscienza della mancanza: esse ci trasmettono il senso del tempo, perché non declamano il loro passato banalizzandosi nel pittoresco, nel predigerito, necessitano al contrario di interpretazione, di uno sforzo da parte di chi le osserva, hanno quindi una funzione pedagogica che riabilita il senso del tempo utile al riorientamento dei nostri valori (Augé, 2006). La percezione delle rovine è assimilata a quella di un paesaggio, conglomerato di temporalità diverse

Figura 1.4.3:
Un supermercato nello
stato americano del
Nebraska. (foto di Peter
Bond)



Figura 1.4.4: Le copie di
Monumenti e architetture
Veneziane realizzate a Las
Vegas. (foto John Irwing)



Figura 1.4.5: Il centro
storico di Polignano a
Mare, vittima di un'intensa
attività di decorazione.

Figura 1.4.6: Le rovine dei
Fori Romani.
(foto di Theo Leconte)



e stratificate, come in via dei Fori Imperiali a Roma, dove non riusciamo a distinguere e classificare immediatamente le architetture in base alla loro epoca e si ha l'impressione di visitare un luogo senza età definita, così è possibile fare un'esperienza di scoperta che nessun monumento spettacolarizzato potrà mai regalarci. Quella dei Fori, rappresenta però un'eccezione, al contrario, di regola, le rovine vengono cancellate, come a Berlino, dove è sempre più difficile trovare traccia del muro che ha diviso la capitale tedesca sino alla fine della guerra fredda, e si è preferita l'architettura dei non luoghi alle rovine, e il consumo alla memoria. Così a Potsdamer Platz, come nel resto del mondo, l'architettura, anche quando vuole rappresentare la rinascita e inaugurare il nuovo, scade nello stereotipo, ci uniforma in una città priva di passato, dove il non-luogo dilaga, sempre uguale a se stesso.

Alla luce delle parole di Augé, è necessaria un'ulteriore riflessione sul tema dello spazio, in relazione a quell'apparato digitale che ci connette tra noi, decentrandoci e causando tra le altre cose la proliferazione dei non luoghi. Come ci ricorda Pierre Levy (1997), lo spazio non è esclusivamente quello fisico, al contrario esistono un gran numero di spazi, tradizionalmente sovrapposti l'uno all'altro, da quello affettivo, a quello economico, politico. L'evoluzione sociale degli ultimi secoli è caratterizzata proprio dalla dissociazione degli spazi gli uni rispetto agli altri, e la cultura digitale ha accentuato questa dissociazione, rendendola una delle caratteristiche della contemporaneità: oggi più che mai vediamo il fiorire di relazioni sentimentali a distanza, se vogliamo incontrare una persona con cui instaurare un rapporto non abbiamo più la necessità di dividerne lo spazio fisico, allo stesso modo un'azienda non è limitata nella scelta dei suoi fornitori a quelli della provincia o della nazione in cui risiede, così la relazione fra spazio geografico ed economico viene meno. Il digitale, in questo senso, non favorisce la separazione, al contrario avvicina tra loro persone che si muovono all'interno della stessa sfera di interessi, incrementando la dimensione degli spazi in cui interagiamo. Non a caso quando parliamo di spazi virtuali possiamo parlare di iperspazi, all'interno dei quali le nuove e molteplici modalità di interazione hanno favorito la nascita di nuovi sistemi di rappresentazione dell'informazione e quindi dei contenuti, trasponendo al virtuale funzioni e possibilità, nate originariamente nello spazio fisico, pensiamo ad esempio ai forum o ai social network, corrispettivo virtuale dell'agorà, dove è possibile esprimere la propria opinione e conoscere altre persone. Chiaramente frequentare un forum o visitare una piazza non sono la stessa cosa, esiste però una correlazione sul significato, le possibilità di interazione e specificità tipologiche che entrambi i luoghi rappresentano. Questo è un tema, a mio avviso, di enorme importanza e che ci porta ad un'ulteriore necessaria riflessione sul significato di luogo in un senso più ampio del termine, in relazione proprio alle funzioni, alle possibilità di interazione che la parola luogo porta con sé. Non a caso le aziende del web, e mi riferisco principalmente ai giganti della tecnologia informatica, nati come *start-up* tra gli anni novanta e il duemila, devono il loro successo all'innovazione tecnica paradigmatica del digitale: la trasformazione in bit di ciò che prima apparteneva allo spazio fisico (Negroponte, 1996), non soltanto informazioni ma anche e soprattutto funzioni, tecniche e sociali, svolte precedentemente in modo analogico. È ciò che avviene ad esempio quando, nel 1995, due studenti dell'università

di Stanford avviano il progetto di un algoritmo matematico che ricalca i metodi di analisi bibliometrica, e permette quindi di ordinare le pagine web in base alla loro importanza. Lo fa principalmente misurando i link in ingresso di una pagina, ovvero le citazioni ottenute da un contenuto sul web (Page et al., 1999). Il PageRank, è oggi diventato molto più complesso di qualsiasi metodo di analisi bibliometrica mai ideato e si affida largamente ai metodi di intelligenza artificiale per analizzare la complessità delle informazioni presenti su internet e restituirle all'utente in forma organizzata. Questo stesso algoritmo è il motivo del successo di quella che è, oggi, una delle più grandi aziende al mondo, nata nel 1998 con il nome di Backrub, diventata poi Google e dal 2015 Alphabet: un conglomerato di imprese, che si occupano non solo di organizzare la conoscenza mondiale, ma anche di fornirci di prodotti e servizi, gratuiti e a pagamento, che utilizziamo quotidianamente. Oltre ad Alphabet esistono diverse grandi aziende, descritte come giganti del web per la loro grandezza e i loro fatturati, che in un modo o nell'altro, si occupano principalmente di traslare funzioni, possibilità, metodi, dal mondo analogico a quello digitale.

Una volta traslati negli iperspazi virtuali l'informazione e i processi, non solo si velocizzano, ma grazie alla potenza di calcolo e alla rete si espandono e raggiungono una complessità strutturale che va ben oltre la tridimensionalità dello spazio fisico. Le possibilità e le opportunità della virtualità sono quindi, fortemente appetibili in quasi ogni campo della conoscenza e del lavoro, così nell'arco di anni, in ogni settore è avvenuta in forme più o meno accentuate una digitalizzazione dei processi, tanto che alcune attività precedentemente analogiche avvengono adesso esclusivamente nello spazio virtuale: questo vale in pubblica amministrazione, nelle aziende, nelle banche, nei supermercati. Guardiamo ad esempio lo studio di Architettura contemporanea, un luogo sicuramente diverso da quello che era 20 anni fa. L'attività dell'architetto ha acquisito nuovi gradi di libertà rispetto alla fisicità del disegno, di cosa questo significhi per il progetto parleremo largamente all'interno dei prossimi capitoli. È comunque possibile affermare che per realizzare gli elaborati finali di un progetto di architettura, non siano più necessari strumenti peculiari che trovavamo all'interno di uno studio, bastano un computer, un applicativo CAD e un plotter: il lavoro dell'architetto virtualmente possibile in ogni luogo, non è più esclusivamente realizzabile all'interno di uno studio. Ovunque il paradigma digitale ha reso virtualmente disponibili, quelle funzioni che erano precedentemente svolte all'interno di luoghi specifici, in questo modo si perde la specificità di quei luoghi che proprio al complesso delle funzioni che lì si svolgono devono la loro esistenza.

Di questo cambiamento è consapevole Foucault (1967), che arriva a definire la nostra, come l'epoca dello spazio, tempo in cui si sperimenta, in un complesso reticolo dalla struttura indefinita, momento del simultaneo, della sovrapposizione, della prossimità e della dispersione. L'autore riconosce una variazione del ruolo degli spazi nella società, con riferimento in particolare alla cultura occidentale, in cui avviene un passaggio dalla concezione medievale di gerarchia di luoghi contrapposti, ad un'apertura cosmica di tipo Galileiano: si perde nella concezione dei luoghi il significato di sacro e profano, protetto e indifeso, rurale e urbano, lo spazio viene vissuto in una prospettiva che

misura più l'estensione che la localizzazione.

In una metropoli contemporanea come Londra ravvisiamo, ad esempio, come si stia perdendo la contrapposizione tra spazi pubblico e privato: esistono in tutta la città numerose piazze, parchi, corti, anche senza recinzioni, apparentemente pubblici e aperti alla fruizione da parte di chiunque, ma che sono in realtà privati: spazi dove vale l'autorità dei proprietari, autorizzati a controllare che si rispettino regole da loro stabilite o ad allontanare persone indesiderate, figura 1.4.7. Certo, non è ancora avvenuta una totale "desacralizzazione" dello spazio, esistono ancora delle distinzioni fra spazio familiare e sociale, del tempo libero e del lavoro, della cultura, fra luoghi chiusi e aperti.

La trasposizione degli spazi fisici nei domini virtuali porta con sé una vera e propria trasvalutazione dei significati: nella traslazione fra reale e digitale avviene infatti un'alterazione degli oggetti, nel senso più immediato del termine, ciò che è tradotto per appartenere a questi domini diventa altro rispetto a ciò che era nella fisicità. Questo cambiamento si ripercuote sulla nostra cultura, oggi dominata dall'alterità, una perdita di identità che ci rende estranei, non solo ai luoghi, ma anche e soprattutto a noi stessi. L'operazione di digitalizzazione che stiamo praticando alla nostra cultura non è quindi esente da rischi: come ci ricorda Marshall McLuhan (1967), gli strumenti digitali influenzano il messaggio, introducendo un cambio della scala, dei ritmi e dei modelli appartenenti al mondo fisico. Chiunque conosca almeno una lingua straniera sa, ad esempio, che la traduzione non un'operazione neutrale, perché ogni lingua ha una propria sintassi, e ogni parola raccoglie in sé una stratificazione semantica propria della cultura che ha generato il linguaggio, quindi una traduzione non è mai oggettiva, ma sempre frutto di interpretazione, e quindi di una discriminazione di significati. Allo stesso modo, nella rete, *medium* privilegiato per le pratiche sociali, vengono riprodotte e ampliate le forme comunicative ed empatiche della socialità umana e quindi della produzione di sapere, con il rischio immediato di paralizzare i significati che fondano la realtà sociale, fissandoli in una dimensione diversa dalla nostra, in un luogo "altro" dove si svolge l'interazione tra soggetti e quindi la vita comunitaria.

Nel definire i luoghi dell'altro, tra i quali sono inclusi quelli generati dalle pratiche di interazione che abbiamo traslato al dominio digitale, Foucault distingue due tipologie di luogo capaci di relazionarsi con tutti gli altri in una modalità permette al contempo di isolare, svuotare e invertire l'insieme di relazioni che connotano i luoghi del reale. La prima categoria descritta è quella delle utopie, spazi che non necessitano di un luogo fisico, e intrattengono con lo spazio della società un rapporto di proporzione diretta o inversa: si tratta di luoghi fondamentalmente ideali dove si immagina il perfezionamento della società stessa, tramite la creazione di dispositivi e strutture impossibili da traslare nuovamente alla realtà (Sabot, 2012). Nell'utopia troviamo le prime assonanze con i luoghi virtuali contemporanei, allo stesso modo definiti da irrealtà, possibilità ed assenza di limiti, questa si esaurisce però nello spazio utopico: manca in questo spazio un'ulteriore capacità di dialogo con il reale, caratteristica fondante degli spazi digitali. Utilizzare un'e-mail per fissare un appuntamento, trovare un'informazione su un motore di ricerca, costruire un'architettura progettata tramite uno strumento CAD, sono tutte attività che necessitano di un distacco dalla dimensione virtuale

Figura 1.4.7: Personale di sicurezza controlla il Queen's Walk, parte dell'area sviluppata e gestita da MoreLondon. (foto Jack Finn, 2016)



dell'utopia, perché trovano compimento in una dimensione reale. Proprio questa caratteristica distingue le utopie dalla seconda categoria di luoghi, che l'autore battezza con il nome di eterotopie: luoghi dell'altro, esistenti da sempre in ogni cultura, sono luoghi anche reali, delineati dalle società, contro-luoghi dove è possibile rappresentare e sovvertire gli spazi reali, realizzando in qualche modo l'utopia. Per spiegare il concetto l'autore propone un'analogia con lo specchio:

Lo specchio, dopo tutto, è un'utopia, poiché è un luogo senza luogo. Nello specchio, mi vedo là dove non sono, in uno spazio irreali che si apre virtualmente dietro la superficie, io sono là, là dove non sono, una specie d'ombra che mi rimanda la mia stessa visibilità, che mi permette di guardarmi laddove sono assente: utopia dello specchio. Ma si tratta anche di una eterotopia, nella misura in cui lo specchio esiste realmente, e dove sviluppa, nel luogo che occupo, una sorta di effetto di ritorno: è a partire dallo specchio che mi scopro assente nel posto in cui sono, poiché è là che mi vedo. A partire da questo sguardo che in qualche modo si posa su di me, dal fondo di questo spazio virtuale che si trova dall'altra parte del vetro, io ritorno verso di me e ricomincio a portare il mio sguardo verso di me, a ricostruirmi là dove sono; lo specchio funziona in questo senso come un'eterotopia poiché rende questo posto che occupo, nel momento in cui mi guardo nel vetro, che è a sua volta assolutamente reale, connesso con tutto lo spazio che l'attornia ed è al contempo assolutamente irreali poiché obbligato, per essere percepito, a passare attraverso quel punto virtuale che si trova là in fondo. (Foucault, 1967, p. 13)

Le eterotopie sono quindi, nel mondo reale, quei luoghi dove avviene una sospensione anche momentanea di relazioni, di rottura delle convenzioni sociali, come la nave, che salpa da un luogo, sciogliendo i legami con uno spazio fisico, per raggiungerne un altro luogo con cui instaurare nuove relazioni, ma che si trova isolata nel mare che percorre, scollegata con la realtà sociale a cui apparterebbe, così allo stesso modo

un treno o qualsiasi altro tra i mezzi di trasporto di massa tanto diffusi nella contemporaneità sono eterotopie. Ogni cultura genera eterotopie, le osserviamo sin dalle società preistoriche dove già esistono quelle "di crisi": luoghi sacri, privilegiati o interdetti, riservati esclusivamente a coloro che si trovano in uno stato di crisi rispetto alla comunità in cui vivono, come i malati, le partorienti. Nella contemporaneità osserviamo un progressivo scomparire dell'eterotopia di crisi, sempre meno presente nella vita quotidiana, sostituita dall'eterotopia "di deviazione": prigioni, case di riposo, ospedali e cliniche, dove la società relega quelle persone affette da crisi, il cui comportamento è anomalo rispetto alla media o alle norme imposte.

Esistono quindi eterotopie "dell'incontro" ovvero della mescolanza di più luoghi, perfettamente rappresentate dal teatro, dove si portano in scena luoghi e dimensioni diverse da quelle dello spazio fisico che li ospita, dal cinema, dove vengono proiettati su due dimensioni immagini in movimento di spazi tridimensionali di ogni sorta, o dal giardino, che nel suo antico modello simboleggia un microcosmo, miniatura del mondo e delle sue strutture cosmiche. Altro genere di eterotopie sono quelle "di accumulazione" come musei o biblioteche, dove il tempo si accumula e raccoglie in se stesso, architetture che esprimono il desiderio di creare un luogo che custodisca ogni tempo e contemporaneamente non appartenga a nessun tempo (Foucault, 1966a).

Musei e biblioteche sono un perfetto esempio di una caratteristica comune a tutte le eterotopie: un sistema di apertura e chiusura che contemporaneamente le separa dal contesto fisico e le rende permeabili dall'esterno. Non si accede infatti ad un luogo eterotopico, se non costretti, come nel caso di una prigionia, o se prima non si svolgono gesti, riti o controlli, necessari per operare una cesura con il reale, ed è l'ingresso in uno spazio illusorio che indica come ancora più illusorio ogni luogo reale all'interno del quale la vita umana è relegata. Il termine relegata, descrive il rischio che questo atteggiamento porti alla creazione di uno spazio reale, talmente perfetto, ben arredato e organizzato, da far apparire il presente umano come caotico e disorganizzato, realizzando un'eterotopia non più fondata sull'illusione ma sulla compensazione. Come sta avvenendo con le eterotopie proprie degli strumenti di comunicazione digitale, dominio su cui abbiamo spostato la nostra intera cultura, duplicata eterotopicamente in un gemello digitalmente preciso e perfetto, con il fine ultimo di ottenere un *ipersistema*: struttura universale in grado di superare la condizione imprecisa e caotica presente nelle nostre vite analogiche, per trasformarla in un insieme organico e ordinato di dati digitali utilizzabili a nostro piacere.

In questo modo il digitale diventa condizione universale, influenzando ulteriormente sulle funzioni dei luoghi e sul nostro modo di vivere lo spazio: un esempio su tutti è quello di supermercati dei centri commerciali, già definiti da Augè come non luoghi. In un'intervista del 2010, il filosofo francese tornerà sul tema, affermando come non esistano, in realtà, non luoghi in senso assoluto, perché ovunque può emergere un legame sociale, portando ad esempio proprio i centri commerciali dove i giovani si incontrano, inventando un luogo (Scramaglia, 2018). Non c'è però da rallegrarsi per questa inaspettata promozione, perché grazie all'economia digitale non è più necessario recarsi in un negozio fisico per fare acquisti: è molto più facile, conveniente, veloce e talvolta economico acquistare prodotti *on-line* tramite un *e-commerce*, per riceverli



Figura 1.4.8: Uno dei tanti centri commerciali chiusi negli Stati Uniti negli ultimi dieci anni. (foto Seph Lawless)

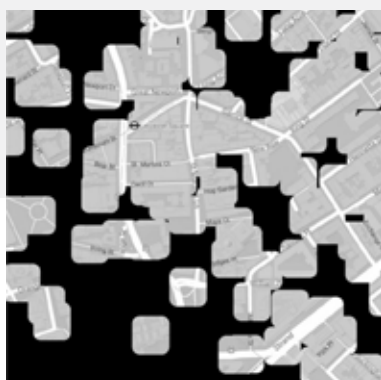


Figura 1.4.9: La mappa del centro cittadino di Londra segnata dalla presenza di wi-fi ad accesso gratuito. (Carta, 2019)

comodamente a casa entro la data di consegna prevista. Il commercio elettronico è un fenomeno di scala mondiale, che tocca l'apice di diffusione negli Stati Uniti, dove la presenza dei clienti all'interno dei centri commerciali è sempre più sostituita dalla onnipresenza di corrieri espresso e *riders*, lavoratori non tutelati che effettuano consegne in cambio di compensi una tantum. Oggi l'intero apparato dei centri commerciali statunitensi è a rischio, negli ultimi 10 anni più di 30 grandi catene hanno chiuso, figura 1.4.8, per motivi non esclusivamente legati al digitale, si tratta però di un ambito su cui il digitale ha sicuramente influito, se è vero che l'8% degli acquisti negli Stati Uniti viene effettuato *on-line*, e se, come afferma Google (2018), il 63% degli acquisti totali negli USA inizia comunque su internet. L'apocalisse dei centri commerciali si è tradotta quindi nell'abbandono di edifici e di interi quartieri, che sono stati riconvertiti per diventare abitazioni, uffici, centri sociali e abbassare il rischio di degrado sociale nei sobborghi statunitensi (Dunham-Jones e Williamson, 2008). Il paradigma del digitale e la logica binaria del sistema tecnico su cui si basano le eterotopie virtuali stanno modificando la nostra percezione dello spazio cittadino, tanto che come afferma Silvio Carta (2019), è oggi possibile parlare di *discrete city* nell'accezione del termine inglese che indica discontinuità, questo perché per leggere

la città contemporanea ci affidiamo alla tecnologia informatica e le sue infrastrutture, per lo più invisibili alla vista e capaci di interagire con noi esclusivamente tramite l'utilizzo di interfacce e di campionare la realtà, piuttosto che leggerla. L'autore propone ad esempio una ricerca svolta sull'utilizzo delle reti *wi-fi* nel centro di Londra, misurando la disseminazione di *hot-spot*, aree coperte da un ripetitore dove chiunque può accedere gratuitamente ad una connessione internet tramite un dispositivo, e su come la loro presenza influenzi il nostro rapporto con la città. Da questi dati nasce una mappa dell'ambiente urbano che mostra immediatamente una distribuzione a chiazze discontinue, con maggiore densità in aree commerciali e turistiche, dove un *hot-spot* è disponibile praticamente in ogni ristorante, caffetteria o negozio, figura 1.4.9. Chiunque si trovi quindi in città, e necessiti di connettersi ad internet gratuitamente, sarà chiaramente incentivato a frequentare questi luoghi piuttosto che altri, misurando l'ambiente urbano nella dimensione discontinua caratterizzata dalla assenza o presenza di una rete *wi-fi*.

La città resta discontinua anche se abbiamo un piano tariffario che ci permette una connessione costante ad internet e quindi di fare a meno delle *wi-fi*, in questo caso, possiamo affidarci, come oramai facciamo quotidianamente, ad un'applicazione di *web mapping*, che sceglie per noi tragitti ottimizzati per ridurre il tempo che ci separa dalla nostra meta fisica. La prima e più conosciuta tra queste applicazioni è senza dubbio Google Maps, un sistema basato sulla tecnologia di geocalizzazione GPS (Ceruzzi, 2018), che sfrutta i numerosi satelliti appartenenti ai principali governi del mondo per creare mappe arricchite di informazioni, fisiche, geografiche e fotografiche. Le informazioni geolocalizzate, vengono caricate direttamente dagli utenti, è possibile inoltre verificare la proprietà di un luogo, e gestirne un gemello digitale, un profilo su cui chiunque può lasciare commenti e voti, costruendo diacronicamente una nuova gerarchia dello spazio cittadino, sommatoria delle opinioni degli utenti e del giudizio di Google, figura 1.4.10. A 15 anni dalla sua creazione il sistema è maturo, copre il 99% del globo terrestre (Google, 2019), ha moltiplicato le sue funzioni, tra le quali spicca un servizio che restituisce informazioni sul traffico automobilistico in tempo reale. Il sistema è in grado di capire se una strada è trafficata o meno raccogliendo, previo consenso, informazioni dai nostri smartphone: bastano le coordinate geografiche di un gruppo di utenti nell'arco del tempo, per stabilire densità e velocità del traffico. Vediamo quindi che esiste una differenza sostanziale tra lo spazio reale e quello eterotopico digitale, basato anche in questo caso su una logica quantitativa, binaria, limite dell'apparato tecnico e quindi di chi a quel sistema si affida.

Nei giorni in cui scrivo ha avuto forte risalto tra i media internazionali la performance di un artista tedesco, Simon Weckter, che utilizzando un carrello, con 99 *smartphones* connessi al navigatore di Google Maps, ha intasato virtualmente strade di Berlino in realtà deserte (Hern, 2020), ribaltando significati che attribuiamo allo spazio reale, spostandoli da vuoto a pieno, da zero a uno, e dimostrando quanto, questi sistemi avanzati a cui ci affidiamo pienamente, siano facili da ingannare, figure 1.4.11 e 1.4.12.

Nel corso degli anni la geo localizzazione si è diffusa su praticamente ogni *social network*, come Instragram, Twitter, o Tripadvisor, un'azienda che offre ai turisti la possibilità di

Figura 1.4.10: immagine di uno smartphone che integra il sistema di navigazione Google Maps. (Foto Google)

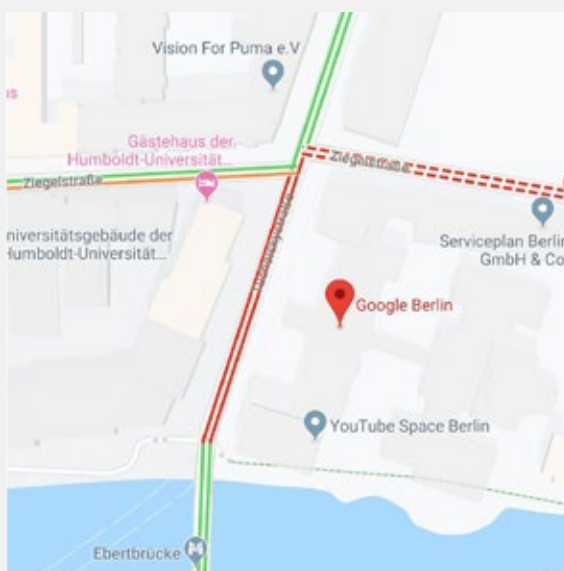
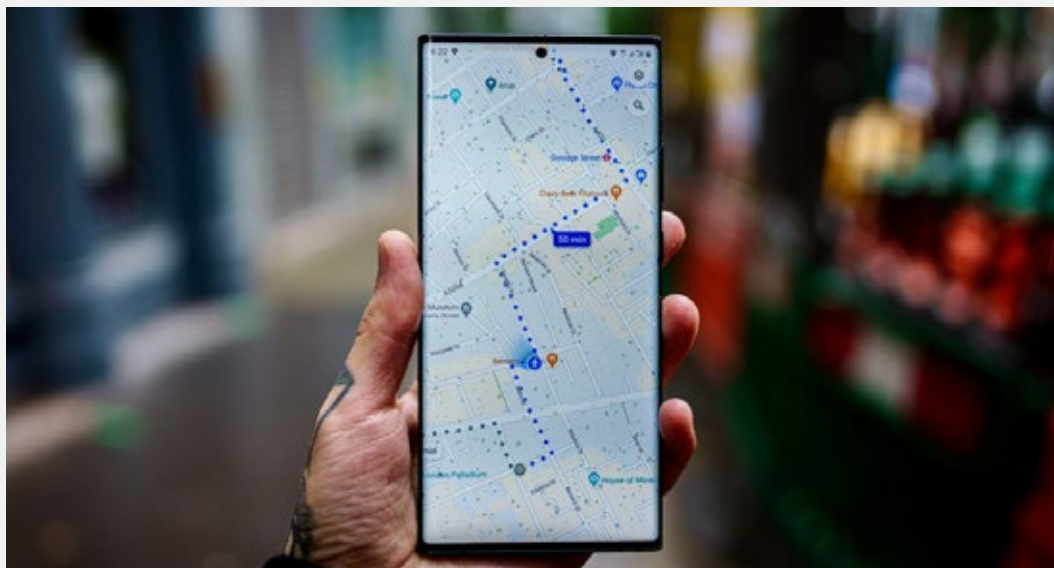


Figura 1.4.11: Il risultato della performance artistica di Simon Weckter, che con 99 smartphone ha intasato strade deserte.

Figura 1.4.12: Simon Weckter durante la performance artistica, il carrello rosso contiene gli smartphone che hanno intasato virtualmente le strade di Berlino. (foto Simon Weckter)



visitare virtualmente una città, ordinandola in categorie diverse, secondo una gerarchia basata sulle recensioni degli utenti. La recensione di ogni singolo utente ha pari peso nel processo che stabilisce l'ordine della gerarchia, così se sono il proprietario di un ristorante o un hotel, rendere visibile la mia struttura diventa un problema quantitativo: accumulare recensioni positive. Il riscontro economico ottenuto dalle strutture è tale da far nascere un mercato illegale di recensioni, acquistabili anche nell'ordine delle centinaia per una decina di euro su internet. Chi realizza effettivamente le recensioni spesso abita in paesi in via di sviluppo, dove sono nate vere e proprie *click-farm*, fabbriche di click, figura 1.4.13, in cui ogni giorno decine di persone si riuniscono di fronte a centinaia di telefoni, per simulare la loro visita ad un luogo e frodare il sistema stabilito dall'azienda. Il fenomeno è tanto diffuso, che, come scoperto da giornalisti britannici, diverse strutture e catene di alberghi hanno comprato recensioni fraudolente (Baker, 2019), alterando a proprio vantaggio la visita virtuale di migliaia di utenti. L'azienda ha intanto riconosciuto pubblicamente il problema, eliminato già migliaia di finte recensioni e sta quindi tentando di arginare la pratica illegale con nuovi espedienti tecnici.

Viste le sempre maggiori capacità di calcolo dei nostri telefoni e le ricerche già effettuate sulle tecnologia di realtà aumentata, del *blockchain*, *Internet of things* e sensoristica, figura 1.4.14, gli esperti preannunciano già da anni l'avvento del web 3.0: un'ulteriore evoluzione di internet che promette di trasformare completamente il modo in cui abitiamo lo spazio (Diamandis e Kotler, 2012), grazie ad una maggiore capacità di raccogliere e analizzare informazioni e alla possibilità di aggiungere al nostro sguardo uno o più strati di informazione visiva.

Per cercare di comprendere sin da ora l'influenza generata da un sistema sempre più capace di raccogliere e analizzare informazioni dallo spazio fisico è utile guardare alla Cina, paese che negli ultimi anni è cresciuto talmente tanto dal punto di vista tecnico, da primeggiare, insieme agli Stati Uniti, nelle ricerche sull'intelligenza artificiale. Le AI, già impiegate in diversi campi dal governo Cinese, figura 1.4.15, hanno recentemente trovato applicazione anche nella videosorveglianza, rendendo possibile la pratica del riconoscimento facciale: un metodo che permette di scoprire l'identità e la posizione di chiunque si muova in spazi monitorati da telecamere, tanto diffuse nelle metropoli della Cina contemporanea (Cuscito, 2019). Il rapporto fra tecnologia e controllo è sempre stato accompagnato da questioni di tipo etico, ma, mai nella storia dell'umanità è stato possibile monitorare con una tale esattezza la vita di un individuo all'interno di una città, possibilità che già da sola, mette in discussione i concetti stessi di privacy e spazio pubblico.

In merito alla realtà aumentata si può dire ancora relativamente poco: nonostante le tecnologie di AR siano già disponibili da anni, produrre oggetti virtuali complessi in tempo reale necessita di una capacità di calcolo non sempre disponibile sui dispositivi mobili. Esistono però diverse applicazioni che ci permettono sin da ora di arricchire la nostra realtà con oggetti virtuali, seppur elementari, ad esempio *Pokemon Go*, figure 1.4.16 e 1.4.17: un gioco appartenente una famosa serie di videogiochi giapponesi, che consente di collezionare animali virtuali da scovare e catturare nel mondo fisico,

Figura 1.4.13: Una dipendente di una click-farm al lavoro su diverse decine di smartphone a Taiwan.

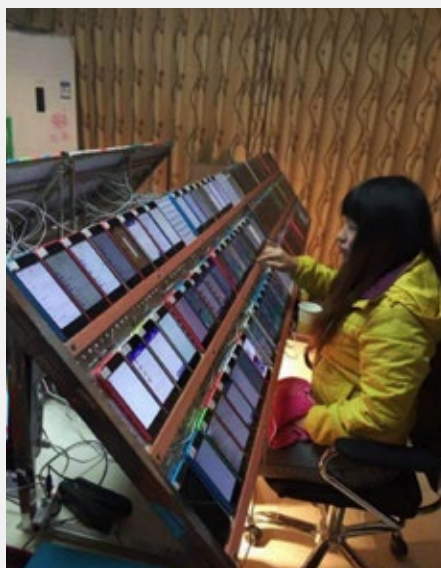


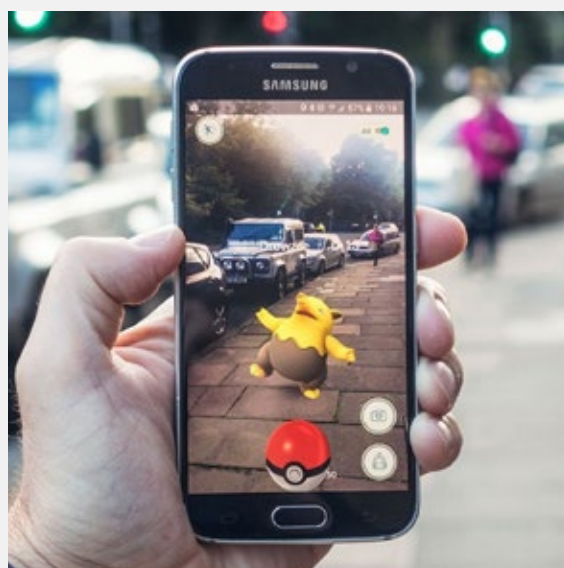
Figura 1.4.14: Un sensore per IOT montato su un tombino nella città di New York. (foto Alan Stoll)



Figura 1.4.15: Un video che mostra il sistema AI di riconoscimento facciale sperimentato nel 2019 a Pechino. (foto Gilles Sabrie)



Figura 1.4.16 e 1.4.17: L'interfaccia del gioco Pokemon GO, a sinistra il sistema di navigazione nello spazio fisico, a destra l'applicazione della realtà aumentata.



dove la loro presenza è simulata tramite un modello 3D. Il gioco, uno dei maggiori successi di sempre tra le applicazioni per *smartphone*, ad una settimana dal rilascio nel luglio del 2016, poteva contare su una community di oltre 65 milioni di utenti, ed ha provocato in tutto il mondo l'improvvisa nascita di luoghi eterotopici, reali perché appartenenti allo spazio fisico, virtuali, perché di interesse esclusivo dei giocatori, che vi sostano per catturare animali, sfidare gli altri utenti o creare un contatto con altri giocatori, ma dove un non-giocatore non ha motivo di intrattenersi.

Così, se da un lato è vero, come dicono diverse ricerche (Wagner-Greene et al., 2017) che l'applicazione ha avuto il grande merito di spingere al movimento giocatori sedentari, influenzandone positivamente salute e vita sociale, è anche vero che ha generato numerosi problemi. Ovunque, utenti hanno ripetutamente violato la proprietà privata per catturare le loro prede virtuali, e si sono messi in pericolo, osservando il mondo attraverso uno *smartphone* a qualsiasi ora del giorno, anche alla guida di un'automobile. Sono inoltre stati riportati diversi casi in cui le dinamiche di gioco sono state sfruttate con intenti criminali, da parte di rapinatori che più volte hanno derubato i giocatori, ritrovatisi in contesti isolati dove era presente un luogo virtuale.

- Atkinson, R., Blandy, S., 2013. *Gated communities: International perspectives*, Routledge, London.
- Augé, M., 1993. *Non-lieux: Introduction à une anthropologie de la surmodernité*, tr. It., Rolland, D., Milani, C., 2001. *Non luoghi. Introduzione a una antropologia della surmodernità*, Eleuthera, Milano.
- Augé, M., 2006. *Le temps en ruines*, tr. It., Serafini, A. a cura di, *Rovine e macerie: il senso del tempo*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Augé, M., 2007. *Tra i confini. Città, luoghi, interazioni*, Pearson Italia Spa, Torino.
- Bacone, F., 1620. *Novum organum*, tr. It., De Mas, E., Rossi, P. a cura di, 1994, *Uomo e natura scritti filosofici*, Utet, Torino.
- Bacone, F., 1627. *New atlantis*. tr. It., Rossi, P. a cura di, 1954, *La nuova Atlantide e altri scritti*, Utet, Torino.
- Baker, T., 2019. "Fake TripAdvisor reviews push 'world's best' hotels up the rankings" visitato il 2 Febbraio 2020 <https://www.which.co.uk/news/2019/09/fake-tripadvisor-reviews-push-worlds-best-hotels-up-the-rankings/>.
- Bauman, Z., 1998. *Globalization: The human consequences*, tr. It., Pesce, O., 2017. *Dentro la globalizzazione: le conseguenze sulle persone*, Laterza, Bari.
- Bauman, Z., 2010. *44 letters from the liquid modern world*, Polity Press, Cambridge.
- Bauman, Z., 2013. *Liquid modernity*, John Wiley & Sons, London.
- Bertelli, G., 2016. *Creatività e trasformazione*, Marinotti, Milano.
- Bevan, R., 2020. Il vero e l'autentico nell'era digitale, *Domus*, n. 1044, pp. 7-11.
- Bottazzi, R., 2018. *Digital Architecture Beyond Computers: Fragments of a Cultural History of Computational Design*, Bloomsbury Publishing, London.
- Caragliu, A., Del Bo, C., Nijkamp, P., 2011. Smart cities in Europe. *Journal of urban technology*, vol. 18, n. 2, pp.65-82.
- Carta, S., 2019. *Big data, code and the discrete city: shaping public realms*. Routledge, London.
- Castells, M., 1996. *The Rise of the Network Society*, tr. It., Turchet, L., 2014. *La nascita della società in rete*, Edizioni Bocconi, Milano.
- Ceruzzi, P.E., 2018. *GPS*, MIT Press, Cambridge.
- Ciastellardi, M., 2009. *Le architetture liquide: dalle reti del pensiero al pensiero in rete*, LED Edizioni Universitarie, Milano.
- Cruciani, A., 2009. Il linguaggio collaborativo della rete, etichette per la costruzione di un sapere bottom-up, in Ciastellardi, M., *Le architetture liquide: dalle reti del pensiero al pensiero in rete*, LED Edizioni Universitarie, Milano, pp. 49-54.
- CSIC, 2020. "Significant Cyber Incidents" visitato il 9 ottobre 2020 <https://www.csis.org/programs/technology-policy-program/significant-cyber-incidents>.
- Cuscito, G., 2019, "Il riconoscimento facciale in Cina ha due volti" visitato il 4 Febbraio 2019 <https://www.limesonline.com/rubrica/riconoscimento-facciale-cina-huawei>.
- De Sessa, C., 1990. *Capire lo spazio architettonico: studi di ermeneutica spaziale*, Officina Edizioni, Roma.
- Deleuze, G., Guattari, F., 1976. *Rhizome*, tr. en., Massumi, B., 1987. *A thousand plateaus: Capitalism and schizophrenia*, University of Minnesota, Minneapolis.
- Diamandis, P.H., Kotler, S., 2012. *Abundance: The future is better than you think*, Simon and Schuster, New York.
- Dunham-Jones, E., Williamson, J., 2008. *Retrofitting suburbia: urban design solutions for redesigning suburbs*, John Wiley & Sons, London.
- Evola, G., Giallo, G., Iannace, G., Marletta, L., Sicurella, F., 2010. Le caratteristiche acustiche del teatro greco romano di Taormina attraverso misure sperimentali e simulazione numerica, in *Atti di convegno del 37° convegno nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica*, SIREA, Siracusa. pp. 120-124.
- Fenoglio, M.T., 2007. *Andar per luoghi: natura e vicende del legame con i luoghi*, Ananke, Torino.
- Floridi, L., 2010. *Information: A very short introduction*, Oxford University Press, Oxford.
- Floridi, L., 2014. *The fourth revolution: How the infosphere is reshaping human reality*, Oxford University Press, Oxford.
- Floridi, L., 2015. *The onlife manifesto: Being human in a hyperconnected era*, Springer Nature, New York.

- Foucault, M., 1966a. *Utopies Et Hétérotopies*, tr. It., Moscati, A. a cura di, 2004. *Utopie eterotopie*, Cronopio, Napoli.
- Foucault, M., 1967. *Des espaces autres*, tr. It., Tripodi, P., in Vaccaro, S. a cura di, 2001. *Spazi altri. I luoghi delle eterotopie*, Mimesis, Milano.
- Freud, S., 1905. *Drei Abhandlungen zur Sexualtheorie*, tr. It., Marietti, A.M., Colorni, R., 2012. *Tre saggi sulla teoria sessuale*, Boringhieri, Torino.
- Galimberti, U., 2002. *Psiche e techne: l'uomo nell'età della tecnica*, Feltrinelli Editore, Milano.
- Galimberti, U., 2009. *I miti del nostro tempo*, Feltrinelli Editore, Milano.
- Gehlen, A., 1940. *Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt*, tr. It., Rasini, V. a cura di, 2010. *L'uomo. La sua natura e il suo posto nel mondo*, Mimesis, Milano.
- Gehlen, A., 1957. *Zur Geschichte der Anthropologie*, tr. It., Rehberg, K.S., Mazzarella, E. a cura di, 1983. *Antropologia filosofica e teoria dell'azione*, Guida, Napoli.
- Google, 2017 "About Google." visitato il 17 Maggio 2019 <https://about.google/intl/en-GB/>.
- Google, 2018. "How search enables people to create a unique path to purchase" visitato il 30 gennaio 2020 <https://www.thinkwithgoogle.com/feature/path-to-purchase-search-behavior/>.
- Google, 2019. "I vantaggi di Google Maps Platform" visitato il 2 Febbraio 2020 <https://cloud.google.com/maps-platform/>.
- Grosz, E., 2001. *Architecture from the outside: Essays on virtual and real space*, MIT press, Cambridge.
- Hegel, G.W.F., 1812. *Wissenschaft der Logik*, tr. It., Moni, A., Cesa, C. a cura di, 1974. *La Scienza della logica*, Laterza, Bari.
- Heidegger, M., 1959. *Gelassenheit*, tr. It., Angelino, C., Fabris, A. a cura di, 1983. *L'abbandono*, il Melangolo, Genova.
- Heim, M., 1994. *The metaphysics of virtual reality*, Oxford University Press, Oxford.
- Hern, A. 2020. "Berlin artist uses 99 phones to trick Google into traffic jam alert" visitato il 4 febbraio 2020 <https://www.theguardian.com/technology/2020/feb/03/berlin-artist-uses-99-phones-trick-google-maps-traffic-jam-alert>.
- Hobbes, T., 1658. *De Homine*, tr. It., Negri, A. a cura di, 1972. *Elementi di filosofia: L'uomo - il corpo*, UTET, Torino.
- Isman, F., 2016. *Andare per le città ideali*, Il Mulino, Bologna.
- Jonas, H., 1979. *Das Prinzip Verantwortung*, tr. It., Portinaro, P. P. a cura di, 2009, *Il principio responsabilità*, Giulio Einaudi Editore, Milano.
- Kant, I., 1781. *Kritik der reinen Vernunft*, tr. It., Gentile, G., Lombardo Radice, G. a cura di, 2005, *Critica della ragion pura*, Laterza, Bari.
- Koolhaas, R., Mau, B. 1995. *S, M, L, XL*, Monacelli Press, New York.
- Krautheimer, R., 1994. Le tavole di Urbino, Berlino e Baltimora riesaminate, in Millon, H.A., Lampugnani, V.M., a cura di, *Rinascimento da Brunelleschi a Michelangelo*, Bompiani, Milano, pp. 233-257.
- Lévy, P., 1995. *Qu'est-ce que le virtuel?*, tr. It., Colò, M., Di Sopra, M. a cura di, 1995, *Il virtuale*, Raffaello Cortina Editore, Milano.
- Lippolis, E., Livadiotti, M., Rocco, G., 2007. *Architettura greca, Storia e monumenti del mondo della polis dalle origini al V Secolo*, Mondadori, Milano.
- Lo Campo, A., 2019. "Un po' treno un po' aereo, Torino-Milano in 7 minuti" visitato il 7 ottobre 2020 <https://www.lastampa.it/topnews/primo-piano/2019/10/07/news/un-po-treno-un-po-aereo-il-viaggio-del-futuro-sta-per-diventare-realta-torino-milano-in-7-minuti-1.37710911>.
- Marramao, G., 1995. *Dopo il Leviatano. Individuo e comunità nella filosofia politica*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Marx, K., 1844, *Oekonomisch-philosophische Manuskripte aus dem Jahre 1844*, tr. It., Bobbio, N. a cura di, *Manoscritti economico-filosofici del 1844*, Giulio Einaudi editore, Torino.
- McLuhan, M., Fiore, Q., 1967. *The medium is the message*, Penguin Books, New York.
- Mufson, B., 2016. "10 Totally Unintentional 'Pokémon Go' Effects on Society" visitato il 4 febbraio 2020 https://www.vice.com/en_au/article/mgpye4/pokemon-go-10-totally-unintentional-effects.
- Murugesan, S., 2007. Understanding Web 2.0, *IT Professional Magazine*, vol. 9, pp.34.
- Natoli, S., 1991, *Télos, Skopós, éschaton. Tre figure della storicità*, Il Centauro, Bologna.
- Negroponte, N., 1995. Bits and atoms, *Wired magazine*, n.87, pp.1-9.
- Negroponte, N., 1996. *Being digital*, Vintage Books, New York.
- Newman, M.E., Barabási, A.L.E., Watts, D.J., 2006. *The structure and dynamics of networks*, Princeton University Press, Princeton.
- Norberg-Schulz, C., 2019. Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture (1979), in Cody, J., Siravo, F. a cura di, *Historic Cities: Issues in Urban Conservation*, Getty Publications, Los Angeles, pp. 31.
- Novak, M., 1991. Liquid Architectures in Cyberspace, in Benedikt, M. a cura di, *Cyberspace*, MIT press, Cambridge, pp. 225-254.
- Page, L., Brin, S., Motwani, R., Winograd, T., 1999. *The pagerank citation ranking: Bringing order to the web*, Stanford InfoLab, Stanford.
- Platone, *Alkibiades Deuteros*, tr. It., Puliga, D. a cura di, 1995, *Alcibiade Minore*, Rizzoli, Milano.
- Sabot, P., 2012. Linguaggio, società, corpo - Utopie ed eterotopie a partire da Michel Foucault, *Materiali Foucaultiani*, vol. 1, pp.17-35.
- Scramaglia, R., 2018. *Individui e società tra mutamento e persistenze: Frammenti di realtà nell'era digitale*, Hoepli, Milano.
- Schumacher, P., 2018. Design as second nature, *Catalogo della Mostra MUAC*, Museo Universitario Arte Contemporaneo, Mexico City.
- Sennett, R., 1992. *Uses of Disorder. Personal Identity and City Life*, Norton, London.
- Sennett, R., 2007. *The culture of the new capitalism*, Yale University Press, London.
- Sennett, R., 2018. *Building and dwelling: ethics for the city*, Allen Lane, London.
- Severino, E., 1993. *Il declino del capitalismo*, Rizzoli, Milano.
- Severino, E., 2011. *Il destino della tecnica*. Biblioteca Universale Rizzoli, Milano.
- Streitz, N.A., 2011. Smart cities, ambient intelligence and universal access, in Stephanidis, C. a cura di, *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, Springer, Orlando, pp. 425-432.
- Soja, E.W., 1985. The spatiality of social life: towards a transformative retheorisation, in Gregory, D., Urry, J. a cura di, *Social relations and spatial structures*, Macmillan, London, pp. 90-127.
- Taylor, M.C., 2001. *The moment of complexity: Emerging network culture*, University of Chicago Press, Chicago.
- Townsend, A.M., 2013. *Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia*, Norton & Company, New York.
- Venturi, P., Rago, S., 2017. *Da Spazi a Luoghi*, Aiccon, vol.13, n.1, pp.17-25.
- Venturi, R., Robert, I.V., Brown, D.S., Izenour, S., Steven, B., 1972. *Learning from Las Vegas: the forgotten symbolism of architectural form*, MIT press, Cambridge.
- Wagner-Greene, V.R., Wotring, A.J., Castor, T., Kruger, J., Mortemore, S., Dake, J.A., 2017. Pokémon GO: Healthy or harmful?. *American journal of public health*, vol. 107, n.1, pp. 35-45.
- Weber, M., 1919. *Politik als Beruf*, tr. It., Cacciari, M. a cura di, 2018. *La politica come professione*, Il lavoro intellettuale come professione, Mondadori, Milano.
- Wiener, N., Schadé, J.P., 1965. *Cybernetics of the nervous system*, Elsevier, Amsterdam.
- Zamperini, A., 1998, *Psicologia sociale della responsabilità*, Utet, Torino.





2. IL PROGETTO DI ARCHITETTURA: NUOVE COMPLESSITÀ

- 2.1 CONSIDERAZIONI SUL PROGETTO DI ARCHITETTURA
- 2.2 ARCHITETTURA E DIGITALE: ALCUNI PRECURSORI
 - 2.2.1 LUIGI MORETTI
 - 2.2.2 BUCKMINSTER FULLER
 - 2.2.3 FREI OTTO
- 2.3 VENTURI, EISENMANN, GEHRY E HADID
- 2.4 IL PRIMO DIGITAL TURN
- 2.5 IL SECONDO DIGITAL TURN

Figura 2.1: Luigi Moretti nel suo studio romano. (Archivio centrale dello stato)

2. IL PROGETTO DI ARCHITETTURA: NUOVE COMPLESSITÀ

2.1 CONSIDERAZIONI SUL PROGETTO DI ARCHITETTURA

Prima di intraprendere il percorso, ricco di oscillazioni e contrasti, osservabili nel pensiero e nella pratica architettonica dalla prima metà del 900, sino alla transizione di paradigmi frutto dell'avvento del digitale, in una linea temporale che gradualmente arricchisce di complessità il progetto di architettura, è necessario riallacciare i legami con i significati essenziali del processo progettuale architettonico, quindi del ruolo e delle responsabilità che all'interno di questo processo l'architetto raccoglie.

Nell'introdurre il tema del progetto di architettura sul noto *Il territorio dell'architettura*, Vittorio Gregotti cita Norman Brown (1959), il quale afferma come il processo storico poggia sul desiderio dell'uomo di divenire altro da ciò che è, così la storia è fatta non dalla astuzia della ragione, ma dall'astuzia del desiderio. Allo stesso modo il progetto è per Gregotti (1966), il tentativo di mettere in atto la soddisfazione di un desiderio, esiste tuttavia nella stessa definizione di progetto un senso di distanza tra desiderio e la sua effettiva soddisfazione, una distanza ovviamente temporale, che è inoltre caratterizzata da un impegno nell'organizzazione di fenomeni, distanza che si esaurisce quando il progetto si realizza in un punto concreto, diventando presenza tangibile, nuovo significato su cui costruire altri desideri. Il progetto nasce quindi dal desiderio, e in particolare nella pratica architettonica il desiderio è quello della committenza, che desidera tramite l'architettura diventare altro da ciò che è, così si rivolge al progettista, custode del percorso che porterà a definire la concretezza dell'architettura. Casa Malaparte, figura 1.2.1, è un perfetto esempio di quanto il desiderio della committenza possa influenzare l'architettura. Il progetto è quindi sicuramente comunicazione, dall'istante in cui committenza e architetto si incontrano, momento in cui è innanzitutto richiesto al progettista una capacità di interpretazione del desiderio altrui, da cui partire per la definizione degli obiettivi progettuali. Al progettista spetta il ruolo di organizzare, fissare in senso architettonico i singoli elementi del problema, che vengono scelti elaborati attraverso un processo compositivo, così da istituire tra essi nuove relazioni, il cui senso appartiene alla nuova cosa che abbiamo costruito per mezzo del progetto.

Chiaramente il progetto non è una pratica limitata all'architettura, al contrario la parola progetto si riferisce a qualsiasi operazione che implichi un'esecuzione nel tempo, e secondo una direzione preveda e costruisca significati, che nel caso dell'architettura sono sia tecnici che artistici. Si può progettare un ponte, una scuola, un oggetto di

Figura 2.1.1: Casa Malaparte, progettata da Adalberto Libera, con importanti influenze sul progetto da parte del cliente Curzio Malaparte. (foto André Oticas)



design industriale, un *software*, una legge, persino un viaggio. Esiste quindi una sostanziale differenza di grado e di sviluppo tra i possibili processi progettuali, differenza che parte dalla semplice scelta di fare qualcosa, passando per il fissare una serie di annotazioni su intenzioni e obiettivi, sino alla estesa strutturazione di significati prevista per progetti più ampi. Osserviamo una differenza nell'ordine del tempo, alcuni progetti possono trovare immediatamente riscontro nella realtà, coincidendo con l'attività esecutiva, così come accade ad esempio nel caso dell'*action painting* o in altre pratiche di arte processuale della seconda metà del 900. In altri casi e ben più spesso il progetto e l'esecuzione sono separate, come in architettura, dove la complessità tecnico-economica delle azioni che concorrono alla sua formazione, richiedono un'attenta e dettagliata previsione progettuale, imponendo un'importante distanza in termini temporali e di impegno fra il desiderio e la sua soddisfazione.

Il progetto di architettura è naturalmente intriso di una complessità necessaria alla successiva fase di produzione, ed è un processo che può avere una durata anche di anni, che termina quando il progetto si istituzionalizza, secondo connotazioni complesse e precise, acquisendo una completezza necessaria a strutturarla come fase dell'operazione architettonica. Questa peculiarità, corrisponde a un preciso compito produttivo dell'architetto all'interno del contesto socio-economico, professione che non crea una casa, ma il progetto di una casa, interviene quindi tradizionalmente nella qualità di progettista, non di costruttore.

All'interno del *De re aedificatoria* Alberti (1485) scrive che l'architettura si compone di disegno e costruzione, specificando come la funzione del disegno sia quindi quella di assegnare a edifici e alle parti che li compongono, una appropriata posizione, un'esatta proporzione, una disposizione conveniente e un armonioso ordinamento. Al disegno dell'architettura, la cui definizione richiama quella di progetto, segue quindi la fase di costruzione, il cui obiettivo è quello di ricavare da diversi materiali, disposti secondo

un'ordine definito e congiunti ad arte, una struttura compatta, integra e unitaria. L'attività progettuale è ovviamente legata al sistema produttivo dell'architettura, che secondo il paradigma meccanico industriale realizza manufatti in modo quantitativo e ripetitivo. Osserviamo come la successiva creazione di un manufatto architettonico definisca ulteriormente il progetto architettonico rispetto ad altre pratiche progettuali: la produzione di un'architettura richiede usualmente, dalla posa della prima pietra al collaudo, un periodo che può durare anni, se non decenni, in rapporto alla scala architettonica. Queste due peculiarità che seppur da sole non bastano a definire il progetto, aiutano a comprendere il livello di dettaglio che deve raggiungere la sintesi progettuale. Inoltre, anche quando afferisce ad un tipo ben definito e consolidato, l'architettura è sempre una singolare risposta progettuale ai contesti in cui si colloca, contesti che spaziano da quello fisico, urbano, geografico, politico, ma anche sociale, psicologico. La stessa cosa non avviene ad esempio nel design industriale, un ambito vicino all'architettura, che se da un lato ha un rapporto ancora più stretto con gli strumenti della produzione industriale meccanica, e viene prodotto in quantità di migliaia se non milioni di esemplari, ha un rapporto diverso con i suoi contesti, che banalmente non sono puntualizzati dall'unicità della posizione geografica. La stessa osservazione si può fare per il progetto grafico, per il *web design*, tutti ambiti in cui i progettisti si confrontano con un numero di variabili tecniche e artistiche che non raggiunge la ricchezza e la complessità di quelle considerabili nel progetto d'architettura. Questo non per far sembrare l'architettura la più complessa tra le pratiche progettuali, in ognuno tra gli ambiti citati il progetto ha oggi raggiunto oggi complessità inimmaginabili precedentemente e tutte possono essere d'esempio per innovare il processo progettuale architettonico, ma la rosa di complessità che un architetto deve essere in grado di interpretare è tradizionalmente la più ampia all'interno delle pratiche progettuali, come già diceva Vitruvio nel primo libro del *De architettura*:

La scienza dell'architetto si adorna di molte discipline e di svariata erudizione: egli deve essere in grado di giudicare tutte quelle opere che le singole arti costituiscono ... E occorre che conosca la scrittura, sia esperto di disegno e di geometria, sappi storia e mitologica, s'intenda di filosofia, conosca la musica, non sia ignaro della medicina, abbia cognizione della giurisprudenza, nonché dell'astrologia e dei computi celesti. (Vitruvio, p.37)

È quindi quella dell'architettura, una cultura ampia, che fonda la radici del progetto nella ricchezza di competenze necessarie per praticare la nostra professione, e nonostante sia forte di una tradizione e una peculiarità della disciplina estremamente unica e strutturata, è per sua natura aperta verso le altre discipline, e rivendica costantemente la sua natura interdisciplinare. Questa apertura implicita del nostro operare, è evidente nel rapporto diretto che vincola le architetture alla società a loro contemporanee, tanto da permetterci di affermare che il progetto di architettura affonda le sue radici nella cultura, da cui trae costantemente il nutrimento utile alla sua evoluzione, scandagliando i contesti del suo operare. Il tema dell'interdisciplinarietà impone un'importante riflessione sull'evoluzione del progetto d'architettura, questo perché, come è facile osservare, i margini della nostra competenza disciplinare

si sono articolati, non solo con l'ampliarsi delle dimensioni di intervento, ma anche con il dilatarsi delle relazioni produttive, e soprattutto con il moltiplicarsi delle informazioni necessarie al progetto, che sempre più provengono da altre discipline. Come ricorda Gregotti, il rischio insito in ciò è quello di fare del problema dell'interdisciplinarietà un puro problema di saperi specialistici, le cui conclusioni vanno accettate senza discussione alcuna. Così, se da un lato è necessario puntualizzare storicamente il ruolo dell'architetto all'interno del nuovo sistema di relazioni interdisciplinari, dall'altro è necessario istituire nuovi modi di instaurare e controllare i rapporti con tali contributi. È impossibile infatti usufruire dei contributi di altre discipline senza discuterne alla radice senso e connessioni, sia perché questi diventano materiali offerti all'ordinamento del linguaggio architettonico, sia perché all'interno della pratica progettuale, questi contributi possono venire radicalmente spostati proprio dall'offrirsi delle nostre ipotesi architettoniche verso le altre discipline, fondando una rete di nuove possibilità per il progetto.

Sviluppare le possibilità di questi contributi, rendendoli materiali per il progetto è compito dell'architetto, che è responsabile del processo progettuale, all'interno del quale svolge il ruolo di grande mediatore, tra desiderio, materiali progettuali e fattibilità del progetto architettonico. Quello della mediazione, è un argomento di importante attualità, per essere capaci di mediare, è necessario saper interpretare, e come abbiamo già visto l'interpretazione in architettura inizia dal desiderio della committenza, momento in cui inizia a costituirsi nella mente del progettista, oggi si direbbe dei progettisti, la prima ipotesi progettuale, non liquida ma addirittura aeriforme, accennata nelle finalità progettuali e nelle possibilità che l'architetto intravede, forte della sua conoscenza tecnica e artistica. Da questo punto il progettista intraprende un percorso di arricchimento del progetto, frutto di una iniziale, ma anche continuata raccolta di dati, informazioni che possono essere banalmente quantitative, dal rilievo in poi, ma anche qualitative, formando una collezione di complessità che segue la variazione della scala progettuale, e che nella contemporaneità è arrivata ad arricchirsi ulteriormente. Ciò rende necessaria una prima importante riflessione sul significato dei dati, questi sono sempre stati il frutto di un'attività che, nonostante la rigorosità scientifica raggiunta, passa attraverso strumenti, fisici o metodologici, che utilizziamo per sintetizzare la realtà, tramite convenzioni, e sono quindi sempre diversi dalla realtà. Così come afferma lo scienziato e filosofo polacco-statunitense Alfred Korzybski (1958), che nel definire relazione tra mappa e territorio afferma come la mappa non sia mai il territorio che rappresenta, essa può avere, se corretta, una struttura simile a quella del territorio, che conserva la sua unicità e di cui la mappa, rappresenta sempre un modello. La conoscenza dei dati e quindi di modelli della realtà è per il progetto una paziente operazione attraverso cui si realizza la conoscenza del tema architettonico. Nel processo progettuale i dati si accumulano, acquisendo nel tempo una chiarezza con cui l'ipotesi progettuale si confronta, per questo è di fondamentale importanza dubitare della loro obiettività: questi pervengono al progetto sempre istituzionalizzati, secondo regole o addirittura prassi, risultato comunque di esperienze pregresse. Inoltre, come abbiamo già detto, i dati che indaghiamo prendono senso da connessioni e ordinamenti che oggi più che mai sono assai lontani

dall'architettura. L'esperienza progettuale si pone quindi anche come rifondazione critica dei dati del problema in funzione della formazione dell'ipotesi di progetto, ipotesi che non è soltanto un nuovo legame logico tra i dati ma deve porsi già come un modo architettonico di formarli, proporli e connetterli.

Questa pratica di mediazione con il reale, segna i momenti di trasposizione e dialogo con una diversa dimensione, quella del progetto, luogo di simboli, che durante l'intero processo si arricchiranno, sino a fissare e comunicare l'intenzione architettonica del progettista, tramite piante, prospetti, sezioni, prospettive, dettagli costruttivi, tutte notazioni convenzionali frutto della nostra tradizione, formando una collezione di astrazioni non autonome, significanti del manufatto architettonico.

La definizione del progetto d'architettura come altro rispetto alla realtà, necessita quindi di un'ulteriore precisazione, utile a definirne limiti e le peculiarità nella nostra disciplina. Vediamo ad esempio un tipo particolare di progetto, quello utopico, che per definizione non è realizzabile, non perché non si è successivamente tradotto in fisicità, ma per decisione progettuale. Il progetto utopico si pone infatti come schema spaziale in una società impossibile, proiettata verso un universo senza storia, indicando una possibilità ideale, una direzione di trasformazione. Esso rappresenta sempre una visione estesa, orientata verso una definitiva sistemazione di tutti i rapporti, politici e sociali oltre che spaziali, da questa intenzione e non dalla successiva produzione delle architetture trae la carica di significato progettuale. La stessa cosa non avviene ordinariamente nel progetto di architettura, dove è fondante la possibilità continua di stabilire relazioni finite all'interno di contesti fenomenologici, senza pretendere di presentarsi come metodo generale. Questo succede persino quando il progetto si presenta come strumento metodologico, o vuole significare per l'architettura qualcosa che supera il suo insieme materiale, anche in questi particolarissimi casi, il progetto dovrà arrivare a richiudersi, definirsi, sviluppando connessioni dirette con la materialità progettuale, costringendo l'utopia alla specificità del nostro campo disciplinare, a rientrare nella storia e quindi nella realtà fisica dell'architettura (Gregotti, 1966).

Se come abbiamo già letto nelle parole di Foucault, l'utopia è un percorso che si muove in una sola direzione, dalla realtà al non reale, e non è prevista una connessione di ritorno con il mondo reale, ciò non accade con il progetto di architettura, che della realtà nutre la sua dimensione simbolica, in un dialogo costante e prolungato, sino al momento in cui viene definito, per essere tradotto nel manufatto architettonico, realizzandosi come eterotopia, ovvero dimensione altra, che dalla realtà diparte, per poi concludere il suo percorso nuovamente nella dimensione tangibile della materialità. È proprio la condizione eterotopica del progetto che permette all'architetto di sospendere, neutralizzare e rimodulare i significati del reale e a veicolarli verso nuove sintesi. Ma come avviene questo processo? Quali sono le facoltà a disposizione del progettista per affrontare un percorso che dai dati procede attraverso una mole incalcolabile di scelte sino a raggiungere l'unicità del progetto di architettura? A queste domande risponde Munari, (1977) che nel definire la pratica progettuale nel senso più ampio, afferma come l'uomo indaghi la realtà attraverso l'intelligenza, ovvero la sua capacità di comprensione. Ciò che comprendiamo si stratifica e conserva



Figura 2.1.4: Le facoltà di fantasia, invenzione e creatività rappresentate da Munari (1977, 37).

nella memoria, importante bagaglio del sapere, che può contare inoltre su supplementi e supporti esterni alla nostra mente. La ricchezza delle informazioni stratificate nella memoria è il patrimonio a cui il progettista attinge tramite tre modalità di pensiero che creano relazioni tra ciò che conosciamo per generare qualcosa che prima non c'era: fantasia, invenzione e creatività, figura 2.1.4, termini apparentemente simili, ma che nel pensiero di Munari, sono chiaramente distinguibili. La fantasia è la facoltà più libera tra le tre, opera infatti, non tenendo conto della realizzabilità o del funzionamento di ciò che ha pensato, ci permette di concepire qualunque cosa, anche se impossibile. L'invenzione usa lo stesso metodo della fantasia, cioè la relazione fra ciò che si conosce, ma la finalizza ad un uso pratico, astringendola alle possibilità del reale. Si inventa ad esempio un nuovo motore, una formula chimica, uno strumento. Chi inventa non si preoccupa necessariamente del lato estetico della sua invenzione, ciò che importa è che la cosa inventata funzioni veramente e serva a qualcosa. Infine la creatività, che è un uso finalizzato della fantasia e dell'invenzione, ed è adoperata nel campo della progettazione, in un modo che pur essendo libero come la fantasia e esatto come l'invenzione, comprende tutti gli aspetti di un problema, non solo l'immagine come la fantasia, non solo la funzione come l'invenzione, ma anche l'aspetto psicologico, quello sociale, economico e umano. Una quarta facoltà, quella dell'immaginazione è il mezzo che ha il progettista per rendere visibile ciò che la fantasia, l'invenzione e la creatività pensano, trovando nel disegno, nei modelli fisici dei mezzi sostitutivi all'immaginazione, tramite cui il progetto viene rappresentato finalmente comunicato e condiviso per essere in seguito prodotto.

Quello della rappresentazione, specialmente all'interno del processo progettuale architettonico, è un tema di grande portata ed estensione, se effettivamente è possibile distinguerne due fasi, una prima legata al progetto come documento e storia del formarsi di un'immagine architettonica, e una seconda nell'organizzarsi di questa immagine nel progetto attraverso una collezione di notazioni finalizzate alla comunicazione del progetto in funzione della costruzione. Queste due fasi non sono temporalmente successive e logicamente causali, ma solo funzionalmente distinte, poiché in realtà si influenzano durante tutto il processo di formazione del progetto. L'immagine del progetto si forma, non solo gli schizzi progettuali attraverso i quali fissiamo impostazioni progettuali provvisorie, ma anche tutte le annotazioni, i grafici, i documenti, materiali per mezzo dei quali indaghiamo e scegliamo i dati del problema ponendoli in discussione. Attraverso questi documenti, instauriamo un percorso

che non è mai rettilineo, semmai tortuoso: una paziente e continua limatura e riconfigurazione, attraverso cui tentiamo di solidificare il progetto attorno ad alcuni nodi, che comunque devono sempre sempre pronti a tornare allo stato liquido al presentarsi di un dato imprevisto, una nuova interpretazione, o lo scontrarsi con una incongruenza inaspettata. Questo processo arricchisce la nostra conoscenza del tema progettuale, affinandola in percorsi anche autonomi, che da generale e schematica la trasformano in specifica e articolata, essa è ovviamente anche una ricerca dell'immagine, ma che può avere il centro in ogni punto del progetto, anche in una sezione, in un dettaglio, e che da lì si muove potenzialmente in ogni verso e direzione. Il progetto, e in particolare il progetto di architettura, non è mai la rappresentazione di una cosa data, ma è conversazione progettuale che noi istituimo non solo con la materia dell'architettura, con la sua rappresentazione, è un'entità che ci contesta e ci suggerisce, e che a sua volta è invenzione in funzione dell'oggetto o dell'insieme. Con la rappresentazione instauriamo un dialogo che ci rende capaci, ad ogni variazione, di una sempre diversa rielaborazione totale del tema progettuale, rideterminando continuamente la nostra conoscenza e affinando costantemente la figura. Come ricorda Gregotti, rispetto a questa attività, i mezzi di rappresentazione non sono mai né indifferenti, né obiettivi, tanto da poter dire che non sono mai mezzo, poiché indicano e fanno parte della nostra intenzione progettuale. Questa riflessione, quantomai attuale oggi, dato un momento storico in cui la diffusione degli strumenti digitali si è concretizzata nella pratica architettonica a diverse profondità al variare della scala degli studi professionali, ci permette di osservare che: se è vero che il mezzo è il messaggio, come già abbiamo letto nelle parole di McLuhan (1967), è anche vero che questi strumenti permettono oggi al progetto di ottenere una capacità anticipatrice, livelli di articolazione e dettaglio tecnico inimmaginabile senza il loro utilizzo. Si tratta di un argomento incredibilmente dibattuto, che storicamente in Italia ha trovato risposte positive e negative. Se Gregotti da un lato rivendica la manualità e l'esercizio del disegno come ultimo rapporto corporeo che l'architetto attua con la fisicità e afferma come questa manualità vada difesa ad oltranza, osserviamo anche potenziali aperture verso l'uso di calcolatori, ad esempio nel pensiero di Gino Pollini, che decenni prima della svolta digitale, durante la sua fiorente attività Palermitana, già intravede delle possibilità per l'utilizzo degli strumenti tecnico-informatici all'interno del processo progettuale (Tuzzolino, 2001).

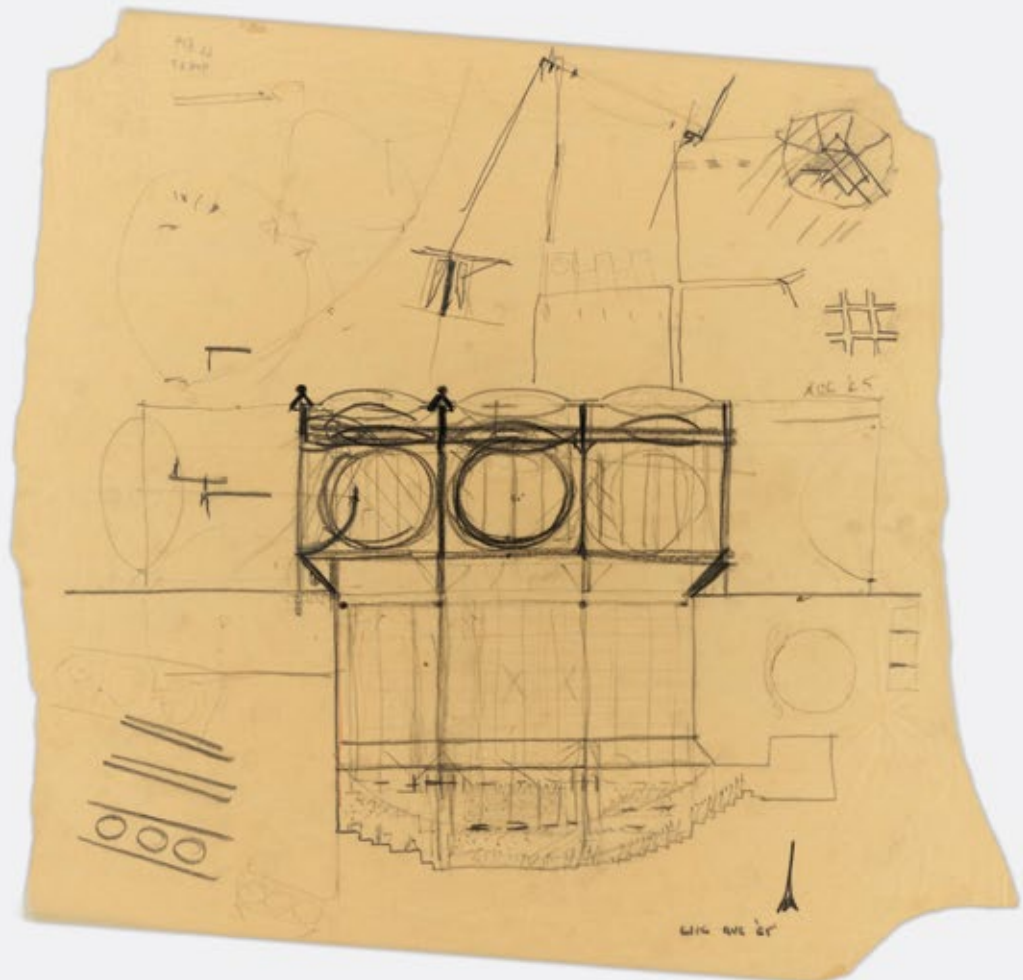
Per approfondire la non-neutralità di questi mezzi nel contesto della nostra ricerca è necessario ampliare il nostro sguardo su quello della tecnica, una parola che implica i principi di metodo e norma, ma anche una continua modificazione, frutto di un confronto che come abbiamo visto accompagna l'evoluzione della società e quindi dell'architettura. In architettura, più che in altre pratiche artistiche, le tecniche hanno un ruolo indubbiamente centrale. Non esiste, storicamente, un trattato di architettura che non intrecci strettamente principi teorici, compositivi, e tecniche di costruzione. Nonostante *ars* sia la traduzione latina di tecnica dal greco *tekne*, è chiaro come la tecnica sia un modo di fare qualcosa, non la cosa che si fa. È quindi contempo possibile affermare che sebbene non basti la tecnica per definire l'arte, non esiste arte senza tecnica, e il rapporto tra le due è della massima importanza nella costituzione

delle cose dell'architettura. Citando Jean-Luc Nancy (1994, 14), è possibile comunque dire che nei nostri anni, «la divisione separa sovente il prodotto *poiesis*, dal modo di produzione *tekné*. Da ciò consegue una forte tensione tra i due poli, che mirano alla loro auto finalizzazione, tentando di sopraffare l'altro piuttosto che instaurare un dialogo». Una polarità oggi sbilanciata verso la tecnica, così come Gregotti legge in ogni contemporaneità artistica:

Per quanto tutti affermino che carattere dell'arte del XX secolo sia il suo speciale, intimo rapporto non solo con la tecnica ma anche con la tecnologia. Da un lato, l'idea di nuovo nell'arte come unico valore (privato delle intenzioni di senso della ricerca del nuovo stesso a ogni costo), pretende una autonomia assoluta in ogni capo, (tanto che l'arte si vuole oggi talvolta come verità della stessa tecnica), dall'altro, il mondo delle tecniche scientificizzate, con i loro straordinari successi, ha assunto in quanto contenuto principale oltre che in quanto mezzo, un ruolo sempre più centrale negli sviluppi morfologici delle arti. Tanto che si pone come finalità anche alle cose dell'architettura, mettendo così in discussione il tradizionale equilibrio tra i diversi elementi della progettazione. (Gregotti, 2002, 4)

Il pericolo di sbilanciamento, prosegue l'autore, è maggiormente concreto in architettura, dove il rapporto con la tecnica è fondante e può essere schematizzato

Figura 2.1.2: Schizzi di progetto realizzati da Louis Kahn per il palazzo dell'assemblea del Bangladesh, 1965. (Immagine MoMA)



secondo l'autore in tre principali declinazioni: le tecniche materiali, quelle dell'organizzazione e quelle morfologiche. Le tecniche materiali si riferiscono specificamente alla costruzione del manufatto nei suoi diversi aspetti: da quelli strutturali, alla scelta e alla lavorazione dei materiali, quindi la loro messa in opera, la loro unione e la sovrapposizione dei loro relativi dettagli. Questo primo gruppo di tecniche è strettamente connesso alla pratica, ed è costituito dalle abilità del progettista e delle sue esperienze accumulate nel tempo. Le tecniche dell'organizzazione riguardano invece le dimensioni e la disposizione degli spazi abitabili, chiusi o aperti, e i loro modi di costituirsi in organismo nello stesso tempo riconoscibile e disponibile agli usi. Sono tecniche in qualità di modi di formazione del progetto, di individuazione di metodi e procedure da adottare all'interno dei sistemi di comunicazione tra progettista ed esecutore, tecniche che attengono alla rispondenza tra programma e opera e al controllo produttivo del progetto. Esse sono connesse all'idea di programma, nella qualità di tecnica del fare, per mezzi finiti e in quanto possibilità combinatoria. Le terze, quelle morfologiche, sono tecniche che si riferiscono ai criteri e ai modi di dare forma e misure ai diversi materiali, con l'obiettivo di costituire l'unità dell'opera architettonica, trovano specifica pertinenza nei modi di rappresentarsi dell'opera nella sua formazione e nel suo risultato. Questo terzo gruppo è quello in cui la prassi progettuale diventa poiesis, tecniche volte a raggiungere l'apice della finalità progettuale, una finalità senza finezze temporali, che si attua per mezzo dell'opera compiuta.

L'argomento delle tecniche ha quindi visto, secondo i tre gruppi identificati, una continua evoluzione all'interno del processo progettuale, e con l'apertura verso nuove possibilità tecnico scientifiche, insieme ai sempre maggiori requisiti di descrizione del progetto architettonico in ottica produttiva, si sono aperte nuove questioni sulla razionalità scientifica del processo progettuale, in termini di sistemi di controllo nelle diverse fasi del progetto: dalla raccolta e utilizzazione dei dati, sino alla lettura dell'architettura in termini di efficienza e alla capacità previsionali del progetto. Questioni quantomai dibattute oggi (Sacchi, 2018), e che ci riportano verso un tema ben più vasto, quello del rapporto tra ricerca scientifica e ricerca progettuale all'interno della nostra disciplina. È possibile indagare il modo in cui le scienze si pongono in relazione all'attività artistica secondo due direzioni: nel primo senso come modello per indagare e conoscere la realtà, prevederne i comportamenti, ovvero tramite la definizione di strumenti finalizzati a controllare la razionalità interna del nostro processo di indagine, in modo da stabilirne le strutture e verificare sperimentalmente la correttezza delle connessioni esterne. In un secondo senso, le scienze si propongono nei confronti dell'arte quale valore primo e proprietà specifica della realtà del mondo moderno, materia primaria da formare in mezzo alle cose del mondo. Considerando la prima tra le direzioni descritte, è possibile constatare come, rispetto ad altre attività artistiche, in architettura esistano un ampio numero di ragioni a favore della singolare permeabilità della nostra professione all'approccio scientifico. Questa particolare permeabilità non si riferisce esclusivamente alla complicazione tecnica della professione dell'architetto ma, alla complessità dei materiali con cui esso lavora: materiali che sempre più provengono da discipline autonome esterne

all'architettura e che si presentano secondo un grado di elaborazione tecnica e culturale già elevato, inducendo a pensare il processo architettonico, in quanto costruzione di significanti, come un sistema di sistemi (Gregotti, 1966). Ciò necessita nuovo sguardo sulle metodologie della nostra professione, sia esternamente, che internamente ad essa. Esternamente come problema di connessione razionale tra le diverse discipline che concorrono alla definizione progettuale, discipline che arrivano al progetto in una forma scientificamente definita e autonoma. E internamente, come metodo organizzativo del contenuto specifico dell'architettura, che mira non solo alla definizione tecnica e spaziale dei servizi, ma anche a promuovere significati. La complessità di questo obiettivo, insieme all'ampiezza delle scale di intervento e alle differenti tecniche indotte all'interno del progetto, portano oggi, a dotare il nostro processo progettuale di una specifica completezza, che mira a diventare oggettuale, tramite una metodica di controllo peculiarmente definita. Metodica volta, non solo a classificare le invarianti tipologiche, morfologiche e tecnologiche frutto della esperienza cementata nella nostra disciplina, ma anche e sempre di più, a formalizzarne i sistemi di relazione, classificandoli secondo quantità, in modo da convenzionalizzarne i metodi di rappresentazione tramite modelli elaborabili, che si sono costituiti nelle altre scienze, dotate di diversi metodi di ricerca e organizzazione del sapere. Su questi due diversi fronti, il rapporto tra ricerca e progettazione architettonica si sviluppa quindi in due distinte categorie di temi, da un lato quello della razionalizzazione dei metodi di produzione del progetto, dall'altro quello della scientificizzazione delle connessioni interne ed esterne ad esso. Entrambi i temi presuppongono lo sviluppo di una ricerca scientifica in architettura come qualcosa di distinto dal progetto, che resta privilegiato tra le possibili forme di ricerca nel campo dell'architettura.

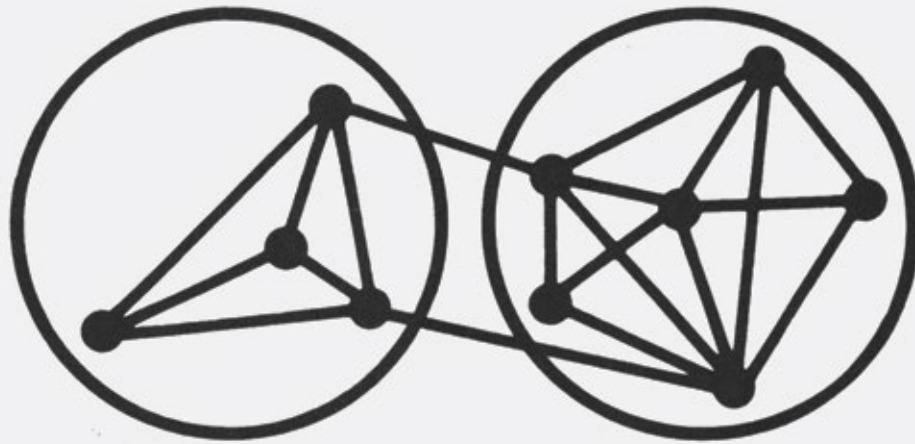
Troviamo un perfetto esempio di come questo diverso rapporto tra ricerca scientifica e ricerca progettuale si sia già sviluppato all'interno della pratica progettuale, cercando di oggettivarla, di renderla scientifica ed esatta nella teoria dei modelli. Questa si pone l'obiettivo di connettere tramite passaggi e relazioni controllabili i due poli opposti del processo progettuale: la sommatoria delle condizioni di base e l'assetto formale del progetto ultimato; Ed è basata sull'ipotesi che definendo le condizioni di base come "requisiti" del progetto, da queste sia direttamente ottenibile il risultato formale dell'architettura, dedotto tramite un'attenta analisi dei requisiti e la definizione esatta della procedura che regola l'iter progettuale. Questa caratteristica permette di sostituire la normale prassi intuitiva con un sistema controllabile in ogni fase. La soluzione del problema progettuale è quindi una forma che soddisfa con successo tutti i requisiti, analogamente a quanto sia possibile fare matematicamente con un'equazione (Arredi, 2006).

Un importante contributo alla teoria dei modelli è indubbiamente quello di Christopher Alexander (1964), teorico e accademico britannico, che all'interno del libro *Notes on the Synthesis of Form* afferma che la difficoltà da risolvere in ogni problema di progettazione stia nella rispondenza di una forma da definire in relazione a un contesto che non è possibile descrivere perfettamente. Una difficoltà che è comunque necessario superare per ottenere in architettura quella corretta relazione tra requisiti

e forma volta a garantire la rispondenza tra architettura e contesti. Per Alexander l'oggetto finale della progettazione è la forma, a cui si deve pervenire tramite un processo di sintesi che prevede inizialmente l'analisi dei requisiti e una serie di diverse fasi programmatiche nel quali si costituiscono gradualmente soluzioni parziali, relativamente a gruppi di requisiti sempre più ampi, figura 2.1.3, fino alla definizione di un sistema all'interno del quale la forma è assimilabile alla soluzione di un sistema. Le prime teorie di Alexander, che seppur hanno trovato importanti risposte in altri campi della progettazione, contribuendo addirittura alla definizione di nuovi paradigmi tra gli sviluppatori in informatica, non hanno storicamente ottenuto all'interno della pratica progettuale il riscontro che probabilmente l'autore si aspettava. Questo perché come ci ricorda De Carlo, il progetto di architettura è tentativo e frutto di una continua lettura, e instaura tra le due attività di lettura e tentativo una relazione di dialogica complementarità, che non solo caratterizza, ma addirittura fonda la tortuosità dell'iter progettuale in architettura, ragione per cui l'idea di affrontare l'attività progettuale tramite strategie deterministiche è difficilmente realizzabile. (Tuzzolino, 2020)

Oggi, in un contesto storico, sociale diverso da quello che ha portato alla nascita le teorie sulla sintesi della forma di Alexander, è possibile osservare un sempre maggiore interesse per la metodologia scientifica in architettura. Per affrontare la contemporaneità è quindi importante riflettere sul significato creativo del processo progettuale, rivendicando il significato più coerente del termine creatività, parola abusata che sembra essere opposta al concetto di rigore processuale, ma che merita una rifocalizzazione. Creatività, afferma Munari (1981), non significa improvvisazione senza di metodo, all'interno del progetto il metodo è fatto di valori oggettivi che diventano strumenti operativi nelle mani di chi crea. Munari descrive una procedura progettuale basata sul metodo dei requisiti articolandola in passi, dalla prima definizione del problema, che nasce da un bisogno, il quale contiene effettivamente tutti gli elementi utili per la sua soluzione. Da ciò consegue la necessità di definire il problema e stabilire innanzitutto la possibile tipologia di soluzione. Il problema viene quindi suddiviso in una collezione di componenti, di cui devono essere individuati analizzati e risolti i diversi sotto-problemi, muovendosi verso una riunificazione coerente del sistema, che rispetto secondo tutte le caratteristiche funzionali della singola parte e del gruppo globale. Conciliare le singole soluzioni all'interno di una soluzione generale è quindi la maggiore difficoltà di questa parte del processo progettuale, poiché questa pratica deve essere frutto di un dialogo continuo tra diverse sotto-soluzioni, che seppur si dimostrano ottimali nella risoluzione di un singolo sotto-problema, possono scontrarsi con altre sotto-soluzioni. Per un raggiungimento degli obiettivi progettuali è quindi necessaria una continua raccolta e analisi di dati, utili a comprendere come sono stati risolti determinati sotto-problemi in situazione simili, così che tramite la creatività i problemi vengano risolti in modo adeguato. A queste fasi seguono quelle di sperimentazioni dei materiali e la stesura dei disegni definitivi. Con questo metodo di progettazione, né fisso, né unico, né completo, né definitivo, ma frutto dell'esperienza, all'interno del quale il progettista esercita la facoltà della creatività, Munari supera la discontinuità fra il modello e le procedure di analisi e sintesi progettuale, discontinuità impossibili da risolvere

Figura 2.1.3: Il problema progettuale risolubile per Alexander nella unione di subgruppi di requisiti. (Alexander, 1964, 52)



tramite un procedimento che interessi esclusivamente il livello analitico-deduttivo del progetto, che al contrario necessita di un metodo creativo, continuamente capace di includere nuove soluzioni. In linea con il discorso sulla creatività di Munari è anche Philip Johnson-Liard (1990), che nel definire le proprietà del processo creativo afferma come esso fornisca un risultato che è nuovo per l'individuo, non puramente ricordato o percepito, e che non può essere costruito a memoria o per mezzo di una semplice procedura deterministica. A differenza del calcolo e di altre procedure analoghe, il processo creativo non è mai deterministico perché usare le tecniche di invenzione da sole non assicura un risultato certo, buono e innovativo. Non è possibile in alcun modo pensare ad un processo della creatività che sia puramente causale, normato, per cui dato un problema, definite premesse, obiettivi e tecniche si possa ottenere un risultato effettivamente creativo e soddisfacente.

Pur volendo porre l'architettura nell'ambito più ampio del problem solving, perché risolve o quantomeno prova a risolvere dei problemi che sono sia disciplinari, come quelli funzionali, distributivi, formali, figurativi, di dettaglio, che extra disciplinari, esigenze del cliente, contenimento dei costi e dei consumi, normativi. È importante però fare una distinzione, poiché nel problem solving esistono due tipi di problemi: i problemi ben definiti e quelli mal definiti. Sono ben definiti i problemi di aritmetica, di geometria, mal definiti quei problemi che non forniscono tutta l'informazione necessaria alla loro soluzione. Problemi per i quali non esistono strumenti definitivi tramite cui decidere se e quando il problema è risolto, né criteri validi per valutare la correttezza della soluzione sintetizzata (Boscolo, 2006). Il progetto di architettura appartiene chiaramente alla seconda tipologia, quella dei problema mal definiti, per questo necessita di essere affrontato tramite un approccio creativo e euristico. A questa distinzione, è necessario aggiungerne un'altra, di particolare importanza nel dibattito architettonico contemporaneo, quella tra algoritmo e euristica. Per algoritmo si intende usualmente una procedura di calcolo, che tramite un determinato numero di passaggi assicura il raggiungimento del risultato cercato e certo. Il concetto, ereditato dalla matematica, indica piani e procedure all'interno del

quale cui si applica un metodo di operazione già noto, utile a trovare la soluzione. L'euristica, al contrario, non è sistematica, ed è una procedura che non esime da rischi e in senso stretto non garantisce risultati, così viene applicata nella società quando non c'è un algoritmo capace di affrontare un problema. Come accade in architettura, dove l'euristica viene applicata secondo un processo, che non è di certo perfetto e unico, ma consente analisi e decisioni semplificate, il più delle volte efficaci. (Zambelli, 2007)

Nel concludere queste considerazioni sul progetto di architettura, che sicuramente non sono sufficienti a definire la ricchezza di significati, metodi e prassi che definiscono la nostra pratica progettuale, ma ci aiutano nella lettura delle evoluzioni del pensiero progettuale in seno alle innumerevoli svolte che hanno segnato la teoria dell'architettura, trovo importante citare il pensiero di Foucault, che afferma come l'episteme moderna si possa rappresentare in uno spazio aperto secondo tre dimensioni. La prima è quella delle scienze matematiche e fisiche, che si fondano su un ordine tra proposizioni verificate attraverso una concatenazione deduttiva e lineare, la seconda è quella delle scienze empiriche, che creano correlazioni tra elementi discontinui ma analoghi, in modo che tra questi si istituiscano relazioni causali e costanti di struttura, e la terza è quella della riflessione filosofica. Tra queste tre dimensioni, trova la sua collocazione la dimensione delle scienze umane:

Da tale triedro epistemologico, le scienze umane sono escluse, nel senso almeno che non posso venir trovate in una delle dimensioni o alla superficie di uno dei piani così tracciati. Ma possiamo parimenti dire che sono incluse in esso, poiché trovano il loro posto nell'interstizio di questi saperi, più precisamente nel volume definito dalle loro tre dimensioni; questa collocazione (in un certo senso secondaria, in un altro privilegiata) le pone in riferimento con tutte le altre forme del sapere: esse hanno il progetto, più o meno differito, ma costante, di darsi o comunque di utilizzare, a questo o quel livello, una formalizzazione matematica; procedono in base a modelli o concetti desunti dalla biologia, dall'economia o dalle scienze del linguaggio: si rivolgono infine a quel modo d'essere dell'uomo che la filosofia cerca di pensare al livello della finitudine radicale, mentre esse intendono percorrerne le manifestazioni empiriche. (Foucault, 1966b, 35)

E chiaro come, secondo questa definizione, il progetto di architettura possa afferire alle scienze umane (Arredi, 2006), poiché quando progettiamo ci rivolgiamo all'uomo in quanto essere vivente non solo come portatore di bisogni e funzioni, ma anche capace di costruirsi un linguaggio, di creare un universo simbolico tramite il quale costruire un rapporto con il proprio passato, con le cose e con gli altri.

Questa appartenenza conferma come il progetto di architettura sottintenda sempre il tentativo di unire arte e scienza, ragione e intuizione, tecnica ed espressione, e come, per navigare nella pratica progettuale contemporanea sia necessario mantenere un equilibrio che ci permetta di unire la ricerca del rigore metodologico, necessario per fondare la nostra disciplina su basi certe e verificabili, ad un atteggiamento critico e discrezionale, da conservare anche nei confronti di procedure tecnico-scientifiche più rigide.

2.2 ARCHITETTURA E DIGITALE: ALCUNI PRECURSORI

Per investigare l'avvicendamento di teorie, strumenti, metodi, suggestioni e sollecitazioni che hanno portato il progetto di Architettura ad arricchirsi di requisiti, complessità e potenzialità, sino alle recenti evoluzioni digitali che caratterizzano l'inizio del terzo millennio, è opportuno, a mio avviso, guardare alla storia della nostra disciplina, con particolare attenzione verso quei precursori, che hanno enormemente anticipato la pratica architettonica contemporanea. Volendo porre un accento su quei giganti, sulle cui spalle noi nani siamo seduti, operando una pratica architettonica spesso colpevolmente inconsapevole, dovremmo trattare di uomini dai profili, esperienze e successi più disparati: come Antoni Gaudì, celeberrimo progettista Catalano, che adopererà modelli sospesi di cavi e pesi per studiare le forme dell'architettura, Pier Luigi Nervi, architetto e ingegnere creatore di importanti e innovativi edifici in tutto il mondo, ma anche e non solo Felix Candela, Eduardo Torroja, Sergio Musmeci, Heinz Isler, Eero Saarinen, per citarne alcuni. Ognuno tra questi, e sicuramente altri ancora, il cui contributo non siamo ancora stati in grado di assimilare pienamente, meriterebbe una rilettura alla luce degli avanzamenti tecnici e sociali che animano l'architettura contemporanea.

Nell'ottica di questa tesi, limitandomi a quei progettisti la cui influenza sul secondo digitale è più netta, ho scelto di rileggere la produzione e soprattutto il pensiero di tre figure, nell'ordine Luigi Moretti, Buckminster Fuller, e Frei Otto. Tre progettisti di fama mondiale, profondamente diversi tra loro per formazione ed esperienze, egualmente mossi dall'instancabile desiderio di produrre una nuova architettura, che si contrapponga e superi il movimento moderno. Mi ha stupito, scoprire nelle loro parole, nei loro metodi e gesti progettuali, un'assonanza che li porterà in tempi relativamente diversi, a leggere nuove opportunità per l'architettura, un diverso rapporto con la tecnica e con la natura. L'opera di Luigi Moretti è densa di rimandi all'architettura storica e tradizionale, e così la sua architettura parametrica, ideata più di mezzo secolo prima del parametricismo, è fondata sullo studio delle architetture dei grandi maestri della tradizione italiana, ed è la dimensione in cui l'autore sviluppa il desiderio di trasformare l'architettura in scienza. Il pensiero e i progetti di Buckminster Fuller, al contrario, nascono da un netto rifiuto per la tradizione, per il caos dell'industria edilizia con cui si confronterà sin dagli anni 20 del 900, e sono segnati dalla sua fiducia nella tecnica, capace di gestire l'energia a favore dell'uomo, così come da una continua ricerca geometrica ed economica. Frei Otto, indicato da Schumacher come unico antenato del parametricismo, è protagonista di una rivoluzione nell'approccio al progetto, in cui la sperimentazione e la riproposizione dei processi naturali sono l'elemento fondante di una produzione capace di superare le limitazioni tecniche della tradizione. Il fatto che questi tre progettisti abbraccino ad un certo punto della carriera l'utilizzo dei calcolatori per affrontare le complessità del progetto, non è sufficiente a definirli progenitori del digitale contemporaneo, ciò che invece rende determinanti le loro esperienze e filosofie nell'ottica di un digitale maturo, è l'essere riusciti a comprendere, tramite le loro esperienze, caratteristiche, limiti e necessità di cui ci stiamo rendendo conto solo adesso.

2.2.1 LUIGI MORETTI

Guardando agli edifici progettati con metodi digitali da alcuni dei principali studi di architettura è difficile leggere delle connessioni con la storia dell'architettura, eppure, sono già state dimostrate da Carpo (2016) delle connessioni tra il concetto di parametro e la tradizione. Le argomentazioni del Prof. Carpo hanno animato il dibattito nel mondo dell'architettura digitale globale, che ha intanto ri-scoperto, la figura di Luigi Moretti. John Frazer (2016) ha scritto un interessante articolo sull'architettura parametrica contemporanea parlando di questo importante architetto romano, che non solo risulta essere stato il primo ad aver formulato il concetto di architettura parametrica, ma lo desume anche dall'osservazione di architetture tradizionali.

Moretti non è uno sconosciuto per la comunità architettonica, soprattutto in Italia, i suoi lavori sono stati ampiamente trattati, (Bucci e Mulazzani, 2000; Reichlin e Tedeschi, 2010) eppure ha senso rivedere il suo pensiero, le sue esperienze, i suoi metodi, alla luce dei cambiamenti occorsi nell'architettura digitale degli ultimi 10 anni, con l'intenzione di comprendere cosa sta succedendo oggi in architettura, sia dal punto di vista metodologico che teorico. Attivo come architetto già a cavallo delle due guerre mondiali, Moretti è vicino all'ambiente fascista e per il regime realizzerà diverse architetture, tra cui, la casa balilla sperimentale del 1936 all'intero del foro Mussolini in Roma: luogo deputato a cerimonie, ricevimenti e manifestazioni sportive di scherma, figure 2.2.1.1, 2.2.1.2 e 2.2.1.3. Moretti parlerà del progetto all'interno dell'articolo *Strutture e sequenze di Spazi*, figure 2.2.1.4 e 2.2.1.5, definendolo «uno dei primi tentativi di modulazione spaziale strettamente unitaria, che tuttavia gioca sulla gamma intera dei parametri di luce, dimensione, forma» (Moretti, 1953, 39). Nel progetto si leggono, effettivamente, i temi cari al Moretti maturo, soprattutto quello dello spazio, che diventerà centrale nella sua architettura parametrica: una serie di metodi geometrici, logici e matematici, che data la loro complessità l'architetto deciderà di affrontare con l'ausilio dei primi calcolatori.

Al lavoro di progettista in Italia e all'estero, Moretti unisce una fervente attività di ricerca, rivolta prima all'analisi dello spazio e della luce nelle opere d'arte, in particolare di Giotto e del Caravaggio e quindi alle strutture e agli spazi progettati dai grandi maestri Italiani: Michelangelo, Borromini, Bernini etc.

I numerosi articoli, principalmente diffusi sulla rivista *Spazio* da lui fondata nel 1950, formano la base teorica su cui Moretti costruirà "un nuovo linguaggio per il pensiero architettonico" (Moretti, 1971), presentato ufficialmente con la *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica* alla XII Triennale di Milano del 1960. All'interno della mostra vengono presentati diversi modelli di architetture mai realizzate, ricordiamo in particolari tre stadi progettati tramite algoritmi matematici per mezzo di calcolatori, figure 2.2.1.6 e 2.2.1.7. Per i diversi progetti Moretti utilizza più di 30 parametri, scelti partendo da considerazioni sulla figura umana, lo spazio, sicurezza statica e posizionale, l'economia del progetto, etc. Il pensiero di Moretti, il suo impegno nella disseminazione della sua architettura parametrica permettono un paragone con Patrik Schumacher, architetto e teorico

Figura 2.2.1.1: La sala delle armi della casa Balilla sperimentale a Roma. (Bucci e Mulazzani, 2000)



Figura 2.2.1.2: Sezione trasversale dell'architettura in corrispondenza della sala delle armi.

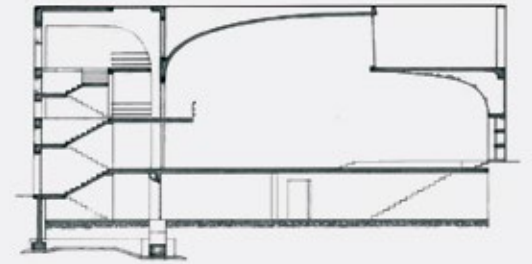


Figura 2.2.1.3: Il prospetto esterno dell'architettura. (foto Augusto Lisi)



dell'architettura che ha inventato e lanciato il *parametricism*. Ci sono però molte differenze tra loro, Moretti nasce a Roma nel 1906, città dove risiederà per la maggior parte della sua vita e dove fonderà, nel 1957, l'Istituto per la Ricerca Matematica e Operativa applicata all'Urbanistica IRMOU, un centro che raccoglieva specialisti di diverse discipline scientifiche e progettisti, con il fine dichiarato di portare avanti gli studi sui metodi dell'architettura parametrica. Moretti nasce 100 anni prima dell'avvento di internet, è un uomo di cultura Italiana, occidentale, come abbiamo già visto, le sue idee sono il frutto di uno studio approfondito di arte e architettura Italiane, e culmineranno in analisi teoriche e metodologiche strettamente legate al progetto architettonico. Al contrario, Schumacher lancia il Parametricismo dopo l'ampia diffusione di internet, promuovendo una teoria globale, più ampia, partendo dal pensiero del filosofo tedesco Niklas Luhmann, e arrivando a includere ampie considerazioni di tipo sociale (Schumacher, 2011). Già nel 1936 Moretti, intervistato per la rivista *Quadrivio* nel suo studio Romano di via Panisperna, annuncia l'avvento di una nuova architettura, che grazie all'ausilio della scienza sarà in grado di superare il razionalismo, nato sulla carta e quindi, a suo avviso, primitivo (Diemoz, 1936). La storia ha negato la profezia di Moretti, ancora oggi il razionalismo ha una grossa influenza sull'architettura, questo è vero anche per Schumacher (2016a), che

vede in questo un segnale della difficoltà nell'accettare la necessità di una nuova complessità architettonica imposta dalla società contemporanea. Le sperimentazioni legate al *form-finding* e le ricerche sui materiali degli ultimi anni (Menges, 2016), contemporanee al *second digital turn*, hanno portato alla formulazione del principio "*Form Follow Forces*" (Bletzinger & Ramm, 2014), segno di una riscoperta del rapporto tra forma e struttura di cui già Moretti era consapevole. Nell'articolo *Struttura come forma*, figura 2.2.1.8, (Moretti & Figus, 1951) l'architetto romano dichiara che la triade vitruviana è stata male interpretata da trattatisti minori del sedicesimo secolo, semplificata per fini didattici, affermando inoltre che la relazione fra valori plastici, costruttivi e funzionali in architettura è indivisibile. Per Moretti l'architettura è definita da un complesso sistema di relazioni, queste sono leggibili nella forma strutturale, una delle n forme possibili, nella forma funzionale, risposta ai bisogni funzionali del tema architettonico, e nella forma espressiva, frutto della volontà di rappresentazione dell'architetto. Per avere un architettura è quindi necessario che queste tre forme siano identiche, tanto che le relazioni e i ritmi di una delle forme, siano leggibili anche nelle altre due. Moretti guarda inoltre alla storia dell'architettura, riconoscendo nella successione degli stili una continua oscillazione delle tre categorie della forma, a causa delle due principali direzioni generative dell'architettura: Struttura → Forma e Forma → Struttura. La direzione generativa Struttura → Forma è caratteristica dell'architettura adrianea, romanica, gotica e negli edifici di Brunelleschi. Al contrario, durante il Rinascimento, il Barocco e il diciannovesimo secolo, Forma → Struttura è il principale percorso del processo progettuale. Moretti auspica un ritorno alla direzione Struttura → Forma, in antitesi con la direzione Forma → Struttura adottata dal Razionalismo e dai maestri dell'architettura organica, criticando la direzione Funzione → Forma, a cui, solo teoricamente, farebbero riferimento l'architettura razionalista e il design industriale Bauhaus. Questo perché la funzione è sempre descrivibile in una serie di parametri che determinano gli spazi, la loro articolazione e le qualità dei materiali. L'approccio funzionale, ci porta quindi a due possibilità: se i parametri sono limitati in numero, la soluzione può essere unica e tecnicamente determinabile con rigore scientifico, al contrario, se i parametri sono molti o alcuni di loro non sono identificabili, così come accade in architettura, otterremo una forma approssimata, che soltanto la definizione della struttura può risolvere, in un percorso progettuale che seguirà quindi la direzione Struttura → Forma.

La percezione degli oggetti nello spazio è un tema di forte interesse per il parametricismo contemporaneo, per Moretti è addirittura un punto di partenza da cui arriverà a sviluppare il concetto di architettura parametrica. In un articolo del 1957, *Forma come struttura*, pubblicata sulla rivista *Spazio*, Moretti ci parla di come le forme vengono percepite dagli esseri umani, ciò avviene grazie alle differenze tra le diverse forme. Ogni forma può essere definita dalle sue differenze, così, la nostra percezione della realtà può essere assimilata a un sistema di differenze ordinate in un ritmo che costituisce la legge della forma. Per procedere nel ragionamento Moretti fa un'analogia matematica, richiamando le teorie di Evariste Galois, e definendo il sistema di differenze come un gruppo. Il gruppo di differenze non è una qualità della

Figura 2.2.1.4: Volumi degli spazi interni della chiesa di Santa Maria delle grazie di Guarino Guarini. (Moretti, 1953, 35)

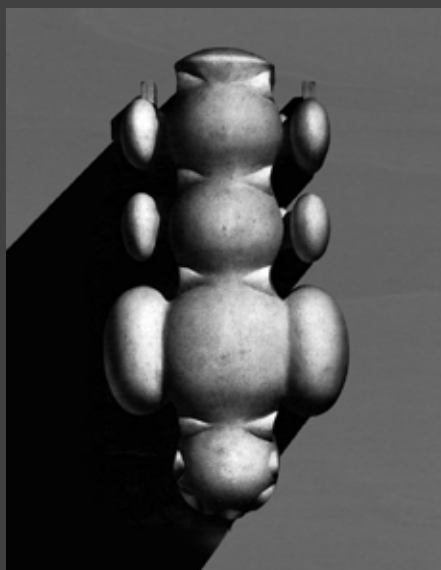


Figura 2.2.1.5: Volumi degli spazi interni della chiesa S. Filippo Neri Monferrato di Guarino Guarini. (Moretti, 1953, 37)

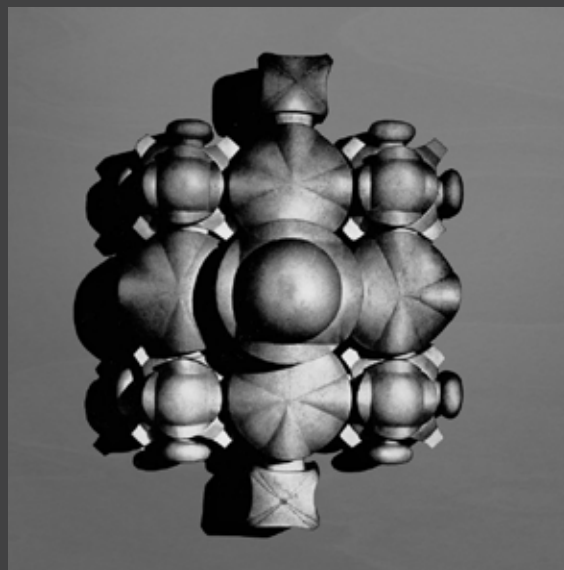


Figura 2.2.1.6: Modello di uno stadio progettato secondo le curve di equiappetibilità visiva. (Reichlin e Tedeschi, 2010, 20)

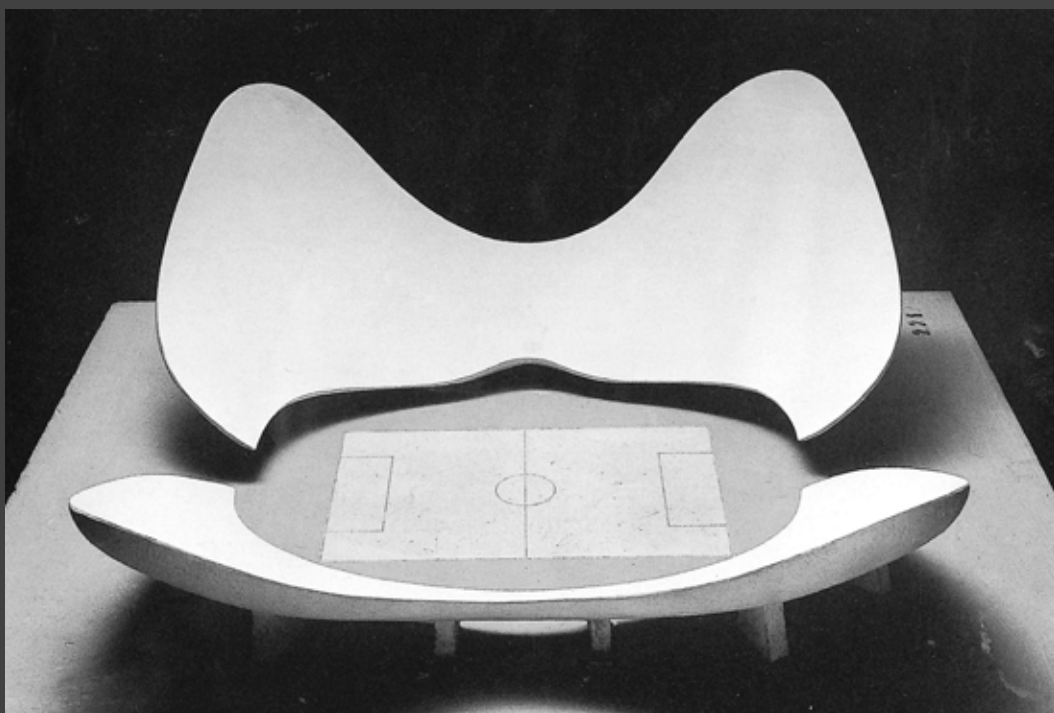
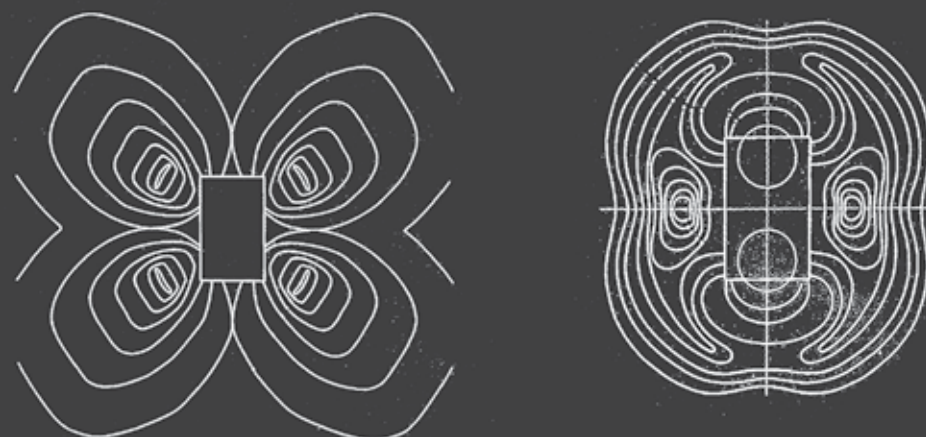


Figura 2.2.1.7: Schemi esplicativi dei processi di architettura parametrica adattati da Moretti nella progettazione degli stadi. (Bucci e Mulazzani, 2000, 114)

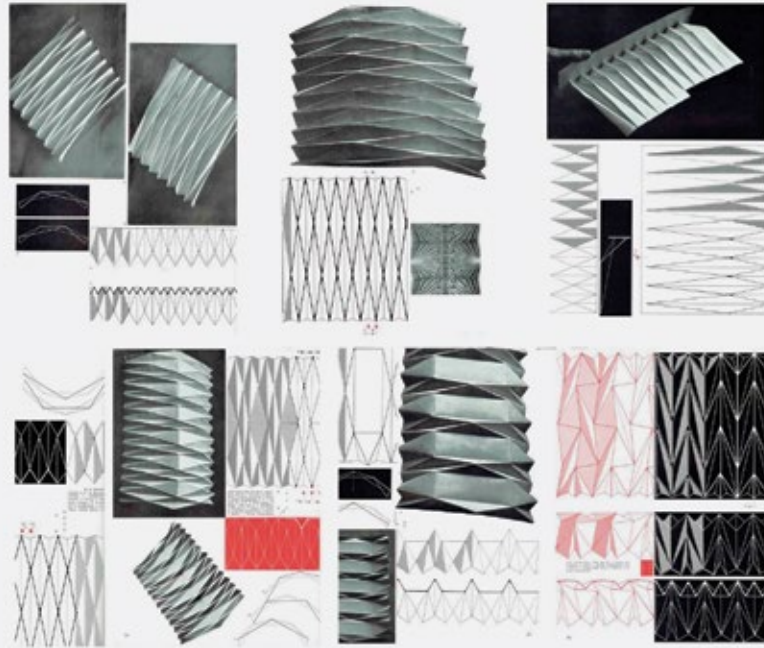


forma, ma una serie di relazioni leggibili dagli esseri umani nell'istante. Maggiore è il numero di differenze presenti in una forma, più vivida sarà la percezione della forma, non a caso, il volto umano, carico di differenze nette e improvvise (serie di colori, qualità dei materiali, relazioni di chiaroscuro) è l'elemento identificativo della figura umana. Moretti afferma che il gruppo di differenze che siamo in grado di percepire simultaneamente è limitato, e lo definisce catena. La percezione di una forma complessa avviene quindi attraverso il fluire di una serie di catene nel tempo, ogni catena è collegata alle vicine da una relazione che Moretti arriva a definire come un isomorfismo nel gruppo delle differenze. Una forma non elementare è quindi costituita da un gruppo di differenze tra loro legate da relazioni che ne esprimono e ne obbligano l'ordinamento e la consequenzialità, il complesso di queste relazioni è quello che Moretti chiama la "Struttura della forma". L'Architetto enumera diversi tipi di strutture in architettura, ad esempio: la struttura del chiaroscuro, la struttura delle relazioni statiche, la struttura degli spazi, la struttura delle relazioni plastiche, la struttura delle superfici, la struttura della densità di luce, etc. Tutte queste famiglie di relazioni sono interdipendenti "isomorfiche" e per gestirle contemporaneamente è necessario un nuovo approccio, quello dell'architettura parametrica. Grazie all'ausilio delle discipline scientifiche e di analisi quantitative, l'architettura parametrica costruisce in modo esatto le leggi che portano alla definizione della forma, garantendo al contempo l'assoluta libertà espressiva dove il metodo matematico e scientifico non trova soluzioni numeriche.

Il concetto di architettura parametrica è ulteriormente chiarificato all'interno di un articolo pubblicato sulla rivista *Moebius*, dove Moretti (1971) due anni prima della sua morte, dichiara la necessità di una nuova architettura, rigorosa nella definizione della forma tramite l'ausilio della matematica, delle tecniche informatiche e dei metodi di ricerca operativa necessari per superare lo stato empirico dell'architettura contemporanea. Moretti enumera quindi gli 8 punti che definiscono la sua architettura parametrica:

- 1)** Il rifiuto delle decisioni empiriche o delle decisioni assunte per analogia o per iterazione di modi tradizionali (antichi o moderni);
- 2)** La valutazione dei fenomeni tradizionali quali fatti obiettivi, presenti e, quindi, in funzione del sistema di interdipendenza dei loro valori (tecnici, espressivi, sociali, ecc.);
- 3)** La definizione esatta ed esaustiva dei temi;
- 4)** L'osservazione obiettiva di tutti gli elementi condizionanti (parametri) relativi ai fenomeni interferenti nel tema e la individuazione dei loro valori quantitativi;
- 5)** La definizione delle relazioni tra le grandezze dipendenti e dei vari parametri;
- 6)** La indispensabilità dell'apporto delle varie competenze e quindi delle varie metodologie scientifiche, secondo i criteri della "Ricerca Operativa", nella definizione degli elementi condizionanti e delle relazioni tra le loro grandezze;
- 7)** L'affermazione della libertà di decisione e di espressione dell'architetto, sempre che non incida nei caratteri strutturali delle aree del fenomeno determinate dalle indagini analitiche;
- 8)** L'indirizzo delle forme architettoniche verso una massima e quindi definitiva, esattezza di rapporti nella loro struttura generale.

Figura 2.2.1.8: Immagini tratte dall'articolo *Struttura come Forma*. (Moretti e Figus, 1951, 27-29)



Da questi punti, vediamo come Moretti, nei suoi ultimi anni di vita, sente ancora la necessità di un metodo che garantisca le migliori soluzioni in grado di risolvere le necessità dell'architettura, rifiutando ogni scelta empirica, scegliendo il metodo scientifico per la soluzione funzionale della forma e al contempo dichiarando la libertà espressiva del progettista, considerando l'architetto come un artista, capace di gestire l'intero processo architettonico (Deimoz, 1936). La posizione di Moretti in merito alla tradizione è un altro punto focale del suo pensiero, se i fatti tradizionali dell'architettura devono in ogni caso essere analizzati tramite l'ausilio dell'architettura parametrica, al contempo, lo stesso concetto di parametro nasce dall'osservazione e l'analisi di esempi dei grandi maestri del passato. Per Moretti, la componente parametrica dell'architettura storica è chiara, così come dimostrato da Carpo, che riconoscerà un parametricismo medievale e addirittura classico (Carpo, 2016). Paragonando il pensiero di Moretti a quello di importanti architetti e teorici contemporanei, realizziamo come sia arrivato prima di altri a comprendere un diverso rapporto tra forma e struttura, giungendo a conclusioni simili a quelle formulate in seguito ad esperimenti e applicazioni di metodi computazionali. Mentre oggi siamo in grado di leggere diverse relazioni tra il parametricismo e la tradizione, Moretti desume la sua architettura parametrica dalla storia dell'architettura, dichiarando la necessità per un'architettura interdisciplinare, aperta al contributo delle scienze, tramite un approccio pragmatico e rigoroso. La sua avversione per il razionalismo, che usurperà il ruolo di *global style* alla sua architettura parametrica, lo porterà a sottostimarne la forza, stesso errore che rischiamo di commettere adesso. Altri hanno discusso le ragioni del fallimento dell'architettura parametrica di Moretti (Viati Navone, 2010), oggi, a 50 anni dalla sua morte, dopo l'avvento del *second digital turn*, il suo pensiero, le sue riflessioni, la sua instancabile ricerca di un'architettura rigorosa e libera, ci sembrano profetici, ed è possibile pensare che le sue ricerche sul parametro trovino nuovo spazio con l'ausilio dei *big data* e dei metodi di intelligenza artificiale.

2.2.2 BUCKMINSTER FULLER

Se definendo la figura di Moretti ci possiamo limitare all'architettura, con le dovute eccezioni che lo legano alla matematica all'arte e all'allora nascente campo dell'informatica, parlando di Buckminster Fuller non è possibile fermarsi alle sue esperienze architettoniche, ma è necessario immergersi in una interdisciplinarietà ancora più ricca: egli è innanzitutto un inventore, un filosofo interessato alla risoluzione di problemi ecologici globali, un fervente comunicatore, come testimonia la sua enorme produzione non soltanto di scritti, ma addirittura di trasmissioni televisive.

Fuller, nato nel 1895 in una importante famiglia statunitense del Massachusetts, dimostra sin da giovane un forte interesse per la geometria e per i fenomeni naturali, che resteranno fino alla fine della sua vita gli ambiti da cui fioriscono le sue invenzioni. Il pensiero di Fuller è indubbiamente segnato da una totale insofferenza nei confronti della tradizione, espulso da Harvard ben due volte per mancanza di disciplina, prosegue i suoi studi durante il suo periodo in marina militare, dove l'esattezza matematica e geometrica richiesti da navigazione balistica e logistica fanno nascere in lui un primo interesse per i procedimenti "anticipatori" che caratterizzano la sua impostazione teorica. A questo periodo risalgono le sue prime invenzioni legate a necessità di tipo militare: un antenna con cavo di recupero per idrovolanti e un progetto grafico per un jet a decollo verticale, che gli garantiranno l'accesso ad un corso di specializzazione presso l'accademia navale statunitense nel 1917 (Emili, 2003). Dobbiamo aspettare il 1922 il suo ingresso nel mondo dell'architettura, quando insieme al suocero James Monroe Hewlett, fonderà un'azienda finalizzata alla produzione e alla vendita di un nuovo mattone in fibre artificiali, inventato dallo stesso Hewlett. Il suo rapporto con il settore delle costruzioni statunitense è immediatamente problematico, consapevole di come il mondo dell'edilizia fosse allora sottosviluppato, disorganizzato e caotico rispetto a quello della marina. Ciò che turba Fuller è la netta contraddizione tra le capacità dimostrate dalla società nel pianificare e sfruttare tecnologie innovative in ambito militare e l'incapacità nell'applicazione delle stesse come risposta alle necessità della vita quotidiana. Al culmine di questo periodo, in seguito a vicissitudini personali e professionali, deciderà di dedicare la sua esistenza alla ricerca di "un'arte e scienza di generale ed anticipatrice validità progettistica" dedicandosi alle più immediate necessità sociali, come l'abitazione, tema risolvibile tramite l'applicazione di sistemi scientifici, la progettazione pianificata e l'ausilio dei mezzi tecnologici, cercando risoluzioni di tipo globale, applicabili potenzialmente ovunque.

Fin dall'inizio della carriera architettonica il suo pensiero è di tipo universale: all'interno del saggio *4d Timelock*, pubblicato a tiratura limitata nel 1927, anticipa i presupposti fondamentali della sua filosofia. Il libro contiene, tra i numerosi disegni, lo schizzo di una città mondiale formata da case a più piani, elementi di una catena universale dell'abitazione, parzialmente autosufficienti e assistiti da servizi aerei. Il problema dell'abitazione sarà centrale nella produzione di Fuller, che dichiara un approccio fortemente tecnologico al progetto, atto ad anticipare le esigenze sociali, con minimo dispendio di energia e di materiali. In seno a questa filosofia, nascerà la *Dymaxion House*, dal neologismo *Dymaxion*, termine composto di *dynamic*, *maximum tension*, a indicare il raggiungimento del massimo vantaggio con il minimo dispendio di energia (Sieden, 2000).

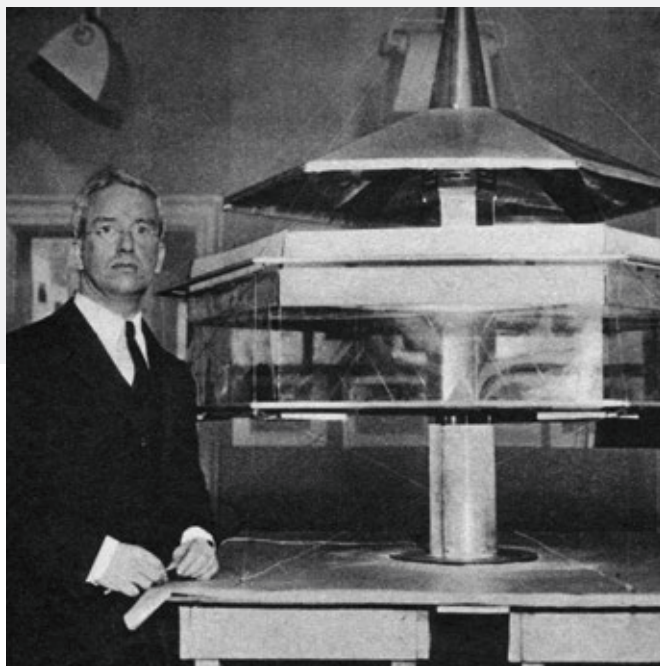


Figura 2.2.2.1: Il giovane Fuller con un modello della Dymaxion House nel 1927. (foto Buckminster Fuller institute)



Figura 2.2.2.2: La pianta della Dymaxion House, disegnata da Fuller nel 1927. (foto MoMA)

La casa, figure 2.2.2.1 e 2.2.2.2, sviluppata nella caratteristica pianta esagonale, forma largamente sfruttata dall'autore per le sue qualità geometriche, è una struttura antisismica sostenuta unicamente da un pilastro centrale, dalla cui sommità si diramano i cavi tesi che portano le pareti esterne. Il centro geometrico dell'abitazione è anche il luogo dove vengono raggruppati gli impianti, i servizi e le unità permanenti, lasciando libertà nella configurazione degli ambienti, organizzabili secondo un modulo triangolare. La forma finale dell'abitazione e i materiali scelti da Fuller, sono frutto di riflessioni economiche ed energetiche, l'intera unità abitativa poteva essere prefabbricata per essere trasportata con un dirigibile o un elicottero, abitabile in meno di 24 ore in qualsiasi luogo del mondo: per questo il progettista sceglie l'alluminio, largamente adoperato in tutto il progetto per le sue caratteristiche di leggerezza resistenza e riciclabilità. Data la finalità dichiarata di una totale o parziale indipendenza energetica, l'autore studia ampiamente l'efficienza energetica dell'edificio, adoperando vetro-camera e addirittura modificando, nelle diverse versioni progettate, la forma stessa della casa, per minimizzare la dispersione di calore e migliorarne la performance. In alcune versioni della casa, il vento è sfruttato come fonte di energia ausiliaria, da immagazzinare in batterie per essere adoperate secondo la necessità dell'utenza (Fuller e Applewhite, 1975). La *Dymaxion House* non quindi è un'architettura da costruire una tantum, piuttosto un modulo abitativo da produrre in serie, un'invisibile valvola di energia, atta a mediare il rapporto tra uomo e ambiente, in grado di trasformare gli elementi naturali nelle forme più adatte alla vita umana: non una macchina per abitare, ma un manufatto puramente tecnico, progettato per estendere il dominio dell'uomo sia all'interno che all'esterno di esso (Brennan, 2017). Fuller si pone quindi in netta contrapposizione con il movimento moderno, definendolo addirittura una "malattia di moda", una corrente limitata ad un approccio di tipo esclusivamente "visivo", incapace di comprendere e sfruttare appieno i principi tecnici che determinano il comportamento dei materiali.

Nella ricerca di nuove soluzioni finalizzate al miglioramento della vita dell'intera umanità i progetti di Fuller spaziano dalle architetture alle automobili, arrivando a proporre negli anni 50 la *Dymaxion world map*, una mappa del globo terrestre tradotta in piani, realizzata con lo scopo di eliminare le distorsioni presenti nelle mappe tradizionali (Gray, 1994). La nuova mappa, atta a diventare essa stessa uno strumento per l'analisi scientifica dello spazio globale all'interno del quale l'uomo si può e deve muovere con assoluta libertà anticipa, con la sua forma geodetica il principio di geometria sinergico-energetica, che diventerà uno dei capisaldi dell'opera di Fuller. Già all'inizio della sua carriera, Fuller scopre come le strutture naturali utilizzino in modo continuo la tensione e solo in modo discontinuo la compressione, in contrasto con i metodi costruttivi tradizionali, largamente basati sulla compressione. Dalle sue ricerche nasce quindi un modello strutturale, battezzato poi *tensegrity structures*, in cui le parti connesse non si toccano tra loro: i puntoni sono isolati tra loro e collegati esclusivamente da spinte tensionali, con un conseguente risparmio in termini di costi e materiale. Gli studi sulle strutture presso-tese verranno ampliati negli anni con riflessioni sulla proprietà dei geometri dei poliedri, sulle loro caratteristiche di volume e superficie. Fuller sfrutterà largamente le proprietà dell'icosaedro regolare, composto nelle sue facce da 20 triangoli equilateri, come figura geometrica di partenza dalle quali l'architetto può costruire sfere e quindi cupole geodetiche secondo le regole delle strutture tensegrali. Le strutture geodetiche di Fuller, figura 2.2.2.3, segnano un'ulteriore rottura con la tradizione costruttiva, superando il sistema architravato dell'antico trilito, ampliando il tema del "less is more" di Mies van der Rohe a considerazioni puramente energetiche, secondo principi riconosciuti e adottati da diversi ricercatori e progettisti contemporanei (Adriaenssens e Barnes, 2001). Con il geode, la copertura, assume il ruolo di vero e proprio edificio, un involucro la cui pelle, coincidente con la struttura continua definita dai singoli elementi strutturali, può assumere diverse funzioni, così come lo spazio interno, totalmente libero da vincoli imposti dai sistemi costruttivi tradizionali. Le ricerche sulla cupola geodetica occuperanno quasi l'intera attività architettonica di Fuller, che, dagli anni 40 sino alla sua morte, progetterà e realizzerà in tutto il mondo oltre 30 architetture basate sui principi delle *tensegrity structures*, figura 2.2.2.4, applicandone le forme a edifici di finalità militare, scientifica, industriale o di intrattenimento. La più celebre tra queste è senza dubbio la biosfera del padiglione statunitense per l'Expo di Montreal del 1967, una sfera dal diametro di settantasei metri e sessantuno metri di altezza, all'interno della quale è inserita una esposizione articolata su sette piani, su una struttura indipendente da quella dell'involucro.

L'ossessione di Fuller per le cupole geodetiche, materiali ed economia del progetto, insieme ai suoi contrasti con il pensiero moderno, hanno sicuramente contribuito ad una errata interpretazione del Fuller architetto, egli non è, come molti lo hanno ritenuto, un tecnocrate, perché non dimentica mai che la tecnologia non basta a definire un'architettura, essa è sempre uno strumento finalizzato al soddisfacimento delle esigenze primarie dell'esistenza. Il processo progettuale di Fuller nasce sempre da considerazioni di tipo naturale, mira alla creazione di sistemi ambientali controllati, integrando dove possibile la natura all'interno del progetto, questo è evidente soprattutto in quelle che, non a caso chiama bio-sfere, termine che indica i luoghi

Figura 2.2.2.3: La cupola geodetica realizzata da Fuller per il padiglione statunitense all'Expo di Montreal del 1967. (foto Matthieu Joannon, 2015)



Figura 2.2.2.4: Fuller con un modello di tensegrity structure nel 1949. (foto Buckminster Fuller Institute)

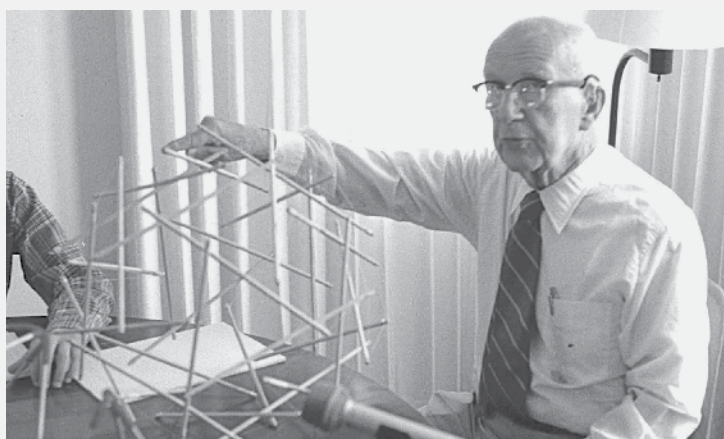


Figura 2.2.2.5: Un fotomontaggio che mostra il colossale progetto di Fuller per coprire Manhattan con una cupola. (foto Buckminster Fuller Institute)



dove le condizioni ambientali permettono lo sviluppo della vita. Nell'arco degli anni crescerà in Fuller una sensibilità ecologica, un diverso orizzonte per il progetto che, estendendo il microuniverso rappresentato all'interno delle sue cupole al "sistema" pianeta terra, gli permetterà di comprendere con largo anticipo i rischi legati alle attività antropiche, denunciare l'utilizzo incontrollato del territorio e l'accentuarsi del fenomeno dell'inquinamento. Risale allo stesso anno dell'Expo di Montreal il suo progetto per una cupola in vetro da realizzare sull'intero quartiere di Manhattan a New York, un'architettura dal diametro di quasi 4 km, alta poco meno di 3 km, e pesante 80.000 tonnellate, da costruire in soli tre mesi, figura 2.2.2.5. Il progetto ripropone su scala cittadina i principi di sostenibilità energetica peculiari di tutta la sua produzione, ed è un manifesto di denuncia nei confronti del problema dell'inquinamento, uno strumento mediatico con cui l'autore vuole spingere la comunità verso nuove relazioni ambientali (Bookstein, 2015).

Il progetto per Manhattan è il perfetto esempio di come il pensiero sistemico ed anticipatore di Fuller non si limiti al progetto di architettura, ma spazi sino a comprendere l'intero globo, e ci porta quindi a quello che è sicuramente il suo libro più famoso: *Operating manual for spaceship earth*. Pubblicato nel 1969, il libro si fonda sull'analogia tra il nostro pianeta e la navicella spaziale, un sistema parzialmente chiuso, limitato nelle sue risorse, all'interno del quale tutti gli individui hanno diritto a condizioni di vita soddisfacenti. All'interno della pubblicazione, rivolta, nelle parole dell'autore, più alle future generazioni che ai suoi contemporanei, viene tracciata l'evoluzione intellettuale dell'uomo, l'origine delle specializzazioni tecniche, e il rischio da esso derivante per la collettività che non è in grado di riconoscere olisticamente la portata dei problemi generati dall'attività umana. Il libro analizza globalmente problemi precedentemente visti come locali, tratta temi che spaziano dell'automazione, l'utilizzo dei calcolatori, sino all'organizzazione della società, in slanci tanto pessimistici quanto ottimistici, chiudendosi quindi con un'esortazione rivolta ai progettisti:

So, planners, architects, and engineers take the initiative. Go to work, and above all cooperate and don't hold back on one another or try to gain at the expense of another. Any success in such lopsidedness will be increasingly short-lived. These are the synergetic rules that evolution is employing and trying to make clear to us. They are not man-made laws. They are the infinitely accommodative laws of the intellectual integrity governing universe. (Fuller, 1969, 57)

Nel pensiero di Fuller, il ruolo della progettista è quindi centrale per la costruzione di un futuro sostenibile, ma è necessario un nuovo approccio al progetto: ogni processo naturale instaura infatti una relazione dinamica con tutti gli altri processi ed eventi, in una trama di interrelazioni che si espande al di là del piano intermedio della quotidianità umana, in alto verso il vertice macroscopico delle galassie, in basso verso il sub-microscopico delle molecole. Arte e scienza risultano modalità locali di organizzare la nostra esperienza dell'universo, ma lo studio dei singoli aspetti locali non permette di cogliere i più ampi modi operativi dell'universo, è quindi auspicabile, anche nell'interpretazione di fatti locali, ampliare lo sguardo verso l'intero sistema di leggi in un'ottica di sinergia globale. È quindi obbligatoria una precisazione: quando

Fuller parla di energia si riferisce ad un isolato e differenziato comportamento naturale, per sinergia intende invece il comportamento unitario dell'intero sistema, non determinabile dal comportamento delle sue singole parti o dalle interrelazioni che siamo in grado di cogliere ad un livello inferiore alla totalità del sistema stesso. Ogni progetto, per essere adeguato deve considerare sia il lato energetico che sinergetico dei fenomeni, a causa delle complesse correlazioni di forze esistenti a priori nella natura. Se progettando, modifichiamo solo localmente le forze energetiche naturali, siamo in grado di ottenere esclusivamente benefici limitati. Per raggiungere il massimo utile, il progetto dovrebbe orientarsi in modo assai più comprensivo verso l'utilizzazione di leggi scientifiche che sono deducibili dal comportamento universale. Fuller propone un superamento dei tradizionali canoni di giudizio estetico, formule come: "si devono rispettare i materiali" o "la forma deve seguire la funzione", suonano inadeguate, perché misurano esclusivamente l'aspetto visibile di un processo naturale che si estende nelle invisibili ma altrettanto consistenti dimensioni dell'infinitamente piccolo e dell'infinitamente grande. Materiali e mezzi devono essere allora valutati al di là di ogni preferenza formale. Nessun progetto può considerarsi in se stesso un capolavoro nel senso tradizionale del manufatto permanente, il vero capolavoro sta piuttosto nella scoperta di un principio logico che possa essere liberamente usato e sviluppato da altri nelle forme più diverse.

L'architetto-inventore non considera sufficiente, per la risoluzione dei temi architettonici, l'impiego delle possibilità produttive basate sullo sfruttamento a scopi puramente commerciali delle risorse energetiche. Al contrario, propone un approccio globale alla risoluzione di problemi tramite coraggiose iniziative sociali, ma di carattere progettuale. Il progettista ideale è per Fuller la sintesi dell'artista, dell'inventore, del meccanico, dell'economista: uno stratega dell'evoluzione, capace di recuperare la stessa posizione che l'architetto seppe raggiungere nell'età medievale, e di agire quindi in concerto per il bene dell'umanità (McHale, 1964).

Il nuovo approccio globale al progetto, dovrebbe iniziare sin negli anni della formazione universitaria:

È probabile che se venissero progressivamente addestrati ad ampliare le loro conoscenze di chimica, fisica, matematica, chimica biologica, psicologia, economia, tecnologia industriale, gli studenti di architettura potrebbero assimilare più rapidamente e profondamente le idee dei più avanzati scienziati dell'universo, e poiché il loro programma di lavoro acquisterebbe di anno in anno, maggior estensione, essi sarebbero sempre più in grado di utilizzare il massimo delle risorse scientifiche umane per migliorare la pianificazione della civiltà urbana mondiale, gli strumenti stessi della progettazione e rinnovare i metodi operativi. (Fuller, 1975, 105)

Fuller si augura quindi che sin dalle prime esperienze didattiche gli architetti vengano proiettati verso il ruolo interdisciplinare di pianificatori mondiali, proponendo un sistema globale di cooperazione tra i dipartimenti universitari di architettura, finalizzato alla ricerca di modalità con cui mettere le risorse totali del mondo a servizio dell'umanità tutta, mediante un'adeguata e rinnovata progettazione capace di indagare i temi del progetto in ogni possibile dimensione del sapere.

2.2.3 FREI OTTO

Gli strumenti computazionali adoperati nel progetto di architettura oggi hanno favorito il fiorire di metodi che non soltanto guardano alla natura come modello, ma ne imitano i processi, con l'intenzione di replicare in scala architettonica ciò che appartiene al mondo della biologia e della chimica. Il tema del processo come generatore di forme è sicuramente riscontrabile anche nell'architettura parametrica di Moretti, meno in quella di Fuller, che al contrario dell'architetto romano parte da analogie naturali per costruire la filosofia alla base dei suoi progetti. Entrambe le caratteristiche sono il fulcro dell'attività di ricerca e produzione architettonica di Frei Otto, architetto e ingegnere tedesco, vincitore del Pritzker prize nel 2015, che grazie alla sua attenzione e riproposizione in chiave architettonica dei processi generativi naturali è senza dubbio tra i più importanti anticipatori dell'architettura digitale contemporanea.

Otto, nato in Germania nel 1925, dimostra sin da giovane uno spiccato interesse per le forme dell'architettura, ma dovrà aspettare la fine della seconda guerra mondiale per completare gli studi, sarà infatti arruolato nell'aviazione tedesca, e quindi prigioniero di guerra in Francia, dove si adoperava come architetto da campo, imparando a costruire tende e strutture con i limitati materiali disponibili in un campo di prigionia. Conseguì in seguito un dottorato in ingegneria civile, e aprì il suo studio a Berlino, dedicandosi ampiamente alla progettazione e realizzazione di tensostrutture (Nerdinger, 2005). Il tema della leggerezza, in netto contrasto con la pesante architettura monumentale del regime nazista, definirà, insieme all'interesse per le strutture naturali, il *leitmotiv* dell'intera attività di Otto, che già nel 1961 fonderà a Berlino un gruppo di ricerca interdisciplinare su biologia e costruzioni, e contemporaneamente alla sua nomina a professore nel 1964 l'*Institut für Leichte Flächentragwerke*, istituto per le strutture leggere, presso l'università di Stoccarda.

La produzione architettonica di Otto e dei suoi gruppi di ricerca è ampia e documentata, tra i lavori più conosciuti, è opportuno citare il padiglione per la repubblica federale tedesca per l'*Expo* di Montreal del 1967 (Glaeser e Otto, 1978), paradigma delle tensostrutture e architettura simbolo della nuova Germania post bellica. Il padiglione, figura 2.2.3.1, realizzato interamente nell'arco di otto settimane, si estende ad una superficie di ottomila metri quadri, ed è composto da un'enorme vela, un sistema continuo a maglia in acciaio sorretto da otto piloni con altezze che vanno dai 14 ai 38 metri. La leggerezza della gigantesca vela è possibile anche grazie ad una peculiarità della struttura progettata da Otto: una serie di anelli, battezzati oculi e posti intorno ai piloni portanti, la cui funzione primaria è quella di distribuire uniformemente i carichi attraverso cavi tesi che generano la forma stessa della vela, figura 2.2.3.2. Le nuove possibilità architettoniche dimostrate da Otto nel progetto di Montreal sono il frutto di ricerche basate sullo studio di fenomeni e strutture naturali, come le pellicole di acqua e sapone, figura 2.2.3.3, o le ragnatele, strutture dalle quali gli architetti desumono forme estranee alla tradizione: superfici anticlastiche, simili a selle, che per proprietà geometriche permettono un'ottimizzazione degli stati



Figura 2.2.3.1: Una foto d'epoca del padiglione tedesco all'Expo di Montreal. (foto Office du film du Québec)

Figura 2.2.3.2: Uno schema di progetto delle diverse sezioni che compongono la tensostruttura di Montreal

tensionali mai raggiunte in precedenza. Otto è in evidente rottura con il razionalismo, che critica in diverse occasioni, e con il sistema trilitico adottato dai suoi colleghi contemporanei, i quali, di contro, guarderanno con sospetto agli esperimenti del progettista tedesco, non comprendendone a pieno le finalità, sminuendone a volte i risultati. Per cogliere e gli studi fatti dall'architetto è necessario addentrarsi nella sua visione del rapporto tra fenomeni umani e natura: l'uomo e la tecnica sono infatti parte dell'organismo terra, elementi fondanti della società, ma che devono comunque seguire i principi fisici naturali e attestarsi in equilibrio con essi.

Partendo da questa considerazione, in linea con il pensiero di Fuller e addirittura con il principio di necessità alla base del pensiero greco, Otto riflette sui modelli di genesi della forma, identificando tre gruppi. Il primo è quello delle forme geometriche proprie del nostro ambiente costruito, che se da un lato sono facili da realizzare secondo tecniche di produzione standardizzate, non instaurano con le leggi fisiche un rapporto di vera efficienza. Il secondo gruppo include le forme e le costruzioni fisiche, tra le quali rientrano quelle naturali, generate in base alle leggi intrinseche, quali la forza di gravitazione o la pressione interna. Queste strutture, geometricamente complesse, si formano autonomamente per effetto di proprietà fisiche dei materiali e per questo motivo mostrano un comportamento statico e costruttivo altamente efficiente. Il terzo gruppo è costituito dalle forme libere, proprie dell'arte, che non vengono generate secondo regole geometriche o fisiche, e non sono quindi in grado instaurare una vera efficienza energetica (Mitterer, 2015). La ricerca del maestro si focalizza quindi sul secondo gruppo di forme, analizzando la genesi degli oggetti propri della natura animata e inanimata, con l'intenzione di comprendere come traslare analogicamente i metodi efficienti e auto generanti alla produzione tecnica di architetture. Il suo percorso si articola ed espande ben oltre i temi tradizionali dell'architettura, verso la biologia e la chimica: studierà ad esempio le strutture delle

diatomee, alghe unicellulari incredibilmente simili alle cupole geodetiche di Fuller, quindi la genesi di muffe e bacilli, microrganismi che oltre ad avere un notevole valore scientifico, rappresentano un catalogo di forme, visibili e invisibili da applicare alla costruzione dell'architettura per le loro qualità intrinseche.

Otto non si limita nella sua ricerca, a finalità puramente architettoniche, applicherà infatti in una fase successiva le sue scoperte sul comportamento auto-generativo dei complessi sistemi naturali anche all'urbanistica, ipotizzando nuove forme della città, che superando le griglie e le geometrie proprie dell'ambiente costruito tradizionale, formano "autonomamente" nuove gerarchie urbane, ottimizzate nelle relazioni, nei percorsi e quindi nei consumi energetici (Otto, 2003). In seguito all'osservazione dei fenomeni naturali, per ogni progetto, Otto realizza modelli fisici sperimentali che gli permettono di superare i tradizionali metodi del calcolo di tensioni, sviluppando processi di ottimizzazione non convenzionale, raggiungendo alta efficienza strutturale ed estrema leggerezza. A lui dobbiamo lo sviluppo dei metodi di form-finding (Otto e Rasch, 1995), che partendo da vincoli definiti, permettono di variare dei parametri di ottenere l'equilibrio che genera la forma finale. Il dialogo fra modelli in scala e manufatti completi gli permette di comprendere ulteriormente il comportamento dei materiali. Il suo metodo prevede veri e propri sistemi materiali interattivi, strumenti assimilabili ad un computer analogico: come gli architetti contemporanei sfruttano le simulazioni fisiche e le proprietà dei materiali, così Otto, con le sue macchine analogiche lascia che i materiali, relazionandosi con le forze, trovino nuovi equilibri, generando forme imprevedibili per qualsiasi progettista a lui contemporaneo.

Un perfetto esempio in questo senso è quello della *gridshell*, realizzata per la Multihalle di Mannheim del 1975, figura 2.2.3.4. Anche in questo caso la leggerissima struttura in legno deriva la sue capacità da una doppia curvatura. Il gruppo di progettazione lavora con degli *hanging models*, figura 2.2.3.5, modelli appesi, dal perimetro rigido, atto a definire il contorno della struttura e supportare il peso degli elementi appesi (Liddell, 2015). I cavi appesi, acquisiscono naturalmente la forma di una curva catenaria, una funzione matematica riprodotta tramite quattro parametri: la lunghezza del cavo, il peso e i due punti a cui è agganciata, così, libera da altri vincoli, il computer analogico di Otto trova una configurazione definita esclusivamente dalla forza di gravità che è esplicita funzione dei parametri. Per proprietà fisiche e geometriche, le strutture formate in tensione secondo la funzione catenaria, se invertite si comportano perfettamente in compressione, ricalcando il flusso delle forze in un arco o una volta, per questo motivo, anche senza l'iniziale ausilio dei computer, possiamo affermare che la Multihalle, così come numerosi altri progetti di Otto sono stati realizzati secondo logiche parametriche, al pari diversi progetti contemporanei, controllando la forma derivata da una funzione definita in questo caso dalla gravità (Peteinarelis, 2016). Così come all'interno di un programma di modellazione parametrica, questi modelli hanno una pressoché infinita possibilità di variazione, generando forme che sono sempre espressione del set di istruzioni adoperato per definirle. In questo ulteriore senso la ricerca di Otto si avvicina ulteriormente alla biologia, che tradizionalmente ha utilizzato la categorizzazione degli esemplari animali e vegetali, col fine di raccogliere un database di informazioni e leggere i caratteri distintivi di una specie. Per la Multihalle il gruppo di architetti-ricercatori crea effettivamente una serie di modelli

Figura 2.2.3.3: Ricerche superfici minime realizzati tramite pellicole di acqua e sapone. (Schumacher, 2018)

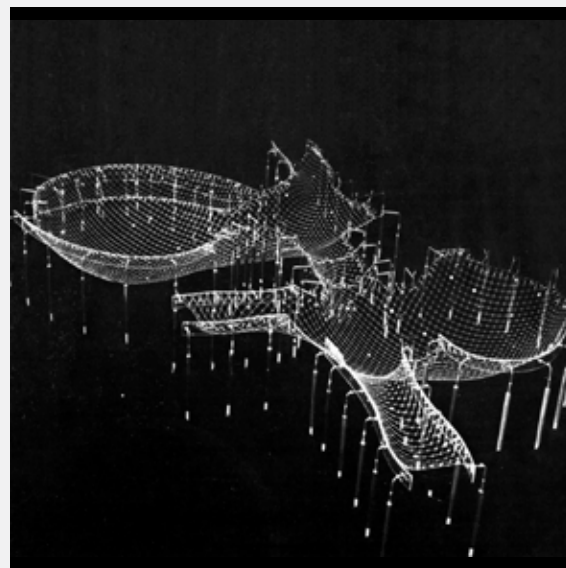
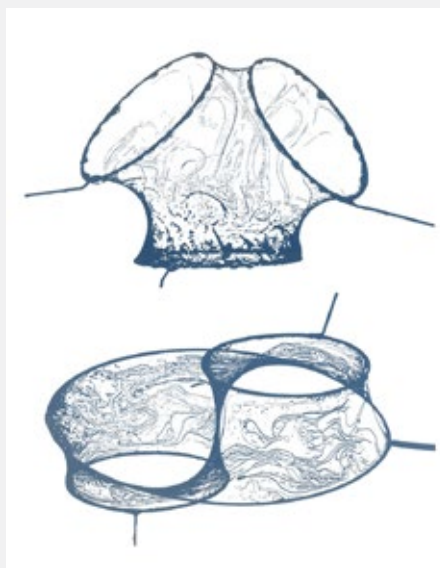


Figura 2.2.3.5: Modello catenario utilizzato per la progettazione della Multihalle di Mannheim nel 1975.

Figura 2.2.3.4: Interno della gridshell di Mannheim. (foto Alef Godrin)



fisici che variano nel perimetro, in altezza e pesi (Burkhardt e Otto, 1978), lo stesso tipo di variazione sfruttata oggi tramite la modellazione parametrica contemporanea (Woodbury, 2010) e che ha trovato ulteriori possibilità negli *evolutionary solvers* basati sugli algoritmi genetici adoperati dagli architetti contemporanei. Queste tecnologie non erano ovviamente disponibili al periodo della realizzazione della Multihalle, ma, in un'analogia tra processi, l'obiettivo dell'ottimizzazione è per Otto quello di ottenere una struttura quanto più possibile leggera, così, in modo analogo, l'ampia popolazione generata al variare della configurazione è la casistica tra cui l'architettura finale viene scelta per la sua efficacia. A prova del processo con cui si arriverà alla definizione della forma Otto produce un'ampia e documentata serie di calcoli, provini, e diagrammi e fotografie di modelli, che verranno misurati in efficacia per la definizione finale dell'architettura (Burkhardt, 2016).

La sua attività di ricerca è densa di esperimenti fisici che vanno oltre quelli realizzati per la *gridshell* della Multihalle: Otto realizza tra gli altri modelli appesi composti da fili di lana, ne misura forma e configurazioni spaziali, li immerge in acqua, annota i cambiamenti e infine li congela per misurarne il comportamento in compressione. Studia le pellicole di acqua e sapone, queste, dati legami chimici delle soluzioni che li compongono, hanno la caratteristica di formare, all'interno di un perimetro rigido, una superficie che tende a minimizzare gli stati tensionali tra le molecole: ancora una volta la forma non è il risultato della volontà del progettista, ma una condizione naturale dettata da condizioni a contorno. Questi esperimenti gli permetteranno, nell'arco della sua vastissima carriera, di realizzare una vastità di strutture basate sulle superfici minime, oggi ampiamente adoperate in architettura digitale (Wallisser, 2009), che egli riesce a produrre analogicamente, sempre in forme naturalmente ottimizzate, in tempo reale, alla variazione delle condizioni a contorno, addirittura più velocemente di quanto noi facciamo oggi tramite la simulazione informatica.

Con l'aumentare della scala reale dei progetti, il fiorire di collaborazioni internazionali con i maggiori studi di ingegneria e l'ammmodernarsi delle tecnologie, Otto, scomparso nel 2015, è diventato ovviamente uno dei precursori della sperimentazione basata sull'utilizzo di software di modellazione virtuale. Nella produzione di Otto, però, non è mai presente quella terza categoria di forme, libere da costrizioni geometriche e fisiche, che come vedremo hanno spopolato nel decostruttivismo e con la prima svolta digitale, la sua produzione è sempre orientata verso l'efficienza strutturale ed energetica e mira, come quella Fuller e Moretti, a creare benefici immediati per chi abita l'architettura. Nella filosofia progettuale di Otto, che sicuramente meriterebbe diversa attività di divulgazione rivolta al variegato mondo dell'architettura contemporanea, l'uomo e la tecnica non sono al centro del mondo, bensì ospiti. Nelle sue parole:

Sebbene la tecnica sia uno strumento dell'oggetto naturale uomo, con cui un comportamento si afferma contro il gesto della natura – e perciò la tecnica rivolgendosi contro la natura sarebbe innaturale – tuttavia noi la riconosciamo quale prodotto dell'uomo e perciò anche come una parte della natura. L'uomo domina la natura, è arrivato a sfruttarla. Ora finalmente si rende conto che la danneggia, ne turba il giusto equilibrio, la distrugge. ... Giungiamo a ciò che chiamiamo "il tutto" vale a dire la molteplicità degli oggetti che esistono uno accanto all'altro e uno nell'altro e che possono essere visti in relazioni più ampie. Se parliamo del Tutto, se per naturale intendiamo più che qualcosa di casuale, allora dobbiamo anche riconoscere che la nostra conoscenza è estremamente frammentaria. Cosa sappiamo già sulle forme fondamentali dell'architettura, come colonne, pilastri, travi, tende, sulla genesi degli oggetti viventi e sull'adattamento al Tutto? (Otto e Barthel, 1984, 7)

Questa citazione, tratta da un'interessante pubblicazione sulle architetture naturali curata dal maestro negli anni 80, raccoglie il pensiero di un progettista, consapevole prima di altri delle possibilità scaturite da un diverso approccio al progetto: sincero, libero da finalità mediatiche o dalla volontà di creare icone, capace di misurarsi con la vastità di forme presenti al mondo e di apprendere da esse, senza formalismi, stili o proclami, consapevole del rischio che corriamo operando contro la natura e non secondo le sue leggi.

2.3 VENTURI, EISENMANN, GEHRY E HADID

In seguito alla fine della seconda guerra mondiale e alla successiva ricostruzione che ha caratterizzato il primo dopoguerra, in quel periodo caratterizzato dalla guerra fredda tra le due grandi potenze mondiali, si diffonde, principalmente in Europa e negli Stati Uniti, un rifiuto delle strutture e delle regole che hanno sino ad allora animato la società mondiale. È l'inizio di quella post modernità, che come abbiamo letto nel primo capitolo, Augé e Bauman leggono viva nella contemporaneità liquida. Con il termine Postmodernità, già adoperato in realtà sin dagli anni 30, si indica, nelle parole del filosofo Jean-François Lyotard (1979), un momento storico segnato dalla crisi dei valori che avevano animato il periodo postbellico, come la razionalità, il progresso, la tecnica. Avviene quindi una rinuncia a quelle ideologie che reggevano l'organizzazione della collettività, è un'età del disincanto, in cui si riconosce uomini, in una società dominata dai media, all'interno del quale l'oggettività lascia spazio alla soggettività. Caratteristiche ugualmente vive nel pensiero e nelle opere di alcuni dei più importanti progettisti degli anni 70 (Chiaruzzi, 2007), e in particolare di Robert Venturi, il primo degli architetti analizzati in questo sottocapitolo, insieme a Peter Eisenman, protagonista della decostruzione dei primi anni 90 con Frank Gehry e Zaha Hadid. Autori che tramite il loro pensiero ed opere ci permettono di osservare il graduale incremento di complessità catturato dallo sguardo dei progettisti, e l'avvicinarsi della ricerca progettuale agli strumenti digitali, protagonisti delle successive svolte digitali.

Robert Venturi, allievo del celeberrimo Kahn che già svilupperà prima di lui una rilettura della tradizione e della materia con la sua ampia produzione, fonda il suo studio nel 1930, unendo all'attività professionale insieme a John Rauch quella di docente presso l'università della Pennsylvania, dove conoscerà Denise Scott Brown, sua collega e moglie, con cui svolgerà un'ampia attività didattica e di ricerca.

Tra le prime opere, paradigmatiche del suo approccio, troviamo senza dubbio la Vanna Venturi House, figura 2.3.1, realizzata per la madre nel 1964, progetto dove l'architetto rielabora citazioni dell'architettura classica, utilizzata come un vero e proprio catalogo di forme da cui attingere, per costruire una nuova sintassi formale: la facciata principale dell'edificio riprende le forme classiche del timpano, tagliato al centro, in una composizione speculare, rotta però dall'asimmetria nelle aperture. Lo stesso approccio di rilettura del passato, indubbiamente giocoso e ironico, che ritroviamo nel suo progetto per la Guild House, figura 2.3.2: una casa di riposo terminata nel 1966, la cui facciata, perfettamente speculare è caratterizzata da un ingresso centrale, un basamento bianco, una serie di loggiati sovrapposti, aperture simmetriche, sormontate da un'apertura ad arco. Tutto è in asse secondo una composizione finalizzata ad enfatizzare il ruolo della facciata principale, negata in precedenza dall'architettura del primo dopoguerra (Dellapiana e Montanari, 2015). La scritta *Guild House* in caratteri rossi a stampatello e l'antenna televisiva posta al centro sulla sommità dell'edificio, ad enfatizzare il ruolo della televisione nella quotidianità degli anziani ospiti della struttura, sono esempi dello spostamento dell'attività progettuale verso una dimensione propria della comunicazione visiva: l'architettura si appropria di una nuova complessità,

espressa nella possibilità di trasmettere di valori, elemento centrale della produzione dell'architetto. Nello stesso anno Venturi (1966) pubblica inoltre *Complexity and contradiction in architecture*, Complessità e contraddizione in architettura, dove traduce la sua attività progettuale in un manifesto personale, ragionato attraverso un catalogo di immagini di architetture di ogni epoca e stile, riportando ad esempio numerosi edifici italiani, e tra gli altri un architettura di Moretti, il quale sembra non aver gradito la citazione. All'interno del libro viene trattata la complessità quale accettazione dei problemi posti dalla realtà al progetto, nella vastità degli obiettivi che vanno raggiunti secondo logiche inclusive, che permettano di scrivere un'architettura fondata sull'esperienza della realtà e dei bisogni della società, dove c'è spazio per il frammento e per la contraddizione, per l'improvvisazione e per le tensioni che tutto ciò produce. Egli riconosce il valore dell'ambiguità, paradosso della percezione nato dalla contraddizione tra ciò che un'immagine è e ciò che essa sembra, discrepanza tra fatto fisico ed effetto psichico, quale caratteristica fondamentale dell'espressione artistica. L'architetto descrive con numerosi esempi, i diversi livelli e le possibilità di contraddizione, formale, compositiva, funzionale e strutturale, materica, che sono riscontrabili all'interno di un edificio. Le contraddizioni possono quindi essere risolte, diffondendole all'interno di una regola generale attraverso una leggera vibrazione dell'insieme, o restare irrisolte, per essere evidenziate, generando una frattura netta, che denuncia se stessa in modo drammatico. La sua architettura punta ad un'unità, difficile da realizzarsi, e attuabile, secondo l'autore, tramite una coralità di forme, dichiarando la necessità di riappropriarsi della dimensione comunicativa ed emozionale del progetto, abbandonando la freddezza formale proposta dal movimento moderno.

L'esempio di Venturi, che è maestro della citazione e della comunicazione, supera l'architettura, tanto che partendo da una delle frasi più celebri del maestro Mies van der Rohe, "*less is more*", il meno è più, conierà il suo slogan: "*less is bore*", il meno è noia, cambiando una sola lettera e ribaltando il significato stesso della celebre frase. Il suo pensiero si espande quindi alla città, dove, come Rossi, riconosce una complessità e una stratificazione, che si traducono in punti di riferimento per chi la abita e che all'interno di essa costruisce la sua quotidianità. In questo senso, l'autore, che ha negli occhi, non soltanto la città europea, ma anche quella statunitense, supera la visione storica della città, ed eleva a materiali per il progetto anche quelli che lui definisce gli elementi convenzionali: ovvero quegli oggetti che fanno parte della quotidianità metropolitana, forme ed architetture minori, trascurate dal movimento moderno, che meritano però di essere incluse nel progetto, secondo il modello inclusivo da lui proposto. L'operazione proposta da Venturi, trova perfetta assonanza sul piano artistico con le opere di pop art dei contemporanei Lichtenstein e Warhol, che nello stesso periodo elevano ad arte oggetti di uso comune, celebrandone l'estetica radicalmente contemporanea. Allo stesso modo un oggetto ordinario, come un cartellone pubblicitario, diventa un riferimento da adottare all'interno del progetto, degno di essere citato all'interno dell'architettura, quanto se non più delle forme proprie della tradizione. Negli anni 70, Venturi, diventato intanto professore a Yale, approfondisce questi stessi temi all'interno del celebre *Learning from Las Vegas*,



Figura 2.3.1: La Vanna Venturi House. (foto Matt Wargo)



Figura 2.3.2: Il La facciata della Guild House. (foto Venturi, Scott Brown and Associates, Inc.)

letteralmente “imparando da Las Vegas”, libro redatto insieme a Denise Scott Brown e Steven Izenour, dove sono raccolti e articolati le indagini dei suoi studenti sullo spazio urbano della città americana.

All’interno del testo, gli autori dichiarano la necessità di imparare dall’ambiente costruito, guardarlo con uno sguardo nuovo, promuovendo una pratica rivoluzionaria, tollerante, opposta a quella praticata da Le Corbusier quando negli anni 20 sogna di demolire il centro di Parigi per ricostruirla ex novo, ma che al contrario guarda alla città, e in particolare ai margini, spazi dove la città si espande, con l’intenzione di coglierne i caratteri simbolici:

Per trovare il nostro simbolismo dobbiamo andare ai margini suburbani della città esistente, che sono attraenti più da un punto di vista simbolico che formale e che rappresentano le aspirazioni di quasi tutti gli americani ... Allora l’archetipica Los Angeles sarà la nostra Roma e Las Vegas la nostra Firenze; e, come gli archetipici silos di alcune generazioni or sono, l’insegna Flamingo sarà il modello per scuotere la nostra sensibilità verso la nova architettura. (Venturi et al., 1972, 7)

Succede allora che la città americana e la sua “tradizione” popolare diventino un catalogo di forme e significati per l’architetto, al pari di quello che la produzione industriale e il suo linguaggio sono stati per il movimento moderno. Il gruppo di Venturi raccoglie le suggestioni della *strip* di Las Vegas, popolata di cartelloni pubblicitari, insegne gigantesche dalle illuminazioni esagerati e i colori vividi, così come ristoranti *drive-in*, grandi magazzini commerciali, teatro della società consumistica statunitense, analizzati come fenomeno di comunicazione architettonica. La scala degli spazi cittadini e la velocità con cui vengono percepiti dagli automobilisti è determinante nella trasformazione dell’architettura, che prima di essere forma nello spazio viene riconosciuta come simbolo nello spazio, generando un paesaggio caotico dove i simboli competono tra loro in una dimensione puramente

comunicativa. Nel panorama di Las Vegas gli autori distinguono due modi caratteristici in cui l'immagine architettonica si manifesta: il primo è quello proprio dell'edificio *duck*, anatra, figura 2.3.3, in cui i sistemi architettonici di spazio struttura e programma funzionale sono plasmati in una forma simbolica complessiva, un edificio-scultura, rappresentazione volumetrica del significato che l'immagine trasmette; il secondo è quello del *decorated shed*, capannone decorato, dove lo spazio e la struttura sono risultato del programma funzionale e l'ornamento atto a rappresentare il significato dell'immagine è applicato in maniera indipendente alla facciata.

Nell'arco di oltre venti anni il pensiero postmoderno ha raccolto numerosi esponenti e ramificazioni in diversi ambiti progettuali come il design industriale o la grafica, in architettura vedrà i suoi esponenti di spicco in figure come Charles Moore, che progetterà nel 1975 la *Piazza d'Italia* a New Orleans, uno spazio pubblico che riprende forme storiche di celebri architetture italiane, utilizzate come quinte sceniche, e che si sviluppa intorno ad una fontana che ricalca il profilo della penisola italiana, in un eclettismo di colori e materiali fortemente contrastanti tra loro. Philip Johnson (Cappellieri, 1996), già collaboratore di Mies progetterà alla fine degli anni 70 il grattacielo AT&T a New York, vero monumento eclettico coronato da un timpano spazzato, in netta contrapposizione con i dettami del movimento moderno. In Europa la corrente troverà, seppur parzialmente, un riscontro nella riscoperta della città storica con il pensiero e le opere del già citato Aldo Rossi, ma anche James Stirling che adotta un linguaggio postmoderno nel progetto della Galleria di Stato di Stoccarda, i fratelli Robert e Leon Krier, Hans Hollein, Ricardo Bofill, tutti progettisti emblematici del postmoderno europeo. Il movimento raggiungerà quindi la maturità, e probabilmente l'apice con l'inizio degli anni 80, quando l'architetto e storico Paolo Portoghesi (1980) organizzerà, in seno alla Biennale d'architettura di Venezia la mostra dal titolo *La presenza del passato*, all'interno della quale venti importanti progettisti sono invitati a realizzare una facciata effimera, attribuendo alle facciate principali, non solo un valore simbolico, ma la ricerca di un'assonanza tra edificio e contesto urbano. La mostra del 1980, segna l'esaurirsi della carica innovatrice del postmoderno, il quale sopravviverà per tutta la decade, limitandosi principalmente in architettura ad una ripresa formale del passato.

A questo punto è necessario, nell'ottica di questa tesi, ricordare la diffusione di un diverso approccio progettuale connotato da una forte carica tecnologica, quello dell'High Tech, movimento animato da una ritrovata fiducia nel progresso scientifico e che vedrà tra i principali protagonisti Norman Foster, fondatore di uno studio globale, che oggi conta più di 1600 dipendenti, ma anche Renzo Piano e Richard Rogers, vincitori del concorso per il Centre George Pompidou, paradigmatico nella sua struttura a faccia vista, dove gli elementi tecnici evidenziano il ruolo di macchina dell'edificio. L'architettura High tech si discosta dalla filosofia postmoderna, ed ha sicuramente abbracciato le possibilità dei primissimi strumenti digitali CAD, le loro potenzialità non sono comunque davvero determinanti nella definizione della forma architettonica globale. Per trovare entrambe le caratteristiche è necessario spostarsi verso la decostruzione, che sviluppa le esperienze postmoderne in una dimensione

progettuale che coincide con le prime architetture digitali.

Dobbiamo a Jacques Derrida (1997) la nascita della decostruzione, termine che il filosofo francese utilizzerà per indicare l'impossibilità di interpretare in modo univoco qualsiasi testo o linguaggio, da cui consegue il superamento del dualismo alla base della metafisica occidentale: categorie nette come bianco e nero, pieno o vuoto, non sono più sufficienti per interpretare la contemporaneità, è necessario, anche da parte degli architetti, un ulteriore sforzo di analisi, per cogliere le sfumature nascoste tra gli opposti e liberare significati e testi. Nelle parole dell'autore:

Non è semplicemente una questione di discorso o una questione di spiazzare il contenuto semantico del discorso, la sua struttura o qualunque cosa. Le Decostruzione passa attraverso talune strutture politiche e sociali, incontrando resistenza e destabilizzando le istituzioni nel fare questo. Io penso che in queste forme di arte e in qualunque architettura, per decostruire le sanzioni tradizionali – teoretiche, filosofiche, culturali – effettivamente tu devi destabilizzare ... io vorrei dire le strutture solide, non soltanto nel senso di strutture materiali, ma solide nel senso di strutture culturali, pedagogiche, politiche, economiche. E tutti i concetti che sono, diciamo, il target (se posso usare questo termine) di decostruzione, tali come la teologia, la subordinazione del sensibile all'intelligibile e così via – questi concetti vengono effettivamente destabilizzati affinché essi diventino architettura decostruttivista. Per questo io sono molto più interessato ad essa, a dispetto del fatto che io sono tecnicamente incompetente. (Derrida, 1987, 12)

Il pensiero di Derrida, che collaborerà con Bernard Tschumi e Peter Eisenman al progetto di un giardino per il Parc de La Villette a Parigi, figura 2.3.4, troverà un ampio spazio nel territorio dell'architettura, confermando l'abbandono delle certezze del movimento moderno, superando ulteriormente la razionalità dei programmi progettuali, la coincidenza tra forma e funzione, e la purezza dei volumi proprie del razionalismo. I progettisti desiderano al contrario testimoniare l'incertezza e la precarietà della condizione umana, e lo fanno attraverso l'accostamento di forme, la deformazione, lo stravolgimento delle gerarchie, in un processo che non vuole demolire ma accostare, sviluppando un linguaggio capace di aprirsi a molteplici interpretazioni, tutte ammissibili e compresenti. Le architetture sono quindi il frutto di sovrapposizioni di letture e interpretazioni apparentemente inconciliabili, il risultato è una composizione che appare precaria, dove la complessità e il rifiuto di un codice univoco si traducono in caratteristiche di atettonicità. Date le premesse, con l'architettura della decostruzione, l'eccezione sovrasta la regola, l'aspetto comunicativo permea il progetto, che mira sempre più ad una spettacolarità da copertina, più vicina all'arte che all'architettura, più attenta ai caratteri formali che a quelli funzionali. Non a caso, i principali esponenti della corrente verranno etichettati con il neologismo di *Archistar*, termine coniato con accezione principalmente negativa, criticati perché troppo orientati verso l'espressione, disimpegnati sul piano etico, rivolti più alla creazione di un marchio che allo sviluppo di una nuova tradizione (La Cecla, 2008). Questo approccio all'architettura trova un riconoscimento ufficiale e una prima elaborazione critica nella mostra *Deconstructivist architecture*, del 1988, allestita al MoMA di New York dall'ecclettico Philip Johnson, che insieme a

Mark Wigley, invita ad esporre Peter Eisenman, Bernard Tschumi, Frank Gehry, Rem Koolhaas, Daniel Libeskind, Zaha Hadid e il gruppo Coop Himmelb(l)au.

Tra i maggiori esponenti e teorici della decostruzione spicca Peter Eisenman, già membro dei *New York Five*, arriva allo sviluppo di nuovi approcci alla progettazione architettoniche in seguito allo studio delle opere di Terragni, da cui elabora un metodo combinatorio di griglie ed elementi lineari alla base delle case che progetta nell'arco di un decennio sin dagli anni 70. Eisenman enuncia nella de-composizione architettonica l'equivalente della decostruzione di un testo, riflette quindi nella sua ampia produzione prima teorica e poi architettonica sulla differenza tra lettura del disegno come architettura, nelle sue parole "scrittura scultorea", e lettura dell'architettura come rappresentazione, inevitabilmente legata all'attribuzione da parte di un interprete ad un contesto funzionale e finalizzato di forme architettoniche riconosciute da convenzioni consolidate. L'architetto statunitense è quindi l'inventore e il promotore della tecnica da lui nominata *scaling*, ovvero la rappresentazione o la riduzione in scale di griglie e proporzioni, con l'intenzione di destabilizzare tre valori fondamentali dell'architettura classica, definiti nell'origine, che può essere il luogo, la rappresentazione e il programma architettonico, l'antropocentrismo, quale riferimento di ogni misura e proporzione, e il concetto di bello, dell'architettura come oggetto estetico, il cui riferimento è la natura armonica, gerarchica e strutturata dell'edificio. Questi valori, che l'architettura ha sempre rappresentato e inseguito, fuggendo il disordine, la frammentarietà e l'instabilità, vengono destabilizzati in un processo che si serve della ricorsività, dell'auto-similarità e della discontinuità. Lo *scaling* è adottato nella pratica progettuale con la sovrapposizione trasparente di disegni a scale diverse, *superpositions*, dove la corrispondenza di punti è l'occasione per la generazione di forme incidenti e nuove. Ne troviamo un esempio nel progetto del 1981 per il complesso residenziale IBA al *check point charlie* di Berlino, figura 2.3.5, dove piante e facciate sono generate da sovrapposizioni e slittamenti di griglie desunte dalla identificazione topografica del luogo, rompendo gerarchie precedenti e creandone delle nuove (Roseti, 1997).

Nell'arco della sua lunga carriera Eisenman assegna alla matematica e agli strumenti digitali per la progettazione un ruolo crescente, promuovendo nuovi parallelismi tra virtuale e reale, assimilando la figura dell'uomo nello spazio a quella del vettore, definibile nelle sue coordinate geometriche e nella velocità con cui si muove nell'architettura, riflessioni da cui è possibile desumere nuove sequenze di misure e rapporti proporzionali e gerarchici adottati nelle sue architetture. Riguardo le nuove possibilità dell'informatica in architettura dirà:

L'aspetto stimolante è che oggi, con il computer, siamo in grado di realizzare cose impossibili anche solo pochi anni fa. Da questo strumento deriva l'opportunità di utilizzare il concetto di "vettore" in maniera inusuale. Il vettore ha un'intensità, una direzione e un verso, proprietà contenute solo in parte in un asse. In altre parole, se prendo una palla che ha un vettore e la lancio verso un blocco di argilla, questa deformerà l'argilla in un certo modo, mentre un asse semplicemente la perforerebbe. Si

Figura 2.3.3: I disegni di Venturi per l'architettura duck e l'architettura decorated shed. (Venturi et al., 1972, 17)

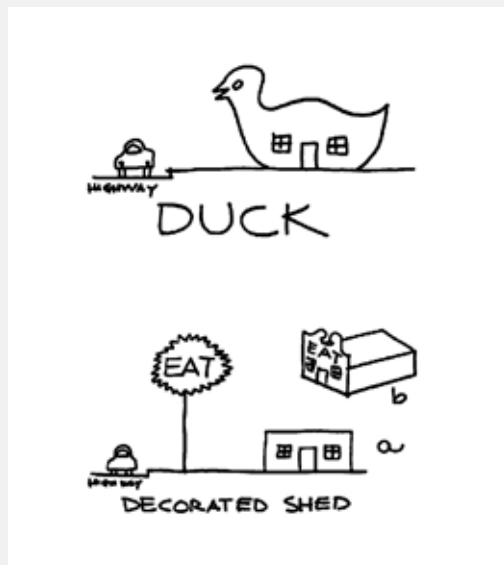


Figura 2.3.4: Il progetto di Parc de la Villette a Parigi. (foto Eisenman architects)

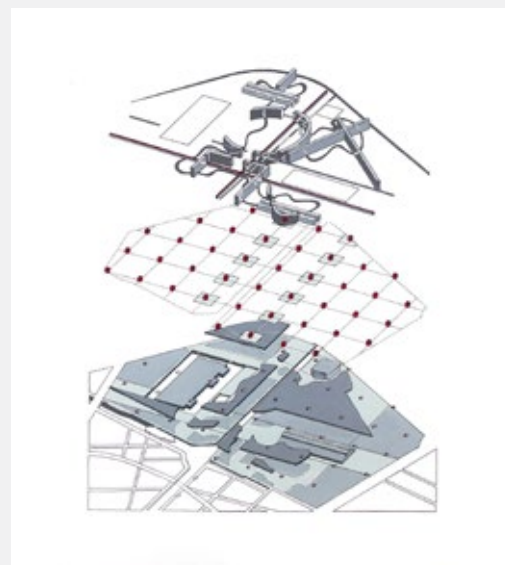


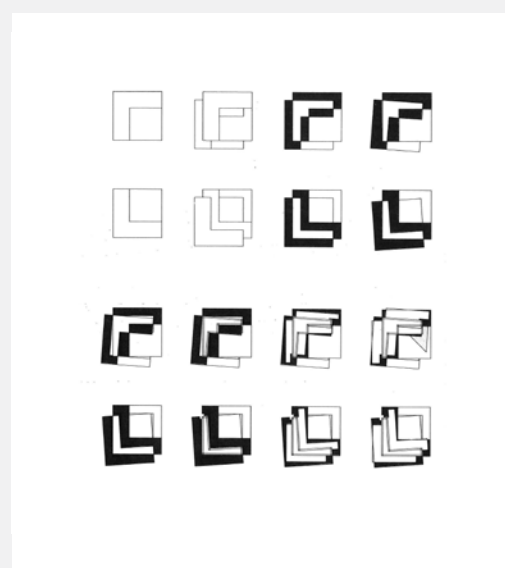
Figura 2.3.5: Il complesso residenziale IBA al check point Charlie di Berlino. (foto Eisenman architects)



Figura 2.3.6: Modello di casa Guardiola. (foto Eisenman architects)



Figura 2.3.7: Lo schema compositivo di casa Guardiola frutto di spostamenti rotazioni e slittamenti. (foto Eisenman architects)



possono ottenere effetti molto diversi lanciando una palla di grosse dimensioni nell'argilla invece di una pallina e l'impatto cambia ancora se la si lancia più da lontano o più da vicino. L'idea del vettore, opposto all'asse, equivale all'invenzione della prospettiva. Prima di questa esisteva una visione diversa del rapporto tra individuo e spazio, così come, adesso rispetto all'asse, abbiamo una visione differente del soggetto; oltre al puro spazio assiale, possiamo concettualizzare lo spazio vettoriale. Oggi pensiamo in termini di sequenze temporali, contrariamente all'architettura del passato, ragioniamo con modalità simili a quelle adottate nel cinema o nei computer. Siamo in grado di relazionarci ed identificarci con tipi di rapporti spaziotemporali diversi da quelli del Io mi trovo qui e per capire mi serve un punto laggiù. Ciò fa capire come anche noi siamo vettori e non assi; pertanto abbiamo la possibilità di pensare allo spazio che abitiamo come qualcosa che a volte ci richiede di muoverci come vettori, di spostare il nostro corpo in un modo piuttosto che in un altro, in altre parole ricostituire l'effettiva condizione corporea nello spazio invece del suo semplice aspetto mentale e visivo. (Eisenman. 1999, 5)

Ad una fase più matura della sua ricerca dobbiamo il *folding*, tecnica riconosciuta tra i primi metodi progettuali di matrice digitale, che Eisenman deriva dalle ricerche sullo spazio anti-cartesiano di Gilles Deleuze (1988). Filosofo francese, autore di un pensiero diverso rispetto al pensiero filosofico occidentale, che nell'arco di anni troverà un ampio seguito tra progettisti e ricercatori, e che descrive lo spazio come ripiegato su se stesso, costruendo un nuovo rapporto tra figura e piano, interno ed esterno (Galofaro, 1999). Al contrario della visione tradizionale, l'idea di spazio ripiegato punta sull'influenza del tempo nella percezione dello spazio, che non può più essere descritto in proiezione planimetrica, ma si traduce in una curvatura variabile, modulata in base al tempo. L'idea della piega dichiara una diversa interpretazione dello spazio, se questo può essere tradizionalmente considerato "effettivo", ovvero significa, protegge, inquadra ed è estetico, con Deleuze diventa "affettivo", non in quanto interpretazione soggettiva, ma perché capace di svilupparsi secondo propri significati in una dimensione emozionale e mentale, non più percepibile secondo le logiche razionali dello spazio cartesiano, ma secondo un processo in cui la ragione e la visione si separano. Troviamo un perfetto esempio nel progetto per la Casa Guardiola del 1988, dove l'autore destabilizza il concetto di luogo così come inteso nel pensiero postmoderno, traducendo in architettura un nuovo rapporto tra spazio e tempo, ambiti che lo sviluppo tecnologico e mediatico ha stravolto nella simultaneità, condizione contemporanea, raffigurata qui nella compresenza di forme discordanti e vibranti, frutto della compresenza di stati temporali diversi. Così, gli spostamenti, le rotazioni e le intersezioni dello schema di base a forma di L, generano processualmente un'architettura, che assume una forma interstiziale, condizione accentuata dall'uso di materiali di diversa densità e trasparenza, a sottolineare l'opposizione dialettica tra struttura e figura, tra interno ed esterno, e registrare le tracce di una continua trasformazione. Nel progetto di Rebstock Park del 1990, la tecnica del *folding* è usata per un insediamento a scala urbana che rifiuta il

Figura 2.3.8: Casa Gehry a Santa Monica. (foto Gehry partners LPP.)

Figura 2.3.8: L'ingresso del museo Guggenheim di Bilbao. (foto Juan Gomez)



contestualismo dei reticoli razionalisti, con approccio in cui ordine e caos sembrano voler convivere senza mai integrarsi o risolversi, minando reciprocamente le basi della propria ragione d'essere. Ritroviamo in questo progetto il tema della frammentazione tipico del decostruttivismo, tradotto qui in un'architettura che non è possibile ricondurre ad un'unitarietà di forme, ma al contrario si sviluppa secondo un processo arbitrario dove la piega si traduce in un'architettura interstiziale lungo i margini, che mediano il rapporto con l'intorno ridefinendolo (Eisenman, 2004).

Il più famoso e conosciuto dal pubblico tra gli architetti della decostruzione è senza dubbio Frank Gehry, progettista formatosi in università statunitensi: i suoi esperimenti decostruttivisti iniziano con il progetto della sua casa a Santa Monica, figura 2.3.7, rimaneggiata nell'arco di venti anni dal 1974. Per il progetto l'architetto decostruisce la tipica villetta monofamiliare con tetto a falde attraverso l'inserimento di aperture oblique, lucernari, aggetti, reti metalliche e materiali di recupero che contribuiscono alla nuova immagine dell'abitazione: un apparente disordine compositivo, in sintonia con l'incertezza della contemporaneità. La successiva produzione dell'architetto è segnata da questi temi da cui non si discosterà sino alle sue più recenti opere, lavorando sulla dissoluzione delle forme compatte e sulla costruzione di nuove gerarchie. Il suo processo progettuale, largamente documentato e comunicato, segna un primo avvicinamento al digitale, così, se da un lato è vero che l'architetto fa ampio uso di schizzi e di modelli fisici, questi sono in realtà un'interfaccia tramite i quali Gehry opera sul progetto, per mano dei suoi collaboratori, che traslano le forme, irregolari e difficilmente descrivibili tramite il disegno a due dimensioni, sui primi programmi CAD tridimensionali. Il progetto che più di ogni altro assicura al progettista la fama internazionale e avvia il processo di spettacolarizzazione dell'architettura è il museo Guggenheim a Bilbao, figura 2.3.8, polo centrale di un'operazione di rilancio economico della città. Il museo è pensato come una scultura, sviluppata in una articolata successione di volumi rivestiti in titanio che poggiano su un basamento in pietra: un oggetto di design che si inserisce ai limiti del contesto urbano dove genera una serie di piazze, relazionandosi con il fiume e i percorsi automobilistici, espressivo e iconografico da ogni prospettiva. L'assoluta libertà formale adottata nella volumetria esterna si ripercuote sugli interni, dove gli ambienti prevalentemente illuminati dall'alto

si susseguono tagliati da superfici libere in muratura, rete metallica e vetro (Goldberger, 2015). La complessità delle forme, e quindi la produzione di geometrie lontane da ogni standard, saranno tali da richiedere numerosi approfondimenti tecnici e strutturali, tanto che lo studio di Gehry finirà per adottare strumenti di calcolo e rappresentazione digitale precedentemente adottati nell'industria aerospaziale. Il Guggenheim di Bilbao, determinante, secondo i più, nella rinascita della cittadina spagnola, segna un balzo nella carriera di Gehry, che negli anni svilupperà ulteriormente il suo stilema per committenti desiderosi di legare la sua immagine a quella delle loro istituzioni.

L'architetto che più di tutti ha indagato le potenzialità degli strumenti digitali per la ricerca progettuale architettonica è senza alcun dubbio Zaha Hadid, progettista irachena trapiantata a Londra, dove ha unito alla attività di progettista quella di insegnante presso la Architectural Association di Londra, centro riconosciuto dell'architettura digitale in ambito accademico e didattico. La Hadid dichiara di non aver mai letto Derrida e non sembra rifarsi a particolari temi teoretici e concettuali, mentre sono al contrario evidenti i suoi riferimenti con il tardo-costruttivismo russo, all'antigravitazionalità di Leonidov e all'arte astratta. Patrik Schumacher, principale collaboratore di Zaha Hadid e direttore dello studio Zaha Hadid Architects in seguito alla prematura scomparsa della fondatrice, identifica 4 principali invenzioni formali nell'approccio della Hadid, *distorsion*, *calligraphy*, *landform* e *explosion*:

- La *distorsion*, largamente documentata in quadri e disegni dell'autrice, avviene tramite la manipolazione e deformazione di elaborati grafici, in un processo di ricerca che porta alla generazione di nuove forme partendo da quelle precedentemente ipotizzate. Il risultato sono le prospettive accentuate, secondo logiche topologiche e visive, che caratterizzano la prima produzione della progettista;
- La *calligraphy* descrive l'ampio utilizzo di forme caratteristiche del disegno calligrafico a mano libera all'interno del progetto di architettura, così da generare geometrie plastiche e spazi che si possono adattare più facilmente ai loro requisiti progettuali, senza essere limitati dalla staticità di forme regolari e prestabilite;
- Per *Landform* si intende invece un processo morfologico, dove l'architettura si configura analogamente all'articolazione di un paesaggio, senza divisioni e gerarchie nette tipiche dello spazio tradizionale, a cui si preferisce una transizione graduale, priva di differenziazioni chiare. Gli ambienti così composti instaurano legami di tipo fluido, graduale, secondo andamenti organici, peculiari del paesaggio naturale;
- Con *Explosion* si intende, all'interno del progetto, l'utilizzo di un campo di forze centrifugo, che genera una composizione particellare, dove elementi vari in dimensione e forma, sono disposti, gradualmente in ordine di grandezza a partire da un centro geometrico, fornendo allo spazio architettonico grande permeabilità e una molteplice possibilità di interpretazione nonostante la forte centralità (Schumacher, 2016b).

Tra le prime architetture più significative nella produzione del suo studio è importante citare la stazione dei pompieri del Vitra Museum di Weil am Rhein, figure 2.3.9 e 2.3.10,

Figura 2.3.9: Un dipinto realizzato da Zaha Hadid in occasione del progetto per la stazione del Vitra museum. (immagine Zaha Hadid Architects)

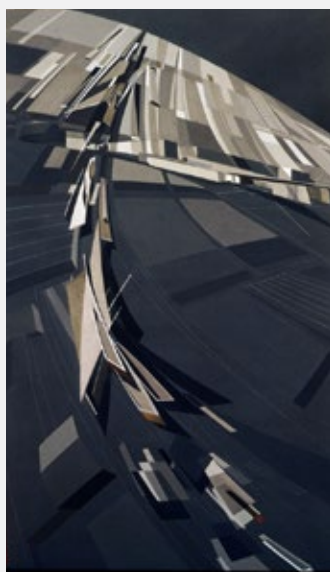


Figura 2.3.10: La stazione dei pompieri di del Vitra museum di Weil am Rhein progettata dallo studio Zaha Hadid architects. (foto Zaha Hadid architects)



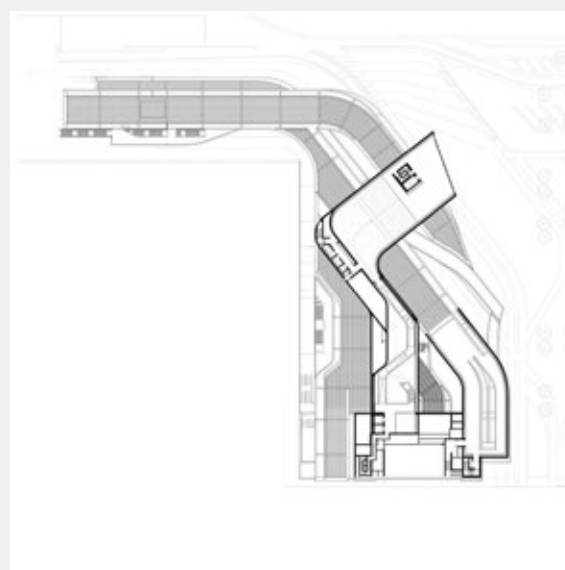
Figura 2.3.11: L'ingresso del museo delle arti del ventesimo secolo a Roma. (foto Francesco Radino)



Figura 2.3.12: Gli interni del museo delle arti del ventesimo secolo a Roma. (foto Marius George Oprea)



Figura 2.3.13: La pianta del secondo piano del museo delle arti del ventesimo secolo a Roma. (immagine Zaha Hadid architects)



nell'estremo sud della Germania. L'opera, commissionata da un gruppo industriale, fa parte di un complesso di architetture che comprende un museo progettato da Gehry, e segna la carriera della Hadid, che verrà riconosciuta con questa opera tra i protagonisti del decostruttivismo (Jodidio, 2009). L'edificio si compone di tre ambienti, il primo ospita i compartimenti per il cambio dei pompieri, che all'esterno corrisponde ad un volume in calcestruzzo solcato da strette fenditure, il secondo è destinato a palestra, diviso da lunghi armadi e illuminato da un'ampia parete di vetro curva. Nel punto di intersezione di questi due spazi il soffitto si apre, e una scala a sbalzo conduce al terzo ambiente destinato ad attività didattiche e collegato al terrazzo. Il posto di guardia è coperto da una pensilina cuneiforme e che si slancia verso il cielo, seguendo una traiettoria obliqua, sostenuta da esili pilastri metallici, alcuni dei quali sono inclinati per suggerire un ulteriore effetto destabilizzante.

Altra opera fortemente rappresentativa della prima produzione dello studio Zaha Hadid Architects è il museo delle arti del ventesimo secolo a Roma, figura 2.3.11, progettato con l'intenzione di superare l'idea tradizionale di museo e generare un luogo dove incentivare l'interazione tra gli utenti e opere in uno spazio libero all'interpretazione e dei visitatori. L'architettura-scultura, fortemente identitaria e terminata nel 2009, viene progettata come sovrapposizione di forme, parallele e ortogonali alle preesistenze con cui l'edificio si confronta, secondo flussi che sono immediatamente intrecciati e complicati, mantenendo tuttavia la verticalità delle pareti, requisito necessario per l'esposizione di quadri e opere d'arte. L'andamento dei volumi definisce lo spazio interno ed esterno in due flussi, uno principale per le gallerie, ed uno secondario per i collegamenti verticali e orizzontali. Visitandolo si leggono chiaramente sin dall'ingresso principale gli elementi che ne definiscono l'architettura: pareti curve in cemento, scale nere solide e articolate che tagliano lo spazio, soffitto vetrato composto da un'unica lunga finestratura che segue l'andamento delle pareti, figure 2.3.12 e 2.3.13. Ovunque traspare il desiderio di esprimere una nuova fluidità per lo spazio, dove non esistono prospettive principali e la geometria frammentata incarna la fluidità caotica della vita contemporanea. Nonostante l'esistenza di spazi principali e secondari, non esiste infatti all'interno dell'opera una netta gerarchia spaziale, nessuna delimitazione in sale propria dei musei tradizionali, ovvero un punto di inizio o d'arrivo: il percorso è deciso arbitrariamente dai visitatori, che scelgono di muoversi tra uno spazio e l'altro, definendo esperienze di visita assolutamente personali (Schumacher, 2010). Il progetto, ritenuto da alcuni poco adatto ad una città come Roma, è a mio avviso uno dei migliori all'interno della produzione dello studio Hadid, soprattutto se lo si guarda in relazione al contesto. Il museo è ben inserito nel blocco urbano, derivando da esso le sue linee generatrici e articolando i suoi sbalzi come punti panoramici. In questa opera più che in altre, i progettisti dello studio sono riusciti ad instaurare con i tessuti esistenti un rapporto tale che, nonostante le forme generate da "flussi", le pareti curve e lisce dialogano con le simmetriche facciate neoclassiche. Il nuovo organismo dichiara inoltre, nello sviluppo della facciata frontale con superfici pulite e cieche ai lati, il bisogno di coesistenza con un contesto, che seppur Romano, si trova fuori dal centro storico della città eterna.

2.4 IL PRIMO DIGITAL TURN

Cercando su di un vocabolario il significato della parola digitale, troveremo quella dell'aggettivo, derivato dal latino *digitus*, dito, che indica una qualità data ad apparecchi e dispositivi che trattano grandezze sotto forma numerica, ovvero convertendo i loro valori in numeri di un conveniente sistema di numerazione, di norma quello binario. Nell'arco degli ultimi 30 anni questo aggettivo si è diffuso enormemente nel discorso contemporaneo, abbiamo aggiunto la qualità digitale a quasi ogni aspetto della nostra vita, definendo addirittura una generazione, quella dei nativi digitali: abituati sin da giovani o giovanissimi ad utilizzare gli strumenti informatici. La svolta digitale ha quindi segnato ogni categoria del sapere, se ad esempio facciamo una ricerca sulle *keywords* "digital turn" all'interno degli ormai ampi database digitali disponibili a qualsiasi ricercatore, troviamo decine se non centinaia di articoli, che spaziano dalla letteratura, alla geografia, sino alla sociologia e alla medicina. In architettura il tema è stato ampiamente affrontato e descritto dal professor Mario Carpo, che definisce come primo *digital turn*, la svolta digitale iniziata nei primi anni novanta. È chiaro come si tratti di un fenomeno animato da alcuni pionieri, che sin dall'inizio degli anni novanta hanno avviato sperimentazioni progettuali adottando tecniche digitali nelle più disparate fasi del progetto. È importante quindi fare una precisazione quando si parla di architetture digitali, non si tratta di architetture realizzate secondo una corrente organizzata e promossa come quella moderna o le successive di postmoderno e decostruttivismo: il dibattito sul digitale è animato da contributi, a volte anche discordanti, promossi da diversi progettisti e autori. Nella definizione di Carpo inoltre, un edificio rappresentativo dell'era digitale non è un edificio progettato e realizzato tramite degli strumenti digitali, ma un edificio che non avrebbe potuto essere progettato e costruito senza l'ausilio di questi strumenti (Carpo, 2013).

Come anticipato nello scorso capitolo, è indubbio che le prime esperienze di architettura digitale siano avvenute in seno alla decostruzione, sia tecnicamente, nell'operato di Gehry e altri esponenti della corrente, che teoricamente, soprattutto nel pensiero di Eisenman. La fase iniziale del digital turn è inoltre alimentata dalle ispirazioni e fascinazioni dovute alla trasformazione digitale, che nei primi anni novanta ha generato ampia fiducia in società e mercati. Quando la rivoluzione digitale ha iniziato a cambiare le nostre vite alcuni progettisti iniziarono a pensare che anche la progettazione sarebbe dovuta cambiare, nessuno tra questi pionieri avrebbe mai potuto prevedere quanto la tras migrazione verso le dimensioni digitali, alternative al mondo fisico e allo spazio costruito avrebbe potuto influenzare le nostre vite. La prima architettura "digitale" è spesso descritta come architettura della curvilinearità, fenomeno iniziato tra la fine degli anni ottanta e l'inizio dei novanta, quando Gehry progetta il *Peix d'Or* realizzato a Barcellona nel 1992, figura 2.4.1, e cerca un sistema in grado di permettergli di descrivere e produrre le forme sinuose della sua scultura. Lo trova nelle *spline* (Carpo, 2018), un metodo geometrico matematico sfruttato dal software CATIA, figura 2.4.2 e mai utilizzato in architettura prima di allora. La *spline*, grazie alle sempre maggiori capacità dei programmi informatici, e alla disponibilità di

potenza di calcolo ad un costo accessibile, permetterà ai progettisti la manipolazione di linee curve direttamente sullo schermo, grazie a interfacce grafiche come vettori e punti di controllo, liberandoli da limiti, da vincoli e dai problemi propri della esatta descrizione di una curva freeform tramite sistemi analogici. Come riconosce Carpo, le stesse notazioni delle curve, basate sul calcolo, diventano praticamente irrilevanti ai fini progettuali, ma due aspetti matematici dell'ambiente digitale dominato dalle spline hanno avuto vaste e durature conseguenze sulla progettazione: continuità e variazione. Le spline digitali devono infatti essere continue, per questioni puramente matematiche, inoltre le curve possono variare nella forma all'interno di limiti scelti nella notazione di una funzione parametrica. Impostare i limiti per la variazione di uno o più parametri è determinante per il progetto, ed è una scelta che porta alla definizione parametrica, non di una geometria univoca, ma di un'intera famiglia di curve, linee o superfici. Se da un lato è vero però, che i calcolatori sono macchine versatili e potenti, è anche chiaro come non siano in grado di esprimere preferenze estetiche, è quindi possibile utilizzare le tecnologie CAD e CAM per produrre in massa ogni tipo di forma, da quelle organiche a quelle regolari. In ogni caso se parliamo di determinate forme organiche, è chiaro che non siamo in grado di produrle in massa senza l'ausilio di questi strumenti digitali, ne è prova il fatto che tali forme non siano mai state prodotte in massa fino all'arrivo di questi strumenti.

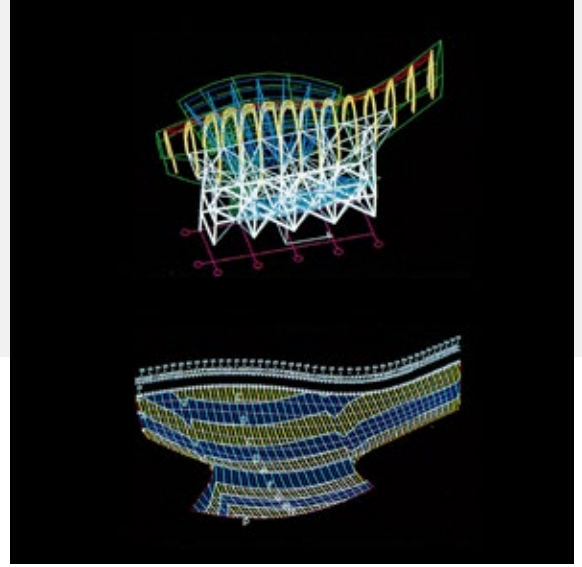
Basta questa considerazione, ovvero il poter dire realizziamo queste forme perché siamo in grado di farle, a esprimere il rapporto tra la curva e la progettazione digitale? Sicuramente no, e nonostante questo momento ci possa apparire come un secondo decostruttivismo animato da strumenti digitali, e nonostante alcuni dei principali esponenti più famosi dell'architettura digitale siano arrivati alla continuità della piega dopo essersi allenati sui temi della disgregazione e della discontinuità propri del decostruttivismo, è anche vero che il tema della curva e insieme ad altri nuovi concetti teorici caratteristici del digitale hanno innovato dibattito architettonico dei primi anni novanta.

Dove il digitale si discosta dalle precedenti correnti è sicuramente negli scritti dell'americano Greg Lynn (1993), allievo di Eisenman, che in occasione del volume *Folding in Architecture* esprime il concetto di *curvilinearity*, desumendolo da considerazioni puramente architettoniche e teoriche. Lynn parte considerando i capisaldi del postmoderno e del costruttivismo, i già citati *Complexity and contradiction*, *Learning from Las Vegas* di Venturi e *Deconstruction architecture* di Wigley e Johnson. Affermando come nel pensiero di entrambe le correnti siano centrali i temi della discontinuità, della frammentazione, dell'eterogeneità, sviluppati tramite strategie progettuali basate sull'incongruenza, sovrapposizione e opposizione. In reazione ai temi di complessità e conflitto in architettura si sono inoltre sviluppate delle correnti, quelle di neo-modernismo e regionalismo, che al contrario puntano a ricostruire una omogeneità del linguaggio in un approccio di tipo unitario. L'autore afferma quindi come nessuno dei due approcci, sia un adeguato modello per l'architettura contemporanea, introducendo una terza possibilità nella *smoothness*, termine inglese che esprime levigatezza, ovvero la possibilità di una variazione graduale e continua. La *smoothness* è un fenomeno successivo a quello della contraddizione, caratteristico della geometria topologica, di morfologia e

Figura 2.4.1: Il Peix d'Or progettato dallo studio Gehry a Barcellona nel 1992. (foto Miguel Rago)



Figura 2.4.2: Immagini del modello digitale realizzato con CATIA. (immagine Gehry partners LPP.)



morfogenesi, della teoria delle catastrofi e degli strumenti informatici già adottati dalla difesa e dall'industria cinematografica, dove è l'autore osserva come trasformazioni fluide siano in grado di assimilare formalmente le differenze, integrandole in un sistema tanto continuo quanto eterogeneo. In tutti questi casi si generano soluzioni composte da diversi elementi che mantengono la loro integrità nonostante vengano uniti all'interno di un campo continuo, la *smoothness* non eradica le differenze ma le incorpora, producendo soluzioni tanto differenziate da essere irriducibili.

Lynn richiama quindi Deleuze che descrive la *smoothness* come continua variazione e continuo sviluppo della forma, e afferma come anche in architettura sia possibile integrare elementi inizialmente privi di relazione tra loro in un'unica soluzione elastica e malleabile, una miscela in cui le diverse entità possano essere modellate da forze esterne, generando connessioni intricate in cui le nuove relazioni tra gli elementi hanno un valore maggiore dei singoli elementi. Lynn fa riferimento a Deleuze (1988) citando *The Fold: Leibniz and the Baroque*, e alla teoria della catastrofe di René Thom, per descrivere i vantaggi di un approccio curvilineo al progetto architettonico. Gli spazi *smooth*, al contempo continui e differenziati, sono il risultato di una sensibilità propria della curva: capace di deformazioni in risposta a influenze provenienti dal programma architettonico ma anche da considerazioni economiche, estetiche, strutturali, politiche e di contesto. Questo non significa che l'uso intensivo della curva sia più corretto, ma che l'abile capacità di piegarsi è spesso più efficace rispetto ad un approccio tradizionale, perché capace, attraverso deformazioni variabili in grado di incorporare piuttosto che contraddire i conflitti. Afferenti alla curvilinearità sono gli effetti di *morphing* usati nell'industria cinematografica, che possono per l'autore rivestire un ruolo nella pratica progettuale. Lynn cita tra gli esempi il film *Terminator 2*, dove un attore viene fluidificato in una sostanza che ricorda per qualità il mercurio liquido, trasformazione che permette al personaggio del film di guadagnare nuove possibilità di movimento e una maggiore facilità nel superare gli ostacoli. Questo è possibile tecnicamente grazie agli strumenti informatici, che sono in grado

di costruire immagini intermedie tra due stadi, generando famiglie di trasformazioni graduali. La stessa deformazione è possibile anche in architettura, dove grazie alla flessibilità topologica, siamo in grado di generare uno spazio continuo e al contempo dotato di intensità diverse, dove le forme non sono superflue, ma risultato di una logica curvilineare che cerca di internalizzare forze culturali e contestuali all'interno della geometria. In questo modo le forze si traducono immediatamente nella forma, generando geometrie uniche e caratteristiche più che ideali (Lynn, 2013).

Non a caso fu proprio Lynn il primo ad utilizzare i software di animazione all'interno del processo progettuale, sperimentando l'utilizzo del morphing e delle subdivision surfaces, metodi che verranno adottati largamente da diversi protagonisti dell'architettura digitale per generare quelli che Lynn definirà BLOB, *Binary Large Objects*, figura 2.4.3. Larghi oggetti binari, architetture ispirate idealmente ai famosi blob dei *b-movies* americani: entità viscosi, contemporaneamente aliene e definite dal contesto entro il quale si muovono (Lynn, 1996).

Per descrivere le potenzialità e i limiti dei Blob Lynn porta ad esempio il progetto per lo Yokohama Port Terminal, figura 2.4.4, di Alejandro Zaera-Polo e Farshid Moussavi, noti allora come Foreign Office Architects. Il progetto, così come altri proposti al concorso internazionale dei primi anni novanta, è paradigmatico, nella sua curvilinearità e variazione, per l'intera categoria dei Blob. L'architettura, di fattura palesemente digitale, figura 2.4.5, è articolata in una serie complessa di superfici, che si curvano e piegano, generando una topografia architettonica, un paesaggio navigabile e abitabile. La forma dell'intero edificio è il frutto di riflessioni principalmente programmatiche basate sui flussi, queste si traducono in un'architettura animata da percorsi complessi fatti di rampe leggermente inclinate, più efficaci delle scale per mantenere un flusso di circolazione continuo e multidimensionale. La circolazione, organizzata come un diagramma ad anello continuo, rifiuta palesemente qualsiasi nozione di linearità e direzionalità. I visitatori vengono invitati ad esplorare percorsi che si snodano orizzontalmente e verticalmente, attraverso uno spazio contemporaneamente complesso e aperto alla lettura tettonica dello spazio da parte degli utenti. Nonostante la libertà dei gesti formali, la semplicità di questo diagramma offre al visitatore un senso di chiarezza e rivela il processo da cui è emerso l'edificio. Inoltre, al contrario di diversi edifici di fattura digitale, la relazione che l'architettura instaura con il contesto è centrale nel pensiero degli architetti, che fanno emergere il terminal senza soluzione di continuità con i vicini parchi urbani, per creare uno spazio verde ininterrotto e accessibile al pubblico. La sua altezza è inoltre calcolata per ottenere continuità con la costa e garantire che le viste interne del lungomare rimangano libere (Moussavi e Zaera Polo, 1995).

Altro perfetto esempio di Blob, che al contrario del precedente instaura una relazione fortemente discordante rispetto al contesto è la Kunsthaus di Graz in Austria, figure 2.4.6 e 2.4.7, progettata da Peter Cook, già fondatore del gruppo d'avanguardia Archigram, insieme a Colin Fournier. Questo museo d'arte contemporanea, spazio espositivo e culturale, dichiara la sua presenza sin dalla distanza, interrompendo con il blu elettrico delle sue forme organiche, plastiche e lucide, vagamente biologiche

Figura 2.4.3: I modelli 3D della Embriological house di Greg Lynn, perfetto esempio di BLOB. (foto Greg Lynn Form)

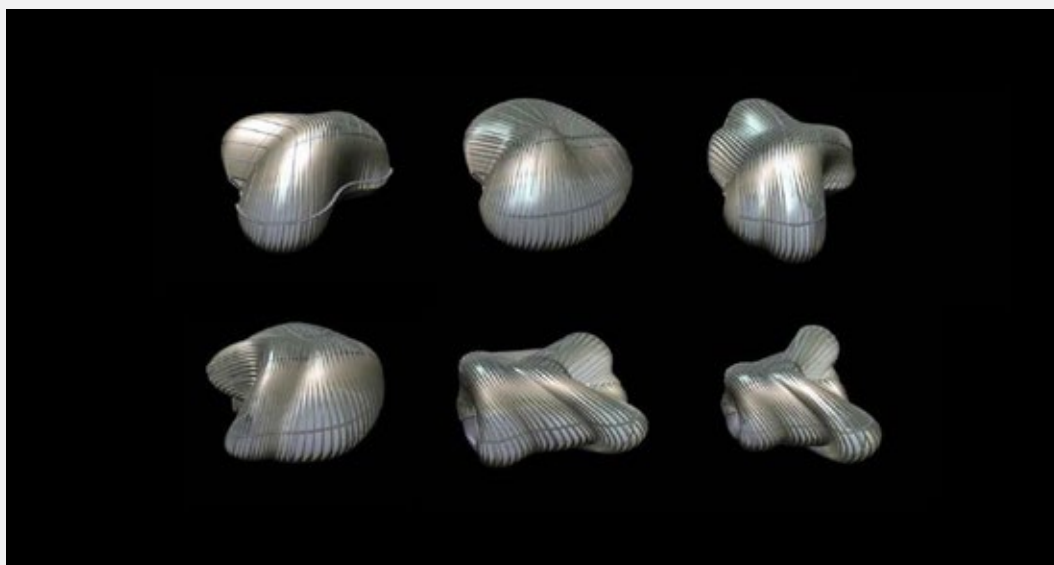


Figura 2.4.4: Vista aerea dello Yokohama port terminal di FOA. (foto FOA)



Figura 2.4.5: Il modello digitale utilizzato per la progettazione delle superfici e dei percorsi interni da FOA. (Carpo, 2013).



Figura 2.4.6: La Kunsthaus di Graz progettata da Cook e Fournier in rapporto al contesto. (foto Jean Dourande)

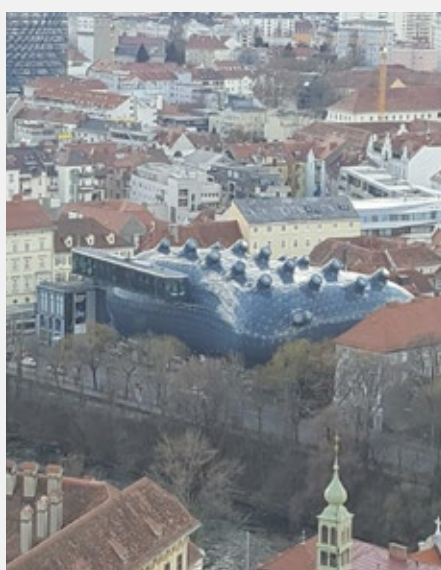
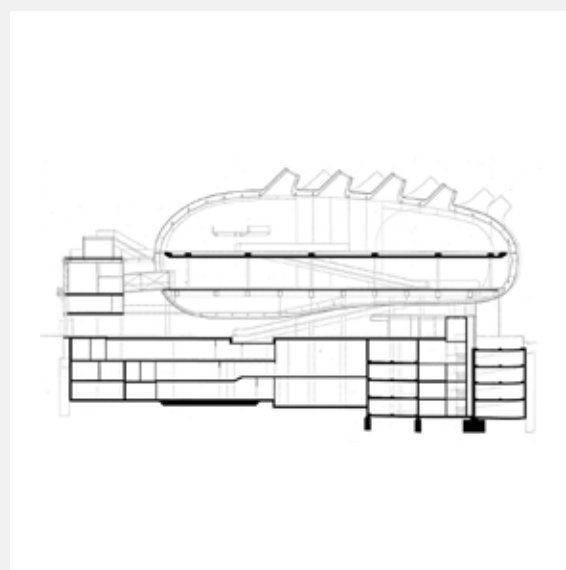


Figura 2.4.7: La sezione trasversale della Kunsthaus di Graz. (immagine Peter Cook e Colin Fournier)



il caratteristico pattern rosso dei tetti cittadini. Il contrasto materico tra architettura e contesto è ancora più evidente al calar del buio, quando i 900 metri quadrati della sua superficie, si illuminano grazie a quasi mille anelli luminosi a fluorescenza, che trasformano l'edificio in un gigantesco schermo a bassa risoluzione. Tramite un applicativo è possibile trasmettere sulla grande facciata-schermo filmati con una frequenza di 20 *frames* al secondo. Nell'intenzione dei progettisti la tecnologia permette all'architettura di instaurare un rapporto simbiotico con il contesto: di giorno la pellicola è ricettrice del mondo che la circonda, mentre di notte si fa promulgatrice degli eventi interni e quindi dell'arte. Lo spazio interno, costituito da due grandi sale espositive sovrapposte si allontana dalla neutralità tipica dei luoghi per l'esposizione contemporanea: è un ambiente caratteristico e di forte impatto visivo, che i progettisti propongono come sfida a curatori e artisti chiamati ad allestire mostre e installazioni ridefinendo lo spazio di volta in volta gli ambienti interni (Bogner et al., 2004).

Un ulteriore contributo teorico in linea con il pensiero di Lynn è quello di Stan Allen (1996), che definisce il tema delle *fields conditions*, condizioni di campo, suggerendo come sia necessaria in architettura una migrazione dall'uno ai tanti, dall'individuo alla collettività, dall'oggetto al campo. L'architettura deve quindi essere in grado di affrontare l'indeterminazione dei temi con una rinnovata attenzione e un diverso approccio pragmatico. Allen dichiara che la parola campo ha un duplice significato in architettura. I progettisti lavorano in studio come lo fanno sul campo, nella sempre più complessa operazione di costruzione del manufatto architettonico: in cantiere si misura, verifica, restituisce. Le condizioni di campo sono quindi raccolte direttamente sul sito di costruzione, accettando tutto il disordine e l'imprevedibilità del sito, che non vengono rifiutati, ma accettati come occasione per il progetto. Un secondo significato della parola campo è quello frutto delle evoluzioni teoriche e tecnologiche, dalla teoria matematica dei campi, alla dinamica non lineare e ai sistemi di simulazione evolutiva possibili grazie ai nuovi strumenti digitali già disponibili dagli anni 90. Queste prime considerazioni di Allen sono sicuramente vicine a quelle del già citato Moretti, che tramite la ricerca operativa alla base della sua architettura parametrica voleva raccogliere matematicamente condizioni da trattare secondo i processi scientifici.

Non a caso le prime applicazioni che Moretti vede per l'architettura parametrica sono di tipo urbanistico, ugualmente Allen citerà come esempio di campo quello generato dalle infrastrutture urbane, per natura connesse tra loro, complesse e tanto caratterizzate da essere uniche. Le città americane, in particolare, sono il prototipo delle *field conditions*, spazi in cui la variazioni topologiche locali e la storia sono in equilibrio all'interno di un ordine generale, dove i confini sono porosi se non annullati dalle infrastrutture. L'autore parla inoltre del comportamento dinamico degli utenti dell'architettura, tema che deve essere indagato e considerato come condizione di campo, da cui desumere informazioni utili al processo progettuale. Introduce quindi la produzione di forme tramite l'utilizzo di agenti, entità vettoriali autonome che sono in grado di generare forme globali e complesse, seguendo elementari regole matematica. Allen cita ad esempio gli esperimenti fatti con i *boids* da Craig Reynolds

Figura 2.4.8: La forma degli stormi e degli sciami, caratteristica dei boids promossi da Stan Allen con le sue *field conditions*. (foto Luigi Dini)



alla fine degli anni 80. Il teorico della vita artificiale utilizzerà nei suoi esperimenti dei larghi gruppi di entità, definendone il comportamento in tre semplici regole: mantenere una distanza minima l'una fra l'altra e con l'ambiente, conservare una velocità pari a quella della media totale e muoversi verso il centro di massa del gruppo. Bastano queste tre semplici regole adottate dagli agenti perché il sistema da loro composto si organizzi autonomamente nella forma di uno stormo o di uno sciame, figura 2.4.8. In nessun modo l'autore prescrive una conformazione geometrica preferita, al contrario, è l'intelligenza collettiva del gruppo che definisce quella forma come risultato delle *field conditions*. Gli sciame sono un fenomeno definito da semplici regole locali, indifferenti all'intenzione globale, che per questa caratteristica li rende capaci di riorganizzarsi autonomamente per affrontare qualsiasi impedimento al movimento, e qualsiasi ostacolo diventa l'occasione per una correzione fluida delle traiettorie. Un esempio simile a quello degli sciame è quello delle folle, gruppi di persone motivate da desideri ben più complessi di semplici regole geometriche, e quindi meno prevedibili. Secondo Elias Canetti, autore dei *Massa e Potere*, le folle hanno quattro principali caratteristiche: la folla vuole sempre crescere, la folla ha un'organizzazione equalitaria, la folla ama l'intensità, e ha bisogno di una direzione. Caratteristiche citate da Allen che le annovera tra le condizioni di campo (Allen, 1999): sia le folle che gli sciame operano ai limiti del controllo, generando organizzazioni imprevedibili, che sono impossibili da replicare analogicamente da un progettista. Generalizzando questi esempi, Allen afferma che una condizione di campo può essere descritta come una matrice formale o spaziale in grado di unificare più elementi nel rispetto delle singole identità. Le configurazioni risultanti sono quindi aggregati caratterizzati da porosità e inter-connettività interna, dove regole locali sono decisive nel generare una complessità fluida che procede dal basso verso l'alto. L'approccio *bottom-up* di Allen sposta l'attività progettuale verso una nuova logica basata sulla dinamica dei flussi, sostenuta dalle nuove tecnologie e dalla notazione algoritmica

ed è in grado, secondo l'autore, di superare la frammentazione e discordanza del decostruttivismo. La stessa strategia può aiutare a mediare tra l'ambiente costruito e l'astrazione del progetto, permettendo agli architetti di affrontare l'indeterminazione e l'imprevedibilità di luoghi ed eventi che li animano. L'indeterminazione ha una nuova importanza all'interno della pratica progettuale, tanto che Allen afferma addirittura come con le sue *field conditions* non intenda produrre una teoria sistematica dell'architettura, al contrario il suo stesso modello teorico è dichiarato irrilevante nei confronti della realtà della pratica, da cui si devono desumere le motivazioni di ogni scelta progettuale.

Le possibilità di apertura del progetto ad approcci *bottom-up* sono diversamente articolate da Bernard Cache che insieme a Gilles Deleuze propone l'*Objectile*, un nuovo oggetto tecnicamente possibile grazie alla notazione algoritmica e agli strumenti di fabbricazione digitale che sempre più troveranno spazio nella fasi di studio e produzione dell'architettura. *Objectile*, è un neologismo nato dall'unione della parola *object*, oggetto, e quella di *file*, generico oggetto informatico, ed è un'entità aperta al contributo degli utenti finali, che possono definire la pressoché infinita variazione e personalizzazione degli oggetti da produrre (Perrella, 1998). La teoria dell'*objectile* incide sul ruolo stesso del progettista, mettendo in discussione il paradigma albertiano, perché permette agli utenti di partecipare nella definizione della forma, assecondando i loro desideri, con i rischi che ne conseguono. È necessario osservare che la personalizzazione possibile all'utente non è assoluta, ma limitata ad alcune variabili, ciò rende necessario per il progettista uno sforzo maggiore: il suo contributo non si limiterà alla produzione di un oggetto, ma di una intera famiglia di oggetti, secondo un processo logico, tradotto algebricamente, grazie al quale è possibile mantenere coerentemente le qualità essenziali dell'oggetto nonostante variazione dei parametri. Un'ulteriore svolta è quindi quella relativa alla produzione degli *objectile*, questi non sono progettati per essere realizzati con strumenti e processi standard, ma esclusivamente tramite i metodi di produzione digitale, rappresentati allora dai primi strumenti CAM e in un secondo periodo dalle stampanti 3D, che permetteranno una variazione nella forma senza incidere sui costi di produzione. Le teorie di Cache si traducono negli anni in diversi progetti, mostre ed iniziative, che dal '95 sono state occasione per indagare su come si possano sfruttare le potenzialità dei nuovi strumenti di progettazione e costruzione per produrre un "Architettura non standard" (Cache e Beuce, 2007). Tra questi esperimenti ricordiamo il *Table not standard*, figura 2.4.9, presentato a Parigi in occasione di una mostra, all'interno della quale gli utenti sono stati chiamati a manipolare l'algoritmo generatore della forma degli oggetti tramite interfacce grafiche semplificate. Tralasciando le caratteristiche formali del tavolo, il valore principale del progetto sta proprio nella possibilità per gli acquirenti di personalizzare le forme e la dimensione del tavolo in base alle loro esigenze singolari, definendo l'oggetto dei loro desideri che verrà quindi prodotto tramite macchinari CAM e recapitato a domicilio. Se da un lato è vero che l'*objectile* segna un'apertura del progetto verso l'utenza, capace adesso di contribuire alla definizione delle forme, è anche da osservare come che la produzione di *Objectile*

si sia limitata esclusivamente ad oggetti, arredi, pannelli o comunque a progetti di piccola scala, non riuscendo a trattare i temi dell'architettura secondo nuove logiche partecipative realmente architettoniche. Partecipazione e approcci *bottom-up* restano comunque una caratteristica permeante dell'architettura della prima svolta digitale, e seppur è vero, come ricorda Gregotti che il tema della partecipazione si è già manifestato in precedenza nel discorso architettonico (Bertelli, 2016), è anche vero che grazie agli strumenti di comunicazione digitale la partecipazione ha trovato oggi nuove possibilità in architettura e società. Un interessante esempio in questo senso è quello delle sperimentazioni di John Frazer (Frazer, 1995) in seno ad una mostra organizzata dalla Architectural Association di Londra nel 95. Per realizzare la ricerca il gruppo realizza un algoritmo sviluppato per rispondere ai *feedback* provenienti dagli utenti, sia fisicamente presenti alla mostra che collegati via internet. Le evoluzioni della forma sono quindi il risultato dell'operato di diversi attori e si sviluppano nel tempo, analogamente ai sistemi auto organizzati presenti in natura, trasponendo logiche di morfogenesi biologica su una dimensione digitale. Il modello evolutivo funziona esprimendo concetti formali in un linguaggio informatico di tipo genetico, cambiando valori e posizione dei geni all'interno di una stringa è quindi possibile cambiare le caratteristiche proprie della forma. Le diverse stringhe di geni selezionate dagli utenti compongono quindi una popolazione di soluzioni, all'interno di questa popolazione avviene la distinzione di forme efficaci secondo parametri definiti a monte, con un processo simile a quello della selezione naturale teorizzato da Darwin, possibile tecnicamente tramite gli algoritmi genetici, un metodo matematico che troverà larga applicazione in architettura, soprattutto in termini di ottimizzazione.

Il tema dell'evoluzione coincide parzialmente con quello della *emergence*, termine che potremmo tradurre in italiano come emersione, e deriva dalla teoria dei sistemi dove si afferma che la proprietà di un insieme non può essere descritta come una semplice somma delle parti. Una definizione spesso associata alla complessità, allo studio di comportamenti non lineari e a sistemi auto organizzanti, che accompagneranno il dibattito architettonico sin dagli inizi del duemila. Tra i promotori di questo approccio è importante citare Micheal Weinstock, Micheal Hensel e Achim Menges (2004), che sempre in seno alla Architectural Association di Londra indagheranno i temi tramite attività didattiche e sperimentazione. Gli autori applicano i principi di auto organizzazione agli edifici, visti come sistemi o addirittura ecosistemi, studiati secondo principi tettonici e termodinamici e materiali, dove ogni singolo elemento architettonico esiste come parte di un ambiente ed è il risultato di una lunga serie di evoluzioni tecniche e teoriche. Le tecniche generative di *emergence* si basano su modelli matematici per generare forme, farle evolvere secondo processi morfogenetici riproposti come metodi computazionali. Per dirsi realmente evoluzionarie queste strategie necessitano di un riscontro con la materialità dei modelli fisici, utili per indagare e quindi assecondare le capacità auto organizzative insite nei materiali, che rispondono alle sollecitazioni esterne e interne con configurazioni geometriche caratteristiche, e definiscono il processo che porta alla generazione della forma. Gli autori citano gli esperimenti di *form-finding* di Otto

portandoli come esempio di un diversa strategia progettuale in cui l'architetto esercita un *soft control*, un controllo leggero, capace di leggere il comportamento dei materiali e dei sistemi complessi propri dell'architettura, instaurando un dialogo continuo con la materialità, caratteristica permeante di ogni manufatto architettonico. Menges (2004) descrive la tecnica digitale della *digital dynamic relaxation*, utilizzata nella progettazione di strutture a base di membrane, vera e propria trasposizione digitale degli esperimenti di Otto e Gaudì, tramite il quale si strumentalizza il comportamento dei sistemi materiali, simulandolo all'interno di programmi informatici che permettono di comprendere in anticipo la configurazione di equilibrio di un sistema. Menges, che diventerà in seguito direttore dell'ICD, *Institute for Computational Design* dell'università di Stoccarda e contribuirà alle evoluzioni della seconda svolta digitale, inizia già a Londra la sua sperimentazione, realizzando diverse installazioni basate sullo studio digitale di membrane. Citiamo ad esempio l'installazione *Membrane morphologies 02*, figura 2.4.10, prodotta dagli studenti della Architectural Association e composta da vele di tessuto in nylon, che grazie alla diversa elasticità delle parti, e ai fori realizzati all'interno della membrana assumono configurazioni geometriche risultanti da un diverso rapporto tra forma e materia, studiato grazie alle capacità anticipatrici degli strumenti digitali.

Di notevole interesse, e sicuramente paradigmatico della successiva produzione di Menges all'interno dell'ICD è il *Paper Strip experiment* realizzato nel 2005, un modello costruito utilizzando delle semplici strisce di cartone, attorcigliate e piegate secondo le possibilità del materiale, sino a generare configurazioni resistenti per forma. La ricerca, sviluppata tramite modelli digitali, si basa sulla riproposizione di un singolo elemento parametrico differenziato a seconda della posizione e degli stati tensionali, figura 2.4.11. Il sistema tiene quindi conto delle caratteristiche fisiche del materiale e ne integra le sue tendenze auto formanti, grazie ad analisi delle curvature e degli allineamenti relativi, considerando inoltre la riproducibilità delle forme geometriche, che sono sempre realizzate partendo da elementi piani poi piegati. Menges non prescrivere una forma in senso assoluto, parte da configurazioni di massima, testate grazie alla simulazione della forza di gravità e analisi agli elementi finiti.

Questi e altri esperimenti, segnano un'ulteriore apertura dell'attività progettuale verso i processi, tramite i quali i progettisti sono in grado di ottenere architetture altamente performanti secondo criteri precedentemente stabiliti. È necessario a questo punto osservare che, se da un lato diversi ricercatori e progettisti sviluppano strategie e strumenti informatici per la progettazione di architetture sin dai primi anni della svolta digitale, ci vorrà comunque del tempo perché i programmi CAD si diffondano all'interno degli studi, dove il loro contributo si limiterà inizialmente alla rappresentazione digitale di progetti, stampati e prodotti ancora secondo processi analogici. Nell'arco di una decina d'anni dall'inizio della prima svolta digitale i *software* diventeranno comunque onnipresenti nella pratica professionale, tanto che molti studi inizieranno a guardare con interesse allo *scripting*, pratica che tramite determinati linguaggi di programmazione permette agli architetti di ampliare le possibilità dei

programmi commerciali, automatizzando e velocizzando tutte quelle attività che possono essere tradotte in un algoritmo informatico (McCullough, 2006). Una svolta in questo senso è rappresentata dall'avvento dei VPL, linguaggi di programmazione visuale, che permettono anche a chi non ha la conoscenza di un linguaggio di programmazione testuale di sviluppare algoritmi complessi, facilitando enormemente l'utilizzo di strategie di generative design per la progettazione della forma. Il più famoso tra i VPL è senza dubbio Grasshopper 3D, inizialmente sviluppato come plug-in per Rhinoceros 3D dal 2007, e largamente promosso da alcuni dei più famosi studi d'architettura contemporanea, come Zaha Hadid Architects. La personalizzazione degli strumenti digitali e lo *scripting* troveranno sempre più spazio nella pratica professionale, tanto che nasceranno numerose società che si occupano di consulenza digitale per l'architettura e sviluppo di software progettato per la nostra professione. Tra queste è opportuno citare la Gehry Technologies, fondata nel 2002 da Frank Owen Gehry e acquisita poi da Trimble, azienda che si è occupata e si occupa di sviluppare applicativi CAD avanzati e supportarne l'adozione da parte dei professionisti.

Le prime sperimentazioni professionali di personalizzazione degli strumenti informatici contribuiscono alla diffusione del BIM o Building Information Modelling, un diverso sistema di gestione del processo architettonico. Un processo BIM è adottabile esclusivamente tramite degli applicativi, sviluppati *ad hoc* da aziende specializzate sin agli inizi del 2000: programmi finalizzati, non solo alla esatta e dettagliata descrizione del manufatto architettonico nelle sue parti, ma anche e soprattutto a favorire la collaborazione all'interno degli studi e con gli altri attori del processo di progettazione e produzione dei manufatti architettonici. Se ad un primo acchito il BIM può sembrare un'evoluzione puramente tecnica, ad uno sguardo più attento è inevitabile osservare come questa pratica, che descriveremo con maggiore dettaglio tecnico nei capitoli successivi, sia in grado di incidere sul processo progettuale, aprendolo verso nuove possibilità e rischi. Il BIM integra all'interno dei suoi processi alcuni metodi parametrici di controllo del progetto, dalla analisi dei costi alla definizione della forma attraverso metodi generativi e simulazioni sull'efficacia delle scelte materiali, anticipando problemi che in una pratica tradizionale sono osservabili in fase di produzione dei manufatti architettonici, con notevole risparmio economico. Lavorare in ottica BIM significa inoltre alleggerire l'attività di notazione e traduzione del progetto in elaborati tecnici, che gli architetti possono produrre in pochi click in seguito alla definizione virtuale dell'architettura. La ricchezza di informazioni di questi modelli è tale che sempre più spesso assumeranno il ruolo di elaborato definitivo del progetto per grandi committenze e governi. Se inoltre è vero, che da un lato un processo BIM richiede a committenza e costruttori, una minore capacità di interpretazione del progetto, è anche vero che il rischio concreto che molti intravedono in questi processi sta nella perdita di autorità dell'architetto rispetto agli altri attori, che grazie al BIM diventano sempre più capaci di controllare e influenzare l'iter progettuale (Garber, 2009).

Come abbiamo visto, pur manifestando ampie similitudini e talvolta convergenze, i temi caratteristici della prima svolta digitale non possono essere inizialmente raccolti in una vera e propria corrente. Un tentativo concreto in questa direzione è quello di Patrik Schumacher

(2009), che allo scadere degli anni duemila lancia il parametricismo, proposto come nuovo stile globale, unico capace di dissolvere gli ultimi strascichi di modernismo, mai realmente superato da postmoderno, decostruttivismo e minimalismo, che l'autore definisce episodi. Il parametricismo nasce dall'esperienza e accumulata da Schumacher con lo studio di Zaha Hadid e dall'attività di ricerca sviluppata all'interno della unità didattica AADRL presso la Architectural Association, ed è fondato sulle nuove possibilità rappresentate dalle tecniche di animazione digitale, dal design parametrico e dallo *scripting*. Possibilità da sfruttare, secondo Schumacher, per affrontare la complessità dei temi architettonici contemporanei e rispondere alle necessità della società postfordista, che al contrario della precedente società di massa basata sullo standard e sul consumismo universale, si sta spostando verso una sempre più accentuata diversificazione di stili di vita, prodotti e processi, verso quella che l'autore definisce la *mass customization*, traducibile come personalizzazione di massa. Nell'arco degli anni Schumacher articolerà il suo pensiero in un'ampia raccolta di contributi, che tratteranno non solo i temi dall'architettura, quindi la percezione dello spazio, i pattern, il ruolo della decorazione, e l'architettura come sistema di comunicazione, ma si spingeranno verso considerazioni di tipo socio-economiche, agganciandosi al pensiero del sociologo Niklas Luhmann, autore di più di 70 libri e oltre 400 articoli scientifici, all'interno dei quali viene sviluppata la teoria dei sistemi sociali. Per Luhmann ogni aspetto della vita societaria e culturale può essere descritto come un sistema complesso, apparentemente caotico, e governato dalla comunicazione, tramite il quale ogni sistema filtra significati e valori, per riorganizzarli autonomamente tramite un processo da lui riconosciuto auto-poietico.

L'auto-poiesi, termine ereditato dalla biologia, indica infatti la capacità dei sistemi di auto organizzarsi, ridefinendosi continuamente dall'interno, ed è trasposta in architettura da Schumacher, che nel 2011 e 2012 pubblicherà, *The Autopoiesis of Architecture*, due monografie all'interno delle quali raccoglie la teoria alla base del suo parametricismo. L'autore propone qui un approccio progettuale fondato su una nuova euristica, necessaria per ottenere una nuova architettura capace di gestire la complessità contemporanea. Definisce inoltre dei criteri operativi, tradotti in *dogma* e *taboo*, principi euristici positivi e negativi, che un progettista orientato verso il parametricismo dovrebbe seguire sia dal punto di vista formale che funzionale. *Taboo* formali, quindi da evitare sono: le forme rigide, incapaci di adattabilità, la semplice ripetizione, quale carenza di varietà, e i collage di elementi isolati, per la loro mancanza di ordine. *Dogma* formali sono: la morbidezza, perché sintomo di un approccio intelligente in cui la deformazione è frutto di informazione, quindi la differenziazione tramite gradienti e l'interdipendenza, ovvero la correlazione tra elementi del sistema architettonico. Similmente, dal punto di vista funzionale sono da considerarsi *taboo* gli schemi rigidi e le pratiche segregative dello *zoning*, così come sono un *dogma* da perpetuare lo studio parametrico delle attività interne all'architettura, attività che sono interconnesse tra loro e delle quali va approfondita la comunicazione. Questi criteri operativi vanno quindi sviluppati all'interno di processi aperti alla continua variazione, realizzabile modificando il peso delle variabili, i parametri del progetto, che

Figura 2.4.9:
Un esemplare del table
not standard progettato
dallo studio Objectile.
(foto Georges
Meduerditchian)



Figura 2.4.10: Un modello
di studio per il progetto
Membrane morphologies
02. (Menges, 2006, 168)

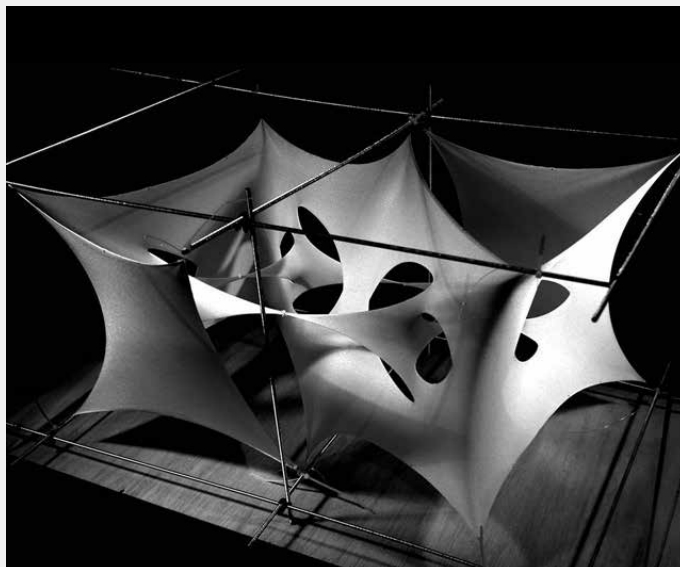


Figura 2.4.11: I modelli
digitali utilizzati per l'anal-
isi dello stato tensionale
e la deformazione dei
paper strip experiment.
(Menges, 2006, 175)

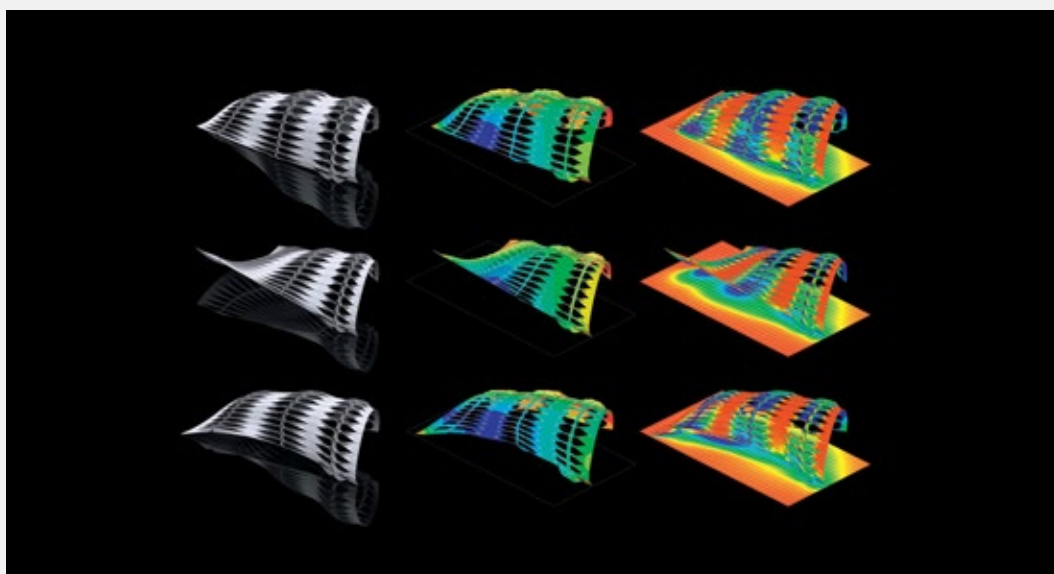


Figura 2.4.12: Una
rappresentazione dell'hair
system utilizzato dallo
studio Zaha hadid Archi-
tects per il progetto di
Kartal-Pendik. (Immagine
Zaha Hadid architects)



Figura 2.4.13: Il modello
digitale dei corpi,
adattamenti fenotipici
dalla topologia deformata.
(Schumacher, 2009, 241)



il progettista può mettere in discussione in qualsiasi momento del processo, sino ad ottenere un sistema coerente con la complessità dell'architettura (Schumacher,2009). Data la sua intrinseca complessità, la città contemporanea è il perfetto campo di prova per il parametricismo: Schumacher critica ampiamente il pensiero moderno e l'elogio della linea retta promosso da Le Corbusier, proponendo come alternativa la curva, e riportando esempio positivo i metodi di *occupying and connecting* utilizzati da Frei Otto (2003) nella definizione di pattern urbani. Come Otto utilizzava modelli analogici basati su magneti, liberi di auto organizzarsi in conformazioni spaziali frutto dei loro campi magnetici, allo stesso modo il progettista contemporaneo può utilizzare modelli parametrici e applicativi di animazione digitale, dove simulare comportamenti fisici.

Perfetto esempio di questo approccio è il masterplan realizzato da Zaha Hadid Architects per il quartiere di Kartal-Pendik nel 2006, intervento progettato su un sito ai limiti dell'urbanizzazione di Istanbul, un lotto di svariati acri precedentemente utilizzato per la produzione industriale. Per il progetto, lo studio utilizza l'*hair system* del *software* di animazione digitale Autodesk Maya, figura 2.4.12. Uno strumento originariamente concepito per simulare il comportamento dei capelli nell'animazione digitale, viene qui utilizzato per la definizione della nuova geometria urbana. I progettisti scelgono come input il contesto urbano e le linee di connessione con la circolazione preesistente, settando i parametri dell'algoritmo in modo da ottenere una configurazione viaria che ottimizza i percorsi, raggruppandoli grazie ad un processo simile a quello utilizzato da Otto attraverso modelli analogici. Una volta definita la maglia urbana, i progettisti popolano l'area con due principali tipologie di edifici, torri e blocchi più bassi, articolati secondo i perimetri degli isolati. Le torri, dalla pianta cruciforme, sono poste in concomitanza degli incroci principali per segnalare la rete di connessioni viarie. Tutti i blocchi bassi, figura 2.4.13, sono adattamenti fenotipici di uno stesso algoritmo che definisce la loro impronta in pianta e la presenza di corti interne, e si innalzano gradualmente in prossimità delle torri, con l'intenzione di generare un paesaggio urbano al contempo differenziato e continuo.

Il parametricismo di Schumacher, che si svilupperà ulteriormente anche nella seconda svolta digitale, troverà sostenitori e oppositori anche tra i paladini dell'architettura digitale. Non tutti gli architetti inoltre, si riconoscono nei paradigmi del digitale, al contrario si svilupperà addirittura una reazione contro la produzione digitale, che alcuni accademici e progettisti definiscono barocca, sbilanciata verso la comunicazione e protesa verso una pericolosa spettacolarizzazione dell'architettura. Lo stesso Eisenman, tra i primi esponenti della "corrente" si discosterà da certe sperimentazioni più speculative, e anche chi, come Antoine Picon, avalla l'utilità di strumenti digitali in architettura, ne riconosce i limiti e arriverà ad un certo punto ad affermare: «abbiamo superato le prime reazioni di entusiasmo o preoccupazione. La questione non è più se la tecnologia digitale è una cosa positiva o negativa per la progettazione, ma piuttosto è necessario capire quale direzione l'architettura sta prendendo» (Picon, 2010).

2.5 IL SECONDO DIGITAL TURN

L'interpretazione della contemporaneità è uno sforzo da sempre richiesto ad ogni progettista, specialmente in architettura, una pratica che è al contempo proiettata verso il futuro, ma anche radicata nella contemporaneità sociale, tecnica, economica, scientifica e artistica. Interpretare la contemporaneità in architettura è quindi un esercizio che ci richiede un certo distacco da ciò che ci tocca quotidianamente, nel tentativo di mitigare la distorsione tra ciò che percepiamo e ciò che sta realmente accadendo, per acquisire una prospettiva storica su fenomeni altrimenti carichi anche di significati personali.

Con questa intenzione si sviluppa il pensiero di Mario Carpo (2017), che introducendo il tema della seconda svolta digitale, riflette sul rapporto tra architettura e innovazione tecnologica, affermando come tradizionalmente, gli architetti tendano ad essere più lenti nell'adozione di nuove tecnologie, questo è avvenuto sin dagli inizi dell'architettura occidentale, con Vitruvio, che quando scrive il *De Architectura*, uno dei più influenti libri di sempre, descrive tecnologie costruttive tradizionali, vecchie di secoli rispetto alla sua contemporaneità. Come ci ricorda Carpo, Vitruvio fa, ad esempio, principalmente riferimento al sistema trilitico, non menzionando archi e volte, sistemi già adottati dall'ingegneria Romana a lui contemporanea. Gli scritti di Vitruvio, recuperati durante il Rinascimento, segneranno la produzione architettonica dei secoli successivi. Persino nel pieno della rivoluzione industriale ottocentesca, con l'affermarsi di nuove possibilità costruttive, gli architetti utilizzeranno i nuovi materiali industriali per imitare forme e stili dell'antichità, o comunque della tradizione. Anche Le Corbusier (1927) osserva questa viscosità, tanto che quando afferma la necessità di una nuova architettura, guarda ai costruttori di automobili, di navi e aerei, capaci prima degli architetti di sfruttare le capacità tecniche della produzione di massa industriale per realizzare prodotti che soddisfino necessità standardizzate. I temi di fordismo e taylorismo basati sulla produzione standardizzata e il consumo di massa non sono di certo nati in seno all'architettura, anche in quel caso, da progettisti ci siamo allineati in direzioni segnate dalla società, fino a riscoprire con il postmoderno l'unicità di ogni manufatto architettonico. Questo spiega perché con l'avvento della prima svolta digitale degli anni novanta, alcuni pionieri nell'adozione degli strumenti digitali per il progetto, si siano ritrovati nel tema della variazione, ovvero nella possibilità di progettare e produrre in massa oggetti non standard. Se, anche in questo caso è vero che gli strumenti CAD non sono un prodotto della nostra cultura professionale, come non lo sono gli strumenti CAM, è indubbio che l'idea di utilizzare questi strumenti secondo nuove logiche di variazione e *mass digital customization*, personalizzazione digitale di massa è nata in architettura. Sono stati gli architetti i primi a sostenere come i nuovi strumenti di produzione digitale non dovessero emulare il paradigma meccanico, secondo gli standard della filiera industriale (Cache e Beauce, 2007), sostenendo al contrario l'avvento di un nuovo paradigma, quello digitale, che si basa sulla possibilità di produrre oggetti sempre diversi senza che questo implichi una sostanziale variazione dei costi. Questa nuova possibilità di personalizzazione ha anticipato di qualche anno l'avvento del web 2.0, con il relativo

fiorire di collaborazione, partecipazione *on-line*, animato dalla nuova possibilità per l'utente di generare contenuti personali e diffonderli su internet. Ha anticipato i nuovi paradigmi della comunicazione digitale, offrendoci la possibilità di personalizzazione del pubblico e fonti da cui raccogliamo informazioni *on-line* tramite i motori di ricerca, che oggi ci offrono risultati personalizzati, o tramite i *social network*, che ci permettono di costruire una rete di contatti personali con cui interagire. Scrivo questa parte della mia tesi nell'Aprile del 2020, mi trovo in casa e sto affrontando insieme a miliardi di persone, il *lock-down* dovuto al diffondersi del virus COVID19 in tutto il mondo. Proprio in questo momento di emergenza, durante il quale abbiamo dovuto estendere il significato di confine alle mura delle nostre abitazioni, e il digitale si è trasformato da possibilità in obbligo, è facile osservare la comunicazione, popolata di *fake news*, derivi pericolosamente verso la disinformazione. Osserviamo al contempo la potenza degli strumenti di fabbricazione digitale, che hanno permesso a migliaia di *makers*, ingegneri, architetti, designers e università, di inventare o anche solo produrre nuove attrezzature come maschere per respiratori polmonari, figura 2.5.1, mascherine e dispositivi di protezione individuale in genere, che i governi attualmente si contendono.

Dalla prima svolta digitale ad oggi sono passati poco meno di venti anni, nel frattempo il digitale ha pervaso le nostre esistenze, per la prima volta nella storia siamo stati in grado di raccogliere moli di dati tanto ampie da non riuscire a processarle tramite approcci tradizionali, abbiamo quindi iniziato ad adoperare gli strumenti informatici secondo una diversa logica. Ottenendo risultati in ogni ambito del sapere, non più con la trasposizione in digitale di vecchi metodi, ma secondo processi realizzabili con più facilità e velocità grazie ai calcolatori: i metodi della nuova scienza, caratteristica di quella che Carpo riconosce in architettura come la seconda svolta digitale (Carpo, 2017). Per meglio descrivere la complessa evoluzione che sta animando la seconda svolta digitale in architettura è necessario parlare dei dati, che vengono prodotti quotidianamente in tutto il mondo hanno una mole sempre più grande, tanto che siamo arrivati a definire la categoria dei *big data*, e siamo in grado di custodirli in memorie sempre più ampie, trasferendoli tra un computer e l'altro con sempre maggiore velocità. Ciò ha, tra le altre cose, segnato il diffondersi di una tipologia architettonica, quella dei *data-centre*, complessi di edifici disseminati per il mondo, dove i dati vengono custoditi, in ambienti popolati da migliaia di server: architetture, descritte da alcuni come post-umane, tecnicamente progettate per ottimizzare il funzionamento dei macchinari che custodiscono, dove la presenza degli esseri umani è limitata alla necessaria per la manutenzione delle macchine (Koolhaas, 2019). A prescindere dalla seppur importante proliferazione della tipologia architettonica dei *data-centre*, sintomo di per se di una seconda maturità raggiunta dalle eterotopie digitali, ciò che ha segnato la nostra esistenza è stato il doverci confrontare con una mole di informazioni senza precedenti, per questo abbiamo cercato nuove soluzioni, più adatte a gestire la molteplicità e la complessità dei dati. Carpo, ad esempio, ci parla di come è cambiato il modo in cui ci interfacciamo con le e-mail: i primi applicativi di gestione delle e-mail degli anni novanta ci permettevano di scaricare la posta su un dispositivo, organizzarle secondo cartelle e consultarle come se le avessimo

Figura 2.5.1: La valvola stampata in 3D che ha permesso di adattare delle maschere da sub al sistema dei ventilatori polmonari. (immagine Isinnova)



riposte fisicamente in una carpetta. Come spesso accade nella storia della tecnologia, questi programmi simulavano su nuovi mezzi, dei modelli propri di una tecnologia precedente. Il vecchio modello ha funzionato perfettamente, almeno all'inizio, sino a quando, con la diffusione pervasiva del digitale, non è cambiata drasticamente la mole di email che inviamo e riceviamo. La variazione quantitativa è stata talmente ampia da trasformare qualitativamente il paesaggio: le email sono così tante, che non siamo più in grado di gestirle o recuperarle tramite un sistema di categorizzazione tradizionale. Un nuovo sistema viene quindi proposto nel 2004, quando Google lancia con lo slogan "search don't sort" (Carpo, 2018) cerca non ordinare, un nuovo servizio di posta elettronica: Gmail, che permette agli utenti di cercare tra le email, considerando anche il testo interno ai messaggi di posta elettronica. Un'operazione impossibile nel mondo reale, quella di scandagliare migliaia di messaggi fino a trovare ciò che stiamo cercando, diventa possibile grazie alla infinita memoria e alla potenza di calcolo capace di considerare istantaneamente una mole di messaggi enorme per ogni essere umano, ed è un'innovazione che da allora si è estesa a numerosi altri servizi di posta elettronica, tanto che nessuno oggi ha la necessità di organizzare e categorizzare le email.

L'avvicinarsi di paradigmi, attraverso una prima evoluzione puramente tecnica e quindi metodologica, è avvenuto ripetutamente nella storia della umana, e negli anni 2000 si è riproposto addirittura nell'avvento di quella che possiamo definire una nuova scienza. Come ci ricorda Carpo, l'obiettivo che molte scienze, filosofie e correnti di pensiero si pongono, è quello di prevedere ciò che succederà nel futuro, grazie all'esperienza. Le scienze sperimentali moderne si basano quindi sull'assunzione che gli eventi che si manifestano con una certa regolarità possano essere predetti, estrapolando regole matematiche, come le leggi fisiche. Nel nostro ambiente contemporaneo, ricco di dati, in termini di pure analisi quantitative, la scienza appare come una successione di strategie sviluppate nel tempo per massimizzare il numero di

informazioni che siamo in grado di ottenere, registrare e trasmettere. Evidentemente il modo migliore di imparare dall'esperienza sarebbe quello di tener conto di ogni esperimento nella sua totalità. Questo perché, effettivamente, nessuno sa come descrivere nella sua totalità un evento, inoltre storicamente abbiamo sempre dovuto limitarci nella raccolta di dati, così gli scienziati hanno imparato a quali dati affidarsi, focalizzandosi su alcuni aspetti di un esperimento, piuttosto che su altri.

In questo modo abbiamo imparato quali informazioni estrapolare, generalizzando gli schemi comportamentali osservati, così che l'informazione potesse essere condensata, semplificando e interpretando e notando i fenomeni. Una legge teorica è chiaramente più breve di un'estesa descrizione degli eventi a cui si riferisce, ed è di fatto una tecnologia di compressione, un ottimo espediente che ha permesso alla scienza-tecnica di amplificare l'esistenza umana, sino ad oggi.

Immaginiamo però un mondo ideale di *big data*, nel quale è possibile raccogliere una mole di informazioni praticamente infinita, conservarla per sempre e poterla interrogare in qualsiasi momento, gratuitamente. In questo caso sarebbe possibile misurare e registrare ogni esperimento, così da ottenere una popolazione pressoché infinita di eventi, a cui attingere tramite una ricerca per qualsiasi futuro evento che abbiamo intenzione di prevedere. Partendo esclusivamente dai dati di eventi passati, sarebbe possibile anticipare cosa accadrà in futuro, senza formule matematiche o funzioni, ed è la tesi fondante della nuova scienza, ovvero: qualsiasi cosa sia successa in precedenza, se è stata registrata, nel caso le condizioni a contorno si verifichino nuovamente, accadrà nuovamente (Carpo, 2019). Come osserva Carpo, questo non è molto diverso da ciò che già Galileo e Newton pensavano all'avvento della scienza moderna. Né Galileo, né Newton, però avevano a disposizione i *big data*, oggi al contrario, invece di calcolare predizioni basate su leggi matematiche e formule come hanno fatto loro, gli scienziati possono cercare un precedente per il caso che stanno provando a prevedere e recuperarlo da un archivio di esperimenti collezionati. Quando questo è possibile, con la nuova scienza, la ricerca si sostituisce totalmente ai metodi analitici della vecchia scienza, e anche se può sembrare un'esagerazione, non è di fatto che un'evoluzione quantitativa data dalle possibilità tecniche contemporanee. La scienza moderna non è mai stata una predizione del futuro, bensì un recupero del passato, ciò che cambia oggi, sono i limiti delle informazioni che siamo in grado di conservare, così non è più necessario sintetizzare le informazioni, possiamo al contrario conservare modelli multidimensionali, o possiamo addirittura basarci su eventi mai realmente accaduti, simulandoli, come negli ultimi anni hanno iniziato a fare diversi progettisti e ricercatori architettonici.

Nel 2014 Achim Menges e Jan Knippers (Reichert et al., 2014), degli istituti ICD e ITKE dell'università di Stoccarda hanno presentato i risultati di una ricerca che ha portato alla costruzione del padiglione sperimentale ICD/ITKE 2012, figure 2.5.2 e 2.5.3. Il padiglione, composto di un complesso intreccio di elementi in polimeri rinforzati da fibre di carbonio vitreo, è il perfetto esempio di *digitally intelligent design*.

Per realizzarlo, i ricercatori sono partiti emulando modelli biologici, riproponendone forma geometrica e caratteristiche materiali, hanno quindi simulato il comportamento della struttura tramite FEA, analisi ad elementi finiti, un metodo matematico che



Figura 2.5.2:
Il padiglione ICD/ITKE del
2012 a Stoccarda.
(Reichert et al., 2014)



Figura 2.5.3: Il processo di
costruzione del padiglione
tramite un braccio
robotico. (foto Institute for
Computational Design)

permette di calcolare il comportamento materiale di elementi continui valutandone tensioni e deformazioni, tenendo conto della forma caratteristica di una *shell*, così come della diversa densità degli strati di elementi e della relativa disposizione dei fasci di fibre. Partendo da questa prima sperimentazione virtuale è stato quindi possibile cambiare le caratteristiche geometriche e materiali del modello, verificato di volta in volta sino ad ottenere un modello coerente con i desideri dei progettisti.

In questo processo di ottimizzazione, non matematico, ma euristico, ogni modello simulato e poi scartato, corrisponde ad un modello fisico che un artigiano tradizionale avrebbe potuto realizzare, testare e rompere nella vita reale. Oggi, tramite l'utilizzo della simulazione del comportamento strutturale è possibile seguire lo stesso identico processo virtualmente, facendo in poche ore ciò che un artigiano avrebbe fatto nell'arco di un'intera esistenza. Come ricorda Sennett, gli artigiani dell'era preindustriale non erano ingegneri, non utilizzavano formule matematiche per progettare e predire il comportamento dei loro manufatti, imparavano in modo empirico, per intuito. Analogamente a quanto si può fare oggi, realizzando e rompendo digitalmente migliaia di oggetti, sino ad ottenerne uno dal comportamento coerente. Questa trasformazione del processo progettuale ricorda nuovamente i metodi di *form-finding* utilizzati da Otto, a cui gli autori si sono effettivamente ispirati, e li traspone in un nuovo ambiente digitale ricco di dati, dove è possibile ottenere manufatti di una complessità impossibile da gestire umanamente.

La nuova primavera del *form-finding* veicolata dalla diffusione degli strumenti di progettazione e produzione digitale è uno degli elementi che caratterizzano la ricerca architettonica della seconda svolta digitale. Numerosi gruppi di ricerca in tutto il mondo, dalla fine degli anni 2000 si concentrano sul comportamento dei materiali e sul funzionamento delle strutture, aprendo la ricerca architettonica verso altri ambiti scientifici. Ma è anche il momento in cui l'architettura torna a guardare alla tradizione, letta, come già anticipato da Moretti, quale fenomeno da studiare secondo i parametri architettonici contemporanei. Perfetto esempio di ciò sono le ricerche realizzate da Philippe Block, professore all'ETH di Zurigo, che all'interno del Block Research Group ha realizzato nell'arco di anni, un folto numero di studi ed esperimenti sulla

progettazione e costruzione di *shell*. È interessante notare come le ricerche di Block (2009) partano dall'analisi di architetture storiche, ed in particolare le volte delle cattedrali gotiche europee, analizzate nella loro conformazione e comportamento strutturale. Presentate inizialmente all'interno della sua tesi dottorale, lo porteranno a definire un nuovo metodo, quello delle *Thrust Network Analysis*, che permette la progettazione di volte ottimizzate per lavorare esclusivamente a compressione: la volta viene definita partendo da un perimetro bidimensionale in pianta, questo viene trasformato in una configurazione tridimensionale tramite l'ausilio dell'equazione funicolare, analizzata e ottimizzata recuperando il metodo di statica grafica delle figure reciproche di Maxwell. Esempio sintomatico di un legame sempre più stretto fra ricerca e pratica professionale è il fatto che questo metodo sia ben presto diventato un *plug-in* per il software Rhinoceros 3D, RhinoVault, figura 2.5.4. Uno strumento digitale gratuito che permette a chiunque, anche senza profonde competenze strutturali, di progettare delle volte dalla forma complessa, perfettamente funzionante esclusivamente a compressione, sfruttando la caratteristica resistenza della forma a guscio, con il conseguente risparmio in termini di materiali e costi (Rippmann, 2012). Il gruppo di Block non è l'unico a realizzare *plug-in* che permettono di sfruttare la funicolare per la produzione di volte, chiunque oggi volesse oggi progettare una volta simile può sfruttare strumenti digitali anche più complessi come Kangaroo physics o Karamba, disponibili gratuitamente nell'ecosistema Rhinoceros 3D, come centinaia di altri strumenti specifici che permettono di sfruttare altrettanti metodi diversi in ogni fase del progetto. Non solo quindi l'ideazione di nuovi metodi, ma la condivisione di questi metodi, trasformati immediatamente in strumenti digitali semplificati, è una peculiarità della svolta digitale. Tanto è vero che come tutti i progettisti intervistati in occasione della mia tesi, testimoniano come l'utilizzo di *plug-in* sviluppati da terzi sia oggi ampiamente diffuso nella pratica professionale contemporanea. Perfetto esempio di ciò è il *drone-port* progettato dalla Norman Foster foundation insieme al Block Group, che nel 2016 presentano alla biennale di Venezia l'innovativo concept di una *shell* (Mairs, 2016), ideata per realizzare un sistema di edifici da produrre nell'Africa rurale, dove, data la carenza di infrastrutture, le nuove possibilità nel trasporto aereo tramite droni possono essere sfruttate per portare medicine, apparecchiature salva vita e sangue, anche chilometri di distanza, in tempi relativamente brevi. Quando lo studio sceglie di sfruttare la caratteristica forma di una *shell*, lo fa perché può essere costruita facilmente con materiali anche disponibili in aree sottosviluppate, da personale non specializzato e con mezzi fisici elementari.

È osservabile inoltre inoltre come l'utilizzo di droni e avanzati macchinari robotici per la produzione come i bracci robotici sia di diffuso interesse per i ricercatori, citiamo ad esempio le ricerche realizzate dal gruppo Gramazio Kohler (2012) dell'Eth di Zurigo. Il gruppo, avviato nel 2008, si è sin da subito occupato di tecniche di fabbricazione digitale, di progettazione algoritmica e collaborazione tra uomo e macchina. All'interno dell'ampia produzione di ricerca realizzata dal gruppo, spicca senza dubbio il progetto *Flight assembled architecture*, figure 2.5.7 e 2.5.8 un'installazione di sei metri d'altezza, realizzata in mattoni, disposti secondo un caratteristico pattern isodomo, con vuoti orizzontali intermedi che permettono la rotazione di ogni singolo

Figura 2.5.4: Un modello realizzato con il plug-in Rhino Vault all'interno del software Rhinoceros 3D.

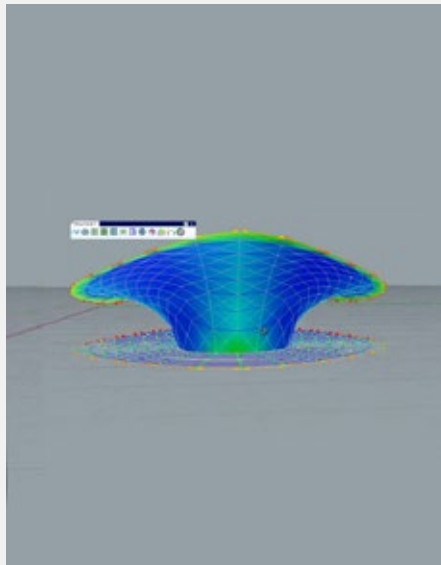


Figura 2.5.5. Immagini di presentazione del drone-port progettato dalla Norman Foster foundation insieme al gruppo Block. (immagine Norman Foster foundation)



Figura 2.5.6: Schema che spiega il sistema facilitato di produzione di volte attraverso tecnologie di facile reperimento anche in paesi in via di sviluppo. (immagine Norman Foster foundation)



Figura 2.5.7: La fase esecutiva del progetto Flight assembled architecture. (Gramazio e Kohler, 2012)

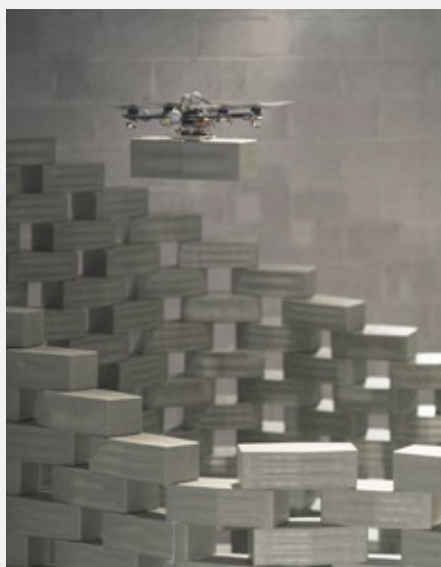
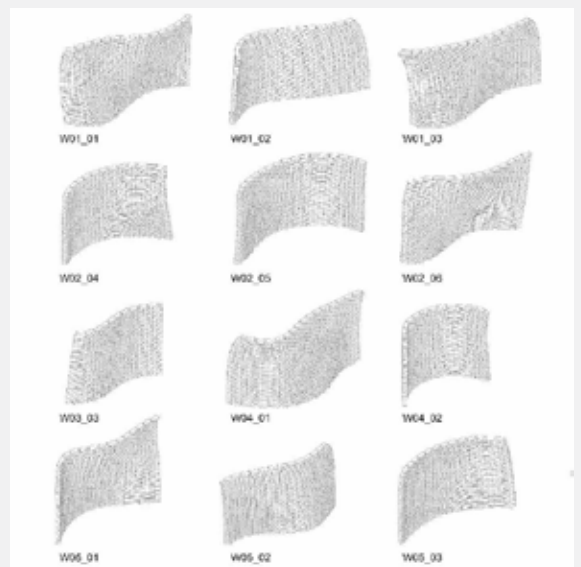


Figura 2.5.8: Le diverse conformazioni ottenibili tramite un processo di costruzione tramite droni aerei. (Gramazio e Kohler, 2012)



elemento rispetto ai vicini, così da definire la forma organica prevista per la colonna. A prescindere dagli elementi formali però, ciò che è davvero innovativo nel progetto è il fatto che ognuno di questi 1500 elementi è stato posizionato da droni, quadricotteri dotati di un sistema che gli permette di prendere un mattone e posizionarlo esattamente nel punto stabilito, orientandolo secondo la direzione progettata per il singolo elemento. Un'operazione che seppur replicabile umanamente, non potrebbe mai raggiungere l'esatta configurazione progettata all'interno del modello digitale, e che i droni possono compiere in maniera parzialmente autonoma, perché dotati di sensori, e capaci, secondo l'algoritmo che li anima, di scegliere autonomamente il percorso, tenendo conto della posizione della struttura e di quella degli altri droni da cui si distanziano analogamente a quanto fatto dai *boids* citati da Allen con la prima svolta digitale.

Un ulteriore esperimento, paradigmatico delle nuove possibilità di produzione digitale è quello del primo ponte in metallo interamente stampato in 3d (Joosten, 2015), progettato e realizzato dalla ditta olandese MX3D, specialista nella fabbricazione digitale, che ha sfruttato delle braccia robotiche industriali, ideando un sistema di estrusione di metallo fuso capace di trasformare 1100 chilometri di fil di ferro in un'infrastruttura di oltre 12 metri di campata. Il ponte, concepito già nel 2015, voleva sperimentare l'utilizzo di due braccia robotiche, programmate per costruire fisicamente la struttura per poi muoversi su di essa, fino ad incontrarsi al centro del ponte per la fusione delle due parti. È stato quindi costruito nel 2018, figura 2.5.9, nell'arco di sei mesi, e deve la sua caratteristica forma parametrica, vagamente barocca, da considerazioni principalmente strutturali. Il ponte, sicuramente innovativo nel suo processo di produzione, è inoltre dotato di sensori, utilizzati dall'azienda per raccogliere informazioni in tempo reale sull'effettivo utilizzo dell'utenza e sul relativo comportamento della struttura. Le misurazioni sono l'occasione per il gruppo di analizzare il comportamento del manufatto, vengono quindi riportate sul modello virtuale dell'edificio, che arricchito con nuovi dati diventa un vero e proprio gemello digitale dell'architettura fisica (Jalcinkaya, 2018). Proprio la produzione di *digital twins* è una pratica che sta destando grande interesse tra i professionisti dell'architettura. Come ho avuto modo di osservare direttamente durante il mio soggiorno londinese, e come conferma l'intervista che ho realizzato con Andreas Klok Pedersen dello studio BIG – Bjarke Ingels Group, quello che si prospetta è una nuova vita per i modelli 3D, che precedentemente venivano conservati e dimenticati in seguito alla costruzione degli edifici, e oggi sembrano essere destinati ad accompagnare l'intera esistenza delle architetture, ampliando ulteriormente le prospettive già intraviste nel BIM, nella qualità di modelli, su cui i gemelli digitali troveranno sicuramente fertile campo d'applicazione.

Se da un lato il *digital manufacturing* dalla stampa 3d alla fabbricazione robotica, sin dal primo *digital turn* si sono sempre più diffuse nel panorama della ricerca architettonica, preannunciando nuove possibilità per la costruzione di un'architettura globale caratterizzata da un legame sempre più netto fra forma e struttura, è anche vero che, nonostante il grande interesse destato, questi strumenti non hanno ancora trovato ampio spazio all'interno della produzione dei manufatti

Figura 2.5.9: Il ponte in metallo interamente stampato in 3D dall'azienda MX3D. (foto MX3D)



architettonici, che tutt'ora vengono largamente realizzati con metodi di produzione tradizionali, basati sul sistema trilitico e sulle possibilità materiali di acciaio e cemento armato.

Ciò che al contrario è crescente, soprattutto all'interno degli studi professionali protagonisti della prima svolta digitale è l'attenzione rivolta verso la razionalizzazione delle forme architettoniche: è evidente una diversa consapevolezza della geometria delle forme architettoniche, che anche quando descrivono forme organiche libere da ogni costrizione euclidea, devono nella maggior parte dei casi essere prodotte ancora secondo il paradigma meccanico-industriale, sono quindi forme il cui costo influisce enormemente sull'investimento della committenza. La questione dei costi, ampiamente criticata nelle architetture della prima svolta digitale, ha sicuramente appesantito la pratica professionale all'interno degli studi di architettura internazionali con l'arrivo della crisi economica di fine duemila. Una crisi che ha colpito innanzitutto i grandi committenti di opere architettoniche, quali governi e aziende, e quindi gli studi professionali, che in diverse occasioni hanno visto ridimensionare i budget inizialmente previsti, o hanno perso importanti commesse, e sono stati costretti a ridurre anche pesantemente i loro organici. La crisi economica ha quindi contribuito all'orientamento da parte degli architetti verso una branca della rappresentazione e della architettura tecnica che dalla fine degli anni duemila ha acquisito sempre maggiore importanza all'interno della pratica professionale quella della *Architectural geometry*, (Pottmann, 2007) letteralmente geometria architettonica, che indaga la progettazione di forme tramite metodi matematici, dalla topologia alla geometria differenziale, tenendo conto della effettiva producibilità della forma architettonica, anche dal punto di vista economico. Queste competenze sono quindi sempre più diffuse all'interno degli studi di architettura, ed è evidente il loro contributo nelle architetture recentemente completate da alcuni studi, guardiamo ad esempio due

opere di architettura realizzate in momenti diversi dallo stesso studio: le stazioni della funicolare completate nel 2007 ad Innsbruck e il grattacielo Morpheus inaugurato nel 2018 a Macao. Entrambi progetti dello studio Zaha Hadid Architects, realizzati però con un decennio di distacco, progetti dove, nonostante la differenza di scala è ugualmente evidente una conformazione organica e plastica della forma architettonica, stilema dello studio. Se però nel primo caso, la caratteristica forma fluida delle coperture, figura 2.5.10, è stata realizzata tramite produzione di elementi unici, pannelli sempre diversi tra loro, determinanti nei costi di produzione (Jodidio, 2009). Al contrario, la forma del secondo manufatto architettonico, figura 2.5.11, è il risultato di un lungo periodo di approfondimento, sia in termini strutturali che di produzione degli elementi, in cui il processo di ottimizzazione si sposta verso le fasi iniziali del progetto. In questo caso infatti, gli architetti, sono partiti sì da una forma organica, che però hanno poi limato, razionalizzandola in parti secondo criteri strutturali e geometrici orientati anche all'abbattimento dei costi di costruzione, criteri che hanno prodotto una variazione quasi impercettibilmente della forma globale dell'edificio, ottimizzandone la costruzione tramite elementi uguali tra loro, figura 2.5.12, realizzabili dove possibile da superfici piane o a singola curvatura (Piermarini, 2018).

La seconda svolta digitale è contemporanea a una capillare diffusione del Building Information Modeling, che nell'arco di oltre 20 anni dalle prime sperimentazioni professionali si è diffuso enormemente all'interno degli studi di architettura, rendendo il processo progettuale sempre più condiviso, aperto a contributi provenienti da altre figure professionali e permettendo al contempo alla grande committenza e ai costruttori un maggiore controllo sul processo. Non a caso il paradigma del BIM ha destato l'interesse di diversi governi, che nell'arco di una decina d'anno hanno adottato misure per incoraggiare le pratiche di Building Information Modeling, o addirittura rendendo obbligatoria la consegna del progetto architettonico in formato BIM in caso di opere pubbliche, come già successo nel regno unito da anni, e come gradualmente sta succedendo adesso in Italia (Sacks et al., 2018).

La caratteristica ricchezza e varietà di dati che è possibile raccogliere e conservare per un progettista contemporaneo alla seconda svolta digitale incide ulteriormente sulla nostra professione, che da sempre, si è occupata non solo di progettare, ma di rilevare le forme geometriche dell'ambiente su cui realizzare in seguito le architetture, e adesso può più facilmente scansionarle digitalmente. L'utilizzo della scansione 3D non è una novità in Architettura, già dai primi anni novanta, quando lo studio di Gehry ne sperimentava l'utilizzo all'interno del processo progettuale, raccogliendo le geometrie dei modelli fisici modificati dal progettista, per tradurle digitalmente. Queste tecnologie, allora acerbe, si sono evolute nell'arco di trenta anni, come gli strumenti di fabbricazione digitale, prima limitati a costose fresatrici, a cui si sono sostituite le più democratiche stampanti 3D. Il 2010 è l'anno del lancio di Microsoft Kinect, un dispositivo progettato inizialmente per finalità ludiche, che permette di interagire con un programma scansionando in ogni istante la posizione del corpo nello spazio e misurandone la variazione. Da allora, numerose aziende e università hanno sviluppato strumenti e metodi computazionali per la scansione 3d di oggetti

Figura 2.5.10: L'ingresso di una delle stazioni della funicolare realizzate dallo studio Zaha Hadid Architects nel 2007 Innsbruck. (foto Zaha Hadid Architects)



Figura 2.5.11: La torre Morpheus realizzata a Macao nel 2018 dallo studio Zaha Hadid Architects. (foto Zaha Hadid Architects)

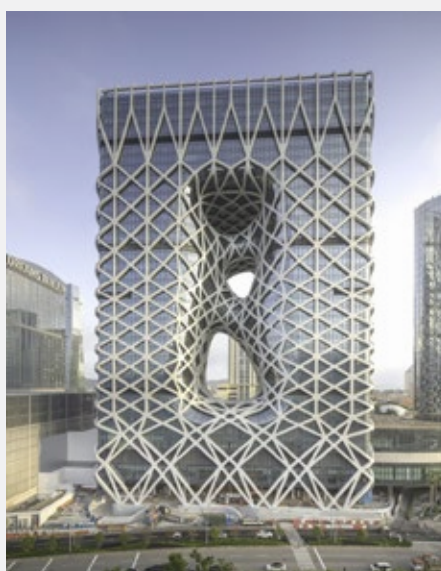


Figura 2.5.12: Il risultato del processo di ottimizzazione delle superfici. (Piermarini et al, 2018, 219)

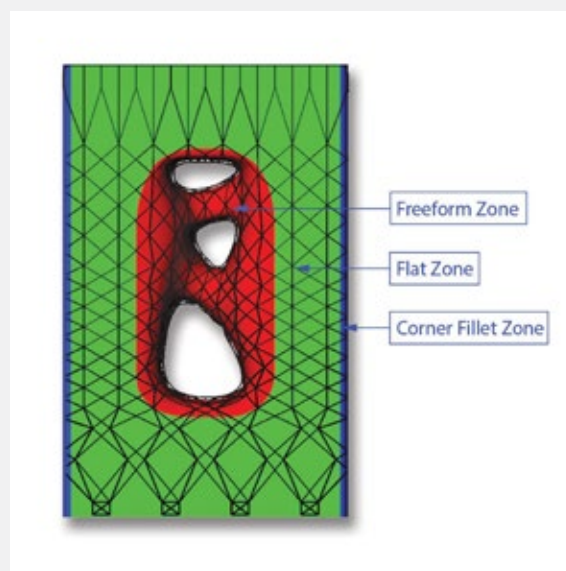
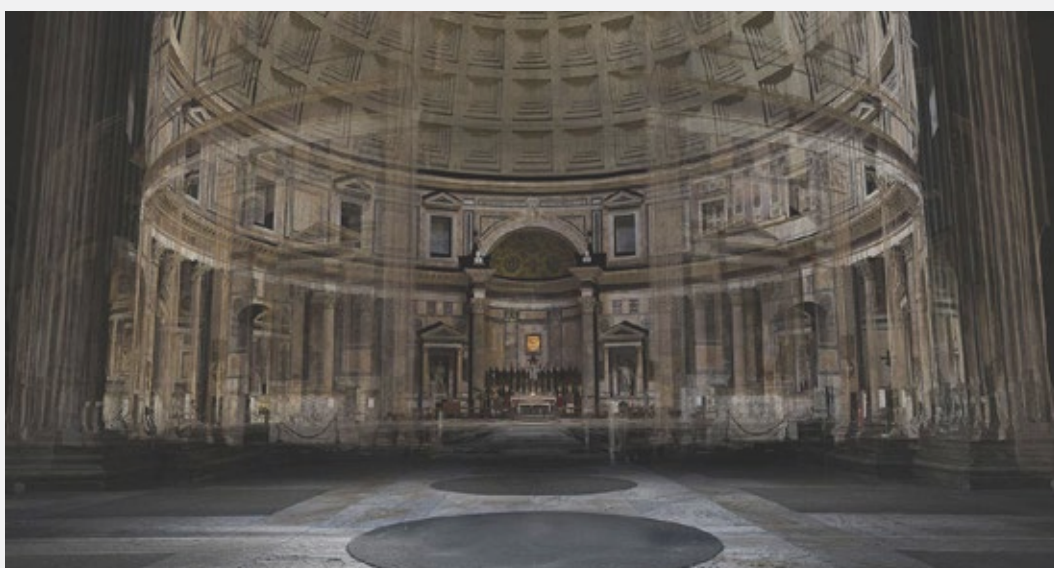


Figura 2.5.13: Un modello navigabile di una scansione 3D del Pantheon, dal progetto Rome invisible city realizzato da ScanLab. (Immagine Bartlett UCL)



e ambienti, un interessante esempio in questo senso sono le ricerche dello ScanLab della Bartlett School of Architecture di Londra, che si è focalizzata sul rilievo 3D di architetture su larga scala o addirittura territori. Gli strumenti sviluppati dai ricercatori permettono di navigare in tre dimensioni all'interno degli ambienti rilevati, ambienti possono essere visualizzati secondo i criteri della prospettiva, dell'assonometria o delle proiezioni ortogonali, figura 2.5.13, navigati tramite visori di realtà virtuale o addirittura riprodotti fisicamente a qualsiasi scala tramite stampanti 3d. Le tecniche e gli strumenti di scansione e stampa 3d, non rendono più necessario in questo ambito l'utilizzo dell'immagine proiettata, una tecnica di compressione fondamentale per ogni progettista, che oggi è può essere sostituita da modelli tridimensionali sempre più complessi e completi, rilevati e riprodotti secondo metodi automatici che annullano la possibilità di errori umani. Ed è una innovazione paragonabile per portata a quelle di invenzione di prospettiva e stampa, che alla fine del medioevo hanno cambiato per sempre la storia dell'umanità.

La seconda svolta digitale è anche un momento di maturità per il parametricismo, propugnato e animato da Schumacher sin dalla fine del 2008 come nuovo stile globale, e che verrà rilanciato sempre da Schumacher nel 2016, in occasione di un numero speciale di Architectural Design, presentato alla Architectural Association di Londra. All'interno del volume, dal titolo Parametricism 2.0 Schumacher (2016a) traccia un bilancio dei primi otto anni di vita del nuovo stile, che nel frattempo ha raccolto sostenitori e detrattori, lamentandosi di come nonostante le evoluzioni interne, il parametricismo sia largamente osteggiato. Il fondatore sostiene che lo stile abbia perso sostenitori tra le università che precedentemente lo hanno animato, e riconosce addirittura la proliferazione di due movimenti, un neo-razionalismo frugale e un movimento anti-iconico, entrambi incapaci di riconoscere la complessità della società contemporanea, che necessita di un'architettura radicalmente nuova e fondata su principi innovativi. Schumacher indica tra i fattori di ostacolo al parametricismo, anche la crisi del 2008, responsabile di un rallentamento economico che ha reso impossibile gli investimenti necessari per la produzione di architetture dalla complessità spaziale e formale necessaria per affrontare la contemporaneità. Così, il parametricismo riparte, dichiarando l'efficacia delle architetture prodotte dalla corrente, edifici di larga scala come il Daxing Airport, l'aeroporto più grande al mondo, completato nel 2019 a Pechino, un'infrastruttura dal costo complessivo di 17,47 miliardi di dollari, figura 2.5.14. Edificio caratterizzato da una imponente copertura organica, che plasticamente raggiunge il suolo a sostenere l'unica imponente copertura, generando un paesaggio illuminato dall'alto, che si estende, organicamente come una stella, ricalcando il flusso dei viaggiatori dall'accesso ai gate (Pintos, 2019a). Un'architettura frutto di un continuo processo di ottimizzazione in termini strutturali, funzionali, climatici, ma anche di produzione, così come di descrizione dettagliata dei singoli elementi tecnici, alla cui progettazione hanno concorso centinaia di persone in tutto il mondo. A questi e altri esempi di architetture già realizzate dallo studio Hadid e da altri, il nuovo parametricismo unisce una rinnovata attenzione verso la funzionalità sociale dell'architettura, confermando la necessità dell'utilizzo di strumenti computazionali, tecniche inderogabili per l'architettura contemporanea.

All'interno del numero sono presenti i contributi di diversi progettisti, ricercatori e autori, tra questi Frazer legge nei progetti del parametricismo l'influenza di precursori del digitale come Gaudì e Otto, ma anche Moretti, ampiamente citato da Frazer. A dimostrazione di come il parametro sia radicato nella storia del progetto architettonico, Mario Carpo suggerisce una lettura parametrica delle regole geometrico procedurali e nelle forme delle cattedrali gotiche, che si possono ricreare attraverso algoritmi parametrici. Oggi, gli strumenti digitali contemporanei permettono inoltre un diverso approfondimento per l'architettura dal punto di vista dell'efficacia formale, strutturale e funzionale, come già evidenziato dagli esperimenti di Achim Menges, Philippe Block, e possono inoltre trovare un riscontro nella realizzazione di processi partecipati, come proposto dallo studio Relational Urban (Llabres e Rico, 2016) di Londra, che sperimenta un processo parametrico da applicare per facilitare l'interazione tra progettisti e *stakeholders* nelle pratiche di progettazione urbana, grazie alla ricchezza di informazioni e a una nuova facilità di raccolta di feedback da parte dei progettisti. Il duo di architetti porta ad esempio diverse sperimentazioni condotte in Asia e Sud America, di quelle che battezza come Relational urban models, figura 2.5.15, piattaforme di mediazione digitale utilizzate per facilitare la progettazione a livello di masterplan o addirittura su scala geografica, raccogliendo tutti i dati disponibili che sono utili al processo progettuale, dall'uso del suolo, al traffico, ma anche osservazioni ecologiche, economiche, fino ai *feedback* degli utenti. Tutte informazioni che confluiscono in un modello digitale, di cui i progettisti sono custodi e autori, ma che varia in funzione di analisi e considerazioni condivise.

Non mancano i riferimenti ai metodi di *machine learning*, sperimentati alla Architectural Association anche da Theodore Spyropoulos (2016), figura 2.5.16, che insieme ai suoi studenti utilizza algoritmi per rendere l'architettura interattiva, capace di adattarsi al comportamento degli utenti raccogliendo informazioni attraverso sensori per riorganizzare la sua conformazione formale e l'atmosfera degli ambienti, tramite meccanismi robotici capaci di modificarsi in base a dati acquisiti automaticamente. Questa caratteristica, che già di per se pone questioni di tipo etico e riflessioni sul significato stesso di architettura, estende ulteriormente le responsabilità del progettista, e secondo l'autore, troverà ulteriore sviluppo in modelli progettuali innovativi, finalizzati all'utilizzo sempre più ampio della robotica anche in fase produzione delle architettura. Questo sarebbe possibile tramite elementi robotici intelligenti e interattivi programmati per assemblarsi coralmemente in architetture, facendo autonomamente scelte di tipo formale e strutturale, tramite un comportamento collettivo, fenomeno del genoma computazionale progettato a monte dagli architetti.

Nel 2018 Schumacher arricchisce ulteriormente il parametricismo con un nuovo stile, il *tecnomism*, sussidiario al parametricismo, che già racchiude, secondo l'autore, altri sotto-stili da lui identificati in *foldism*, *blobism*, *swarmism*, tutti *-ism* di manifestazioni e teorie osservabili già nella prima svolta digitale ad opera di altri autori, e che Schumacher include nella famiglia del parametricismo. Il *tecnonism*, nella definizione del fondatore implica il potenziamento del iter architettonico attraverso processi di

ottimizzazione ingegneristica e per la fabbricazione delle forme, che tramite mezzi digitali impongono un nuovo rigore nel rapporto tra architettonico forma e struttura, permettendo al contempo una varietà morfologica unica per ogni manufatto, figure 2.5.17 e 2.5.18. Ancora una volta, questo nuovo stile si può accostare al *form-finding* di Otto, che Schumacher (2018) identifica come unico precursore della corrente, lo stesso vale a mio avviso per Moretti, che già a metà del secolo scorso legge nella direzione progettuale Struttura → Forma un percorso più autentico e sincero per la configurazione delle architetture. In modo simile, Schumacher propone un approccio di tipo tecnico e ingegneristico per l'architettura, che deve considerare parametri strutturali, di performance e produzione a monte del processo progettuale e non in seconda battuta, quando la forma dell'architettura è già definita.

Oggi, a quattro anni dal momento di rilancio del parametricismo, è ancora possibile osservare come malgrado le premesse e l'impegno profuso, il parametricismo non sia assurdo a stile globale, ed effettivamente, nonostante i contributi di importanti ricercatori e accademici, il parametricismo non sembra aver trovato riscontro nella pratica professionale in progettisti capaci di accogliere totalmente l'ampia produzione teorica di Schumacher. Eppure l'utilizzo di metodi parametrici nella professione si è oramai diffuso all'interno degli studi di architettura, tramite programmi parametrici, categoria che include l'onnipresente BIM, o addirittura metodi computazionali, realizzati tramite la programmazione. Tra le critiche spesso mosse al parametricismo ci sono quelle di una eccessiva e prolissa produzione teorica, Mark Foster Gage (2016) osserva come il libro manifesto di Schumacher sia composto da 1200 pagine, più del vecchio e del nuovo testamento messi insieme, una mole enorme di informazioni articolata in un gergo ostico, che Steve Parnell definisce indecifrabile e opaco. Gage nega addirittura che il parametricismo possa essere definito uno stile, definendolo al contrario come un'unione forzata della tecnologia digitale del ventunesimo secolo con una preferenza estetica per la curvilinearità, negandone ogni base teorica o filosofica. Alla fortuna del parametricismo, che molti vedono come una creazione personale del suo fondatore non ha di certo contribuito la fama di Schumacher, il quale si è più volte schierato politicamente, manifestando la sua militanza neo-liberista e prendendo in diverse occasioni posizioni controverse sulla privatizzazione dello spazio pubblico (Edelson, 2016) e sulla diminuzione degli standard minimi abitativi per gli appartamenti londinesi, affermazioni che hanno creato tensioni, portando addirittura gruppi di manifestanti fuori dalla sede dello studio Zaha Hadid Architects.

Tralasciando le diverse opinioni sul movimento, è vero che il parametricismo raccoglie molti importanti contributi di ricerca teorica e professionale, come è vero che non basta il parametricismo per descrivere la complessa articolazione dell'architettura contemporanea, animata da un pluralismo caratteristico del nostro tempo, complessità che rendono difficile replicare la globalità raggiunta nel novecento dal movimento moderno, e che nessun'altra corrente ha mai saputo conquistarsi in seguito.

Figura 2.5.14: Immagine aerea del Daxing airport di Pechino, progettato dallo studio Zaha Hadid Architects e completato nel 2019. (Pintos, 2019a)



Figura 2.5.15: Il sistema Relational Urbanism, Arup e Immanuel Koh, Baishizhou, Shenzhen, Cina, 2014. (Llabres e Rico, 2016, 87.

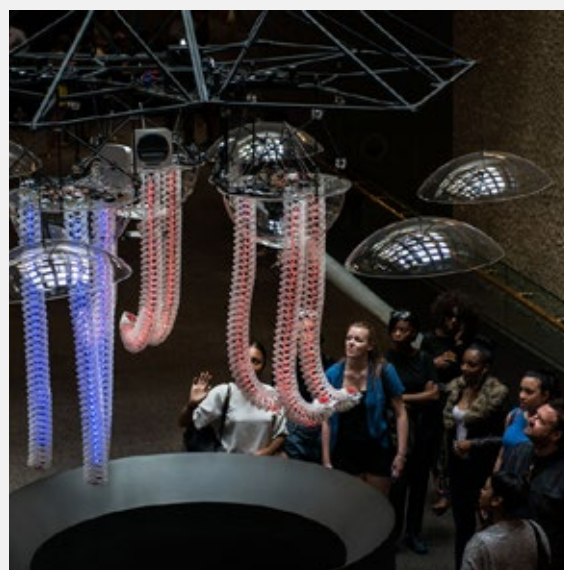
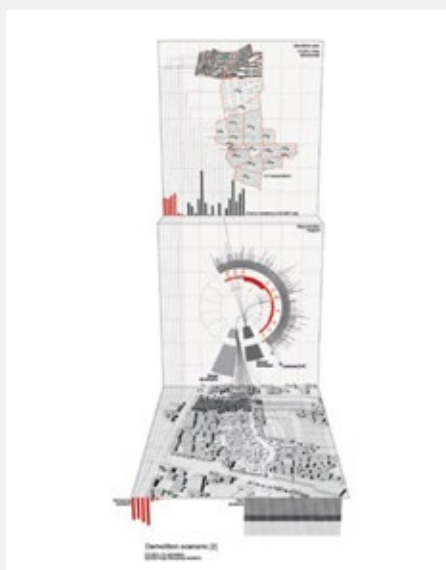


Figura 2.5.16: Petting zoo, installazione interattiva progettata dal gruppo di Theodore Spyropoulos, presentata al Barbican nel 2013. (foto Minimaforms)

Figura 2.5.17: Volu garden pavilion, ZHA code per Design Miami 2015. (foto Zaha Hadid Architects)

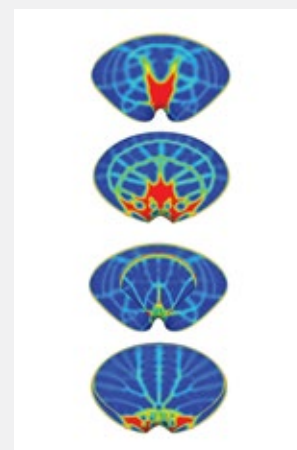
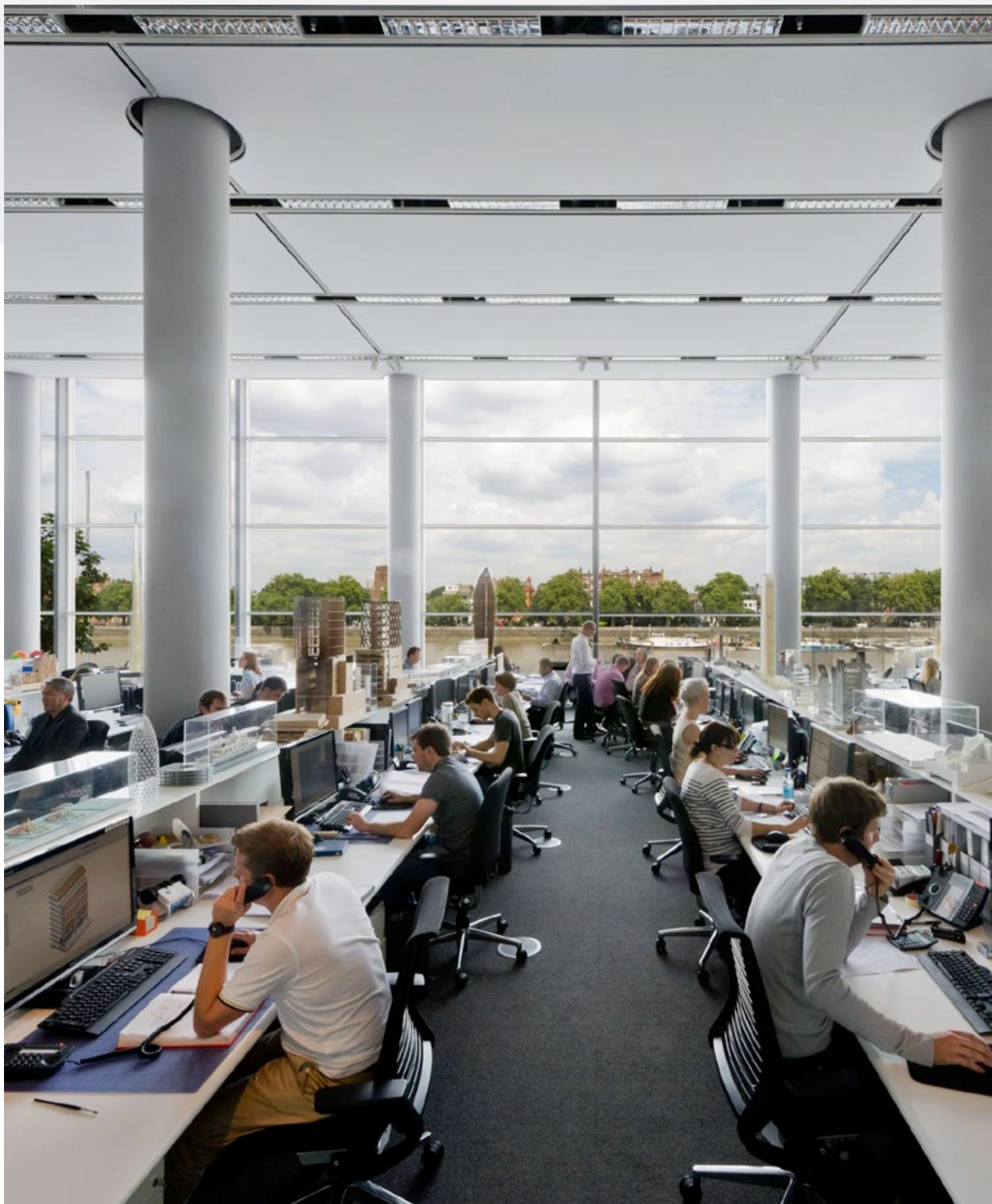


Figura 2.5.18: Immagini dal processo di ottimizzazione multipla che ha condotto alla definizione della forma finale. (Schumacher, 2018, 3)

- Adriaenssens, S., Barnes, M.R., 2001. Tensegrity spline beam and grid shell structures, *Engineering structures*, n. 23, pp. 29-36.
- Alberti, L.B., 1485. *De Re Aedificatoria Libri X*, tr. It., Orlandi, G., 1966. *L'architettura*, Il Polifilo, Milano.
- Alexander, C., 1964. *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge.
- Alien, S., 1999. *Points+Lines: diagrams and projects for the city*, Princeton Architectural Press, Princeton.
- Allen, S., 1996. Field conditions, *Architectural Design*, vol. 66, n.2, pp.21-21.
- Arredi, M.P., 2006. *Analitica dell'immaginazione per l'architettura*, Marsilio, Venezia.
- Bertelli, G., 2016. *Creatività e trasformazione*, Marinotti, Milano.
- Bletzinger, K.U., Ramm, E., 2014. Computational form finding and optimization, in Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., Wilians, C. a cura di, *Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization*, Taylor and Francis, London, pp. 45-56.
- Block, P., 2009. *Thrust network analysis: exploring three-dimensional equilibrium*, Tesi dottorale, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Bogner, D., Pakesch, P., Cook, P., Price, C., 2004. *Peter Cook And Colin Fournier: Friendly Alien*, Hatje Cantz Publishers, Berlino.
- Bookstein, E. ed., 2015. *The Smith Tapes: Lost Interviews with Rock Stars & Icons 1969-1972*, Chronicle Books, San Francisco.
- Boscolo, P., 2006. *Psicologia dell'apprendimento scolastico: aspetti cognitivi e motivazionali*. Utet, Torino.
- Brennan, A., 2017. Dymaxion House: Ship Shape, in Leatherbarrow, D., Eisenschmidt, A. a cura di, *Companion to the History of Architecture*, vol. 4, John Wiley & Sons, London, pp.101-112.
- Bucci, F., Mulazzani M., 2000. *Luigi Moretti, Opere e scritti*, Electa, Milano.
- Burkhardt, B., 2016. Natural structures-the research of Frei Otto in natural sciences, *International Journal of Space Structures*, vol.31, n. 2, pp. 9-15.
- Burkhardt, B., Otto, F., 1978. *Multihalle Mannheim*, Institute for Lightweight Structures, Stuttgart.
- Brown, N.O., 1959. *Life Against Death*, tr. It., Besana Giacomoni, S., 2002. *La vita contro la morte. Il significato psicanalitico della storia*, Adelphi, Milano.
- Cache, B., Beauce, P., 2007. *Objectile Patrick Beaucé + Bernard Cache*, Springer, Vienna.
- Cappellieri, A., 1996. *Philip Johnson, dall'International Style al Decostruttivismo*, Clean, Napoli.
- Carpo, M., 2013. *Digital Turn in Architecture 1992-2012*, John Wiley & Sons, London.
- Carpo, M., 2016. Parametric notations: The birth of the non-standard, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp. 24-29.
- Carpo, M., 2017. *The second digital turn: design beyond intelligence*, MIT press, Cambridge.
- Carpo, M., 2018. "The Second Digital Turn – Talks at Google" visitato il 20 febbraio 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=U-Verq5DSdKU>.
- Carpo, M., 2019. The Natural Logic of Artificial Intelligence or, what genetic algorithms really do, *Philosophy Kitchen*, n.3, pp. 30-45.
- Chiarazzi, G., 2007. *Il postmoderno. Il pensiero nella società della comunicazione*, Pearson Italia Spa, Torino.
- Dellapiana, E., Montanari, G., 2015. *Una storia dell'architettura contemporanea*, Utet Università, Torino.
- Derrida, J., Caputo, J.D., 1997. *Deconstruction in a Nutshell*, Fordham university press, New York.
- Diemoz, L., 1936. Propositi di artisti, Luigi Moretti Architetto, *Quadriov*, vol. 3, n.1, pp. 7-13.
- Eisenman, P., 1999. Una lezione di architettura contemporanea, *Rassegna di Architettura e Urbanistica*, n. 97, pp. 21-35
- Edelson, Z., 2016. "Zaha Hadid Architects and Patrik Schumacher openly feud over public housing and privatizing public space" visitato il 17 Aprile 2020 <https://archpaper.com/2016/11/zaha-hadid-architects-patrik-schumacher-feud/>.
- Eisenman, P., 2004. *Eisenman inside out: selected writings, 1963-1988*. Yale University Press, London.
- Emili, A.R., 2003. *Richard Buckminster Fuller e le neoavanguardie*, Kappa Edizioni, Bologna.
- Foucault, M., 1966b. *Les mots et les choses*, Parigi, tr. It., Panaitescu, E. A., 1998. *Le parole e le cose*, Biblioteca Universale Rizzoli, Milano.
- Frazer, J. H., 1995. Architectural experiments in cyberspace, *Architectural Design*, vol. 65, n.3, pp.78-79.
- Frazer, J. H., 2016. Parametric computation: History and future, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp. 18-23.
- Fuller, R.B., 1969. *Operating manual for spaceship earth*. Estate of R. Buckminster Fuller.
- Fuller, R.B., 1975. Architect as world planner, in Conrads, U., *Programs and manifestoes on 20th-century architecture*, MIT press, Cambridge, pp.179-181.
- Fuller, R.B., Applewhite, E.J., 1975. *Synergetics: explorations in the geometry of thinking*, Charles Scribner's Sons, New York.
- Gage, M.F., 2016. A Hospice for Parametricism, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp.128-133.
- Galofaro, L., 1999. *Eisenman digitale: uno studio dell'era elettronica*, Testo & immagine, Torino.
- Garber, R., 2009. Optimisation stories: The impact of building information modelling on contemporary design practice, *Architectural Design*, vol.79, n. 2, pp.6-13.
- Glaeser, L., Otto, F., 1978. *The Work of Frei Otto and His Teams, 1955-1976*, Institute for Lightweight Structures, Stuttgart.
- Goldberger, P., 2015. *Building art: The life and work of Frank Gehry*, Vintage Books, New York.
- Gramazio, F., Kohler, M., D'Andrea, R., 2012. *Flight Assembled Architecture*, Editions HXX, Orléans.
- Gray, R.W., 1994. Fuller's Dymaxion™ map, *Cartography and Geographic Information Systems*, n.21, pp. 385-397.
- Gregotti, V., 1966. *Il territorio dell'architettura*, Feltrinelli, Milano.
- Gregotti, V., 2002. *Architettura, tecnica, finalità*, Laterza, Bari.
- Hensel, M., Menges, A. Weinstock, M., 2004. *Emergence: morphogenetic design strategies*, Wiley-Academy, Chichester, pp. 6-9.
- Jalcinkaya, G., 2018. "World's first 3D-printed steel bridge unveiled at Dutch Design Week" visitato il 14 Aprile 2020 <https://www.dezeen.com/2018/10/22/worlds-first-3d-printed-steel-bridge-completed-mx3d-technology/>.
- Jodidio, P., 2009. *Zaha Hadid, Complete Works, 1979-2009*, Taschen, Colonia.
- Johnson-Laird, P.N., Tabossi, P., 1990. *La mente e il computer: introduzione alla scienza cognitiva*, Il Mulino, Bologna.
- Joosten, S.K., 2015. *Printing a stainless steel bridge: An exploration of structural properties of stainless steel additive manufactures for civil engineering purposes*, Tu Delft, Delft.
- Koolhaas, R., 2019. Museum in the Countryside: Aesthetics of the Data Centre. *Architectural Design*, vol. 89, n. 1, pp.60-65.
- Korzybski, A., 1958. *Science and sanity: An introduction to non-Aristotelian systems and general semantics*, Institute of General Semantics, New York.
- La Cecla, F., 2008. *Contro l'architettura*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Le Corbusier, 1927. *Vers une architecture*, tr. En, Goodman, J., 2007. *Toward an architecture*, Getty research institute, Los Angeles.
- Liddell, I., 2015. Frei Otto and the development of gridshells, *Case Studies in Structural Engineering*, vol. 4, n.2, pp. 39-49.
- Llabres, E., Rico, E., 2016. Relational Urban Models: Parameters, Values and Tacit Forms of Algorithms, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp.84-91.
- Lynn, G., 1993. Architectural Curvilinearity, The Folded, the Pliant and the Supple, *Architectural Design*, vol. 63, n. 2, pp. 8-15.
- Lynn, G., 1996. Blobs, or why tectonics is square and topology is groovy, *Any magazine*, n. 14, pp.58-62.
- Lynn, G., 2013. *Folding in Architecture (1993)*, Academy Editions,

- London.
- Lyotard, J.F., 1979. *La condition postmoderne: rapport sur le savoir*, Minuit, Paris.
- Mairs, J., 2016. "Norman Foster reveals vaulted Droneport prototype at Venice Architecture Biennale" visitato il 12 Aprile 2020 <https://www.dezeen.com/2016/05/27/norman-foster-partners-vaulted-drone-port-prototype-medical-supplies-remote-africa-venice-architecture-biennale/>.
- McCullough, M., 2006. 20 years of scripted space, *Architectural Design*, vol. 76, n. 4, pp.12-15.
- McHale, J., 1964. *R. Buckminster Fuller*, Il Saggiatore, Milano.
- McLuhan, M., Fiore, Q., 1967. *The medium is the message*, Penguin Books, New York.
- Menges, A., 2006. Polymorphism, *Architectural Design*, vol. 76, n. 4, pp.78-87.
- Menges, A. 2016. Computational material culture, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp. 76–83.
- Mitterer, W., 2015. Natura, Scienza, Architettura. *Bioarchitettura*, n. 91, pp. 25-37.
- Moretti, L. 1953. Strutture e sequenze di Spazi, *Spazio*, vol. 3, n. 5, pp. 34-65.
- Moretti, L. 1957. Forma come struttura, *Spazio*, vol. 6, n. 4, pp. 16-21.
- Moretti, L. 1971. Ricerca matematica in architettura e urbanistica, *Moebius*, vol.4, n.1, pp. 30-53.
- Moretti, L., Figus, G. 1951. Struttura come forma, *Spazio*, vol. 1, n.7, Roma, pp. 21-30.
- Moussavi, F., Zaera Polo, A., 1995. Yokohama International Port Terminal. *AA Files*, n. 29, Architectural Association, London, pp.14-21.
- Munari, B., 1977. *Fantasia*, Laterza, Bari.
- Munari, B., 1981. *Da cosa nasce cosa: appunti per una metodologia progettuale*, Laterza, Bari.
- Nancy, J.L., 1994. *Les muses*, Galilée, Parigi.
- Nerdinger, W., 2005. *Frei Otto: Complete Works: Lightweight Construction, Natural Design*, Birkhäuser, Basel.
- Norris, C., 1987. *Derrida*, Harvard University Press, Cambridge.
- Otto, F., 2003. *Occupying and connecting*, Edition Axel Menges, Stuttgart.
- Otto, F., Barthel, R., 1984. *L'architettura della natura: forme e costruzioni della natura e della tecnica e processi della loro formazione*, Il Saggiatore, Milano.
- Otto, F., Rasch, B., 1995. *Finding Form: towards an architecture of the minimal*, Axel Menges, Stuttgart.
- Perrella, S., 1998. Topological architecture and the ambiguous sign (The work of Bernard Cache and Objectile), *Architectural Design*, vol. 68, n. 3, pp.66-69.
- Peteinarelis, A., 2016. Frei Otto's contribution-Legacy to Parametric design and material computation, in Guimãres, N., Paio, A. Oliveira, S., Crespo Osório, F., João Oliveira, M. a cura di, *Architecture InPlay2016 conference proceedings*, Architecture InPlay, Lisbon, pp. 45-55.
- Picon, A., 2010. *Digital culture in architecture: an introduction for the design professions*, Birkhaeuser, Boston.
- Piermarini, E., Nuttall, H., May, R., Janssens, V.M., Manglesdorf, W., Kelly, T., 2018. Morpheus Hotel, Macau—a paradigm shift in computational engineering. *Steel Construction*, vol. 11, n. 3, pp.218-231.
- Pintos, P., 2019a. "Beijing Daxing International Airport, Zaha Hadid Architects" visitato il 16 Aprile 2020 <https://www.archdaily.com/925536/beijing-daxing-international-airport-zaha-hadid-architects>.
- Portoghesi, P., 1980. La fine del proibizionismo in la presenza del passato, *catalogo della Mostra Internazionale di Architettura di Venezia*, La Biennale di Venezia, Venezia, pp.9-14.
- Pottmann, H., Asperl, A., Hofer, M., Kilian, A., 2007. *Architectural geometry*, Bentley Institute Press, Exton.
- Reichert, S., Schwinn, T., La Magna, R., Waimer, F., Knippers, J., Menges, A., 2014. Fibrous structures: an integrative approach to design computation, simulation and fabrication for lightweight, glass and carbon fibre composite structures in architecture based on biomimetic design principles, *Computer-Aided Design*, n.52, pp.27-39.
- Reichlin, B., Tedeschi, L. 2010. *Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività tra barocco e informale*, Electa, Milano.
- Rippmann, M., Lachauer, L., Block, P., 2012. Interactive vault design, *International Journal of Space Structures*, vol 27, n. 4, pp.219-230.
- Roseti, C., 1997. *La decostruzione e il decostruttivismo: pensiero e forma dell'architettura*, Gangemi, Roma.
- Sacchi, A. L., 2018. How Drawing Changes, *disegno*, vol.1, n. 3, pp. 131-142.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P., 2018. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*, John Wiley & Sons, London.
- Schumacher, P., 2009. Parametricism: A new global style for architecture and urban design, *Architectural Design*, vol. 79, n. 4, pp.14-23.
- Schumacher, P., 2010. The Meaning of MAXXI-Concepts, Ambitions, Achievements, *MAXXI: Museum of XXI Century Arts*, Rizzoli International Publications, New York, pp.18-39.
- Schumacher, P., 2011. *The Autopoiesis of Architecture, Volume I: A New Framework for Architecture*, John Wiley & Sons, London.
- Schumacher, P., 2015. Design Parameters to Parametric Design, in Kanaani, M., Kopec, D. a cura di, *The routledge companion for Architecture Design and Practice: Established and Emerging Trends*, Routledge, London, pp.3-20.
- Schumacher, P., 2016a. *Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's Agenda for the 21st Century*. John Wiley & Sons, London.
- Schumacher, P., 2016b. *Formalism and Formal Research*, Arketipo, n. 104, pp.18-39.
- Schumacher, P., 2018. Design as Second Nature, *Catalogo della Mostra MUAC*, Museo Universitario Arte Contemporaneo, Città del Messico, pp. 12-27.
- Sieden, L., 2000. *Buckminster Fuller's universe: an appreciation*, Basic Books, New York.
- Spyropoulos, T., 2016. Behavioural Complexity: Constructing Frameworks for Human-Machine Ecologies, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp. 36-43.
- Tuzzolino, G.F., 2001. *Cardella, Pollini: architettura e didattica*, L'epos, Palermo.
- Tuzzolino, G.F., 2020. Decifrare, e come, le scritture dei territori, in Lima, A. I. a cura di, *Giancarlo De Carlo, Visione e valori*, Quodlibet, Roma, pp. 63-73.
- Venturi, R., 1966. *Complexity and contradiction in architecture*, The Museum of Modern Art, New York.
- Venturi, R., Robert, I.V., Brown, D.S., Izenour, S., Steven, B., 1972. *Learning from Las Vegas: the forgotten symbolism of architectural form*, MIT press, Cambridge.
- Viati Navone, A. 2010. Un nuovo linguaggio per il pensiero architettonico. Ricerca operativa e architettura parametrica, in Reichlin, M., Tedeschi, L. a cura di, *Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività tra barocco e informale*, Electa, Milano, pp. 409-419.
- Vitruvio M. P. *De Architettura Libri Decem*, tr. It, Ferri, S., 1960. *Architettura Libri I-VII*, Palombi, Roma.
- Wallisser, T., 2009. Other geometries in architecture: bubbles, knots and minimal surfaces, *Mathknow*, Springer, Milano, pp. 91-111.
- Woodbury, R., 2010. *Elements of parametric design*, Routledge, London.
- Zambelli, M., 2007. *Tecniche di invenzione in architettura: gli anni del decostruttivismo*, Marsilio, Venezia.





3. IL PROCESSO PROGETTUALE NELL'ERA DIGITALE

***EN THE ARCHITECTURAL DESIGN
PROCESS IN THE DIGITAL AGE***

- 3.1 NUOVE SOLLECITAZIONI
PER IL PROGETTO
*NEW SOLICITATIONS FOR
ARCHITECTURAL DESIGN*
- 3.2 ITER PROGETTUALE E I RUOLI
NELLO STUDIO DI ARCHITETTURA
*DESIGN PROCESS AND ROLES
IN CONTEMPORARY PRACTICES*
- 3.3 LA SIMULAZIONE
SIMULATION
- 3.4 LE RELAZIONI CON ALTRI
AMBITI PROGETTUALI
*RELATIONS WITH OTHER
DESIGN FIELDS*
- 3.5 PROGETTO E COMUNICAZIONE
*ARCHITECTURAL DESIGN
AND COMMUNICATION*

Figura 3.1: La sede
londinese dello
studio Foster and
Partners. (Foto Nigel
Young)

3. IL PROCESSO PROGETTUALE NELL'ERA DIGITALE

3.1 NUOVE SOLLECITAZIONI PER IL PROGETTO

Nel leggere il progetto di architettura, sia in quanto pratica radicata nella società, che nelle trasformazioni interne alla nostra disciplina, mi sono focalizzato sul pensiero, sulle opere e le sperimentazioni di importanti autori e ricercatori, tramite cui ho descritto il passaggio, non solo tecnico, dal paradigma meccanico a quello digitale, così come l'articolarsi delle complessità proprie dell'iter progettuale nella nostra disciplina. Una pratica che come tante altre ha subito l'influenza della crisi economica ma anche dell'evoluzione delle sensibilità che animano la società, dai temi del riscaldamento energetico globale, al rapporto con la nuova scienza. Queste ed altre influenze hanno generato la necessità per il progetto di architettura di aprirsi verso nuovi orizzonti, alla ricerca di nuove pratiche, finalizzate alla definizione di nuove risposte nei confronti di una riscoperta indeterminazione dei temi. Provocando una reazione costruttiva nel mondo della progettazione architettonica, così come già successo in pratiche puramente artistiche già dagli anni sessanta del secolo scorso, in un fenomeno descritto già da Umberto Eco all'interno di *Opera Aperta*:

La reazione dell'arte e degli artisti (delle strutture formali che vi presiedono) di fronte alla provocazione del Caso, dell'Indeterminato, del Probabile, dell'Ambiguo, del Polivalente; la reazione quindi della sensibilità contemporanea in risposta alle suggestioni della matematica, della biologia, della fisica, della psicologia, della logica e del nuovo orizzonte epistemologico che queste scienze hanno aperto. (Eco, 1962, 10)

Temi di grande importanza, promotori di cambiamenti all'interno del variegato e quantomai frastagliato mondo della professione architettonica, che intanto, a diverse velocità, ha largamente adottato gli strumenti digitali. Strumenti che soprattutto nel caso di grandi pratiche professionali si sono inseriti all'interno della prassi progettuale, per poi cementificarsi, fino addirittura ad arricchire la *koiné* del mondo dall'architettura, e che sono oggi dati per scontati all'interno degli molti studi professionali, quali mezzi necessari per la produzione e trasmissione del progetto. Identificare le motivazioni e le finalità per cui gli architetti utilizzano oggi largamente gli strumenti digitali, lo vedremo, è un percorso ampio e articolato, è possibile comunque affermare che se da un lato i *software* CAD nella pratica professionale sono stati impiegati per la nuova velocità e precisione che permettono, traslando

3. THE ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS IN THE DIGITAL AGE

3.1 NEW SOLICITATIONS FOR ARCHITECTURAL DESIGN

Reading the architectural design process evolutions, both as a practice rooted in society and in the internal transformations of our discipline, I focused on the thought, works, and experiments of important authors and researchers, through which I described the technical and cultural transition from the mechanical to the digital paradigm, and the complex articulation of the design process in our discipline. A practice that, like many others, was influenced by the international economic crisis, as by the evolution of the sensibilities that animate society, starting from the recognition of global heating to the new scientific approaches. These and other influences have generated the need for the architectural project to open up to new horizons, in search of alternative paths, aimed at defining new responses to a rediscovery of indetermination. These aspects are provoking a constructive reaction in the world of architectural design, as has already happened in purely artistic practices since the sixties of the last century, in a phenomenon described by Umberto Eco in Opera Aperta:

The reaction of art and artists (of the formal structures that preside over it) in front of the provocation of Chance, of the Indeterminate of the Probable, of the Ambiguous, of the Polyvalent; therefore, the reaction of contemporary sensitivity in response to the suggestions of mathematics, biology, physics, psychology, logic and the new epistemological horizon that these sciences have opened. (Eco, 1962, 10)

Topics of great significance, promoters of changes within the variegated and fragmented world of the architectural profession which in the meantime, and at different speeds, has widely adopted digital tools. Tools that, especially within large professional practices, are part of the architectural design process, and then cemented themselves, to the point of even enriching the koiné of our profession. They are now taken for granted within many professional firms, as required means for the production and transmission of the architectural project.

Identifying reasons and purposes why architects widely use digital tools today, we will see, is a broad and articulated path, it is, however, possible to state that we use CAD software in professional practice for the new speed and precision they allow, by translating previously analogue functions into a digital dimension. The subsequent

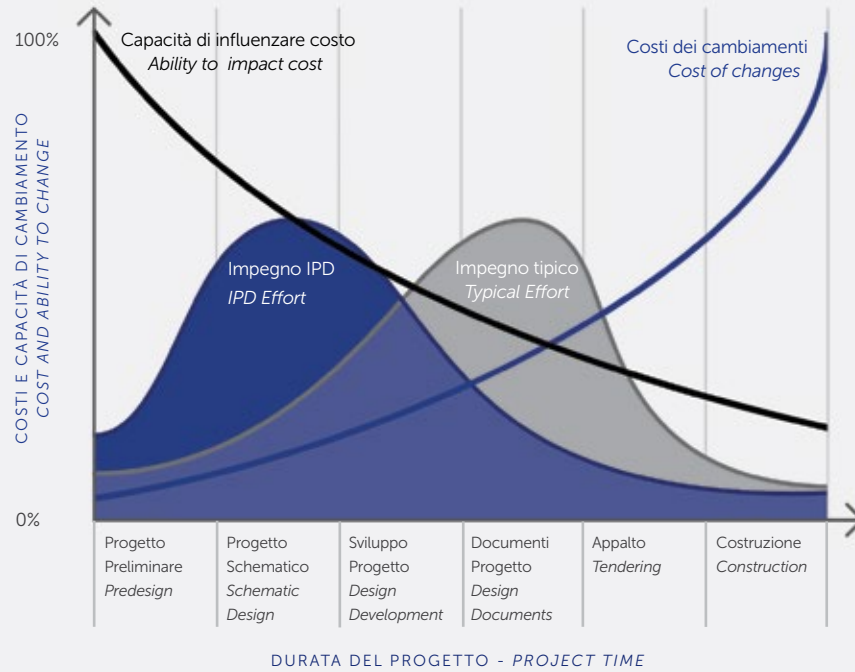
in una dimensione digitali funzioni precedentemente analogiche, la successiva adozione di pratiche di progettazione parametrica deriva dalla possibilità che questi strumenti offrono ai progettisti nel variare il modello del progetto, permettendo non solo una collaborazione tra diversi attori, ma anche e soprattutto anticipando problemi progettuali, definendo secondo sempre maggiore dettaglio il manufatto architettonico, in modo da anticipare cambiamenti, che secondo la curva di MacLeamy, hanno un costo inferiore nelle prime fasi dell'iter architettonico, figura 3.1.1, (Davis, 2013).

La capacità anticipatrice degli strumenti parametrici è direttamente proporzionale al numero di dati che all'interno del processo vengono raccolti, analizzati, gestiti o creati. Di pari passo alle nostre esistenze digitali, anche il processo architettonico si è esponenzialmente arricchito di dati, e se storicamente, per un architetto è ad esempio possibile dal 2005 avere informazioni su un contesto tramite Google Maps, negli anni la stessa piattaforma ha messo a disposizione modelli 3D dell'ambiente costruito, fornendo la possibilità di navigare all'interno di un gemello digitale delle nostre città, ma anche modelli 3D con scala di dettaglio territoriale e architettonica, risorse utili e disponibili a qualsiasi architetto in tutto il mondo, insieme a migliaia di *dataset open-source* messi a disposizione dai governi, dall'InSAR, fino a informazioni sulla mobilità, e rilevamenti ambientali di ogni sorta. A questi dati si aggiungono quelli che possono essere raccolti tramite sistemi di sensori digitali dagli studi, ma anche i dati che vengono prodotti all'interno del processo progettuale, non solo in una porzione finale del processo, per descrivere il manufatto architettonico da costruire, ma anche in una fase iniziale, con la finalità di costruire i parametri che concorreranno alla definizione della forma. Parametri inizialmente fisici, ma che nell'arco di anni si stanno arricchendo di densità disciplinare e interdisciplinare, tramite simulazioni digitali, metodi largamente utilizzati che necessitano ulteriori approfondimenti e che leggeremo nello specifico nei prossimi capitoli.

Come già diceva Gregotti, i dati arrivano spesso all'interno del processo progettuale secondo strutture formatesi in altre discipline, quindi necessitano innanzitutto da parte del progettista la capacità di comprenderli e interpretarli secondo le finalità progettuali. Sia nel caso di dati raccolti esternamente, che prodotti internamente agli studi di architettura, ciò che non cambia è il linguaggio adottato per operare sulle quantità che questi dati portano all'interno del progetto, quantità dalle dimensioni e complessità talmente ampie che non potrebbero essere affrontate entro tempi ammissibili senza l'ausilio di calcolatori, che devono essere istruiti tramite linguaggi di programmazione. Questa nuova necessità ha certamente un'influenza sul modo in cui descriviamo le nostre intenzioni architettoniche, perché se da un lato è vero, che anche in ottica digitale il progetto di architettura conserva la sua caratteristica eterotopica, ovvero di trasposizione su una dimensione di simboli, una dimensione oggi arricchita ed ampliata dai supporti digitali all'interno della quale i progettisti continuano a manipolare simboli, è anche vero che i mezzi non sono mai neutrali nei confronti di ogni attività progettuale, e in questo caso richiedono al progettista un'ulteriore sforzo, quello di tradurre il pensiero architettonico secondo logiche algoritmiche.

Figura 3.1.1: Grafico della curva di MacLeamy (2001), che sostiene un approccio parametrico che sposta l'impegno verso le prime fasi del progetto, quando i cambiamenti hanno costi minori.

Figure 3.1.1: MacLeamy's curve (2001), MacLeamy advocates shifting the typical design effort to an early stage of the project, when changes have lower cost impacts.



adoption of parametric design practices arise from the possibility that these tools offer to designers in varying the project model, allowing not only a collaboration between different actors but also, and above all, anticipating design problems, defining the architectural artefact according to ever greater detail, to antedate changes, which according to the MacLeamy curve have a lower cost in the early stages of the architectural process, figure 3.1.3, (Davis, 2013).

The parametric tools' anticipatory capacity is directly proportional to the dimensions of data collected, analysed, managed or created within the design process. Hand in hand with our digital existences, the architectural process has also been exponentially enriched with data. If historically, for example, it has been possible for an architect to have information on a context through Google Maps since 2005, over the years the same platform has shared 3D models of the built environment, providing us with the ability to navigate within a digital twin of our cities. Models with territorial and architectural detail scale, useful resources available to any architect all over the world, along with thousands of open-source datasets shared by governments, from InSAR to mobility data, and environmental surveys of all kinds. Architects can now collect more data through digital sensors and IOT, but they also produce data within the design process, not just in a final phase, to describe the architectural artefact, but even in an initial phase, to define those parameters that will contribute to the definition of the architectural form. Parameters which were initially physical, but which over the years have been enriched with a new disciplinary and interdisciplinary density, through digital simulations, a method widely used, and that we will read specifically in the next chapters.

As Gregotti already anticipated, today data often arrive within the design process

Esprimere le intenzioni progettuali secondo metodi parametrici richiede quindi un pensiero diverso da quello che viene adottato tradizionalmente da un progettista, è necessario infatti, non solo pensare a ciò che stiamo progettando, ma anche alla sequenza logica di funzioni, parametri e relazioni che costituiscono il nostro pensiero, così da poterle tradurre secondo una logica algoritmica. Forzando l'esplicitazione del metodo con cui il progettista esercita le singole scelte progettuali (Woodbury, 2010), di modo che possa essere riproposto e amplificato tramite l'ausilio di calcolatori, tradotto in un linguaggio che è più vicino all'informatica o alla matematica, che all'architettura. Tradurre, lo sa chiunque conosca almeno due lingue, non è un'operazione elementare, e per diversi motivi. Non esiste infatti un corrispettivo esatto tra termini di diverse lingue, non è mai possibile instaurare una funzione biunivoca che lega una parola all'altra nel passaggio tra due lingue, perché ogni parola si è arricchita nel tempo di significati culturali che chiunque voglia tradurre deve conoscere, per comprenderli e quindi interpretarli. Non a caso ciò che a un traduttore è richiesto, è una vasta conoscenza delle lingue tra cui effettuare una complessa traslazione. Ciò vale a maggior ragione nella traslazione tra pensiero architettonico e linguaggi informatici, per questo insieme agli strumenti la programmazione si sta sempre più diffondendo all'interno degli studi di architettura, arricchendoli con sempre maggior frequenza di nuovi metodi, traduzione algoritmica del pensiero del progettista.

Con l'intenzione di indagare l'influenza del paradigma digitale sulla pratica progettuale in architettura ho intervistato diversi progettisti e ricercatori, protagonisti contemporanei della professione architettonica come Steven Chilton, direttore dello studio SCA, Daniel Davis, autore di importanti contributi sul tema della progettazione digitale e già direttore della ricerca presso WeWork, Aurélie de Boissieu, ricercatrice che attualmente riveste il ruolo di capo del BIM presso la sede londinese dello studio Grimshaw, Xavier de Kestelier, già direttore dello Specialist Modeling Group di Foster and Partners e attualmente direttore dello studio Hassell, Al Fisher, progettista a capo del gruppo di sviluppo computazionale presso Buro Happold, Harry Ibbs, già a capo del BIM di Zaha Hadid Architects per anni e oggi direttore della tecnologia per Gensler Europa, Andreas Klok Pedersen, partner responsabile per lo studio londinese di BIG – Bjarke Ingels Group, Arthur Mamou-Mani, fondatore dello studio interdisciplinare Mamou-Mani, Edoardo Tibuzzi, direttore di AKTII, e Pablo Zamorano, responsabile del gruppo di design computazionale per lo studio Heatherwick. Le interviste, allegate alla tesi quali apparati, rappresentano un'importante risorsa a cui è possibile attingere per identificare quanto sia cambiato e stia cambiando all'interno della pratica professionale, soprattutto in quelle pratiche internazionali, proiettate da anni verso l'utilizzo degli strumenti digitali nelle diverse fasi del progetto architettonico.

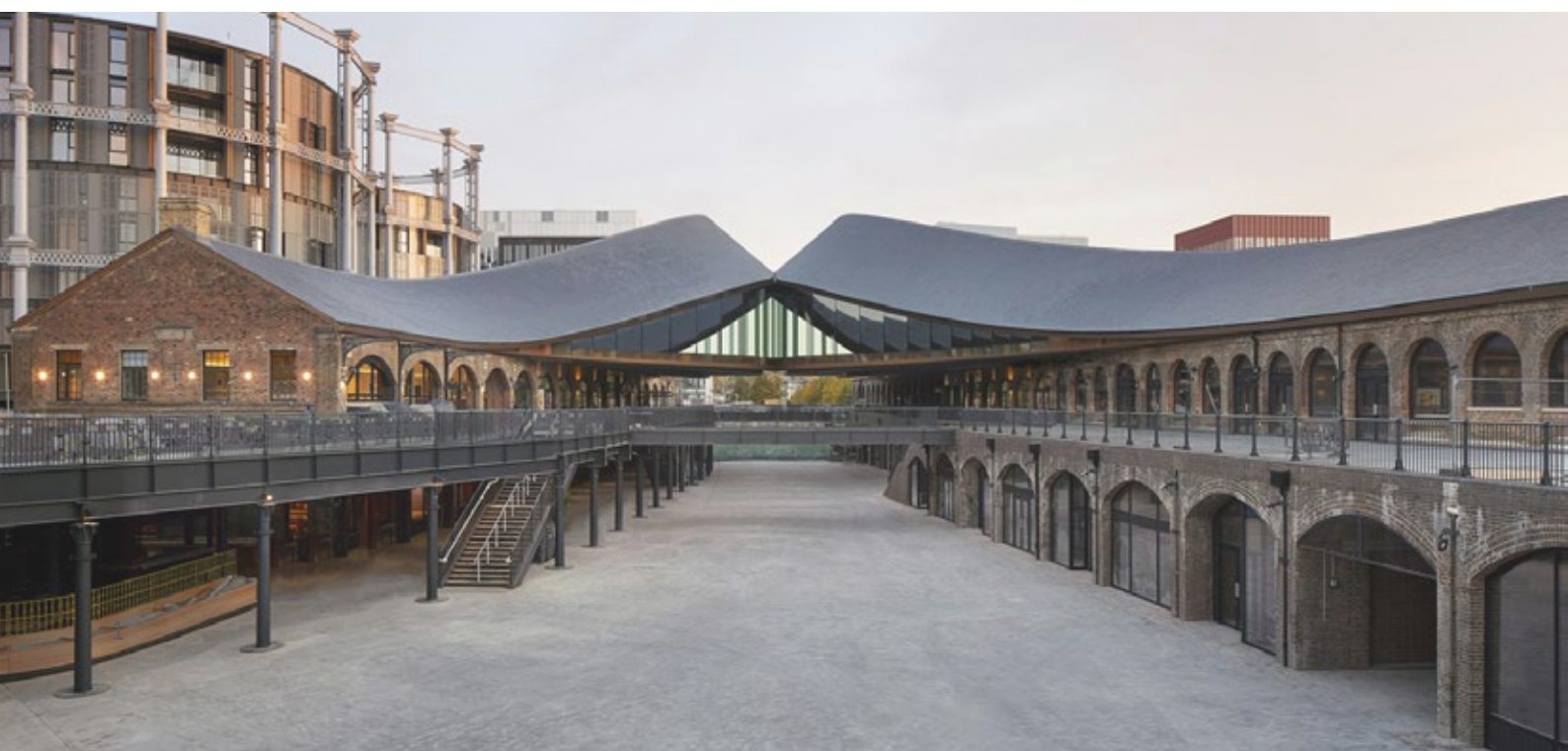
Iniziamo osservando come tutti gli intervistati concordino nell'affermare che l'iter progettuale sia cambiato negli ultimi dieci anni, e che nonostante l'estrema variazione osservabile tra i diversi processi e metodi adottati dai diversi studi professionali, ma anche da progetto a progetto all'interno dello stesso studio, si sia evidentemente raggiunto un nuovo grado di maturità digitale. Sono cambiati gli strumenti a disposizione dei progettisti, come ricorda Andreas Klok Pedersen, ripercorrendo il

according to structures formed in other disciplines, so first, the architect needs the ability to understand them, and then interpret them according to the disciplinary design purposes. Both with data collected externally, and produced internally in architectural firms, what does not change is the language adopted to operate on the quantities that these data bring into the project, quantities of such large dimensions and complexity that they could not be addressed within admissible times without the aid of computers, which must be taught through programming languages. This new necessity influences how we describe our architectural intentions, because, if on the one hand, even from a digital point of view the architectural project keeps its heterotopic characteristic, as transposition on a dimension of symbols: a dimension now enriched and expanded by digital media within which designers continue to manipulate symbols; it is also true that the means are never neutral towards any design activity, and in this case require the designer a further effort, that of translating architectural thinking according to algorithmic logic. Expressing design intentions according to parametric methods, therefore, requires a different thought from the one traditionally adopted by a designer, it is necessary, not only to think about what we are designing but also about the logical sequence of functions, parameters and relationships we define in our thoughts, to translate them according to an algorithmic logic. Forcing the clarification of the method with which architects exercises individual design choices (Woodbury, 2010) so it can be re-proposed and amplified with the aid of computers, translated into a language that is closer to information technology or mathematics, than to architecture. A translation, anyone who speaks at least two languages knows it, is not an elementary operation: there is no exact correspondence between terms of different languages, it is never possible to establish a two-way function that binds one word to another in the passage between two languages. This because over time each word has been enriched with cultural meanings that anyone who wants to translate must know, to understand them and then interpret in a different context. What we ask a professional translator is in fact a vast knowledge of the two languages he is connecting within a translation. This is also true in the translation between architectural thought and programming languages, for this reason, together with digital tools, programming is increasingly spreading within architectural firms, enriching their process with new logics, algorithmic translation of the designer's thought.

Intending to investigate the influence of the digital paradigm on design practice in architecture, I interviewed several designers and researchers: contemporary protagonists of the architectural profession such as, Steven Chilton, director of the SCA studio, Daniel Davis, author of important contributions on digital methods and former research director at WeWork, Aurélie de Boissieu, researcher who currently holds the position of head of BIM of Grimshaw London, Xavier de Kestelier, former director of the Foster and Partners Specialist Modelling Group and currently director of Hassell, Al Fisher, head of the computational development group of Buro Happold, Harry Ibbs, former head of BIM at Zaha Hadid Architects and now director of technology for Gensler Europe, Andreas Klok Pedersen, partner responsible for the London firm of BIG - Bjarke Ingels Group, Arthur Mamou-Mani, founder of Mamou-Mani studio, Edoardo Tibuzzi, director of AKTII, and Pablo Zamorano, head of the

percorso che dalla prima integrazione dei programmi CAD nella pratica professionale ha portato negli anni duemila, negli studi d'architettura, la modellazione 3D come strumento per la produzione di *concept* architettonici, spostando ulteriormente la pratica progettuale dalle due alle tre dimensioni. L'ultimo decennio è stato per l'architettura denso di svolte, è questo il momento in cui si è vista non solo da diffusione degli strumenti di modellazione parametrica, che hanno portato nuove capacità esplorative e di collaborazione per il progetto, ma anche di nuovi strumenti di fabbricazione digitali, come stampanti 3D e braccia robotiche, che permettono oggi una diversa transizione tra oggetti digitali e manufatti, non soltanto in termine della produzione finale dell'architettura, ma anche e soprattutto di modelli fisici da adoperare in fase di studio. Il modello fisico resta un'importante strumento per i progettisti per Klok Pedersen, che ne rivendica importanza e utilità sin dalle prime fasi dell'iter progettuale, perché nonostante il progetto tenda sempre più velocemente a condensarsi in modelli virtuali, i modelli fisici permettono una diversa esplorazione delle forme architettoniche, ma anche della loro materialità, portando a una differente comprensione dell'architettura e alla nascita di considerazioni e scoperte che non è possibile raggiungere con un modello digitale.

L'ultima decade è segnata da una maggiore diffusione all'interno della pratica professionale degli strumenti per la scansione 3D, che come afferma Pablo Zamorano, vengono utilizzati sin dalle prime fasi per la restituzione dei lotti progettuali, e mostrano grande utilità in particolare quando il progetto prevede l'interazione con edilizia storica, o addirittura monumenti tutelati, che devono essere descritti e compresi con la massima precisione, prima di ogni ipotesi progettuale. Il progettista porta ad esempio il complesso di Coal Drop Yards, figura 3.1.2, progettato dallo studio Heatherwick e terminato nel 2018, in occasione del quale agli architetti è stato richiesto di disegnare una nuova zona commerciale prossima alla principale stazione ferroviaria di Londra, partendo da preesistenze ferroviarie tra le quali spiccavano due fabbricati realizzati nella metà dell'ottocento. Edifici che sono stati descritti digitalmente con la massima precisione, per permettere ai progettisti di



computational design group of studio Heatherwick. These interviews, attached to my thesis, represent an important resource drawn on to identify what has changed and it is changing within our professional practice, especially in those international practices projected for years towards the use of digital tools in the different phases of the architectural project. It is easy to observe how all the interviewees agree in affirming that the design process has changed in the last ten years, and that despite the extreme variation observable between the different processes and methods adopted by the different professional firms, but also from project to project within the same studio, a new degree of digital maturity has reached the architectural design process. The tools available to designers have changed, as Andreas Klok Pedersen recalls, retracing the path that, from the first integration of CAD software into professional practice, led to the spread of 3D modelling in architectural studios in the 2000s as a tool for the production of architectural concepts, further shifting the design practice from two to three dimensions. The last decade is full of turning points for architecture, not just in the diffusion of parametric modelling tools, which have brought new exploration and collaboration to the project, but also of new digital manufacturing tools, such as 3D printers and robotic arms, which today allow a different transition between digital objects and artefacts, not only in terms of the final production of architecture but also and above all in physical models to be used in the study phase. The physical model remains an important tool for architect for Klok Pedersen, who claims its importance and usefulness from the early stages of the design process because, even though the project condenses faster and faster into virtual models, the physical models allow a different exploration of architectural forms: their materiality leads to a different understanding of architecture and allows the birth of considerations and discoveries unreachable with a digital model.

The last decade is marked by a greater diffusion within the professional practice of 3D scanning tools, which, as Pablo Zamorano states, are used since the early stages for the architectural survey, and show great utility in particular when the project involves interaction with historical buildings, or even protected monuments, which must be described and understood with the utmost precision, before any design hypothesis. The designer takes, for example, the Coal Drop Yards complex, figure 3.1.2, designed by the Heatherwick Studio and completed in 2018, on the occasion of which the architects were asked to design a new commercial area next to the main railway station in London, starting from pre-existing railway lines between which stand out two architectures built in the mid-nineteenth century. Those buildings have been digitally described with precision, to allow designers to change their roofs, topologically deformed and united in an organic form, defining new spaces for aggregation and events. In this and other cases, 3D scanning tools have allowed an exact match between architectural artefacts and 3D models. With a precision that is increasingly sought after by designers even in the executive phase, when it is possible to get an exact copy of the architectural artefact under construction, comparable with the model designed, to read possible discrepancies and guarantee executive consistency.

Figura 3.1.2:
Il complesso di Coal Drop
Yards a Londra,
progettato dallo studio
Heatherwick, ha richiesto
un'ampia scansione 3D
delle preesistenze. (foto
Hufton Crow)

Figure 3.1.2: Coal Drop
Yards complex in London,
the design phase by
Heatherwick studio
required a vast 3D Scanning
of the built environment.
(foto Hufton Crow)

modificarne le coperture, che sono state deformate topologicamente e unite in una forma organica, definendo nuovi spazi di aggregazione ed esposizione. In questo e in altri casi, gli strumenti di scansione 3D hanno permesso un esatto riscontro tra manufatti architettonici e modelli 3D. Con una precisione che è sempre più ricercata dai progettisti anche in fase esecutiva, quando è possibile ottenere un'esatta copia del manufatto architettonico in costruzione, da confrontare con il modello progettato, così da leggere possibili discordanze e garantire una coerenza esecutiva.

Tra tutte le tecniche e metodi digitali, quello spicca per diffusione è il BIM, riconosciuto dagli intervistati come una delle più influenti innovazioni digitali che si sono imposte nella pratica professionale durante l'ultimo decennio. Come ricorda Harry Ibbs, quando si parla di BIM è importante fare delle precisazioni, perché se da un lato è possibile affermare come con *Building Information Model* noi definiamo innanzitutto un modello digitale dell'architettura arricchito di informazioni. È al contempo necessario ribadire che il BIM non è soltanto un modello digitale, ma anche e soprattutto un diverso processo, che si instaura ogni fase del progetto, a partire da come le informazioni vengono raccolte, processate, e condivise dai diversi attori, che internamente ed esternamente allo studio collaborano alla definizione delle architetture, a partire dai *digital artists*, fino a chi si occupa di comunicare il progetto, anche con finalità di marketing. Si tratta quindi di una diversa modalità di gestione del processo progettuale, che mira a rendere l'intero iter sempre più fluido, raccogliendo all'interno di un ecosistema digitale tutti i contributi in una forma coerente, immediatamente interrogabile, quantificabile e verificabile, modificabile dai diversi progettisti in funzione delle responsabilità e della specificità del loro ruolo.

È facilmente osservabile come nell'arco di pochi anni il BIM abbia pervaso il settore della progettazione e della costruzione di architetture, permettendo ai progettisti di gestire e creare con maggiore accuratezza informazioni su materiali, performance, previsione di costi e guarda adesso alla manutenzione degli edifici, verso un nuovo paradigma che integri le diverse fasi della progettazione, della costruzione e della gestione dei manufatti architettonici (Germanà, 2019). Ciò estende le responsabilità degli architetti, che non solo sono i custodi e principali responsabili di modelli e processi BIM, ma a cui è richiesto di sfruttare queste capacità per prevedere con ulteriore dettaglio la vita del manufatto architettonico, sempre più ottimizzato in termini di manutenzione, *performance* ambientale e costi di gestione.

Il tema della responsabilità progettuale trova ulteriore significato in una pratica, che come vedremo arriva all'architettura tramite altri settori della progettazione, ma che in architettura e in particolare nel BIM trova terreno fertile per lo sviluppo di nuovi paradigmi, come la realizzazione di gemelli digitali: modelli 3D delle architetture, potenziati da dati raccolti in tempo reale durante l'intera vita dell'edificio, che non solo permettono un monitoraggio energetico e funzionale dei manufatti costruiti, ma nelle previsioni di progettisti come Aurelie De Boissieu e Andreas Klok Pedersen, porteranno alla definizione del comportamento degli edifici, in termini di risposte alla variazione dei fattori più disparati. La diffusione del BIM all'interno della pratica progettuale è oggi favorita da governi nazionali e internazionali, se ad esempio l'Inghilterra già dal 2011

Of all the digital techniques and methods, the one that stands out for its diffusion is BIM, recognised by the interviewees as one of the most influential digital innovations that have established in professional practice over the last decade. As Harry Ibbs recalls, talking about BIM it is important to make some clarifications, because while on the one hand, it is possible to state how with the Building Information Model we first define a digital model of architecture enriched with information. It is necessary to underline that BIM is not only a digital model, but a different process, established during every phase of the project, starting from collection, analysis and sharing of information carried out by various actors, who internally and outside the office collaborate in the definition of the architectures, from digital artists, up to those who communicate the project, also for marketing. It is, therefore, a different way of managing the design phase, which aims to make the entire process more and more fluid, by collecting all the contributions within a digital ecosystem in a coherent form, immediately interrogable, quantifiable, verifiable, and modifiable by different architects according to the responsibilities and specificity of their role.

It is easy to see how in the space of a few years BIM has pervaded the architectural design and construction sector, allowing designers to create and manage more accurate information on materials, performance, cost predictions and now looks towards a new paradigm able to integrate the different phases of the design, construction and management of architectural artefacts (Germanà, 2019). This extends the responsibilities of architects, who are not just the custodians and main managers of BIM models and processes, but those who are required to exploit these capabilities to predict in further detail the life of the building, increasingly optimised in terms of maintenance, environmental performance and management costs. This responsibility finds further meanings in a practice which, as we will see, reaches architecture through other design sectors, but which in architecture and in particular in BIM finds fertile ground for the development of a new paradigm: that of digital twins, architectural 3D models enhanced by data collected in real-time during the entire life of the building, which not only allows energetic and functional monitoring of the built, and in the forecasts of architects such as Aurelie De Boissieu and Andreas Klok Pedersen, will bring to the definition of the behaviour of buildings, in terms of responses to the variation of the most disparate factors. The spread of BIM within architectural practices is now favoured by national and international governments: if for example, England has already included BIM among the strategic objectives for the construction sector since 2011, making the delivery of detailed BIM models mandatory for any project carried out with public funds since 2016 (Kocakaya, 2019). Italy is also moving in the same direction: with the 2017 BIM decree, the government aims at a gradual obligation in using these tools for public Works according to cost ranges, up to 2025, when BIM will become mandatory for every public work. Similar regulatory activities are transforming BIM all over the world from a possibility to an obligation for all architects, who, regardless of their relative propensities towards digital, will have to create BIM models as final delivery to the client. Therefore, if on the one hand, many designers have to adapt to these new laws, in several cases international architectural studios have promoted these new practices also towards governments that previously

ha inserito il BIM tra gli obiettivi strategici per il settore delle costruzioni, rendendo dal 2016 obbligatoria la consegna di modelli BIM largamente dettagliati obbligatoria per ogni progetto realizzato con fondi pubblici (Kocakaya, 2019), nella stessa direzione si sta muovendo l'Italia che con il decreto BIM del 2017, punta ad un graduale obbligo nell'utilizzo di questi strumenti per le opere pubbliche secondo fasce di costo, sino al 2025, quando il BIM diventerà obbligatorio per ogni opera pubblica. Attività normative simili stanno trasformando in tutto il mondo il BIM da possibilità ad obbligo per tutti i progettisti, che a prescindere dalle relative propensioni verso il digitale, dovranno realizzare modelli BIM come elaborati finali da consegnare alla committenza. Se quindi è vero che da un lato molti progettisti si devono adeguare a questi nuovi strumenti, è anche vero che in diversi casi gli studi di progettazione internazionali si sono fatti promotori di queste nuove pratiche anche nei confronti di governi che precedentemente non avevano effettuato attività legislative in merito, è il caso di Zaha Hadid Architects, che in occasione della progettazione e realizzazione del ponte di Danjiang ha, non solo sfruttato le facilità collaborative di questi strumenti digitali per progettare l'architettura tramite l'operato di diversi attori dislocati in diverse parti del mondo, ma ha anche spinto il governo di Taiwan ad accettare come elaborato finale un unico modello digitale, invece dei tradizionali elaborati cartacei, che dai modelli BIM possono venire estrapolati facilmente, automatizzando il processo e annullando concreti rischi di errore umano, figura 3.1.3.

Il fenomeno del BIM, la cui efficacia è ampiamente dimostrata, pone degli interrogativi su quale sia l'influenza sull'attività progettuale. Come afferma Xavier de Kestelier, gli strumenti BIM sono più orientati verso la consegna finale, verso l'efficienza, la velocità, verso una maggiore connessione con le ditte di costruzione, ma non necessariamente verso un miglioramento delle architetture in termini strettamente progettuali. Esiste al contrario, il rischio che il BIM con la definizione di nuovi standard digitali, possa inscatolare il pensiero e l'operato dei progettisti all'interno di logiche puramente tecniche. Ciò è dovuto al fatto che il BIM, al contrario di altri strumenti parametrici, porta con sé un'idea già definita di architettura, arrivando al progetto con un catalogo di elementi pre digeriti, ciò rischia di trasformare il progetto in qualcosa che è più vicino al gioco delle costruzioni che all'architettura, definendo a monte criteri e prassi che nonostante la potenziale elasticità, di fatto limitano le capacità inclusive di chi progetta in una pratica professionale.

Altra innovazione che negli ultimi anni ha fatto il suo ingresso all'interno degli studi professionali è la realtà virtuale, pratica che permette di navigare all'interno delle architetture tramite l'ausilio di caschetti audio visivi, e che offre ai progettisti la possibilità di visitare virtualmente i progetti che stanno sviluppando. Diversi progettisti, tra i quali Steven Chilton, vedono questi strumenti grande potenziale per il progetto architettonico, offrono infatti agli architetti nuove capacità di approfondire aspetti progettuali precedentemente impossibili da verificare prima della costruzione dei manufatti architettonici, soprattutto in termini di percezione dello spazio, scala e fruizione delle architetture, permettendo inoltre una verifica delle caratteristiche del progetto, non solo secondo criteri visivi, come la luminosità degli ambienti, ma anche

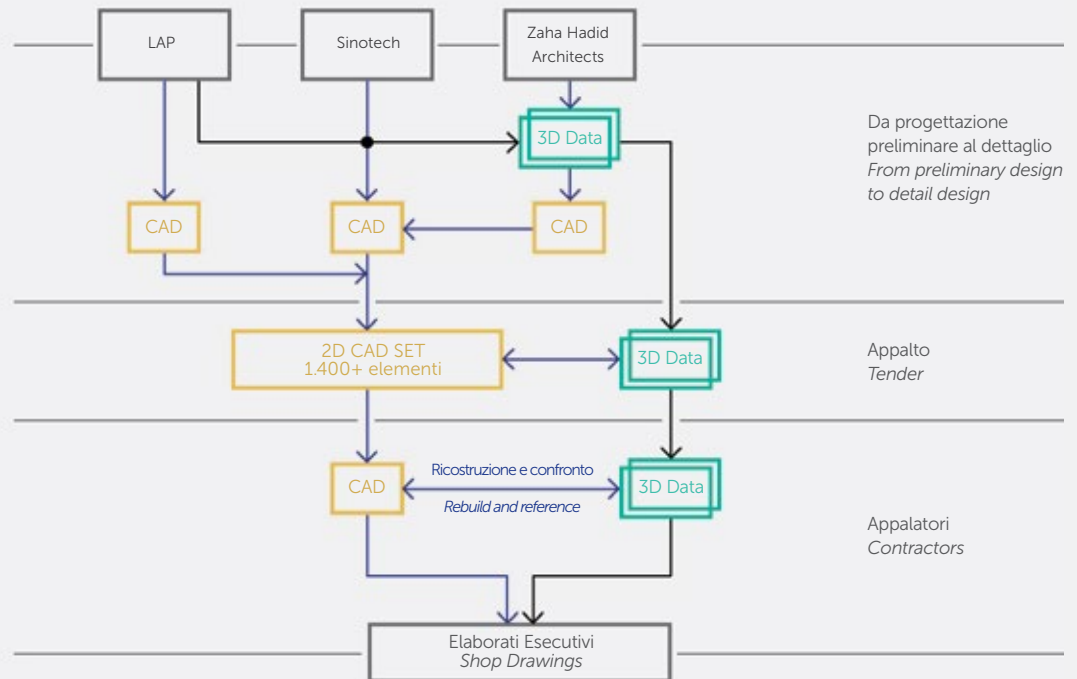


Figura 3.1.3: Schematizzazione del percorso di condivisione degli elaborati di progetto tra progettisti, governo e costruttori per il Danjiang Bridge. In blu il percorso standard, in nero, quello basato su dati 3D. (Ceccato, 2019b)

Figure 3.1.3: The path followed by files between designers, government and builders for the Danjiang Bridge project. The standard path is in blue, the one based on 3D data in black. (Ceccato, 2019b)

had not carried out legislative activities. As with Zaha Hadid Architects, who on the occasion of the design and construction of the Danjiang Bridge not only exploited the collaborative facilities of these digital tools to design the architecture through the work of different actors in different parts of the world but has also pushed the Taiwanese government to accept a single digital model as a final delivery, instead of the traditional paper drawings, which can be easily extrapolated from BIM models, automating the process and eliminating concrete risks of human error, figure 3.1.3.

The wide effectiveness of BIM raises questions about what is its influence on the architectural design process. As Xavier de Kestelier states, BIM tools are more oriented towards final delivery, towards efficiency and speed, towards a greater connection with construction companies, but not necessarily towards an improvement of architectures in strictly design terms. There is a risk that BIM, with the definition of new digital standards, can effectively box the thought and work of architects within purely technical logics. This is because BIM, unlike other parametric tools, brings with it an already defined idea of architecture, arriving at the project with a catalogue of pre-digested elements. This condition risks transforming the project into something closer to the game of constructions than to architecture, defining upstream criteria and practices that, despite their potential flexibility, actually limit the inclusive capacities of those who design in a professional practice.

Another innovation that in recent years has made its entry into professional studios is virtual reality, a practice that allows us to navigate inside the architecture through the aid of audio-visual helmets, and which offers architects the opportunity to virtually visit any projects they are developing. Several designers, including Steven

del comportamento acustico dell'architettura. Il grande vantaggio offerto dalla realtà virtuale sta, nelle parole di Al Fisher, nel permettere al progettista di calarsi negli spazi liberandosi dalle capacità singolari dell'individuo, per vivere le architetture come lo potrebbe fare una persona con handicap motori, visivi o sonori. Come testimoniato da diversi progettisti inoltre, la realtà virtuale si è dimostrata di grande utilità nella relazione con la committenza, favorendo il dialogo tra la professionalità e le competenze degli architetti e il cliente, che nella stragrande maggioranza dei casi parla un linguaggio diverso dal nostro, e non è in grado di comprendere immediatamente il valore di una determinata scelta progettuale. Ne troviamo un perfetto esempio all'interno dell'intervista realizzata con Aurelie De Boissieu, che racconta come in occasione di un progetto per un campus universitario, lo studio Grimshaw si sia servito della realtà virtuale per portare la committenza all'interno dell'edificio in fase progettazione, e convincerla ad un investimento che permettesse la variazione nell'altezza degli ambienti, incrementando la qualità finale del progetto.

Diversi intervistati leggono nuove occasioni per la professione architettonica nelle tecnologie informatiche della realtà aumentata, pratica che come la realtà virtuale permette di visualizzare tramite dispositivi elettronici modelli tridimensionali, ma al contrario della VR li integra alla realtà fisica, animandola di informazioni digitali, arricchendo l'esperienza dello spazio fisico con modelli interattivi immateriali. Questa tecnologia, già utilizzata dalle multinazionali dell'informatica, e che inizia ad essere implementate largamente all'interno di applicazioni per smartphone, permetterà secondo Andreas Klok Pedersen di incrementare il valore di modelli BIM e gemelli digitali per l'architettura, fornendo a chiunque si occupi della costruzione o addirittura della manutenzione del manufatto informazioni immediate sulla configurazione tecnica dell'architettura, mostrando tramite visori elementi altrimenti invisibili agli occhi o che necessiterebbero di indagini invasive, come l'esatta distribuzione degli impianti o le caratteristiche specifiche delle strutture, immediatamente disponibili tramite visori AR.

Un perfetto esempio delle potenzialità che la realtà aumentata sta già mostrando è rappresentato da Hyperform, figure 3.1.4 e 3.1.5, un nuovo strumento per la progettazione realizzato in collaborazione tra gli studi Bjarke Ingels Group, UNStudio e l'agenzia di visualizzazione Squint Opera nel 2019. Il programma, progettato per facilitare la collaborazione tra i progettisti distaccati nelle diverse sedi degli studi, permette, non solo di visualizzare modelli digitali tramite la realtà aumentata, ma di modificarli, arricchendoli di dati, fino a riprodurre il modello in scala 1:1 sul lotto di costruzione, per verificarne la corretta esecuzione o semplicemente valutarne forme e volumi direttamente sul campo (Walsh, 2019).

Tra le ultime innovazioni tecnologiche che hanno raggiunto la professione architettonica in termini di tempo spicca il *machine learning*, pratica informatica di natura statistica che permette di analizzare grandi moli di dati non strutturati e di estrapolare informazioni che non saremmo mai in grado di ottenere altrimenti. Sulle possibilità del *machine learning* e della sua sottofamiglia, il *deep learning* nella progettazione architettonica parleremo con maggiore dettaglio in un capitolo

Chilton, see in these tools a great potential for the architectural design because they offer architects new skills to investigate design aspects previously impossible to verify before the construction of architectural artefacts, especially in terms of the perception of space, scale and use of the architectures, also allowing verification of the characteristics of the project, not only according to visual criteria, such as the brightness of the environments but also of the acoustic behaviour of the architecture. The great advantage offered by virtual reality lies, in the words of Al Fisher, in allowing the architect to immerse himself in spaces, freeing him from the singular abilities of the individual, also to experience architecture as a person with handicaps could do. As witnessed by several designers, virtual reality has proved to be of great usefulness in the relationship with the other actors, favouring the dialogue between architects and clients, who in the vast majority of cases speak a language different from ours, and who cannot immediately understand the value of a design choice. We find a perfect example of this in the interview with Aurelie De Boissieu, who tells how, on the occasion of a project for a university campus, Grimshaw used virtual reality to bring the client inside the building, to convince them to make an investment that would allow the variation in the height of a hall, increasing the final quality of the architecture.

Several interviewees foresee new opportunities for the architectural profession in the computer technologies of augmented reality, a practice that, like virtual reality, allows three-dimensional models to be viewed through electronic devices, but unlike VR, integrates them with physical reality, animating it with digital information, enriching the experience of physical space with intangible interactive models. According to Andreas Klok Pedersen, this technology, already used by IT multinationals, and widely implemented within smartphone applications, will allow increasing the value of BIM models and digital twins for architecture, providing anyone engaged with the construction or even the maintenance of a building immediate information on the technical configuration of the architecture. Showing through viewers elements otherwise invisible to the eye, or that would require invasive investigations, such as the exact distribution of technological systems or specific structural characteristics, immediately visible through AR viewers.

A perfect example of the potential that augmented reality is already showing is represented by Hyperform, figures 3.1.4 and 3.1.5, a new design tool created in collaboration between the Bjarke Ingels Group, UNStudio and Squint Opera in 2019. The software, designed to facilitate collaboration between designers in various offices around the world, allows not only to view digital models using augmented reality but also to modify them, enriching them with data, up to reproducing the model in 1: 1 scale applied on the construction lot, to verify its correct execution or simply evaluate shapes and volumes directly on the field (Walsh, 2019).

Among the latest technological innovations that have reached our profession, machine learning stands out, a statistical family of methods that allows us to analyse large amounts of unstructured data to extrapolate information that we could never obtain otherwise. On the possibilities of machine learning in architectural design, we

dedicato, è comunque importante puntualizzare sin da adesso, che a detta di molti dei progettisti intervistati quella tra architettura e questi metodi è un rapporto con grande potenziale, ma in una fase definitivamente pionieristica, come testimonia Edoardo Tibuzzi. Se da un lato è vero infatti che il *machine learning* è già utilizzato da alcuni studi per ottimizzare l'efficacia degli spazi, ad esempio nella progettazione di parcheggi, dove tramite questi algoritmi è possibile massimizzare il numero di posti auto data una forma imposta dai progettisti, come ricorda Andreas Klok Pedersen, è anche vero che data la specificità tecnica di questi metodi, e in particolare del più avanzato *deep learning*, sono ancora pochi gli studi in grado di cimentarsi in strategie tanto tecnicamente avanzate.

Abbiamo sino ad ora letto il rapporto tra le più significative innovazioni informatiche e il progetto architettonico contemporaneo, segno tangibile di come gli strumenti digitali si siano insediati nella pratica professionale e di come i loro contributi siano di crescente supporto nella definizione delle architetture.

Ciò che è culturalmente cambiato nell'arco degli ultimi dieci anni, come osservano Harry Ibbs, e Pablo Zamorano è il livello di alfabetizzazione informatica, non solo all'interno degli studi, ma sin dalla formazione dei futuri architetti. Se ad esempio i linguaggi di programmazione, visuale e non, dieci anni fa erano competenze altamente specialistiche, oggi è sempre più frequente che un architetto appena laureatosi, al suo primo ingresso in uno studio d'architettura, abbia non soltanto un'infarinatura, ma ampie competenze informatiche, generali ed applicate all'architettura, che surclassano quelle possedute da colleghi più anziani: c'è quindi una sempre maggiore naturalezza nell'approcciare il progetto tramite gli strumenti digitali. D'altronde, tutti gli intervistati concordano nel definire le competenze digitali come importante requisito per l'attività progettuale contemporanea, requisito che però conserva e deve conservare per i progettisti il ruolo di tramite, mezzo per il quale è possibile convogliare all'interno del progetto le sollecitazioni provenienti da altre discipline, e sviluppare nuovi metodi progettuali.

Diversi intervistati testimoniano una maggiore considerazione della fisica all'interno del processo progettuale contemporaneo, dalla previsione delle radiazioni solari, al comportamento termico degli edifici, la fluidodinamica per comprendere l'impatto del vento sugli spazi, la scienza dei materiali, ma anche l'acustica. Tutti ambiti che necessitano oggi di un maggiore approfondimento e consapevolezza da parte del progettista, e probabilmente una diversa attenzione in fase di formazione all'interno delle università.

La nuova attenzione verso fisica e scienze in genere è sicuramente una delle caratteristiche del progetto contemporaneo, questo perché come evidenziato da Arthur Mamou-Mani, ma anche da Edoardo Tibuzzi, gli strumenti digitali permettono all'architetto di considerare sin dai primi momenti della fase progettuale il comportamento fisico delle strutture tramite simulazioni e metodi di *form-finding* analoghi agli *hanging models* già utilizzati in passato da Gaudì e Otto. Nuove possibilità, che portano i progettisti a una maggiore consapevolezza del comportamento materiale dell'architettura, e quindi a produrre soluzioni che potremmo definire proto-ingegneristiche: soluzioni che ovviamente nascono da



Figure 3.14 e 3.15:
L'applicativo Hyperform, sviluppato da BIG Bjarke Ingels Group, UNstudio e Squint Opera permette la visualizzazione di modelli digitali in realtà aumentata. ((Walsh, 2019)

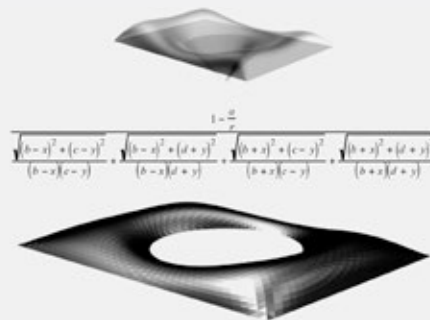
Figures 3.14 and 3.1.5:
Hyperform, an application developed by BIG Bjarke Ingels Group, UNstudio and Squint Opera allows viewing digital models in augmented reality. (Walsh, 2019)

will talk in greater detail in a dedicated chapter, it is, however, important to point out right now, that according to many of the designers interviewed, between architecture and these methods there is a relationship with great potential, but in a definitively pioneering phase, as Edoardo Tibuzzi testifies. While on the one hand, machine learning is already used by some architectural practices to optimise the effectiveness of spaces, for example in the design of parking lots, where through these algorithms it is possible to maximise the number of parking spaces given a form imposed by the designers, as Andreas Klok Pedersen recalls, given the technical specificity of these methods, there are still few architectural offices able to try their hand at such technically advanced strategies.

So far we have read the relationship between the most significant IT innovations and the contemporary architectural project, a tangible sign of how digital tools have established themselves in professional practice and of how their contributions are of growing support in the definition of architecture.

What has culturally changed over the past ten years, as Harry Ibbs and Pablo Zamorano observe, is the level of computer literacy, not only within the architectural practices but since the training of future architects. If, for example, programming languages, visual and textual, were highly specialised skills ten years ago. It is more and more frequent that an architect fresh of graduation, on his first steps in an architecture studio, today has broad IT skills, general and applied to architecture, which outclasses those possessed by older colleagues. There is then an ever greater naturalness in approaching the project through digital tools. While all the interviewees agree in defining digital skills as an important requirement for contemporary architectural design, it is a requirement which however preserves and must preserve for the designers the role of intermediary, able to convey solicitations from other disciplines, and develop new design methods.

Several interviewees testify a greater consideration of physics within the contemporary architectural design process, starting from the prediction of solar radiation, thermal behaviour of buildings, fluid dynamics to understand the impact of wind on spaces,



considerazioni funzionali e formali, ma che mirano all'immediata integrazione delle caratteristiche strutturali dell'architettura, e che diventano il punto di partenza per un dialogo sempre più consapevole con le società di ingegneria.

Per leggere la differenza tra questi nuovi approcci e i precedenti metodi progettuali adottati anche in tempi relativamente recenti è utile il confronto tra due interventi, entrambi assimilabili alla grande famiglia delle architetture di fattura digitale: la copertura della corte interna del British Museum di Londra, figura 3.1.6, progettata dallo studio Foster and Partners negli anni 90, e quella del National Maritime Museum di Amsterdam, progettata da Dok Architecten in collaborazione con Ney and Partners nel 2010. Due progetti che ugualmente hanno operato su preesistenze storiche, coprendo con una *gridshell* in metallo e vetro le corti centrali degli edifici, trasformandoli in ambienti di snodo praticabili anche in caso di condizioni meteorologiche avverse, ma che sono stati realizzati con circa venti anni di differenza. Nel primo caso, i progettisti hanno definito la cupola tramite un processo analitico particolarmente complesso, che ha richiesto lo studio e la definizione di un'equazione, figura 3.1.7, che permettesse di descrivere la forma della cupola in modo da garantirne un comportamento adeguato alla complessità della struttura e la discretizzazione in pannelli piani (Williams, 2001). Nel secondo caso, figure 3.1.8 e 3.1.9, i progettisti hanno utilizzato con gli stessi obiettivi dei metodi di *form-finding*, per ottenere tramite un processo di simulazione una *gridshell* perfettamente funzionante a compressione. Operando in tempi decisamente più brevi rispetto al processo analitico utilizzato nel primo caso, ottimizzando i pannelli vetrati della copertura in modo da renderli planari, e permettendo inoltre ai progettisti una maggiore libertà espressiva nel riproporre come struttura portante una proiezione dei segni grafici storicamente utilizzati all'interno delle carte nautiche custodite all'interno del museo (Adriaenssens et al., 2010).

È importante osservare come l'avvicinamento dell'architettura verso la scienza non sia rivolto esclusivamente alle scienze fisiche e ambientali, ma in genere verso altri ambiti del sapere, anche meno quantificabili. Alla domanda, con quali discipline l'architettura ha intessuto nuove relazioni, ad esempio, Xavier de Kestelier ha risposto citando il

Figura 3.1.6: La copertura della corte interna del British Museum, progettata dallo studio Foster and Partners e terminata nel 2000 (foto Giovanna Amato)

Figura 3.1.7: Immagini che descrivono il processo analitico condotto per la progettazione della copertura. (Williams, 2001, 3)

Figure 3.1.6: The roof of British Museum's great court, designed by Foster and Partners and completed in 2000. (foto Giovanna Amato)

Figure 3.1.7: Images that describe the analytical process conducted to design the roof. (Williams, 2001, 3)

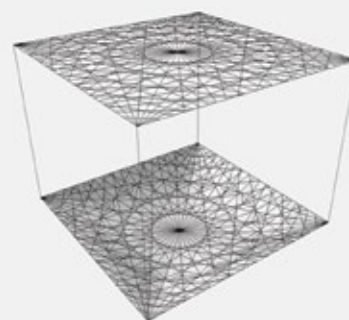


Figura 3.1.8: La copertura del National Maritime Museum di Amsterdam, progettato dallo studio Dok Architecten e completato nel 2011. (foto Arjen Schmitz)

Figure 3.1.9: Il modello digitale realizzato tramite metodi di form-finding. (Adriaenssens et al., 2010, 360)

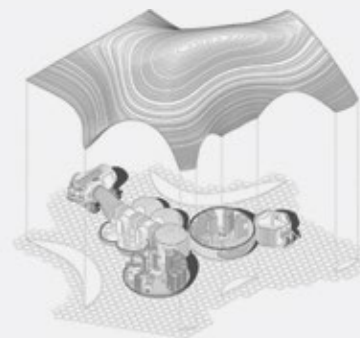
Figure 3.1.8: the roof of Amsterdam National Maritime Museum, designed by Dok Architecten and completed in 2011. (foto Arjen Schmitz)

Figure 3.1.9: The digital model of the roof, designed through form-finding methods. (Adriaenssens et al., 2001, 360)



materials science, up to acoustics. All areas that require today a greater awareness by the architects and probably need different attention during professional education within universities. This new attention to physics and sciences is one of the characteristics of contemporary design, this is because as highlighted by Arthur Mamou-Mani, but also by Edoardo Tibuzzi, digital tools allow architects to consider the physical behaviour of the structures through simulations and form-finding methods similar to the hanging models already used in the past by Gaudi and Otto. New digital possibilities, which lead architects to a greater awareness of the material behaviour of architecture, and therefore allow to produce solutions that we could define as proto-engineering: solutions that arise from functional and formal considerations, but which aim at the immediate integration of structural characteristics of the architecture, and which become the starting point for an increasingly conscious dialogue with engineering companies.

To read the difference between these new approaches and the previous design methods adopted even in relatively recent times, it is useful to compare two interventions, both belonging to the great family of digitally designed architectures: the roof of the internal courtyard of the British Museum in London, figure 3.1.6, designed by Foster and partners in the 90s, and that of the National Maritime Museum in Amsterdam, designed by Dok Architecten in collaboration with Ney and partners in 2010. Two projects both realised on historical pre-existing structures, covering the central courtyards of buildings with a metal and glass gridshell, transforming those spaces into junction areas that can be practised even with adverse weather conditions, but were designed with about twenty years of difference. In the first case, the architects had to define the dome through a complex analytical process, figure 3.1.7, which required the study and definition of an equation that would allow the shape of the dome to be described to guarantee a behaviour appropriate to the complexity of the structure and the discretization in flat panels (Williams, 2001). In the second case, figures 3.1.8 and 3.1.9, the designers used form-finding methods with the same objectives, to get a fully functional compression gridshell through a simulation process. Operating in decidedly shorter times than the analytical process used in



progetto sviluppato dallo studio Hassell in occasione del *Nasa 3D Printed habitat Challenge*, un concorso internazionale indetto dalla NASA che ha chiesto ad architetti e università di cercare nuove soluzioni per modelli di insediamenti umani da produrre sul pianeta rosso tramite metodi di *digital fabrication* a scala architettonica. Il progetto di Hassell, figura 3.1.10 e 3.1.11, curato dallo stesso de Kestelier e presentato nel 2019 prevede l'utilizzo di sabbia marziana da utilizzare come base per un conglomerato con cui realizzare delle *shell*, strutture funzionanti a compressione, da usare come involucro, atte a proteggere il sistema di moduli interni da variazioni di temperatura, radiazioni solari e micro-meteoriti. Il progetto, che al contrario dei moduli abitativi precedentemente sviluppati non è finalizzato esclusivamente alla massima efficienza in termini di performance e funzionamento dei macchinari, ma si pone l'obiettivo di creare un ambiente adatto alla vita umana, dove gli astronauti possano vivere per lunghi periodi sino a sviluppare degli insediamenti stabili, figura 1.3.12, ha portato i progettisti a sviluppare un'ampia serie di collaborazioni, che partono dalla consulenza ingegneristica dello studio Eckersley O'Callaghan, ma arrivano a quelle con ricercatori universitari e specialisti di diversi ambiti, da antropologi, fino a psicologi biologi e astrofisici, tutte competenze esterne all'architettura, che data la particolarità dei temi si è arricchita dei loro contributi.

L'indeterminazione dello spazio alimentata dall'incidenza del paradigma digitale che abbiamo letto nei primi capitoli sta inoltre contribuendo ad un'ulteriore apertura del processo progettuale, apertura fondata non solo nella nuove possibilità anticipatrici e nei crescenti livelli di dettaglio raggiunti all'interno della pratica progettuale, ma anche nella maggiore consapevolezza da parte della committenza del ruolo dell'architettura e dello spazio in termini di impatto economico, energetico e in termini di risorsa sia aziendale che pubblica. Ciò sta favorendo la richiesta di architetture capaci di variare in modo sempre più ampio durante la loro esistenza, di adattarsi verso nuove configurazioni. Nonostante la definizione stessa di architettura sia radicata nella sua staticità, le architetture hanno da sempre previsto parti mobili, configurazioni modificabili in base alle esigenze degli utenti che in qualsiasi momento possono scegliere se aumentare o diminuire la luminosità o la ventilazione degli ambienti manualmente, al variare delle condizioni di *comfort*. Oggi, a prescindere dalla

Figura 3.1.10: Un modello fisico dell'ipotesi progettuale proposta da Hassell e Eckersley O'Callaghan per il NASA 3D printed Habitat del 2018. (immagine Hassell)

Figura 3.1.11: Schema che mostra la posizione dei moduli interni rispetto alla shell esterna stampata in 3D. (immagine Hassell)

Figure 3.1.10: A physical model of the proposal developed by Hassell and Eckersley O'Callaghan for the 2018 NASA 3D printed habitat competition. (image Hassell)

Figure 3.1.11: Diagram showing the position of the modules inside the 3D printed outer shell. (image Hassell)

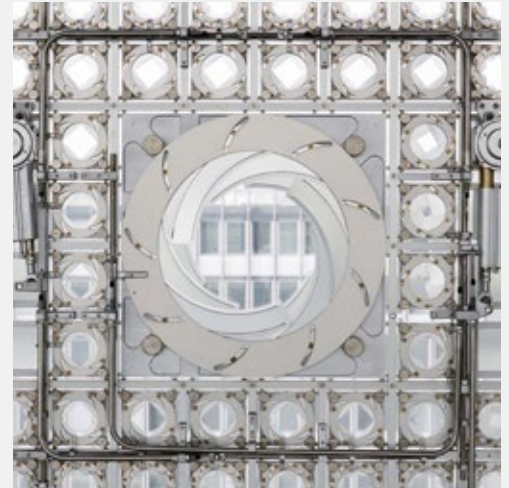


Figura 3.1.12: Visualizzazione dei moduli interni, progettati per accogliere tutte le funzioni utili ad una comunità di pionieri umani su Marte. (immagine Hassell)

Figura 3.1.13: Il sistema meccanico della facciata dell'Istituto del mondo arabo di Parigi, progettato da Jean Nouvel. (foto Fabrice Cateloy)

Figure 3.1.12: Visualization of the modular system, designed to host all the spaces useful for a community of human pioneers on Mars. (image Hassell)

Figure 3.1.13: The facade's mechanical system of the Arab World Institute in Paris, designed by Jean Nouvel. (photo Fabrice Cateloy)

the first case, optimising the glazed panels of the roof to make them planar, and also allowing architects greater freedom of expression in proposing as a supporting structure a projection of the graphic signs historical nautical maps kept inside the museum (Adriaenssens et al., 2010).

It is important to observe how the approach of architects towards science is not exclusively aimed at physical sciences, but towards other areas of knowledge, even less quantifiable ones. When asked which are the disciplines architecture has forged new relationships with, Xavier de Kestelier replied by citing the project developed by the Hassell studio on the occasion of the Nasa 3D Printed habitat Challenge: an international competition organised by NASA that asked architects and universities to seek new solutions for human settlements to be produced on the red planet through methods of digital fabrication at an architectural scale. Hassell's project, figures 3.1.10 and 3.1.11, curated by de Kestelier himself and presented in 2019, involves the use of Martian sand as a base for a conglomerate with which to create shells: structures operating under compression, to be used as envelopes, designed to protect the internal modules from temperature variations, solar radiation and micro-meteorites. The project, which unlike the previously developed housing modules, figure 3.1.12, is not aimed only at maximum efficiency in terms of performance and operation of the machinery, aims to eventually create an environment suitable for human life, where astronauts can live for long periods up to the development of stable settlements. This condition has led the architects to develop a wide range of collaborations, starting from that with the engineering consultancy of Eckersley O'Callaghan, arriving at those with university researchers and specialists in different fields, from anthropologists, up to psychologists, biologists and astrophysicists: all skills external to architecture, which given the particularity of the themes have been enriched by their contributions.

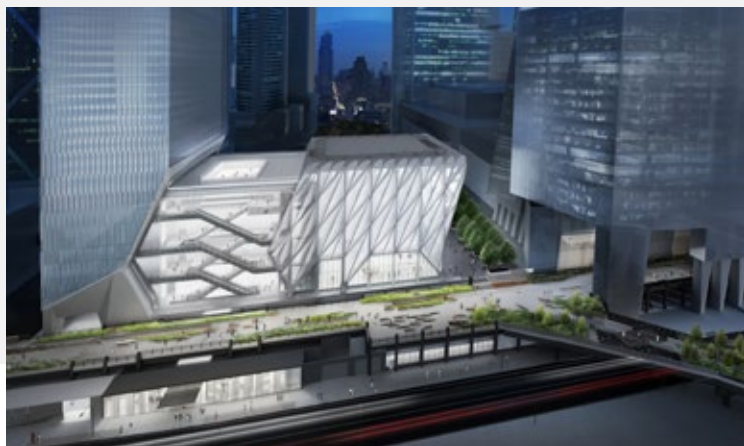
The indeterminacy of space fuelled by the incidence of the digital paradigm that we read in the first chapters is also contributing to a further opening of the design process: an opening founded not only in the new anticipatory possibilities and in the increasing levels of detail reached within the design practice, but also in greater awareness by the client about the role of architecture and space in terms of economic and energy impact and as both corporate and public resources. This is

capacità di organizzare sistemi tecnici che permettano di operare apparati complessi tramite interfacce digitali, ciò che gli strumenti digitali hanno raggiunto, è la capacità di leggere, sulla base di informazioni sempre più frequentemente raccolte tramite sensori, le correlazioni fra performance, condizioni interne ed esterne, densità umana e finalità specifiche degli ambienti. Informazioni che permettono ai sistemi digitali di fare previsioni su quali siano le configurazioni più adatte per un determinato momento, dando dei suggerimenti agli utenti. Così come già accade oggi con la diffusione di applicazioni per *smartphone* che contribuiscono al nostro benessere suggerendoci comportamenti utili alla nostra salute, come effettuare attività fisica, o semplicemente idratarsi. Quanto queste nuove capacità di riconfigurazione dell'architettura possano poi essere automatizzate, resta un tema di forte dubbio tra i progettisti, non solo per considerazioni etiche, ma anche specificamente tecniche. Come ricorda anche Klok Pedersen, ogni movimento adattivo preclude un sistema meccanico articolato, che è costantemente soggetto alle condizioni climatiche e a sollecitazioni esterne, e il rischio che queste parti si rompano è molto alto. Osservazioni che Aurelie de Boissieu conferma, citando il progetto dell'Istituto del mondo Arabo di Parigi firmato dallo studio di architettura Jean Nouvel (Mayine, 2013), edificio terminato negli anni 80, che prevedeva un complesso sistema meccanico composto da centinaia di elementi meccanici disposti sulla facciata, figura 3.1.13, sistema che non ha mai funzionato, condannando la facciata alla tradizionale immobilità dell'architettura. Un'ulteriore criticità è quella dell'obsolescenza della tecnologia, che sia dal punto di vista *hardware* che *software*, ha una tempistica di evoluzione di gran lunga più breve della vita di un edificio. La progettista afferma quindi come sia necessario stare molto attenti quando si parla di edifici intelligenti, perché il rischio concreto è che i sistemi adottati diventino vecchi prima ancora che la progettazione dell'architettura sia terminata, portando inevitabilmente alla produzione di architetture dotate di tecnologie obsolete già dall'inaugurazione, tecnologie che diventa poi impossibile aggiornare per questioni economiche. Date queste considerazioni, nella nostra qualità di progettisti, è quindi importante riuscire ad instaurare un dialogo costruttivo con queste nuove capacità, nel tentativo di raggiungere un equilibrio, che in certi casi può trovare soluzione in un utilizzo davvero intelligente della tecnologia, adoperandola il minimo indispensabile per produrre dei vantaggi all'interno del progetto, e garantendo al contempo che le nostre scelte siano sostenibili durante tutta la vita dell'architettura.

In questa direzione si muovono diversi progetti realizzati o attualmente in fase di realizzazione, come *The Shed*: uno spazio per esposizioni artistiche ed eventi completato nel 2019 a New York dallo studio Diller Scofidio + Renfro, figura 3.1.14. Un'architettura caratterizzata da un'ampia capacità di riconfigurazione in funzione non solo di necessità tecniche per l'installazione di manifestazioni, ma anche in relazione ai diversi utilizzi previsti per gli ambienti in un determinato momento. La caratteristica più evidente dell'architettura è identificabile nell'involucro che delimita il teatro, un guscio in pannelli plastici ottimizzati per il risparmio energetico, e che può traslare nell'arco di ore lungo due binari di ottanta metri posti alla base dell'edificio, ampliando l'ambiente interno sino a contenere migliaia di persone, o può muoversi verso il centro dell'edificio, trasformando lo spazio del teatro in una piazza aperta

fostering the demand for architectures capable of varying more and more throughout their existence, of adapting to new configurations. Although the very definition of architecture is rooted in its static nature, architectures have always provided moving parts, configurations that can be modified according to the needs of users, who can choose whether to increase or decrease the brightness or ventilation of the rooms manually. Today, regardless of the ability to organise technical systems that allow complex equipment to be operated via digital interfaces, what digital tools have achieved is the ability to read, based on information increasingly frequently collected through sensors, the correlations between performance, internal and external conditions, human density and specific purposes of the environments. These pieces of information now allow digital systems to make predictions about which configurations are most suitable for a given moment, giving suggestions to users, as today already happens with the spread of smartphone applications that contribute to our well-being by suggesting useful behaviours for our health, such as exercising, or simply hydrating. How much these new architectural reconfiguration capabilities can then be automated remains a subject of strong doubt among designers, not only for ethical but also specific technical considerations. As Klok Pedersen also recalls, any adaptive movement requests an articulated mechanical system, which is constantly subject to climatic conditions and external stresses, and the risk of these parts breaking is very high. Observations that Aurelie de Boissieu confirms, citing the project of the Institute of the Arab world in Paris design by Jean Nouvel studio (Mayine, 2013), a building completed in the 1980s, which is provided with a complex mechanical system composed of hundreds of mechanical elements, figure 3.1.13, arranged on the facade: a system that unfortunately never worked, condemning the facade to the traditional immobility of architecture. A further criticality is that of the obsolescence of technology, both from the hardware and software point of view: IT has an evolution time that is far shorter than the life of a building. The interviewees therefore state that it is necessary to be very careful when talking about smart buildings, because the real risk is that the systems adopted become old even before the design of the architecture is finished, inevitably leading to the production of architectures equipped with obsolete technologies already from the inauguration: technologies that then become impossible to update for economic reasons. Given these considerations, in our capacities as architects, it is therefore important to establish a constructive dialogue with these new means, to reach a balance, which sometimes can find a solution in the truly intelligent use of technology, using it the bare minimum necessary: to produce benefits within the project, while ensuring that our choices are sustainable throughout the life of the architectures.

Several projects recently built or currently under construction move in this direction, such as *The Shed*: a space for artistic exhibitions and events completed in 2019 in New York by the Diller Scofidio + Renfro, figure 3.1.14. This architecture is characterised by a large capacity of reconfiguration in function not only of technical needs for the installation of shows but also concerning the different uses envisaged for spaces at a certain time, figure 3.1.15. The clearest feature of the architecture can be identified in the envelope that delimits the theatre: a shell made of plastic panels optimised for



al pubblico, figura 3.1.15. Un altro esempio ci è fornito da Edoardo Tibuzzi, che riconosce un *trend* crescente nella diffusione di architetture responsive, capaci di cambiare configurazione nell'arco di tempi relativamente brevi, seppur non istantanei. L'intervistato legge, soprattutto da parte della committenza, una maggiore attenzione nei confronti di queste soluzioni, utili a risolvere le sempre maggiore richiesta di spazi versatili, capaci di adattarsi alle necessità dell'utenza. È questo il caso del progetto per il nuovo centro direzionale di Google nel quartiere King's Cross di Londra, un edificio multifunzionale che conterrà, non soltanto uffici, ma anche spazi per eventi, una piscina e ambienti dedicati all'attività fisica e al tempo libero, figura 3.1.16. L'architettura è commissionata dalla multinazionale informatica agli studi BIG Bjarke Ingels Group, Heatherwick e AKTII, che hanno progettato una vera e propria infrastruttura, destinata a durare centinaia di anni, e definita nella sua struttura portante: uno scheletro su cui sono agganciati solai e tramezzi, agganciati secondo un sistema in acciaio e legno, che permette la riconfigurazione di pannelli lignei e solai, e la modifica degli ambienti interni nell'arco di un fine settimana, in concomitanza della chiusura degli uffici.

Il tema della riconfigurazione trova ulteriori sviluppi in relazione al rapporto tra progetto e dati, che con sempre maggiore frequenza e consapevolezza gli architetti raccolgono per comprendere come le architetture progettate vengono utilizzate da parte degli utenti finali, informazioni che diventano importanti risorse a cui attingere per futuri progetti, ma che in casi particolari possono anche venire utilizzate per una variazione degli ambienti architettonici già costruiti. È questo il caso, forse più unico che raro, della WeWork, multinazionale immobiliare, che dal duemiladieci si occupa della progettazione, realizzazione e gestione di *co-working*, e che per ottimizzare la configurazione degli spazi all'interno degli uffici ha iniziato a raccogliere dati, figura 3.1.17, sull'effettivo utilizzo degli ambienti da parte degli utenti tramite sistemi di tracciabilità basati su *smartphone* e sensoristica. Grazie a queste informazioni è possibile per i progettisti dell'azienda avere un prospetto dettagliato dell'effettivo utilizzo dei diversi ambienti, e quindi dei bisogni degli utenti, informazioni che vengono quindi utilizzate per progettare nuove configurazioni degli ambienti (Davis, 2016).

Figura 3.1.14: Un render di the Shed, spazio per eventi espandibile progettato dallo studio Diller Scofidio + Renfo, completato nel 2019 a New York. (immagine Diller Scofidio + Renfo)

Figura 3.1.15: Una sezione longitudinale dell'architettura, dove è mostrato il sistema di scorrimento della copertura. (immagine Diller Scofidio + Renfo)

Figure 3.1.14: A render of the Shed, an expandable event space designed by the Diller Scofidio + Renfo, completed in 2019 in New York. (image Diller Scofidio + Renfo)

Figure 3.1.15: A longitudinal section of the architecture, where the roof sliding system of is shown. (image Diller Scofidio + Renfo)

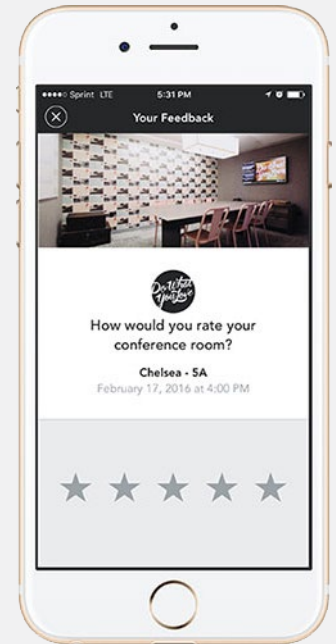


Figura 3.1.16: Immagine del progetto dei nuovi Headquarters di Google a Londra, su progetto di BIG Bjarke Ingels Group, Heatherwick. (immagine Google)

Figura 3.1.17: L'interfaccia del sistema di raccolta dati organizzato da WeWork per la gestione e riconfigurazione degli spazi. (Davis, 2016, 120)

Figure 3.1.16: An image of the new Google Headquarters project in London, designed by BIG Bjarke Ingels Group, Heatherwick. (image Google)

Figure 3.1.17: The data collection system organized by WeWork for the management and reconfiguration of spaces. (Davis, 2016, 120)

energy saving, and which can move within hours along two eighty-meter tracks at the base of the building, expanding the internal environment to contain thousands of people, or moving towards the building, transforming the theatre into a square open to the public. Another example is provided by Edoardo Tibuzzi, who recognises a growing trend in the diffusion of responsive architectures, capable of changing the configuration in a relatively short time, albeit not instantaneous. The interviewee reads, especially by the client, a greater attention to these solutions, which are useful for solving the growing demand for versatile spaces, capable of adapting to the needs of users. This is the case of the new King's Cross Google headquarters in London: a multifunctional building that will contain not only offices but also spaces for events, a swimming pool and areas dedicated to physical activity and leisure, figure 3.1.16. This architecture, commissioned by the IT multinational to BIG Bjarke Ingels Group, Heatherwick and AKTII, is designed as a real infrastructure destined to last hundreds of years, and defined in its supporting structure: a skeleton onto which floors and partitions are attached, coupled according to a system of steel and wood, which allows the reconfiguration of wooden vertical panels and floors, then a large modification of the interiors over a weekend, concurrently with the closure of the offices. The theme of reconfiguration finds further developments in the relationship between design and data, which architects collect with increasing frequency and awareness to understand how the designed architectures are used by end-users: information that becomes important resources for future projects, but which in particular cases can also be used for a variation of the architectural environments already built. This is the case, perhaps more unique than rare, of WeWork, a multinational real estate company involved in the design, construction and management of co-working, and which has collected data on the actual use of the space by users through traceability systems based on smartphones, figure 3.1.17, and sensors, to optimise the configuration of the spaces inside offices. Thanks to this information, it is possible for the company's architects to have a detailed overview of the actual use of different spaces, and therefore understand the needs of users: information useful to design new room configurations (Davis, 2016).

3.2 ITER PROGETTUALE E I RUOLI NELLO STUDIO DI ARCHITETTURA

Per leggere l'evoluzione dell'iter progettuale negli studi di architettura contemporanei è necessario porre un accento sul quantomai frastagliato mondo degli studi di architettura, e sull'organizzazione e gerarchie interne alle aziende, fattori che inevitabilmente hanno un'importante influenza su come l'iter progettuale viene affrontato e condotto dai progettisti, che negli anni si sono organizzati per affrontare il mercato dell'architettura. È facile osservare come il panorama degli studi di architettura si sia evoluto e diversificato negli ultimi 30 anni, trasformandosi in un ecosistema popolato da studi diversi per numero di impiegati, ma anche per scala di progetti e competenze. Se da un lato è ancora possibile trovare studi formati da un numero limitato di progettisti, i cosiddetti micro-studi, maggiormente diffusi in contesti minori, quando parliamo di progetti architettonici di ampia scala dove la complessità dei temi contemporanei viene affrontata da professionalità specifiche e sempre più digitali (Deutsch, 2019), stiamo quasi sicuramente parlando di progetti realizzati da macro-studi, gruppi articolati in centinaia o anche migliaia di professionalità diverse, spesso disseminati nelle diverse sedi degli studi in tutto il mondo. È sufficiente visitare il sito web LinkedIn, leader tra i *social network* professionali, dove gli studi gestiscono profili ufficiali collegati ad ogni dipendente registrato sulla piattaforma, per avere un'idea abbastanza chiara sulla dimensione di questi studi. Pratiche professionali globali, che nell'arco di anni si sono ingrandite, aprendo sedi satellite in paesi dove il mercato permette l'acquisizione di maggiori e migliori commesse, come lo studio Foster and Partners (2020) che oggi ha sede non soltanto a Londra, ma anche in altre tredici capitali mondiali, dove lavorano per l'azienda più di 1500 dipendenti, condizione analoga a quella di molti altri protagonisti della professione architettonica contemporanea, come Zaha Hadid Architects che conta attualmente poco più di 500 dipendenti, o addirittura la Gensler, vera e propria multinazionale dell'architettura con più di 6000 impiegati sparsi in 48 sedi disseminate su tutti i continenti tranne che in Africa (Gensler, 2020).

La crescita nella dimensione di questi studi, è dovuta a questioni principalmente economiche, ma anche, come testimoniato da Edoardo Tibuzzi, alle competenze necessarie per affrontare l'ampiezza dei temi progettuali: uno studio più grande è in grado di accogliere specialità che uno studio di piccola dimensione non potrà facilmente mettere in gioco, ed è quindi strutturato secondo un'organizzazione che è sempre più vicina a quella delle grandi multinazionali commerciali. Osserviamo inoltre, come nonostante la narrazione dell'architettura, sia tuttora ancorata alla figura del singolo progettista, il cui genio è in grado di affrontare ogni vicissitudine professionale, dalla relazione con la committenza, alla gestione imprenditoriale dell'azienda, oggi gli studi sono sempre più spesso pratiche corali, organizzate secondo gerarchie e ruoli definiti, che rispecchiano i profili e le competenze dei singoli membri del gruppo, dalla progettazione architettonica, alla programmazione informatica, sino all'amministrazione economica, la comunicazione e il marketing, competenze che sempre di più influiscono sul successo dell'azienda. Questo ci porta ad un ulteriore

3.2 DESIGN PROCESS AND ROLES IN CONTEMPORARY PRACTICES

To read the design process evolution within contemporary architectural practices, it is necessary to emphasise the very fragmented world of architectural firms, on the different organisation and internal hierarchies of the studios: factors that inevitably have an important influence on how the design process is faced and conducted by the designers, who over the years have organised themselves to tackle the architecture market. It is easy to observe how the landscape of architectural firms has developed and diversified over the last 30 years, transforming itself into an ecosystem populated by different firms in terms of the number of employees, but also in terms of projects scales and internal skills. While it is still possible to find studios formed by a few architects, the so-called micro-studios more widespread in minor contexts, when we talk about large-scale architectural projects, where the complexity of contemporary architecture is faced by specific professionals with digital skill (Deutsch, 2019), we are probably talking about projects carried out by macro-studios: groups divided into hundreds or even thousands of different professionals, often scattered in various offices all over the world. We can get a fairly clear idea of the size of these practices by visiting LinkedIn, the leader among professional social networks, where these professional practices manage official profiles connected to each employee registered on the platform. These offices are global professional practices, which have grown over the years, opening satellite offices in countries where the market allows the acquisition of more and better orders, such as the Foster and Partners studio (2020), based not only in London but also in other thirteen capitals of the world, where over 1500 employees work for the company. A condition similar to that of many other protagonists of the contemporary architectural profession, such as Zaha Hadid Architects, which currently has just over 500 employees, or Gensler, a real multinational of architecture with over 6000 employees distributed in 48 offices on all continents except Africa (Gensler, 2020).

The growth in size of these practices is mainly because of economic issues, but also, as witnessed by Edoardo Tibuzzi, to the skills necessary to address the complexity of contemporary architectural design: a larger studio can accommodate specialities that a smaller group cannot easily put into play, and is therefore structured according to an organisation that is ever closer to that of large commercial multinationals. Despite the architectural narrative is still anchored to the figure of the individual architect, whose genius can face every professional vicissitude, from the relationship with the client to the entrepreneurial management of the company: today the architectural practices are choral entities, organised according to hierarchies and defined roles, which reflect the profiles and skills of the individual members of the group.

There are a lot of skills that affect the success of a professional firm, starting from architectural design, to computer programming, up to economic administration, communication and marketing. This leads to a further consideration: if in the past architectural firms were bound to the figure of their founder, so much so that often the departure or the choice to retire of the main designer marked the end of the

considerazione: se in passato lo studio di architettura era vincolato alla figura del suo fondatore, tanto che spesso la dipartita, o la scelta di ritirarsi del progettista principale segnava la conclusione dell'attività professionale per tutto lo studio, oggi, sempre più spesso non è così. Guardiamo ad esempio lo studio Zaha Hadid Architects, che nonostante la prematura scomparsa della fondatrice nel 2016, ha scelto di mantenere il nome e quindi conservare la reputazione raggiunta dal marchio Zaha Hadid. Ciò sta ugualmente avvenendo all'interno di alcuni studi globali, come OMA, Office for Metropolitan Architecture, dove Rem Koolhaas ha già ceduto il ruolo di progettista principale ad altri partner, ma anche in gruppi più giovani, come quello di Bjarke Ingels, *enfant terrible* dell'architettura contemporanea, che dal 2009 ha affidato la gestione economica dello studio ad una CEO, *Chief Executive Officer*, responsabile della crescita esponenziale dello studio (Labarre, 2019), dichiarando come questo gli permettesse di concentrarsi sulla pratica progettuale.

Osserviamo quanto il rapporto con l'innovazione tecnologica abbia contribuito ad una diversa strutturazione interna degli studi, che nell'arco di anni si sono arricchiti di gruppi di specialisti, organizzati in unità dove vengono concentrate competenze specifiche, e in particolare di tipo informatico. Gruppi come lo Specialist Modelling Group, fondato alla fine degli anni novanta all'interno dello studio Foster and Partners, e formato da esperti della modellazione digitale per l'architettura (Peters, 2018), o BIG Ideas, *think tank* dello studio Bjarke Ingels Group, specializzato in simulazione e concept design, ma anche UNsense, fondato da Ben Van Berkel di UNstudio per favorire l'innovazione digitale in architettura, o CODE, il gruppo di specialisti di programmazione e architettura parametrica di Zaha Hadid Architects. Il ruolo dichiarato di questi gruppi all'interno dello studio è quindi innanzitutto quello di fare ricerca sull'integrazione di tecnologie innovative all'interno del processo, scandagliando tra le molteplici innovazioni tecnologiche, per trovarne applicazione al progetto di architettura, svolgendo quindi non solo attività di ricerca, ma operando all'interno dell'iter progettuale sin dalle prime fasi, durante le quali l'apporto di metodi digitali, e in particolare delle simulazioni fisiche, contribuiscono alla definizione della forma architettonica sin dalla produzione di *concept* architettonici.

Ora come in passato nel descrivere un tipico iter progettuale è opportuno partire dai desideri della committenza, e quindi dal *brief* di progetto, raccolto in occasione dei primi incontri con il cliente, insieme ad alcuni dati sul sito di costruzione. L'attività progettuale trova quindi il suo inizio in un'attenta analisi delle necessità e negli obiettivi della committenza, che vengono messi in discussione e tradotti in termini architettonici con un approccio critico da parte dei progettisti, responsabili di indagare le possibilità e i limiti dei temi in relazione ai contesti. Questo primo momento è segnato da un'ampia esplorazione: un processo arricchito di considerazioni e suggestioni, portate avanti anche tramite attività di *brain-storming*. Come testimoniato da Pablo Zamorano, che parlando del suo studio, racconta come la prassi interna preveda la realizzazione di *post-it sessions*, momenti di confronto in cui un gruppo di progettisti incaricati, partecipa, prima nel riconoscere tutti gli aspetti utili a definire il tema nei suoi aspetti caratteristici, e poi nel proporre soluzioni che gradualmente

professional activity for the entire studio, today, on larger scales, this is not happening anymore. Let's look at Zaha Hadid Architects, which, despite the untimely death of the founder in 2016, kept the name and thus the reputation achieved by the Zaha Hadid brand. This is also happening within some global studios, such as OMA, Office for Metropolitan Architecture, where Rem Koolhaas has already handed over the role of the main designer to other partners, but also in younger groups, such as that of Bjarke Ingels, enfant terrible of contemporary architecture, who since 2009 has entrusted the economic management of the studio to a CEO, Chief Executive Officer, responsible for the exponential growth of the studio (Labarre, 2019), declaring how this allowed him to focus on design practice.

The relationship with technological innovation has also contributed to a different internal structuring of the offices, which over the years have been enriched with groups of specialists, organised in units where specific skills, especially IT, are concentrated. Groups such as the Specialist Modelling Group, founded in the late nineties within Foster and partners, and made up of experts in digital modelling for architecture (Peters, 2018), or BIG ideas, think tank of the Bjarke Ingels Group studio specialised in simulation and concept design, but also UNsense, founded by Ben van Berkel of UNstudio to foster digital innovation in architecture, or CODE, the group of programming and parametric architecture specialists of Zaha Hadid Architects. The declared role of these groups within the studio is to research the integration of innovative technologies within the practices, probing among the many technological innovations, to find their application to the architectural project, thus carrying out not only research activities, but operating within the design process from the earliest stages, during which the contribution of digital methods, and in particular of physical simulations, contribute to the definition of the architectural form since the definition of architectural concepts.

Now, as in the past, when describing a typical design process, it is appropriate to start from the client desires, and therefore from the project brief, collected during the first meetings together with data on the construction site. The architectural design activity finds therefore its beginning in a careful analysis of the client's needs and objectives, questioned and translated into architectural terms with a critical approach by the architects, responsible for investigating the possibilities and limits of the desires, in relation to contexts. This first moment is marked by a broad exploration: a process enriched with considerations and suggestions also carried out through brainstorming activities. As witnessed by Pablo Zamorano, who, talking about his office, tells how the internal practice foresees the realisation of post-it sessions, moments of comparison in which a group of appointed designers takes part, first in recognising all the useful aspects to define the theme in its characteristic aspects, and then in proposing solutions that gradually become formalised in the project until its construction. The new potential of digital tools influences architecture from the very beginning of the design process, allowing from the very first moments a different deepening of design problems. If, as traditionally happens, the architects move by investigating contexts on different scales, from the territorial to the architectural one, the project is now

si formalizzano nel progetto sino alla sua costruzione. Le potenzialità del digitale influenzano l'architettura sin dall'inizio dell'iter progettuale, permettendo sin dai primi istanti un diverso approfondimento dei temi progettuali: se come tradizionalmente avviene, i progettisti si muovono indagando i contesti su scale diverse, da quella territoriale a quella architettonica, il progetto viene oggi sviluppato tenendo conto di nuove metriche. Nel definire gli aspetti principali su cui gli architetti contemporanei si focalizzano sin dall'inizio del progetto fino alla sua conclusione, è possibile citare dieci punti, che sono diventati uno standard interno allo studio Foster and Partners (2019): benessere, impatto sulle comunità, energia e emissioni, acqua, risorse, mobilità, ecologia, equità sociale, previsione per il cambiamento e feedback. Temi che i progettisti dello studio indagano tramite strumenti digitali, e che richiedono quindi, non soltanto un'approfondita comprensione, ma anche la conoscenza di saperi specifici, sino ad ora esterni alla nostra disciplina e di linguaggi informatici tramite cui gli specialisti gestiscono i dati.

La definizione di nuove metriche secondo cui sviluppare il progetto d'architettura e quindi analizzarne la performance coincide con un importante tema per il progetto di architettura contemporaneo, quello dei dati, che nell'arco degli ultimi anni sono diventati un'importante risorsa di cui il progetto si nutre sin dai primissimi momenti, informazioni che sono innanzitutto di tipo ambientale, ma che possono comprendere, al variare della specificità progettuale, il traffico automobilistico, il contesto economico, idrico, energetico, in una varietà che si sta arricchendo con un andamento esponenziale. Dati simulati o raccolti indipendentemente tramite l'ausilio di strumentazioni digitali, come nel caso del rilievo diretto tramite scansione 3D, ma anche, e sempre più spesso provengono da gruppi e istituzioni che li mettono a disposizione di chiunque ne voglia fare uso. Come osserva Edoardo Tibuzzi, ciò che sta cambiando è il modo in cui questi dati fanno il loro ingresso all'interno della pratica progettuale, se in passato reperire dati implicava da parte del progettista un'operazione di traduzione e organizzazione di informazioni, rese disponibili usualmente in formato PDF, oggi sempre più spesso queste collezioni di dati pervengono al progetto in formati più adatti alla gestione e all'analisi tramite strumenti digitali, organizzati secondo strutture che lentamente si stanno muovendo verso la standardizzazione. Il progettista cita ad esempio l'azione svolta dalle istituzioni governative Londinesi, che nell'arco di anni, stanno definendo un vero e proprio gemello digitale dell'ambiente costruito, utile ai governi e quindi ai progettisti per fare scelte previsionali sulla base di informazioni certe. Un modello che si sta sempre di più arricchendo di informazioni raccolte in tempo reale, come nel caso della metropolitana di Londra, che dal 2016, figura 3.2.1, ha iniziato a utilizzare le connessioni *wi-fi* di cui la rete di trasporto è costellata, per raccogliere informazioni anonime sui singoli spostamenti degli utenti e l'effettivo utilizzo della complessa infrastruttura nei diversi orari della giornata: informazioni che per la complessità e la ricchezza dei fenomeni sarebbe impossibile raccogliere tramite metodi non digitali, e che solo oggi è possibile ottenere con incredibile accuratezza grazie alla onnipresenza degli *smartphone* nelle nostre vite (Transport for London, 2016). L'introduzione di nuovi dati all'interno del progetto, che rappresentano nuove premesse e punti di snodo per la definizione dell'architettura

Figura 3.2.1: Un grafico che mostra i diversi livelli di affollamento della stazione metropolitana di Euston ottenuta grazie alla raccolta dati. (Transport for London, 2016)

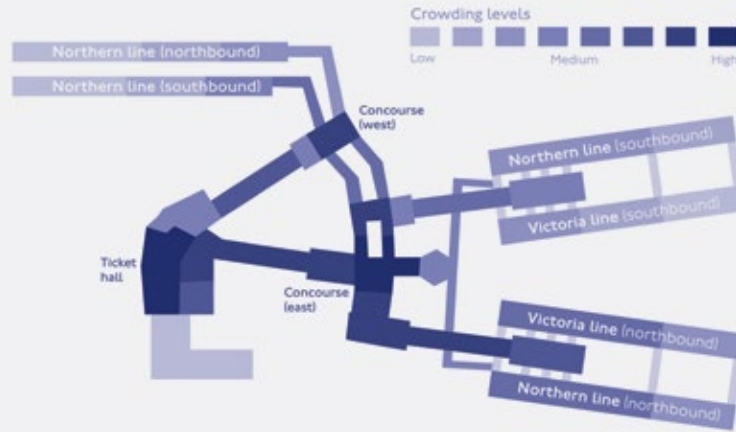


Figure 3.2.1: A graph showing the different crowding levels of Euston station obtained thanks to the data collection. (Transport for London, 2016)

being developed considering new metrics. In defining the main aspects on which contemporary architects focus since the beginning of the project to its conclusion, it is possible to mention ten points, which have become an internal standard of Foster and partners (2019): well-being, impact on communities, energy and emissions, water, resources, mobility, ecology, social equity, forecast for change and feedback. Points that the architects investigate through digital tools and therefore require not only a thorough understanding but also knowledge of specific fields external to our discipline and literacy in programming languages through which the specialists manage the data.

The definition of new metrics according to which to develop the architectural project, and therefore analyse its performance, coincides with an important topic for the contemporary architectural design, that of data, which over the last few years have become an important resource that nourishes the project since the very beginning: information that is primarily environmental, but which may include, as the specificity of the project varies, car traffic, economic values, water, energy context, in a variety that is being enriched with an exponential trend. Data can result from simulations or can be collected independently through the aid of digital instruments, as with 3D scanning, but also, and increasingly often, can come from groups and institutions that make them available to anyone who wants to use them. As Edoardo Tibuzzi observes, what is changing is how these data enter the design practice, if in the past, finding data implied by the designer an operation of translation and organisation of information usually made available in PDF format, today more and more often these data collections come to architects in more suitable formats for direct management and analysis through digital tools, organised according to structures that are slowly moving towards standardisation. The architect cites, for example, the activity carried out by the London government institutions, which over the years have been defining a real digital twin of the built environment, useful for governments and therefore for designers to make forecast choices based on certain information. A model that is becoming more and more enriched with information collected in real-time, as in the case of the London underground, which since 2016 has used wi-fi connections of which the transport network is endowed, figure 3.2.1, to collect anonymous

ci pone quindi nuovi interrogativi, se da un lato questi dati come abbiamo già detto, provengono da discipline diverse dall'architettura, come la fisica o la statistica, come è possibile essere certi della loro validità? Tibuzzi risponde dichiarando, come altri intervistati, la necessità da parte dei progettisti di acquisire una nuova comprensione di questi diversi ambiti, utile almeno nell'interpretare la correttezza dei dati, e si spinge nel dichiarare la necessità di una gestione dei dati che diventi sempre più collettiva, e unisca, non soltanto gli studi professionali di architettura, ma anche istituzioni, committenti e costruttori, fino a convogliare nella creazione in organismi di validazione, che in un futuro sempre più prossimo potrebbero occuparsi di costruire un database collettivo, contenente dati certificati, immediatamente utili ai progettisti.

I dati informatici hanno quindi acquisito un importante ruolo all'interno del progetto, dove vengono utilizzati sin dai primi momenti per la definizione di ipotesi progettuali, di cui i dati diventano parametri, così, ciò che usualmente avviene durante l'iter architettonico, è la produzione di varianti specifiche, che inizialmente tengono conto di singoli problemi di progetto, dalla gestione dei flussi in relazione dei contesti urbani, sino alle performance energetiche, ma anche acustiche: varianti che sin dal primo momento non vengono prodotte da un singolo progettista, ma da specialisti, architetti con competenze puntuali che hanno ampia esperienza e consapevolezza dei diversi aspetti da tenere in considerazione durante il processo di formazione del progetto, e operano simulando i contesti fisici dell'architettura tramite avanzati strumenti digitali. L'attività di progettazione sfocia quindi in un dialogo, un confronto dialettico tra le diverse opzioni sviluppate, ottimizzate per singoli aspetti performativi del progetto, e che mostrano immediatamente incongruenze e conflitti. La risoluzione di questi conflitti avviene tramite frequenti momenti di confronto interno, in cui i gruppi si riuniscono per revisionare l'efficacia delle diverse ipotesi, misurando i valori di cui queste elaborazioni progettuali si fanno portatrici, e definendo a partire da queste, nuove soluzioni, che mirano ad integrare sempre più aspetti tra loro, variando la forma dei modelli e misurandone l'efficacia, simulazione dopo simulazione, sino ad ottenere una nuova forma architettonica, vero e proprio compromesso tra le diverse ipotesi di cui il processo progettuale si è arricchito. Osserviamo qui alcune importanti differenze tra gli approcci progettuali adottati da diversi studi, è possibile affermare infatti come la capacità di indagare le molteplici complessità progettuali sia direttamente proporzionale alla dimensione delle pratiche professionali, e quindi al variare delle competenze specifiche che gli studi riescono ad accogliere e quindi impiegare nella definizione delle architetture. Il variare di queste competenze è comunque tale, che, come osserva Zamorano insieme ad altri intervistati, queste possono comunque essere acquisite in fase di progetto, o demandate a consulenti esterni, specialisti a cui i progettisti si rivolgono per essere sicuri di esplorare le nuove complessità architettoniche. Questo anche grazie a partner, con cui i progettisti instaurano un dialogo nella definizione della forma architettonica e i cui contributi raccolgono durante diversi momenti del progetto. L'intervistato cita ad esempio Space Syntax, uno studio di ricercatori specialisti nell'analisi di dati per l'architettura nato in seno alla UCL di Londra (Hillier et al., 1976), che in occasione del progetto di Coal Drop Yards ha collaborato con lo studio Heatherwick, sviluppando studi e simulazioni sulla

information on individual movements of users and the effective use of the complex infrastructure at different times of the day: information that, because of the complexity and richness of the phenomena, would be impossible to collect using non-digital methods, and that today can be obtained with incredible accuracy thanks to the omnipresence of smartphone in our lives (Transport For London, 2016). Introducing new data within the project, which represent new premises and pivot points for the definition of architecture, raises additional questions: if on the one hand, these data come from disciplines like physics or statistics, how can we be sure of their validity? Tibuzzi responds by declaring, like other interviewees, the need by the designers to gain a new understanding of these different areas, a knowledge useful at least in interpreting the correctness of the data, besides it he sees the need for collective data management which should connect professional architectural firms, institutions, clients and builders, conveying in creating validation bodies, which in an increasingly near future could be involved in managing a collective database, containing certified data, immediately useful to designers.

Data have therefore gained an important role within the architectural project, where they are exploited from the very beginning of the design process. What usually happens during the architectural design process is the production of specific design hypothesis, which initially consider a particular problem, from the management of flows to urban contexts, up to energy performance, but also acoustics. All these hypotheses are not produced by a single architect, but by groups of specialists, architects with specific skills, who have extensive experience and awareness of the different aspects to be taken into consideration during the project formation process, and that usually work by simulating the physical contexts of architecture using advanced digital tools. The design activity, therefore, leads to a dialogue, a dialectical comparison between the different options developed, optimised for single performative aspects of the project, and which immediately show inconsistencies and conflicts. The resolution of these conflicts takes place through frequent moments of internal confrontation, in which the groups meet to review the effectiveness of different hypotheses, measuring results, and defining new solutions from these: integrating more and more aspects, varying the shape of the models and measuring their effectiveness, simulation after simulation until a new architectural form is obtained: a real compromise between several parameters which enrich the design process. Here we observe some important differences between the design approaches adopted by different practices: it is possible to affirm how the ability to investigate multiple design complexities is directly proportional to the size of professional practices, and therefore to the variation of the specific skills that the studies can accommodate and therefore to use in the definition of architectures. However, the variation of these skills is such that, as Zamorano observes together with other interviewees, architects can still gain them during the design phase, or delegate them to external consultants: specialists to whom the architects turn, to be sure to explore the new architectural complexities coherently.

These are often researchers who have developed awareness and methods over the years, partners with whom the architects establish a dialogue in the definition of the

funzionalità degli spazi: simulando il comportamento umano e quindi la circolazione all'interno delle architetture, arricchendo la comprensione dei temi da parte degli architetti, che in base alle nuove informazioni sono stati in grado di direzionare il progetto di architettura verso un'ulteriore efficacia, impossibile da approfondire senza la creazione di dati specifici e la simulazione virtuale degli ambienti

Un ulteriore differenza è osservabile nel rapporto tra progetto di architettura e ricerca formale: se in alcuni studi la volontà espressiva del progetto trova spazio all'interno in un secondo momento, secondo direzioni già fissate da un ampio approfondimento scientifico dei temi, in un orientamento che si avvicina incredibilmente ai principi dell'architettura parametrica inventati e promossi da Luigi Moretti, in altre pratiche professionali, nonostante la ormai onnipresente possibilità di simulazioni fisiche, i progettisti considerano gli aspetti formali e comunicativi anche precedentemente alle analisi e alle simulazioni performative, come testimoniato anche da Steven Chilton all'interno delle interviste. Anche in questo caso è cambiato il metodo con cui le forme vengono definite, come è possibile leggere nell'intervista di Arthur Mamou-Mani, che nel parlare dell'iter progettuale interno al suo studio, descrive un processo di definizione di regole, che gli architetti seguono con l'intenzione di definire l'architettura nel suo codice genetico, un algoritmo matematico, vera e propria ricetta della forma architettonica, che al cambiamento dei parametri si anima in variabili potenzialmente infinite. Esempio perfetto in questo senso è il Galaxia temple, figura 3.2.2, realizzato dallo studio dell'intervistato in occasione del festival Burning Man del 2018: un padiglione ligneo dalla caratteristica forma a spirale, figura 3.2.3, composto da venti sezioni di capriate, che si avvolgono a formare un unico ambiente centrale, generando organicamente una torre lignea, elemento centrale intorno a cui ruota tutta la manifestazione (Howarth, 2018).

Architetture come questa, denunciano immediatamente nella loro forma la logica e il processo che ha portato alla loro complessa definizione algoritmica, e ci portano ad un'ulteriore osservazione: se da un lato è vero che i processi parametrici stanno dimostrando grande capacità, sia nell'assimilare dati e metodi esterni, che nel definire forme efficaci e di sicura presa comunicativa, è anche vero che nell'atto di tradurre il pensiero progettuale in algoritmi, si utilizzano strumenti che nonostante la grande libertà permessa appesantiscono il pensiero con strutture che non sono puramente intellettuali, ma frutto di metodi informatici, quindi strettamente vincolate alle regole che descrivono le forme all'interno delle dimensioni digitali dei *software*. Cito ad esempio un'operazione compositiva come l'interpolazione di forme lineari, azione frequentemente realizzata nella composizione di alcune architetture contemporanee, e attuabile analogicamente tramite la definizione logica di un processo che prevede la misurazione delle distanze tra le curve, e la conseguente costruzione per punti delle nuove curve. Processo che può essere replicato oggi digitalmente tramite applicativi parametrici come Grasshopper 3D, il VPL più diffuso nella progettazione parametrica contemporanea, che annulla il tempo necessario alla costruzione delle forme interpolate e permette una variazione istantanea al variare dei parametri.

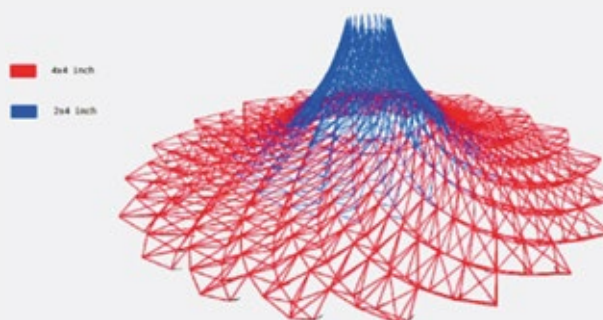


Figura 3.2.2:
Un'immagine del Burning Man Galaxia temple del 2018, progettato dallo studio Mamou-Mani come padiglione centrale del festival. (foto Mamou-Mani)

Figure 3.2.3: Il modello digitale risultato del processo di ottimizzazione costruttiva e strutturale condotto dallo studio. (foto Mamou-Mani)

Figure 3.2.2: An image of the 2018 Burning Man Galaxia temple, designed by Mamou-Mani as the central pavilion of the festival. (photo Mamou-Mani)

Figure 3.2.3: The digital model result of the constructive and structural optimization process conducted. (image Mamou-Mani)



architectural form, and whose contributions they collect during distinct moments of the project. The interviewee cites for example Space Syntax, a group of researchers specialised in data analysis for architecture born within the UCL in London (Hillier et al., 1976), group which on the occasion of the Coal Drop Yards project collaborated with studio Heatherwick, developing analysis and simulations on hierarchy and functionality of spaces, simulating human behaviour and therefore the circulation within the architecture, enriching the understanding of architects, who based on the new information could direct the architectural project towards further effectiveness, impossible to deepen without the creation of specific data and virtual simulation of the environments.

A further difference can be observed in the relationship between architectural design and formal research: if in some practices the expressive will find its space in a later phase, according to directions already established by a broad scientific study of quantifiable themes in an orientation incredibly close to the principles of parametric architecture invented and promoted by Luigi Moretti, in other professional practices, despite the now omnipresent possibility of physical simulations, the architects consider formal and communicative aspects even before analyses and performative simulations, as also testified by Steven Chilton in the interviews. What also in these cases changed, is the method with which the forms are defined, as it is possible to read in the interview by Arthur Mamou-Mani, who, talking about the design process inside his studio, describes a process of gradual rules definition, followed to determine architecture in its genetic code: a mathematical algorithm, a recipe for architectural form, which comes to life in potentially infinite variables when parameters change. A perfect example in this sense is the Galaxia temple, figure 3.2.2, created by the interviewee's studio on the occasion of the 2018 Burning Man festival: a wooden pavilion with a characteristic spiral shape, figure 3.2.3, composed of twenty sections of trusses, which wind together to form a single central environment, organically generating a wooden tower, the central element around which the whole event revolves (Howarth, 2018).

Architectures like this, immediately denounce in their form the logic and the process that led to their complex algorithmic definition, and lead us to a further observation:

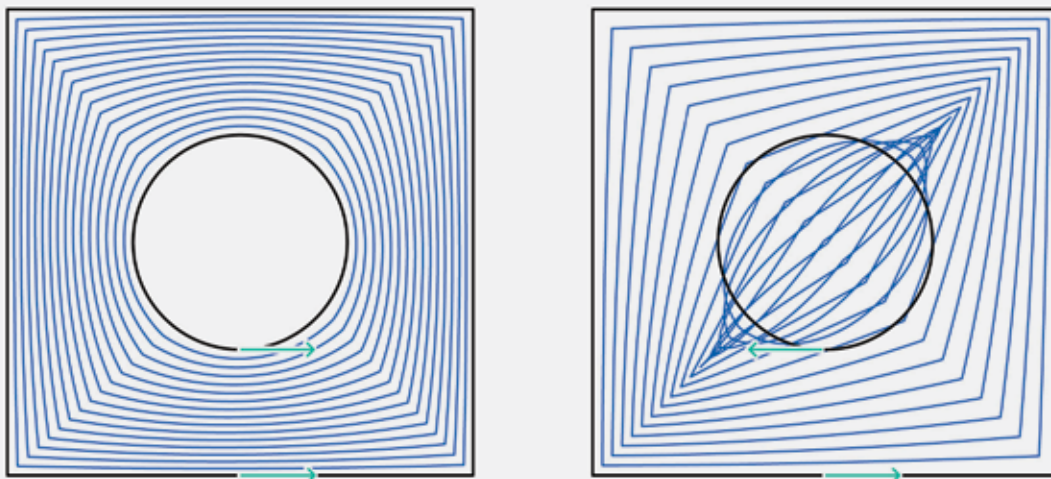


Figura 3.2.4: L'operazione di interpolazione di forme porta a risultati diversi al variare dell'orientamento delle curve (in verde). (Giuseppe Gallo)

Figure 3.2.4: The interpolation of shapes leads to different results as the orientation of the curves varies (in green). (Giuseppe Gallo)

Immaginando di voler interpolare due figure concentriche, come una circonferenza e un quadrato secondo il processo logico già descritto, otterremo una serie di curve intermedie, che gradualmente partendo dal cerchio si irrigidiscono formando degli spigoli, spigoli che diventano sempre più evidenti in prossimità del quadrato. Posto in questi termini, il problema prevede un'unica possibile famiglia di soluzioni, questo è vero secondo la logica geometrica, ma non all'interno del programma informatico, perché se dal punto di vista puramente geometrico è possibile definire la circonferenza quale luogo dei punti che hanno la stessa distanza dal centro, quindi come un'entità che non ha inizio né fine, questa condizione non è riscontrabile all'interno del programma, dove anche la circonferenza viene descritta tramite una curva che non solo ha un inizio e una fine, ma anche un verso. Una sostanziale e banale differenza che influenza il risultato, così che, se le due curve che vogliamo interpolare corrispondono nei punti di inizio e nel verso, avremo il risultato che a rigore di logica ci aspettiamo, al contrario, se questa condizione non si verifica, otterremo interpolazioni che non corrispondono al nostro intento, e che seguono un formarsi imposto da condizioni puramente informatiche, sovrastrutture peculiari dei metodi propri dell'applicativo digitale, figura 3.2.4.

È necessario quindi parlare di un tema da sempre centrale nella progettazione architettonica, quello del disegno, pratica che gli architetti hanno da sempre adottato come supporto immaginativo, attraverso la quale si è tradizionalmente espletato il dialogo fra la mente e la mano del progettista, nella ricerca, ricca di conflitti e svolte, che porta alla definizione del progetto di architettura. Oggi, in un momento di maturità nel rapporto tra digitale e architettura, è evidente come il ruolo del disegno all'interno della pratica progettuale sia in messo in discussione da strumenti che i progettisti adoperano per gli obiettivi vantaggi offerti in termine di precisione, velocità, e integrazione di processi computazionali. È comunque possibile affermare come il disegno mantenga un importante ruolo all'interno dell'iter progettuale, perché se da un lato è vero, come affermano tutti i progettisti, che anche in termini collaborativi, le nuove pratiche digitali facilitano il dialogo tra progettisti e lo amplificano verso

if on the one hand, parametric processes are showing great capacity, both in assimilating external data and methods, and in defining effective and secure forms of communication, translating design thinking into algorithms, on the other hand tools weigh down the architects' thought with structures that are not purely intellectual, but the result of computer methods, therefore strictly bound to the rules that describe the forms within the digital dimensions of the software. I cite for example a compositional operation such as the interpolation of linear forms, an action frequently carried out in the composition of some contemporary architectures, and which can be implemented analogically through the logical definition of a process that involves the measurement of the distances between the curves and a consequent construction of the new curves by points. A process that can now be digitally replicated using parametric software such as Grasshopper 3D, the most popular VPL in contemporary parametric design, shortening the time required for the construction of the interpolated shapes and also allowing instant variation as the parameters change.

Imagining we want to interpolate two concentric figures, such as a circumference and a square according to the logical process already described, we will get a series of intermediate curves, which gradually starting from the circle stiffen forming edges: edges that become more and more clear near the square. Put in these terms, the problem foresees a single possible family of solutions. This is true according to geometric logic, but not within the software, because if from a purely geometric point of view it is possible to define the circumference as the locus of the points that have the same distance from the centre, so as an entity that has no beginning and no end, this condition is not found within the software, where the circumference is also described by a curve that has, not only a beginning and an end, but even a verse. A substantial and banal difference that influences the result, so that, if the two curves we want to interpolate correspond in the starting points and the direction, we will have the result that logically we expect, on the contrary, if this condition does not occur, we will get interpolations that do not correspond to our intent, and that follow a formation imposed by purely informatics conditions, peculiar superstructures of the digital methods of software, figure 3.2.4.

It is, therefore, necessary to talk about a theme that has always been central to architectural design, that of drawing, a practice that architects have always adopted as imaginative support, through which we traditionally carry out a dialogue between mind and hand, in a research full of conflicts and turning points, which leads to the definition of the architectural project. Today, in a moment of maturity in the relationship between digital and architecture, it is clear how the role of drawing within the design practice is challenged by tools that designers use for the objective advantages offered in terms of precision, speed, and integration of computational processes. However, it is possible to affirm how hand drawing maintains an important role within the architectural design process, because if on the one hand, it is true, as all designers affirm, that even in collaborative terms, the new digital practices facilitate the dialogue between designers and amplify towards dimensions capable of integrating the renewed design complexity, drawing, and in particular the freehand one, is constantly used within architectural firms.

dimensioni capaci di integrare la rinnovata complessità progettuale, il disegno, e in particolare quello a mano libera, viene costantemente utilizzato all'interno degli studi di architettura. Lo sostiene tra gli altri Xavier de Kestelier, che rivendica il disegno come pratica fondante del progetto di architettura, necessario sin dai primi momenti e durante tutto l'iter progettuale per una prima materializzazione del pensiero di ogni progettista, per il confronto con le ipotesi portate avanti tramite modelli digitali, che possono comunque essere stampati e approfonditi tramite la pratica dello schizzo a mano libera. Il disegno, afferma l'intervistato, non verrà mai meno all'interno del progetto di architettura, perché è la dimensione più naturale per qualsiasi progettista: disegnare è il modo in cui gli architetti comunicano, come il parlare lo è per chiunque altro. Della stessa idea è Harry Ibbs, che conferma quanto, nonostante la pratica architettonica imponga oramai l'utilizzo di modelli digitali anche nelle fasi iniziali del progetto, il disegno resta lo strumento tramite cui l'architetto è in grado di tradurre con maggiore immediatezza il suo pensiero in ipotesi progettuali, ipotesi che gli strumenti digitali acquisiscono rigore, ma che grazie al disegno a mano libera si arricchiscono di suggestioni e significati veicolati dalla mente dell'architetto tramite la sua manualità. Anche Andreas Klok Pedersen rivendica l'importanza del disegno, definendola una pratica necessaria all'interno degli studi di architettura contemporanea, dove quotidianamente i progettisti stampano file CAD durante tutto l'iter progettuale, e quindi disegnano su carta per potersi confrontare manualmente con il progetto, cosa attualmente impossibile tramite mezzi digitali. L'intervistato sostiene inoltre che non si debba guardare a queste nuove tecnologie quali sostituti delle precedenti, ma come livelli paralleli attraverso cui si oggi sviluppa il progetto di architettura, procedendo anche attraverso percorsi digitali, ma conservando al contempo la necessità di operare su forme e significati architettonici tramite momenti di disegno a mano libera, necessaria occasione di arricchimento per il progetto.

Di indubbia influenza sull'iter progettuale contemporaneo è sicuramente il BIM, che abbiamo già definito non soltanto come modello digitale arricchito di dati, ma anche come un diverso processo, che coinvolge tutti i membri dello studio, comprendendo anche attori esterni allo studio d'architettura. Questa caratteristica del BIM è diventata di centrale importanza in un processo architettonico che oggi può vedere i contributi di molteplici professionalità e competenze, non solo architetti, ma paesaggisti, costruttori, ingegneri, artigiani, impiantisti, designer, artisti ed esperti di ogni tipo, che attraverso gli ambienti BIM possono interagire all'interno del progetto, lavorando contemporaneamente su aspetti diversi del modello architettonico. Così, il progetto di architettura contemporaneo, qualsiasi siano gli strumenti, digitali e non, utilizzati dai progettisti nella sua redazione, convoglia a un certo punto nel BIM. A prescindere dalle enormi potenzialità collaborative del BIM inteso come processo, gli applicativi BIM permettono la creazione di un modello di enorme dettaglio e complessità, che è idealmente capace di custodire dati specifici su ogni aspetto tecnologico dell'architettura, permettendo un'analisi istantanea dell'architettura in fase di definizione, conservando informazioni sullo stato di fatto precedente alla relazione del manufatto architettonico, ma anche su costruzione, funzionamento e manutenzione delle architetture. Osserviamo inoltre, guardando alla pratica progettuale

This is supported by Xavier de Kestelier, who claims drawing as the founding practice of the architectural project, necessary from the very beginning and throughout the design process for a first materialisation of the thought of each architect, for the comparison with the hypotheses brought forward through digital models, which can still be printed and deepened through the practice of freehand sketching. Drawing, says the interviewee, will never fail within the architectural project because it is the most natural dimension for any designer: drawing is how architects communicate, as speaking is for anyone else. Harry Ibbes shares the same idea, confirming how much, despite architectural practice now requires the use of digital models even in the initial stages of the project, drawing remains the mean through which the architect can translate his thinking in design hypotheses, hypotheses that with digital tools gain rigour, but that thanks to freehand drawing are enrichable with suggestions and meanings conveyed by the architect's mind through his manual skills. Andreas Klok Pedersen also claims the importance of drawing, defining it as a necessary exercise within contemporary architecture studios, where designers print CAD files every day throughout the design process and then draw on paper to compare them manually, a thing which is currently impossible through digital means. The interviewee also argues that we should not look at these new technologies as substitutes for the previous ones, but as parallel levels through which the architectural project is developed today, also proceeding through digital paths, but preserving the need to work on forms and architectural meanings through moments of freehand drawing, a necessary opportunity for enrichment.

BIM is undoubtedly influencing the contemporary design process: a paradigm which we have already defined not only as a digital model enriched with data but also as a different process, which involves all the members of the practices, including external actors. This characteristic of BIM has become of central importance in an architectural process that today can see the contributions of multiple professionals and skills, not only architects but landscape architects, builders, engineers, industrial designers, artists and experts of all kinds, who through BIM environments can interact within the project, working simultaneously on different aspects of the architectural hypothesis. Thus, the contemporary architectural project, whatever the tools, digital or otherwise, used by the designers in its drafting, convey at a certain point in BIM. Apart from this great collaborative potential of BIM processes, this kind of software allows creating a model of enormous detail and complexity, which can ideally store specific data on every technological aspect of the architecture, allowing an ideal instant analysis of the architecture under development, preserving information on the state of the building site before the project, but also on about construction, operation and maintenance of the building.

We also observe, looking at contemporary design practice, how the diffusion of BIM models has further changed the relationship between technical drawing and project, if in fact with the first CAD software architects first translated the two-dimensional technical drawing on digital conditions, where they have conquered in a second moment the third dimension, today BIM models allow, after a conscious definition

contemporanea, come la diffusione dei modelli BIM abbia ulteriormente cambiato il rapporto tra disegno tecnico e progetto, se infatti con i primi applicativi CAD i progettisti hanno dapprima traslato il disegno tecnico bidimensionale sulle dimensioni digitali, dove hanno conquistato in un secondo momento la terza dimensione, in veri e propri modelli digitali da cui estrapolare gli elaborati necessari alla produzione del progetto, oggi i modelli BIM permettono, previa una consapevole definizione del modello, la produzione di disegni tecnici e documenti secondo procedure automatizzate, annullando la necessità di disegnare non solo piante prospetti e sezioni, ma anche approfondimenti costruttivi che sono ricavati in pochi click grazie alla esatta definizione delle famiglie parametriche delle singole parti tecnologiche che costituiscono l'organismo architettonico. Parlando dei modelli BIM, Edoardo Tibuzzi, come altri intervistati, dichiara la evidente utilità rappresentata dalla possibilità di interrogare un modello dettagliato e coerente del manufatto architettonico durante il suo intero ciclo di vita, motivo per cui il modello BIM sta velocemente diventando il principale elaborato richiesto dalla committenza pubblica e privata. Questa può diventare un'ulteriore svolta per gli studi di architettura, che accumulando esperienza e quindi modelli BIM, potranno in qualsiasi momento arricchire la loro collezione di architetture di informazioni sull'effettiva performance dell'edificio e utilizzo da parte dell'utenza, procedendo quindi con maggiore consapevolezza nella progettazione di nuove architetture.

L'utilizzo di programmi BIM in architettura ha un ulteriore influenza sulla diversificazione dei ruoli all'interno degli studi, che hanno iniziato a formare e acquisire personale con competenze BIM. Tecnici, che come conferma Pablo Zamorano, hanno un'ampia comprensione delle metodologie da approntare per la costruzione dei modelli BIM e la corretta documentazione del progetto di architettura, ma che almeno in questo momento, sono spesso persone diverse rispetto a quelle che si occupano delle prime fasi progettuali e operano in una seconda fase all'interno del processo progettuale. È importante a questo punto fare una precisazione riguardo la fase dell'iter progettuale in cui le ipotesi architettoniche vengono tradotte in un modello BIM, se da un lato abbiamo visto come ciò avvenga usualmente in un momento successivo alla definizione di massima del progetto, quando i progettisti hanno già strutturato la forma dell'architettura, e ne hanno in certi casi già definito la razionalizzazione attraverso metodi di simulazione e *form-finding*, in una seconda fase orientata maggiormente verso definizione tecnologica e costruttiva del progetto di architettura, è anche vero che ciò non è necessariamente vero per tutti gli studi di architettura. Come testimonia Aurelie de Boissieu, che parlando della prassi interna al suo studio afferma come i modelli BIM possano venire utilizzati sin dalle fasi iniziali del progetto, non tanto per la loro capacità di dettaglio e controllo dei dati, ma per la realizzazione di modelli volumetrici di massa e diagrammi. Tra i nuovi ruoli che il BIM ha portato all'interno degli studi è importante citare quelli che nel mondo anglosassone vengono definiti *BIM Specialists*, un numero limitato di professionisti, veri e propri custodi dei software e dei modelli BIM, che si occupano di impostare le strategie da adottare nella modellazione BIM dell'architettura, persone il cui ruolo include, non solo il supporto e la formazione dei progettisti e dei tecnici BIM, ma come afferma Aurelie de Boissieu,

of the model, the production of technical drawings and documents according to automated procedures, cancelling the need to draw not only elevations and sections plans but also constructive details that are obtained in a few clicks thanks to the exact definition of the parametric families of the single technological parts that make up the architectural organism. Speaking of BIM models, Edoardo Tibuzzi, like other interviewees, also states that the clear usefulness represented by the possibility of interrogating a detailed and coherent model of the architectural artefact during its entire life cycle is the reason BIM model is fast becoming the main delivery requested by public and private clients. This can become a further turning point for architectural firms, which by accumulating experience and therefore BIM models, will enrich their collection of architecture with information on the actual performance and use of buildings, thus proceeding with greater awareness in the design of new architectures.

Using BIM software in architecture has a further influence on the diversification of roles within the studios, which have trained and acquire personnel with BIM skills. Technicians, who, as confirmed by Pablo Zamorano, have a broad understanding of the methodologies to be prepared for the definition of BIM models and the correct documentation of the project, but who, at least at this moment, are often different people than those who deal with early design phases and operate in a second phase within the design process. It is important at this point to clarify the phase of the design process in which we translate the architectural hypotheses into a BIM model. If on the one hand, we have seen how this usually occurs at a later phase of the project, more oriented towards the technological and constructive definition of the architectural project, later that the general definition of the project, when architects have already widely structured the form of architecture and sometimes have also already defined its rationalisation through simulation and form-finding methods. On the other hand, it doesn't happen the same inside all architectural firms. As Aurelie de Boissieu testifies speaking of the internal practice of her studio, BIM models can be used from the initial stages of the project, not so much for their ability to detail and control the data, but even for the creation of volumetric models of mass and diagrams. Among the new roles that BIM has brought within the architectural practices, it is important to mention those who in the British offices are defined as BIM Specialists, a few professionals, true custodians of software and BIM models, who set the strategies adopted in the BIM modelling process: people whose role includes, not only the support and training of BIM architects and technicians but as Aurelie de Boissieu states, also the expansion of the basic functionalities offered by BIM software. They do this through scripting and visual programming, creating ad hoc tools that in most cases allow to automate and therefore speed up internal processes.

There is therefore currently, as confirmed by several interviewees, a risk of a differentiation of roles between designers, technicians, and BIM experts, this is because of the relative novelty of these digital techniques within the architectural studio, as confirmed by several interviewees. De Kestelier, for example, declares that in his studio all architects must have BIM skills, foreseeing that the figure of BIM technician will be assimilated into that of the architect, as already happened first

anche l'espansione delle funzionalità di base offerte dagli applicativi BIM, ciò avviene tramite pratiche di *scripting*, e programmazione visuale, utilizzate per creare strumenti *ad hoc* che nella maggior parte dei casi permettono di automatizzare e quindi velocizzare i processi interni.

Esiste quindi attualmente, come confermato da diversi intervistati, il rischio di una differenziazione di ruoli tra progettisti e tecnici ed esperti BIM, ciò è sicuramente dovuto alla relativa novità di queste tecniche digitali all'interno dello studio d'architettura, come confermato da diversi intervistati. De Kestelier, ad esempio, dichiara come all'interno del suo studio tutti i progettisti devono avere competenze BIM, prevedendo che la figura del tecnico BIM verrà assimilata in quella dell'architetto, come già successo dapprima con il tecnico CAD e poi con i modellatori 3D, figure che hanno popolato gli studi di architettura in un recente passato, ma che adesso non esistono più, perché le loro competenze si raccolgono oggi all'interno della figura dell'architetto contemporaneo. Osserviamo inoltre come il BIM stia contribuendo ad uno squilibrio dell'iter progettuale dove attori esterni allo studio di architettura stanno acquisendo un peso sempre maggiore. Parlando del progetto di architettura contemporanea, Schumacher (2011) dichiara l'esistenza di quattro diversi progetti afferenti a 4 diversi ruoli: l'architetto, il cliente, l'ingegnere e il costruttore. Il progetto dell'architetto è costituito da quella parte dell'iter in cui i progettisti instaurano un dialogo interno alla ricerca di soluzioni efficaci, che convoglieranno nella forma architettonica. Il progetto del cliente è definito nel dialogo che i progettisti instaurano con una committenza esterna al mondo dell'architettura e composto da render, presentazioni e modelli, ma anche dal contributo diretto che la committenza imprime al progetto. Il progetto degli ingegneri è costituito nella parte strutturale e impiantistica del progetto, e come osserva Schumacher ha acquisito un peso sempre maggiore negli ultimi anni, ciò è dovuto sia all'adozione degli strumenti digitali che l'incremento di complessità architettoniche legate a sostenibilità, efficienza, ed energia. Il progetto del costruttore è composto dagli elaborati esecutivi, ma anche da tutte quelle informazioni quantitative e specifiche necessarie alla corretta esecuzione delle architetture (Sacchi, 2018).

In un'ottica ideale il BIM rappresenta l'occasione di integrare questi quattro aspetti del progetto, garantendo una piattaforma digitale arricchita di informazioni, mezzo per il quale instaurare un dialogo con i diversi attori che partecipano alla definizione e costruzione del manufatto architettonico, in un processo in cui l'architetto, data l'ampiezza del suo sguardo dovrebbe mantenere una posizione centrale. Al contrario, se già Schumacher osserva uno sbilanciamento verso il progetto dell'ingegnere, il BIM ha permesso un ulteriore squilibrio verso il progetto del committente, che soprattutto in occasione di opere di grande scala si affida sempre più spesso a *Building Specialists*, tecnici esterni allo studio di architettura, che gestiscono la commessa per il cliente, seguendo l'iter progettuale attraverso le piattaforme digitali BIM, con la principale finalità di controllare i costi di costruzione del manufatto architettonico.

È importante a questo punto fare una riflessione su un tema, che come già testimoniato da Xavier de Kestelier, riguarda il BIM, ma al contempo si può estendere

with the CAD technician and then with the 3D modellers, figures who populated architecture studios in the recent years, but who now no longer exist because their skills are gathered today within the figure of the contemporary architect. We also observe how BIM is contributing to an imbalance of the design process towards external actors who are gaining an ever greater weight. Speaking of the contemporary architecture project, Schumacher (2011) declares the existence of four different projects relating to 4 different roles: the architect, the client, the engineer and the builder. The architect's project comprises that part of the process in which the designers establish an internal dialogue in search of effective solutions, which will convey in the architectural form. The client's project is defined in a dialogue that the architects establish with a client external to the world of architecture, a dialogue made up of renderings, presentations and models, but also by the direct contribution that the client gives to the project. The engineers' project is constituted in the structural and engineering aspects of the project. These, as Schumacher observes, have gained increasing weight in recent years, because of both the adoption of digital tools and the increase in architectural complexity linked to sustainability, efficiency, and energy. The builder's project comprises the executive documents, but also of all the quantitative and specific information necessary for the correct execution of the architectures (Sacchi, 2018).

From an ideal perspective, BIM represents the opportunity to integrate these four aspects of the project, guaranteeing a digital platform enriched with information, a means for establishing a dialogue with the various actors who take part in the definition and construction of the architectural artefact: in a process in which the architect, given the breadth of his gaze, should maintain a central position. If Schumacher already observes an imbalance towards the engineer's project, BIM has allowed a further imbalance towards the client's project, who, especially on the occasion of large-scale works, increasingly relies on Building Specialists: external technicians, which manage the order for the customer, following the design process through the digital BIM platforms, with the main purpose of controlling the construction costs of the architectural product.

It is important to reflect on a theme which, as already witnessed by Xavier de Kestelier, concerns BIM but can be extended to all the digital tools used within the design practice: that of the speed with which we produce projects. When we talk about the erosion that digital tools produce within the design practice, relieving the architect from outdated operations such as manual technical drawing, we often hear statements about how this frees designers from tedious and repetitive activities, allowing them to investigate other nobler aspects of the project. This is partially true, because as we have seen digital has become established in every area of the project, and these tools allow greater effectiveness, precision and speed in the definition of architecture. But also because the profession of architecture is confronted with a very competitive market today, conditioned by increasingly global players: in particular builders, who, as Harry Ibbs states, have embraced digital practices even more than architects, actors in which being technologically inefficient costs money, which is why

a tutti gli strumenti digitali adoperati all'interno della pratica progettuale: quello della velocità con cui i progetti vengono prodotti. Quando si parla dell'erosione che gli strumenti digitali stanno producendo all'interno della pratica progettuale, alleggerendo l'architetto da pratiche oramai superate come il disegno tecnico manuale, si sentono spesso affermazioni su come ciò liberi i progettisti da attività tediose e ripetitive, permetta loro di approfondire altri aspetti più nobili del progetto. Ciò è parzialmente vero, intanto, perché come abbiamo visto il digitale si è insediato in ogni ambito del progetto, e questi strumenti grazie ad una maggiore consapevolezza umana permettono maggiore efficacia, precisione e velocità nella definizione dell'architettura. Ma anche perché la professione dell'architettura si confronta con oggi con un mercato quanto mai competitivo, condizionato da attori sempre più globali: in particolare i costruttori, che, come Harry Ibbotson afferma, hanno abbracciato le pratiche digitali anche più degli architetti, attori a cui essere tecnologicamente inefficienti costa denaro, per questo investono su ricerca e sviluppo più di quanto potrà mai fare uno studio di architettura tradizionale. Queste ulteriori condizioni di squilibrio hanno un'importante influenza sull'attività progettuale sin dal rapporto con la committenza, che, come testimoniato da Aurelie de Boissieu, non solo richiede ai progettisti di consegnare modelli BIM come elaborato finale, ma desidera anche che il progetto sia prodotto in meno tempo, con un maggiore dettaglio, e ad un costo inferiore rispetto a quanto accadeva anni prima. L'intervistata cita ad esempio una sua precedente esperienza lavorativa all'interno di un grande studio di ingegneria specializzato nella progettazione di infrastrutture, un ambito dove osserva come negli ultimi venti anni il tempo previsto per la definizione di un progetto dall'inizio alla consegna sia passato in media da 3 anni a sei mesi, riducendosi quindi a poco più del 16% rispetto ai periodi precedenti.

Osserviamo inoltre come la maturità degli strumenti digitali abbia influito sul modo in cui il progetto viene comunicato con i clienti ed esternamente allo studio. Se tradizionalmente gli architetti si sono sempre occupati di comunicare il progetto non solo tramite disegni tecnici ma anche con prospettive e schizzi atti a mettere in luce l'efficacia delle scelte progettuali e le qualità degli spazi progettati, oggi, anche in questo senso, il disegno è stato sostituito dai render, visualizzazioni digitali che hanno raggiunto qualità tali da renderli difficilmente distinguibili dalle fotografie. Ciò è avvenuto inizialmente tramite l'esplorazione delle tecniche digitali per la visualizzazione, che gli architetti hanno adoperato sin dagli anni novanta, tecniche oggi demandate a professionisti della visualizzazione, che con il ruolo di digital artist, partecipano al progetto esclusivamente nella definizione di immagini prospettiche CGI iper realistiche. È importante notare inoltre, che nonostante oggi praticamente tutti gli studi di architettura impieghino largamente le competenze specialistiche dei *digital artists*, queste figure hanno iniziato a distaccarsi dall'architettura, formando studi professionali autonomi, che si occupano esclusivamente di progettare immagini per l'architettura, forti di competenze e infrastrutture tecnologiche per la renderizzazione in parallelo che non tutti gli studi di architettura hanno a disposizione, ottenendo compensi che possono raggiungere diversi migliaia di euro per una singola immagine. Il ruolo di questi studi ha raggiunto un'ulteriore specificità nella realizzazione di immagini certificate, che mirano all'esatta previsione della materialità delle architetture

they invest more in research and development than a traditional architectural firm will ever do. These additional conditions of imbalance have an important influence on the design activity starting from the relationship with the client which, as Aurelie de Boissieu testifies, not only requires the designers to deliver BIM models as a final elaborate, but also wants the project in less time, with greater detail, and at a lower cost than years before. The interviewee cites, for example, her previous work experience in a large engineering firm specialising in infrastructure design, an area where she observes how in the last twenty years the time foreseen for the definition of a project from start to delivery has passed on average from 3 years to six months, thus reducing to just over 16% compared to previous periods.

We also observe how the maturity of digital tools has affected the way architects communicate the project with clients and outside the studio. Traditionally architects have always been concerned with communicating the project not only through technical drawings but also with perspectives and sketches designed to highlight the effectiveness of the design choices and the qualities of the spaces designed. Today, also in this sense, renderings replace drawings: digital visualisations that have reached such quality as to make them difficult to distinguish from photographs. This happened initially through the exploration of digital techniques for visualisation, which architects have used since the nineties, techniques now delegated to visualisation professionals, who, with the role of digital artist, take part in the project only in the definition of perspective images: hyper-realistic CGI. It is also important to note that although today practically all architectural firms largely employ the specialised skills of digital artists. These figures have begun to detach themselves from architecture, forming independent professional studios, which deal only with designing images for architecture: professional groups strong in skills and technological infrastructures for parallel rendering, getting fees that can reach several thousand euros for a single image. The role of these practices has reached a further specificity in creating certified images, which aim at the exact prediction of the materiality of the architectures on the occasion of building concessions, and are already required by some British government institutions to anticipate the landscape impact of architectures on contexts. We find a perfect example of this in the case of The Tulip, a 305-meter skyscraper presented by Foster and Partners in 2019: a controversial project that involves the construction of a concrete tower, without windows or openings up to the top of the building from where tourists can admire London's panorama (Stevens, 2019b). For the project, which collected a large collection of criticisms both inside and outside the city institutions, Foster and Partners collaborated with two CGI companies: DBOX that took care of marketing images, figures 3.2.5 and 3.2.6, presented on websites and social media, and Cityscape, which developed certified landscape planning images, figure 3.2.7, submitted to landscape protection bodies to get building permits. The collaboration between architectural firms and image specialists find confirmation in the words of Andreas Klok Pedersen, who also declares that his studio has established solid collaborations with some CGI studios, not only delegating the rendering and photo retouching of images but also the production of realistic videos, fundamental for establishing effective communication of the architectures, both with customers and the public.

in occasione delle concessioni edilizie e sono già richieste da alcune istituzioni governative inglesi per anticipare l'impatto paesaggistico delle architetture sui contesti. Ne troviamo un perfetto esempio nel caso del *The Tulip* un grattacielo di 305 metri che lo studio Foster and Partners ha presentato nel 2019, progetto controverso che prevede la realizzazione, nello stesso lotto del precedente *The Gherkin*, di una torre in cemento, senza finestre né aperture sino alla sommità dell'edificio da dove i turisti possono ammirare il panorama londinese (Stevens, 2019b). Per il progetto, che ha raccolto un'ampia collezione di critiche ed è stato osteggiato sia all'interno che all'esterno delle istituzioni cittadine, lo studio Foster si è avvalso di due società di visualizzazione, lo studio DBox che si è occupato delle immagini commerciali dell'architettura presentate all'interno siti web e social media, figure 3.2.5 e 3.2.6, e lo studio Cityscape, che si è occupato di sviluppare immagini paesaggistiche certificate, figura 3.2.7, sottomesse agli enti di tutela del paesaggio per ottenere i permessi di costruzione. La collaborazione tra studi di architettura e specialisti dell'immagine architettonica è confermata da Andreas Klok Pedersen, che dichiara inoltre come il suo studio abbia instaurato da anni solide collaborazioni con alcuni studi di visualizzazione, demandando non solo la renderizzazione e il foto ritocco di immagini, ma anche la produzione di video foto realistici che sono diventati fondamentali per instaurare una comunicazione efficace delle architetture, sia con i clienti che con il pubblico.

3.3 LA SIMULAZIONE

La simulazione è un tema di centrale importanza per la progettazione architettonica contemporanea, come abbiamo visto, i progettisti fanno un largo utilizzo di metodi di simulazione numerica sin dai primi momenti dell'iter progettuale, sfruttando le capacità di memoria e calcolo degli strumenti digitali per leggere la complessità dei temi del progetto e interpretare l'efficacia delle scelte che porteranno alla definizione dell'architettura. Nonostante i significati strumentali e metodologici che la parola simulazione ha assunto oggi all'interno degli studi di architettura contemporanei, è comunque necessario ricordare che il rapporto tra l'attività di simulazione e progetto è da sempre fondante in qualsiasi attività progettuale, dall'architettura in poi. Al progettista è da sempre richiesta una capacità anticipatrice, che l'architetto esercita grazie ad una nutrita conoscenza dei temi progettuali e delle specificità tecniche e costruttive interne alla nostra disciplina, in un percorso, quello del progetto, che procede eterotopicamente, attraverso la ripetuta simulazione della realtà che accoglierà il manufatto architettonico. Un iter che da sempre mira a raccogliere progressivamente la molteplicità di aspetti e peculiarità che porteranno alla costituzione del progetto, per mezzo di simboli, che vengono composti tramite una continua simulazione, attività che permette di identificare problemi ed incongruenze, in un processo creativo lineare come il pensiero, ma articolato frastagliato e ampio, come i temi da sintetizzare all'interno del progetto e i supporti immaginativi da sempre a disposizione del progettista. È possibile leggere la centralità di questo tema per il progetto all'interno delle parole e delle opere di diversi autori e progettisti, di idee ed estrazioni anche diametralmente opposte, che comunque concordano nel

Figure 3.2.5 e 3.2.6, in alto: Due immagini per il marketing prodotte da DBox per Foster and Partners. (DBox)

Figures 3.2.5 and 3.2.6, top: Two marketing images produced by DBox for Foster and Partners. (DBox)



Figure 3.2.7: Un'immagine dell'impatto sul paesaggio realizzata dallo studio Cityscape per Foster and Partners. (Cityscape)



Figure 3.2.7: An image of the impact on the landscape created by Cityscape for Foster and Partners. (Cityscape)

3.3 SIMULATION

Simulation is a topic of great importance for contemporary architectural design: as we have seen, architects extensively use numerical simulation methods from the very first moments of the design process, exploiting memory and calculation capabilities of digital tools to read the complexity of the project and interpreting the effectiveness of choices that will lead to the definition of the architectures. Despite the instrumental and methodological meanings that the word simulation has assumed today within contemporary architectural practices, it is necessary to remember that the relationship between simulation and design has always been fundamental in any architectural design activity. The architect has always been required to have an anticipatory capacity, which he exercises thanks to a strong knowledge of architectural, technical and construction specificities, in a path, which proceeds heterotopically, through repeated simulation of the reality that will host the architectural artefact. This process has always progressively aimed to collect the multiplicity of aspects and peculiarities that will lead to the constitution of the project by symbols, composed through a continuous simulation: an activity that allows identifying problems and inconsistencies, in a creative process, linear like the thought, but articulated, jagged and broad, like the several aspects to be summarised within the project throughout the imaginative supports always available to the designer.

It is possible to read the centrality of this theme for the project within the words and works of different authors and architects of ideas and extractions even opposed, which however agree in claiming the design activity as a process full of progressive

rivendicare l'attività progettuale come un processo denso di progressive simulazioni. Così come afferma Christopher Alexander (1964), che, nel descrivere il progetto di architettura come un processo di invenzione di un oggetto reale, caratterizzato da un determinato ordine fisico, di organizzazione, e forma, parla di un processo per tentativi ed errori, di graduale adattamento della forma progettata, realizzata tramite la simulazione di ipotesi simboliche che costituiscono l'immagine mentale del progetto di architettura. Un concetto che possiamo avvicinare a quello espresso da un altro autore sicuramente distante da Alexander, Giancarlo De Carlo (2014), che dichiara il progetto di architettura come tentativo, fondandolo in una continua e attenta lettura dei temi progettuali, e nel tentativo di instaurare una dialettica tra incongruenze che vengono continuamente confrontate in un'intensa processualità inclusiva. Il tema della simulazione è ugualmente presente nel processo progettuale di uno tra i più riconosciuti precursori della progettazione digitale, Frei Otto (1984), il quale è sicuramente orientato verso orizzonti diversi da quelli intravisti da Alexander e De Carlo, e dichiara il progetto come processo orientato alla soluzione di un sistema ad infinite variabili, talvolta invisibili al nostro sguardo. Variabili che Otto indaga principalmente grazie a modelli fisici, vere e proprie macchine per simulare la genesi e il comportamento di forme architettoniche, così da desumerne configurazioni che sono il risultato altrimenti imprevedibile di un equilibrio di forze applicate al sistema e proprietà dei materiali.

Da sempre, gli architetti progettano per il futuro, lo stesso atto di disegnare ha nel nostro operato delle finalità predittive, è osservabile inoltre come l'evoluzione di metodi e tecniche per la progettazione dell'architettura sia scandita da progressivi utilizzi della simulazione per incrementare le capacità predittive degli architetti. Guardiamo ad esempio a Brunelleschi, che quando inventa la prospettiva lineare, crea un metodo che gli permette di predire la percezione dello spazio, simulando attraverso un processo grafico il cono ottico e quindi la visione umana. Ciò che è cambiato rispetto al precedente processo progettuale è che adesso la simulazione si è estesa oltre i metodi di rappresentazione, muovendosi verso le scienze naturali e incrementando le possibilità strategiche dei progettisti. È quindi importante fare una precisazione, le pratiche di simulazione si basano sempre su modelli, così come la rappresentazione di un'architettura in due dimensioni o in 3D è un'approssimazione, simulazione eterotopica di forme all'interno di un contesto ideale, allo stesso modo una sicuramente più complessa simulazione fisica è una schematizzazione sintetica, che prevede al contempo una rappresentazione dell'oggetto da indagare e delle leggi fisiche che definiranno il comportamento dell'oggetto. Il modello è quindi sempre una approssimazione della realtà, che siamo in grado di definire in base alle nostre conoscenze pregresse, e nasce quindi da una formalizzazione del mondo fisico che siamo stati in grado di descrivere attraverso leggi e parametri: simula la realtà, ma non è mai in grado di descriverla totalmente. Se è comunque vero che la simulazione ha da sempre rappresentato un importante tramite per qualsiasi processo progettuale in architettura, ciò che negli ultimi anni è cambiato sono gli strumenti che i progettisti hanno a disposizione per realizzare simulazioni del comportamento dei manufatti architettonici. La simulazione si è arricchita dell'aggettivo digitale e viene oggi

simulations. As Christopher Alexander (1964), who, in describing the architectural project as a process of invention of a real object, characterised by a certain physical order, organisation, and form, speaks of a process of trial and error, of gradual adaptation of the designed form, realised through the simulation of symbolic hypotheses that make up the mental image of the architectural project. A concept similar to that expressed by another author distant from Alexander: Giancarlo De Carlo (2014), who declares the architectural project as an attempt, founded in a continuous and careful reading of the design themes, and in the will to establish a dialectic between inconsistencies that are continually confronted in an intense inclusive process. The theme of simulation is equally present in the design process of one of the most recognised precursors of digital design: Frei Otto (1984), who is certainly oriented towards different horizons than those glimpsed by Alexander and De Carlo, but declares the project as a process-oriented to the solution of a system of infinite variables, sometimes invisible to our gaze. Variables that Otto investigates mainly thanks to physical models, real machines used to simulate the genesis and behaviour of architectural forms, to infer configurations that are the otherwise unpredictable result of a balance of forces applied to the system and properties of materials.

Architects have always designed for the future, the very act of drawing has predictive purposes in our work, so it is possible to observe how the evolution of methods and techniques for architectural design is marked by progressive uses of simulation to increase predictive capabilities of architects. For example, when Brunelleschi invents linear perspective, he creates a method that allows him to predict the perception of space, simulating the optical cone and therefore human vision through a graphic process. What has changed from the previous design process is that simulation has now extended beyond representation methods, moving towards the natural sciences and increasing the strategic possibilities of designers. It is therefore important to make a clarification: we always base the simulation practices on models, approximations just as the representation of architecture in two or three dimensions, heterotopic simulation of forms within an ideal context. At the same way, a certainly more complex physical simulation is a synthetic schematisation, which provides a representation of the object to be investigated through the physical laws that will define the behaviour of the object. The model is always an approximation of reality, which we try to define based on our previous knowledge, and which therefore arises from a formalisation of the physical world that we have been able to describe through laws and parameters. It simulates reality but can never describe it in its totality. If it is, however, true that simulation has always represented an important medium for any design process in architecture, what has changed in recent years are the tools that designers have at their disposal to create simulations of the behaviour of architectural artefacts. Simulations have been enriched with the digital adjective and we adopt them in their various possibilities to define design hypotheses, by simulating their performance according to an ever-increasing number of factors. As Andreas Klok Pedersen observes, in the last decade digital simulation has become a crucial part of the design process: simulations are used to get a parametric response to the conditions dictated by the architects, who carry out simulations when designing

adottata nelle sue diverse possibilità per definire ipotesi progettuali simulandone le performance secondo un numero sempre più ampio di fattori. Così come osserva Andreas Klok Pedersen, nell'ultima decade la simulazione digitale è diventata una parte determinante del processo progettuale: le simulazioni vengono utilizzate per ottenere una risposta parametrica alle condizioni dettate dal progettista, che realizza simulazioni in occasione della progettazione di facciate, così come nella progettazione urbana, ma anche nell'analisi di programmi e funzioni. Se da un lato è vero, come ricorda l'intervistato, che le simulazioni numeriche vengono utilizzate da tempo in ambiti apparentemente lontani dall'architettura, come l'economia o la fisica, ciò che in questi anni i progettisti di architettura stanno imparando è l'utilizzo delle simulazioni con finalità creative.

Ma quali sono i fenomeni che possono essere simulati all'interno del processo di progettazione architettonica? È possibile innanzitutto distinguere una grande famiglia di simulazioni utilizzate in uno studio d'architettura contemporanea, quelle fisiche, che come afferma Edoardo Tibuzzi, sono le più comuni e frequenti: realizzabili oggi non esclusivamente tramite l'utilizzo di linguaggi di programmazione, ma anche e sempre più frequentemente tramite strumenti parametrici progettati ad hoc per l'utilizzo in architettura. Ciò che avviene all'interno di questi programmi, non è soltanto la simulazione numerica dei fenomeni, ma anche la traduzione di dati quantitativi in informazioni qualitative, secondo metriche modificabili dai progettisti, che permettono di visualizzare i risultati sulla base di criteri definiti a monte. Questo passaggio, da quantità a qualità, è di focale importanza per il progetto d'architettura, non solo perché è operato su di un modello, ma soprattutto perché frutto di interpretazione, alla quale è propedeutica un'esatta conoscenza degli ambiti che ci si appresta ad indagare. Un progettista d'architettura è sicuramente un tecnico, ma più di altri tecnici, come ad esempio l'ingegnere, si occupa di sviluppare il progetto alla ricerca di qualità che sono difficilmente descrivibili e interpretabili tramite numeri. Se ad esempio è facile tradurre delle informazioni quantitative in qualitative per un ingegnere, che forte delle sue competenze scientifiche sa con certezza che una trave di una determinata sezione e materiale, si romperà una volta raggiunti determinati stati tensionali, al contrario è impossibile per un architetto descrivere numericamente la bellezza di un'architettura o le sensazioni psicologiche che un essere umano prova all'interno di uno spazio, lo stesso dicasi per il comfort ambientale, qualità soggettiva che dipende dalle specifiche caratteristiche fisiche di un individuo. Per questi motivi, come ricordano diversi intervistati, i progettisti che oggi adoperano simulazioni fisiche per definire le forme dell'architettura sono impegnati su due fronti, se da un lato devono essere forti di una base scientifica e quindi di una consapevolezza dei fenomeni che simulano, dall'altro devono sempre comprendere il significato che quei valori rappresentano in termini di qualità spaziali e percezione umana.

Tra le simulazioni fisiche, a prescindere da quelle della forza di gravità e degli stati tensionali già descritte nei metodi di *form-finding*, le più comuni sono senza alcun dubbio quelle ambientali, che, tutti gli intervistati concordano nell'affermare, sono diventate di quotidiano utilizzo all'interno di ogni studio di architettura. A partire dalla

facades, and in urban planning, but also for the analysis of programs and functions. If on the one hand, it is true, as the interviewee recalls, that numerical simulations have been used for some time in areas apparently far from architecture, such as economics or physics, what architecture designers have been learning in recent years is the use of simulations also for creative purposes.

But what are the phenomena that can be simulated within the architectural design process? First, it is possible to distinguish a large family of simulations used in a contemporary architecture studio: the physical ones. As testified by Edoardo Tibuzzi, physical simulations are the most common achievable today, not only through the use of programming but also and with increasing frequency through parametric tools designed ad hoc for architectural design. What happens within these programs is not only the numerical simulation of the phenomena but also the translation of quantitative data into qualitative information, according to metrics that can be modified by the architects, and allow the results to be viewed based on criteria defined upstream. This passage, from quantity to quality, is central for the contemporary architectural project, not only because we base it on a model, but because it requires an interpretation, which calls for exact knowledge of the areas investigated. An architectural designer is certainly a technician, but more than other technicians, such as the engineer, he is concerned with developing the project in search of qualities that are difficult to describe and interpret through numbers. For example, if it is easy to translate quantitative information into qualitative information for an engineer who, thanks to his scientific skills, knows with certainty that a beam of a certain section and material will break once certain stress states are reached. On the contrary, it is impossible for an architect numerically describe the beauty of architecture or the psychological sensations that a human being experiences within a space. The same applies to environmental comfort, a subjective quality that depends on the specific physical characteristics of an individual. For these reasons, as several interviewees recalled, the architects who today use physical simulations to define the forms of architecture are engaged on two fronts, if on the one hand, they must be strong in a scientific basis and therefore in an awareness of the phenomena simulated, on the other hand, they must always understand the meaning that those values represent in terms of spatial qualities and human perception.

*Among the physical simulations, apart from those of the force of gravity and the stress analysis already described in the form-finding methods, the most common are undoubtedly the environmental ones, which, all interviewees agree in affirming, have become everyday use within any architectural firm. Starting from the simulation of solar radiation and natural light inside buildings, through which the architects get information on the different quantities of natural light during the different hours of the day, according to the architectural purposes. The same strategy adopted for the design of *The twist*, a bridge-museum created by the BIG Bjarke Ingels Group studio inside the Kistefos open-air museum in Scandinavia, on the occasion of which the architects used solar simulation to establish the size, shape and position of the only glass surface that illuminates the exhibition environment, and guarantees optimal use*

simulazione della radiazione solare e della luce naturale all'interno degli edifici, tramite le quali ai progettisti ottengono informazioni sulle diverse quantità di luce naturale durante le diverse ore del giorno, in funzione delle finalità progettuali. Strategia adottata per la progettazione del *The Twist*, figura 3.3.1, un ponte-museo realizzato dallo studio BIG Bjarke Ingels Group all'interno del parco Kistefos in Scandinavia, in occasione del quale gli architetti hanno utilizzato la simulazione solare, figura 3.3.2, per stabilire la dimensione, la forma e la posizione dell'unica superficie vetrata che illumina l'ambiente espositivo, e garantisce un utilizzo ottimale dell'illuminazione artificiale durante i momenti di apertura al pubblico (Peters e Peters, 2018). Le simulazioni solari, citate dalla maggior parte dei progettisti intervistati per la loro importanza nelle diverse fasi della progettazione, sono oggi adoperate per definire forma, configurazione delle superfici esterne e materialità delle architetture, permettendo ai progettisti di predirne inoltre l'impatto sul contesto urbano. Vediamo ad esempio il complesso di grattacieli Oceanwide Centre di San Francisco, un'architettura firmata dallo studio Foster and Partners, che nel progettare gli involucri ha svolto un'approfondita analisi simulativa sull'incidenza della radiazione solare sugli edifici durante tutto l'arco dell'anno, figura 3.3.3, quindi sui livelli di luce naturale raggiunta nei diversi ambienti in relazione alla loro posizione e orientamento, ma anche sull'impatto che la nuova costruzione avrà sul contesto urbano, partendo dall'ombreggiatura sugli edifici limitrofi, sino al bagliore provocato dalle riflessioni primarie e secondarie dei raggi solari sulle superfici vetrate. Studi determinanti nella definizione delle inclinazioni delle superfici esterne, quindi dei materiali utilizzati nelle diverse zone dell'involucro (Peters, 2018a).

Ulteriori possibilità di predizione del comportamento del manufatto architettonico sono quindi rappresentate dalle simulazioni fluido dinamiche, CFD, metodi computazionali sviluppati in ambito fisico che hanno fatto l'ingresso negli studi di architettura da più di venti anni (Jo, 2018), e permettono ai progettisti di anticipare il comportamento delle correnti d'aria interne ed esterne al manufatto architettonico. Metodi numerici oggi consolidati, che dalla fine degli anni novanta vengono utilizzati insieme alle simulazioni solari per approfondire la ventilazione naturale all'interno degli edifici e che hanno permesso l'adozione di strategie ecologiche, come nel caso del celebre *The Gherkin*, completato nel 2004, per il quale i progettisti hanno creato un innovativo sistema di ventilazione ibrida, composto da una serie di aperture orizzontali poste ai limiti dei solai, che formano sei grandi condotti verticali a spirale, attraverso cui l'aria si muove all'interno dell'edificio. In occasione del progetto lo studio Foster and Partners ha ampiamente utilizzato la fluidodinamica computazionale sin dalla iniziale definizione della massa architettonica, che è stata modellata in una forma organica con l'intenzione di minimizzare l'impatto del vento sulle strutture. Gli architetti hanno quindi studiato la velocità delle masse d'aria all'interno dell'edificio, prevedendo possibili configurazioni in cui determinate aperture vengono utilizzate per accogliere i venti dominanti, sfruttati per alimentare il sistema di ventilazione naturale dell'edificio. La simulazione fluidodinamica ha contribuito inoltre ad evidenziare il rischio di potenziali turbolenze dei flussi d'aria, fenomeni che sono stati mitigati tramite l'esatto posizionamento delle cavità e quindi del verso di rotazione dei condotti a spirale in funzione dei venti, quindi tramite un sistema di pannelli vetriati



Figura 3.3.1: Il The Twist, progettato da BIG Bjarke Ingels Group per il Kistefos Museum. (foto Laurian Ghinitoiu)

Figure 3.3.1: The Twist, designed by BIG Bjarke Ingels Group for Kistefos Museum. (photo Laurian Ghinitoiu)

Figura 3.3.3: Analisi dell'incidenza della radiazione solare sul Oceanwide Centre di San Francisco, progettato dallo studio Foster and Partners. (Peters, 2018a, 97)

Figure 3.3.3: Analysis of the solar radiation on San Francisco's Oceanwide Centre, designed by Foster and Partners. (Peters, 2018a, 97)



of artificial lighting during the hours of public affluence (Peters and Peters, 2018). Solar simulations, cited by most of the interviewees for their utility in the various design phases, are now used to define the shape, configuration of the external surfaces and materiality of the architecture, allowing designers to predict their impact on the urban context. A good example of their application is the Oceanwide Centre skyscraper complex in San Francisco, architecture designed by Foster and Partners, who, in designing the envelopes carried out an in-depth simulation analysis on the incidence of solar radiation on buildings throughout the year, figure 3.3.3, on the levels of natural light reached by spaces with their position and orientation, but also on the impact that the new construction will have on the urban context, starting from the shading on the neighbouring buildings, up to the glow caused by the primary and secondary reflections of sun's rays on surfaces: analysis needed to define external surfaces inclinations, and

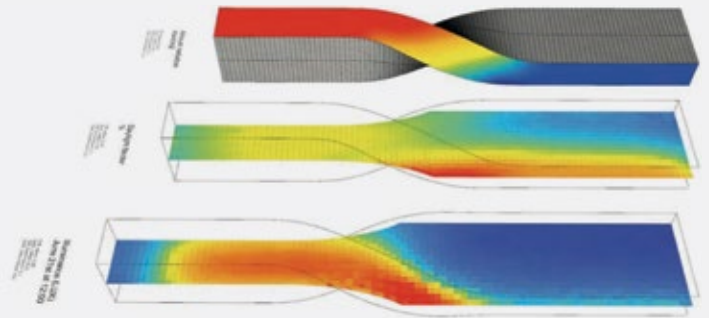


Figura 3.3.2: Simulazione di radiazione solare, luce giornaliera e illuminamento realizzate a inizio progetto. (Peters e Peters, 2018, 7)

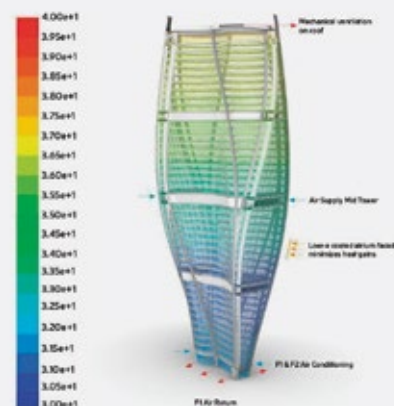
Figure 3.3.2: Early design simulation of Annual Radiation, Daylight Factor and Illuminance. (Peters and Peters, 2018, 7)

che convoglia l'aria verso la sommità dell'edificio (Massey, 2013). Osserviamo come, se all'inizio degli anni duemila le pratiche di simulazione fluidodinamica fossero utilizzate da pochissimi studi, capaci di esplorarne le capacità predittive all'interno di un numero limitato di progetti, oggi questi stessi metodi sono diventati uno standard all'interno delle più grandi pratiche professionali. Così ricorda Harry Ibbs, che ne descrive l'utilità progettuale portando ad esempio Chicago, la città del vento per eccellenza, dove la presenza di grattacieli ha influito sulla vivibilità degli spazi pubblici, raccogliendo il vento e dirottandolo alla base degli edifici, tanto che in determinate stagioni camminare tra alcuni grattacieli diventa impossibile. Problemi che i progettisti del secolo scorso non avevano modo di approfondire, ma che oggi possono essere compresi e mitigati grazie alla simulazione. L'intervistato ne testimonia l'utilizzo in occasione del progetto della torre Leeza Soho (Stevens, 2019a), realizzata a Pechino dallo studio Zaha Hadid Architects nel 2019. Un grattacielo di 45 piani, figura 3.3.4, destinato ad accogliere uffici, e che ha richiesto un ampio utilizzo di tecniche di simulazione e ottimizzazione, sia per la definizione dell'involucro esterno, che per la progettazione dell'atrio centrale, un ambiente che si sviluppa secondo l'intera altezza dell'edificio per quasi 200 metri. Data l'imponente dimensione dell'atrio, le simulazioni fluidodinamiche hanno giocato un importante ruolo nella definizione delle forme organiche che lo delimitano, permettendo di mitigare le velocità dell'aria dovuta alla grandezza degli ambienti e al gradiente termico fra esterno e interno, figura 3.3.5.

Il solare e la fluidodinamica trovano ulteriore completezza nelle simulazioni termiche, che alle precedenti uniscono ulteriori informazioni sulle proprietà dei materiali e permettono ai progettisti di anticipare il comportamento dell'organismo architettonico in termini di comfort, tema che Pablo Zamorano afferma, è diventato centrale nella pratica progettuale contemporanea, e viene indagato in occasione di ogni progetto a diversi livelli di approfondimento durante tutte le fasi dell'iter progettuale. Tra i numerosi progetti definiti secondo logiche orientate all'ottimizzazione del comfort termico è opportuno citare il Tun Razak Masterplan, figura 3.3.6, in fase di realizzazione a Kuala Lumpur in Malesia, un complesso di architetture che comprende residenze, uffici, aree commerciali e per il tempo libero. Architetture che lo studio Grimshaw (2020) ha approfondito studiando la performance termica e ambientale dei diversi ambienti, interni ed esterni, tenendo conto di flussi di aria, umidità, temperature delle superfici, e livelli di biossido di carbonio, arrivando a definire diverse aree termiche a seconda dell'utilizzo progettato per gli ambienti. Il tema del *comfort* termico non si limita quindi all'interno del manufatto architettonico, ma è sempre più frequentemente esteso ad intere urbanizzazioni, o addirittura a porzioni di città, che vengono analizzate nelle loro performance fisiche ed energetiche. Studi che sono il punto di partenza per l'adozione di strategie di mitigamento climatico, realizzato soprattutto attraverso una variazione delle superfici nelle caratteristiche di assorbimento di calore e riflessione dei raggi solari, l'adozione di pareti verdi e la piantumazione di alberi (Taleghani, 2018), organismi il cui contributo può oggi essere simulato grazie a un'ampia casistica architettonica, informazioni che gli studi hanno raccolto nell'arco di anni e rappresentano una preziosa risorsa per ogni attività di simulazione ambientale. È importante a questo punto puntualizzare il significato delle parole *comfort* termico,

materials used in the different areas of the envelope (Peters, 2018b). Further possibilities for predicting the behaviour of the architectural artefact are therefore represented by CFD, computational methods developed in the physical field that have entered architectural firms over twenty years ago (Jo, 2018), and allow architects to anticipate the behaviour of air currents inside and outside the architectural building. These numerical methods have been used together with solar simulations to deepen the natural ventilation inside buildings since the late nineties, and have allowed the adoption of ecological strategies. As in the case of *The gherkin*, project built in 2004, when Foster and Partners have created an innovative hybrid ventilation system, comprising a series of horizontal openings placed at the edges of the floors, which form six large vertical spiral ducts, through which the air moves inside the building. On the occasion of the project, the architects have extensively used computational fluid dynamics since the initial definition of the architectural mass, modelled in an organic form to minimise the impact of the wind on the structures. Then they studied air masses's velocity inside the building, providing for possible configurations in which certain openings are used to accommodate the prevailing winds, exploited to power the building's natural ventilation system. The fluid dynamics simulation also helped to highlight the risk of potential turbulence in the air flows, phenomena mitigated through the exact positioning of the cavities, and therefore the rotation of the spiral ducts, as a function of the winds, therefore through a system of glass panels that convey the air towards the top of the building (Massey, 2013). We observe how if at the beginning of the 2000s fluid dynamics simulation practices were used by very few studies, capable of exploring their predictive capabilities within a limited number of projects, on the contrary today these same methods have become a standard within the biggest professional practices. Harry Ibbes describes their usefulness taking for example Chicago, the city of the wind, where the presence of skyscrapers has influenced the liveability of public spaces, collecting the wind and diverting it to the base of the towers, so much so that in certain seasons walking between skyscrapers becomes impossible. Arcesigners of the last century had no way to investigate these problem, but today architects can understand and mitigate them thanks to simulation. The interviewee testifies its use on the occasion of the *Leeza Soho* project (Stevens, 2019a), a 45-storey skyscraper intended to house offices built in Beijing by Zaha Hadid Architects in 2019, figure 3.34, and which required extensive use of simulation and optimisation techniques, both for the definition of the external envelope and for the design of the central atrium, a space that develops along with the entire height of the building for almost 200 meters. Given the impressive size of the atrium, fluid dynamics simulations have played an important role in defining the organic forms that surround it, figure 3.3.5, allowing to mitigate the air velocities due to the size of the rooms and the thermal gradient between the outside and inside.

Solar and fluid dynamics find further completeness in thermal simulations, which combine the previous ones with further information on the properties of materials and allow designers to anticipate the behaviour of the architectural organism in terms of comfort. A theme that Pablo Zamorano claims has become central in contemporary practices and can be investigated on the occasion of each project at different



se da un lato è oggi possibile utilizzare una serie di metriche per giudicare i livelli di comfort previsti all'interno di un'architettura, non dobbiamo dimenticarci che il livello di comfort percepito è frutto di una valutazione che è sempre soggettiva, relativa al nostro corpo, influenzata da processi metabolici, massa muscolare, abbigliamento, esposizione ai raggi solari, temperatura e velocità dell'aria, tassi di umidità e numerosi altri fattori, senza escludere quelli psicologici, che giocano un importante ruolo nella personale definizione di comfort. Considerazioni che progettisti e ricercatori, forti di anni di esperienza sul tema, conoscono bene, tanto che come osserva Al Fisher, l'utilizzo della simulazione si sta sempre più spostando dall'oggettivo al soggettivo, superando l'organismo architettonico nel tentativo di simulare l'esperienza e la percezione umana all'interno degli edifici, esplorando la collezione di differenze soggettive che definisce gli utenti finali delle architetture e la relativa percezione ambientale, istituendo nuove metriche come salute e benessere.

Tecniche di simulazione solare, termica e fluidodinamica trovano ulteriore campo di applicazione in ambito energetico, con la finalità di ottimizzare la sostenibilità degli edifici, riducendo non solo l'impatto ambientale in fase di costruzione, ma anche e soprattutto le emissioni di carbonio durante tutto il ciclo di vita delle architetture. Per attuare strategie energetiche sostenibili gli studi ampliano la simulazione, considerando fattori come il consumo di elettricità, acqua e dispersione di calore delle diverse ipotesi progettuali, effettuando variazioni puntuali sui modelli e misurandone la performance tramite simulazione. Complessità impossibili da predire senza l'ausilio dei mezzi digitali, e che data l'incalzante attualità del riscaldamento globale, sono sempre più frequentemente indagabili tramite programmi commerciali realizzati per l'utilizzo in architettura. L'importanza del tema ha determinato un crescente interesse da parte di enti e governi, che nell'arco di anni hanno sviluppato norme e criteri di valutazione delle architetture in termini energetiche. Ricordiamo tra le altre le norme UNI sulla sostenibilità ambientale del 2019, ma anche le diverse tipologie di validazione ambientale istituite da associazioni internazionali, come le certificazioni

Figura 3.3.4: Il grattacielo Leeza Soho, progettato da Zaha Hadid Architects e completato a Pechino nel 2019. (foto Weng Li)

Figura 3.3.5: La strategia climatica interna adottata per il Leeza Soho, progettato da Zaha Hadid Architects. (immagine Zaha Hadid Architects)

Figure 3.3.4: The Leeza Soho skyscraper, designed by Zaha Hadid Architects and completed in Beijing in 2019. (photo Weng Li)

Figure 3.3.5: The indoor climate strategy adopted for Leeza, designed by Zaha Hadid Architects. (image Zaha Hadid Architects)

Figura 3.3.6: Il masterplan Tun Razak, frutto di simulazione del comfort termico estesi a tutta l'area del sito. (immagine Grimshaw Architects)

Figure 3.3.6: Tun Razak's masterplan, result of simulations of thermal comfort extended to the entire area of the site. (image Grimshaw Architects)



levels of detail during all phases of the design process. Among the many projects defined according to logic oriented towards the optimisation of thermal comfort, it is worth mentioning the Tun Razak Masterplan, under construction in Kuala Lumpur in Malaysia, figure 3.3.6, an architectural complex that includes residences, offices, commercial and leisure areas. Architectures that Grimshaw (2020) has investigated in depth by studying the thermal and environmental performance of internal and external space, considering air flows, humidity, surface temperatures, and carbon dioxide levels, coming to define different thermal areas depending on the intended use for the environments. The theme of thermal comfort is therefore not limited to the interior of the buildings but is increasingly extended to entire urbanizations, or even portions of cities, analysed in their physical and energy performance: analysis that are the starting point for the adoption of climate mitigation strategies, carried out above throughout a variation of surfaces in the characteristics of heat absorption and reflection of the sun's rays, adoption of green walls, and planting of trees (Taleghani, 2018), organisms whose contribution can now be simulated thanks to a large architectural case study, information that the studies have collected over the years and represent a precious asset for any environmental simulation activity.

It is important to clarify the meaning of the words: thermal comfort. If on the one hand, it is now possible to use a series of metrics to judge the levels of comfort expected within a building, we must not forget that the perceived comfort level results from an evaluation that is always subjective, relative to our body, influenced by metabolic processes, muscle mass, clothing, exposure to sunlight, temperature and airspeed, humidity and many other factors, without excluding psychological ones, which play an important role in the personal definition of comfort. Considerations that designers and researchers, with years of experience on the subject, know well, so much so that as Al Fisher observes, the use of simulation is increasingly shifting from the objective to the subjective, overcoming the architectural organism to simulate the human experience and perception inside buildings, exploring the collection

LEED, *Leadership in Energy and Environmental Design*, promosse dal consiglio governativo statunitense per l'edilizia sostenibile. Nate alla fine degli anni novanta (Wu et al., 2016) e diventate oggi il più popolare criterio di valutazione ambientale. I metodi di simulazione energetica sono quindi fondamentali per lo sviluppo della sostenibilità ambientale, non solo perché sono il requisito per ottenere certificazioni ambientali, di cui Xavier de Kestelier riconosce i limiti, ma perché permettono una maggiore consapevolezza dei temi da affrontare con la committenza per attuare una diversa strategia, che tenga conto dell'impatto ecologico dell'edificio, non soltanto durante il suo ciclo di vita, ma anche in fase di costruzione. Di questa opinione è Arthur Mamou-Mani, che dichiara come gli architetti siano responsabili di un'importante parte delle emissioni globali, a partire dai materiali utilizzati per la costruzione, in particolare il calcestruzzo, la cui produzione incide per l'8% sulle emissioni globali di biossido di carbonio, affermando inoltre come la responsabilità dell'architetto si estenda nell'approvvigionamento di materiali ed energia, che hanno un'impronta ecologica variabile a seconda della nazione o addirittura la regione in cui si costruisce, argomenti di cui gli architetti contemporanei sono in genere poco consapevoli.

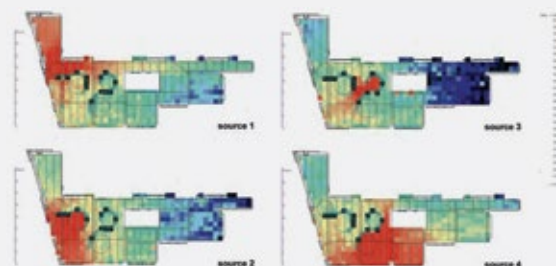
Al di là delle tecniche di simulazione fisiche già descritte, una diversa capacità di analisi delle ipotesi progettuali è fornita dalle simulazioni acustiche, adoperate dai progettisti per ottenere ambienti sonori conformi alle finalità degli spazi progettati. Metodi che si stanno dimostrando di grande utilità, non soltanto per la progettazione di architetture destinate ad eventi, come teatri, dove l'acustica è determinante nel definire la qualità degli spazi, ma anche in occasione di progetti in ambienti urbani. Contesti dove l'inquinamento acustico dovuto al transito di mezzi diventa un problema progettuale, che gli architetti affrontano raccogliendo dati sul traffico, e simulando la risposta delle architetture a scenari di traffico più frequenti. Citiamo ad esempio il progetto per la scuola Sydhavn di Copenaghen, in Danimarca, architettura, figura 3.3.7, completata nel 2015 dallo studio JJW Arkitekter, che ha approfondito l'acustica dell'edificio, non solo per isolarne gli spazi dall'inquinamento acustico esterno, ma anche per progettare la distribuzione interna degli ambienti, simulando la risultante acustica delle diverse attività previste all'interno della scuola, calcolando i tempi di riverbero delle onde sonore, arrivando a variare le ipotesi progettuali sia in termini di distribuzione interna che nella scelta dei materiali da utilizzare per finiture e arredi, figura 3.3.8 (Peters, 2018c).

Osserviamo come l'utilizzo di queste simulazioni influisca sulla definizione del manufatto architettonico, non soltanto nella scelta di materiali in base alle diverse proprietà acustiche, ma anche, sempre più spesso, nella definizione della forma architettonica, simulata in molteplici variazioni, con finalità di ottimizzazione, sino ad ottenere una forma consona alla performance desiderata. È il caso, tra gli altri, di un'architettura non ancora realizzata, la torre VTC di Copenaghen, edificio per uffici progettato dallo studio BIG Bjarke Ingels group, e in particolare dal dipartimento BIG Ideas, che per mitigare il rumore dovuto alla presenza di autostrade e ferrovie poste ai limiti del lotto ha adoperato tecniche di simulazione acustica, attraverso il programma Rhinoceros 3D con il quale hanno attuato una strategia performativa nella definizione

of subjective differences that define the end-users of the architecture and their environmental perception, establishing new metrics such as health and well-being.

Solar, thermal and fluid dynamics simulation techniques find further application in energy analysis, conducted to optimise buildings sustainability, reducing not only the environmental impact during construction but also and above all carbon emissions throughout the life cycle of architectures. To implement sustainable energy strategies, the analysis expands simulations, considering factors such as the consumption of electricity, water and heat loss of the different design hypotheses. Complexities impossible to predict without the aid of digital tools, and which, given the pressing actuality of global heating, are increasingly investigable through commercial programs created for architectural design. The prominence of this topic has led to a growing interest by bodies and governments, which over the years have developed standards and criteria for evaluating architectures in terms of energy. We recall, among others, the UNI standards on the environmental sustainability of 2019, but also the different environmental validation established by international associations, such as LEED certifications, Leadership in Energy and Environmental Design, promoted by the US government council for sustainable construction. Certifications born in the late nineties (Wu et al., 2016), become now the most popular environmental assessment criteria. Energy simulation methods are therefore fundamental for the development of environmental sustainability, not only because they are the requirements for obtaining environmental certifications, of which Xavier de Kestelier recognises the limits, but because they allow greater awareness of the issues to discuss with the client, to implement a different strategy, which considers the ecological impact of the building, not only during its life cycle but also during the construction phase. Of this opinion is Arthur Mamou-Mani, who declares that architects are responsible for an important part of global emissions, starting from the materials used for construction, in particular concrete, whose production accounts for 8% of global emissions of carbon dioxide, also affirming how the architect's responsibility extends to the procurement of materials and energy, which have a variable ecological footprint depending on the nation or even the region where we build: conditions of which contemporary architects are generally not very aware.

Beyond the physical simulation techniques already described, a different ability to analyse the design hypotheses is provided by acoustic simulations, used by the architects to get sound environments that conform to the purposes of the designed spaces. Methods that are proving to be of great utility, not only for the design of architectures intended for events, such as theatres, where the acoustics are crucial in defining the quality of spaces but also for projects in urban environments. Contexts where noise pollution because of the transit of vehicles becomes a design problem, which architects tackle by collecting traffic data and simulating the response of architectures to more frequent traffic scenarios. A good example of that is the project for the Sydhavn school in Copenhagen, Denmark: an architecture completed in 2015 by JJW arkitekter, figure 3.3.7 who investigated the building acoustics, not only to isolate the spaces from external noise pollution but also to define the distribution of the internal rooms, simulating the resulting acoustics of the various activities planned



dell'involucro architettonico, figure 3.3.9 e 3.3.10, e quindi nella geometria dell'edificio, modificando l'inclinazione delle superfici esterne, che alla base si protendono verso le fonti di rumore, smorzandone l'effetto ai piani superiori (Peters, 2018d). È importante sottolineare la complessità delle simulazioni acustiche per la progettazione architettoniche, ricordando che se da un lato questi strumenti permettono oggi ai progettisti di approfondire con un maggior dettaglio temi che gli architetti hanno sempre affrontato, simulando addirittura l'effettiva risposta acustica degli ambienti che può essere ascoltata tramite dispositivi per la realtà virtuale, dall'altro lato si tratta di fenomeni che non sempre è possibile visualizzare e comprendere facilmente, come ad esempio si può fare per la temperatura di una superficie o le velocità del vento, per questo è necessario che il progettista abbia una diversa consapevolezza dei valori fisici in gioco e del significato che essi rappresentano all'interno degli spazi progettati.

Le simulazioni trovano maggiori gradi di libertà e si distaccano seppur parzialmente dalle scienze fisiche, in un ambito sicuramente più complesso e meno quantificabile, il comportamento e la percezione umana. Se come abbiamo già visto, gli architetti stanno iniziando a simulare la presenza umana all'interno degli edifici, per misurarne l'impatto in termini ambientali e di comfort termico, gli studi di architettura e ingegneria sfruttano da anni le simulazioni del comportamento umano, che hanno dimostrato un'importante utilità per definire i livelli di sicurezza degli edifici in occasioni di emergenza. Con queste finalità, i progettisti utilizzano da anni le *crowd simulations*, figure 3.3.11 e 3.3.12, letteralmente simulazione di folle, realizzate popolando le architetture di cosiddetti agenti virtuali, che rappresentano i diversi utenti delle architetture e sono animate secondo le logiche dei *boids*, già accennati in occasione delle *fields conditions* di Stan Allen: approssimando il comportamento di individui intenzionati a raggiungere le uscite di sicurezza nel modo più veloce possibile. Le cosiddette *agent based simulations* vengono inoltre utilizzate dagli studi per misurare l'efficacia delle scelte progettuali in termini di fluidità degli spostamenti, minimizzazione dei percorsi interni ed esterni all'architettura, ma anche per il dimensionamento degli impianti di risalita o degli spazi comuni, come riportato da diversi intervistati. Harry Ibbes testimonia come all'interno dello studio Zaha Hadid Architects si faccia uso di simulazioni comportamentali, non solo in occasione della progettazione di architetture di grande scala e complessità, dove i flussi di utenti

Figura 3.3.7: L'ingresso della scuola Sydhavn, realizzata dallo studio JWW Arkitekter a Copenaghen. (foto JWW Arkitekter)

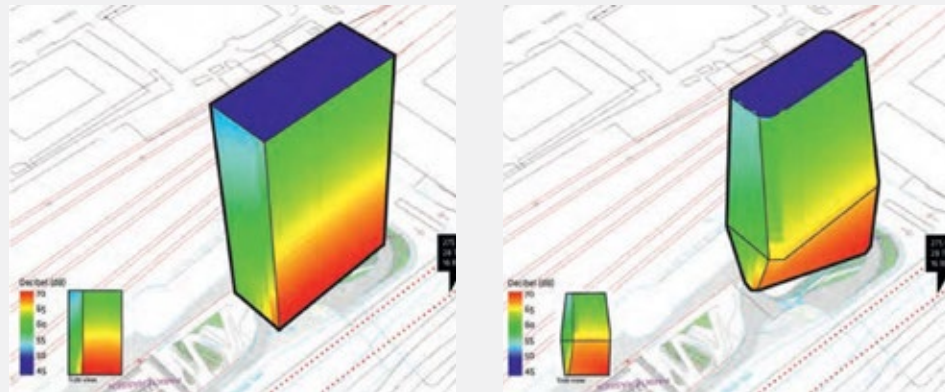
Figura 3.3.8: Vista dei livelli sonori degli ambienti di studio simulati dai progettisti. (Peters, 2018c, 57)

Figure 3.3.7: The entrance to the Sydhavn school, created by the JWW Arkitekter studio in Copenhagen. (photo JWW Arkitekter)

Figure 3.3.8: View of the sound levels of the studio environments simulated by the designers. (Peters, 2018c, 57)

Figura 3.3.9 e 3.3.10: Il modello della torre VTC di Copenaghen, la forma finale dell'edificio, sx, è il risultato di simulazione acustica. (Peters, 2018, 170)

Figure 3.3.9 and 3.3.10: The model of the VTC tower in Copenhagen, the building shape, left, is the result of acoustic simulation. (Peters, 2018, 170)



within the school, calculating the reverberation times of the sound waves, thus varying the design hypotheses both in terms of internal distribution and in the choice of materials to be used for finishes and furnishings, figure 3.3.8 (Peters, 2018c).

Using these simulations influences the definition of architectural artefacts, not only in the choice of materials based on the different acoustic properties but also, more and more often, in the definition of the architectural form, simulated in multiple variations, optimising results to get a shape suited to the desired performance. This is the case, among others, of a building not yet realised, the VTC tower in Copenhagen, an office building designed by the BIG Bjarke Ingels Group, with the contribution of BIG Ideas group, who, to mitigate the noise caused by highways and railways placed at the limits of the lot, has used acoustic simulation techniques, through software used to implement a performative strategy in the definition of the architectural envelope, and therefore in the building's geometry, changing the inclination of the external surfaces, figures 3.3.9 and 3.3.10, which at the base extend themselves towards the sources of noise, dampening the negative effect on the upper floors (Peters, 2018d). It is important to underline the complexity of acoustic simulations for architectural design, remembering that, if on the one hand these tools now allow designers to investigate in greater detail issues that architects have always faced, even simulating the actual acoustic response of environments that can be listened to through virtual reality devices, these phenomena cannot always be easily visualised and understood such as for the temperature of a surface or the wind speeds, then the architect must have a different awareness of the physics involved and of the meaning they eventually translate in architecture.

Simulations find greater degrees of freedom and detach themselves, albeit partially, from the physical sciences, in a context that is more complex and less quantifiable: human behaviour and perception. If, as we have already seen, architects are starting to simulate the human presence inside buildings, to measure their impact in terms of environmental and thermal comfort, architecture and engineering firms have been exploiting simulations of human behaviour to define the safety levels of buildings in case of emergency. For these purposes, architects have been using crowd simulations for years, figures 3.3.11 e 3.3.12. Simulations created by populating the architectures of virtual agents, which represent the different users of the spaces and

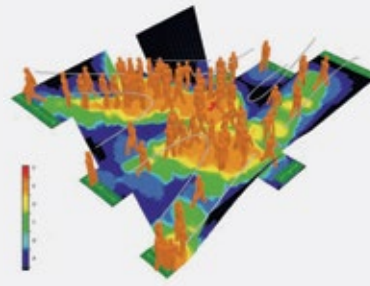
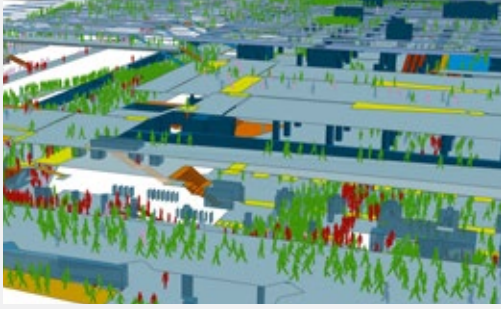


Figura 3.3.11: L'interfaccia del software MassMotion, sviluppato da Arup per svolgere crowd simulations. (immagine Arup)

Figura 3.3.12: Simulazione del comportamento umano sviluppata da David di Giuseppe. (Peters, 2018b, 96)

hanno una permeante importanza, ma anche in ambiti meno lineari, tentando di approssimare algoritmicamente le scelte e quindi il comportamento degli esseri umani nella fruizione di spazi per uffici o per il tempo libero. È sicuramente possibile chiedersi quanto questa ultima tipologia di simulazioni possano essere affidabili, non molto secondo diversi intervistati, che come Daniel Davis, si dimostrano scettici su quanto il tentativo di prevedere il comportamento e la percezione umana tramite agenti virtuali possa effettivamente dimostrarsi esatto una volta che le architetture sono definite. Allo stesso modo, Arthur Mamou-Mani ricorda che è impossibile pensare di simulare il comportamento umano oltre certi limiti, perché se in situazioni di emergenza come un incendio è possibile presumere che ognuno di noi si muoverà verso l'uscita con una certa rapidità, non è al contrario possibile prevedere la percezione e la reazione dei singoli individui ad un ambiente, in quanto risposta condizionata da fattori assolutamente personali e non quantificabili, come quelli psicologici, che determinano negli esseri umani comportamenti caotici di secondo livello, sicuramente imprevedibili.

Figure 3.3.11: The interface of MassMotion software, developed by Arup to perform crowd simulations. (Image Arup)

Figure 3.3.12: Human behaviour simulation developed by David di Giuseppe. (Peters, 2018b, 96)

Al contrario, come osserva, Edoardo Tibuzzi, un approccio più affidabile, seppur approssimativo, potrebbe essere quello di partire da dati reali, registrazioni dei comportamenti delle persone in diversi ambienti ed occasioni, che i progettisti dovrebbero innanzitutto studiare per una corretta interpretazione, e potrebbero inoltre approfondire tramite l'ausilio delle intelligenze artificiali, tecniche che riconoscono oggi autonomamente volti e addirittura le diverse espressioni umane (Shan et al., 2009). Nonostante le prospettive descritte, non ci risulta che attualmente alcuno studio di architettura si sia mosso in questa direzione, ciò che comunque è facilmente osservabile è l'interesse per gli studi di architettura nei confronti dei dati, tanto che, come sostiene Harry Ibbs, gli studi di architettura stanno, con sempre maggiore frequenza, cercando di istituire sodalizi professionali con aziende che posseggono e gestiscono grandi moli di dati, come le multinazionali dell'informatica o i grandi gruppi commerciali da cui gli architetti potrebbero acquisire informazioni utili sull'utilizzo degli spazi da parte dell'utenza. È evidente, come testimonia Al Fisher, che in questo momento storico molti dei metodi di simulazione già descritti si siano già cementificati all'interno dei processi progettuali dei maggiori studi contemporanei, guardando alle più recenti innovazioni in termini di simulazione per l'architettura l'intervistato legge come la ricerca si stia spostando sempre più dalla oggettività delle caratteristiche fisiche, verso la soggettività, ovvero verso nuove complessità multidisciplinari che riguardano la diversa percezione dell'architettura da parte dei suoi abitanti, con l'intenzione di creare quella che definisce l'atmosfera architettonica. Un

move according to the logic of boids, already mentioned in the fields conditions by Stan Allen: approximating the behaviour of individuals intent on reaching fire exits as quickly as possible. The agent-based simulations are also used by practices to measure the effectiveness of design choices in terms of fluidity of movements, minimisation of internal and external routes, but also for the sizing distribution spaces, such as reported by several respondents. Harry Ibbs testifies how Zaha Hadid Architects use behavioural simulations, not only when designing large-scale and complex architectures where the flows of users have pervasive importance, but also in less linear areas, trying to approximate algorithmically the choices and therefore the behaviour of human beings in using offices or leisure spaces. It is possible to ask how reliable this last type of simulations can be, not much according to several interviewees, who, like Daniel Davis, are sceptical about how much, the attempt to predict human behaviour and perception through virtual agents can prove correct once the architectures are built. Similarly, Arthur Mamou-Mani recalls that it is impossible to think of simulating human behaviour beyond certain limits because if in emergencies such as a fire it is possible to assume that each of us will move towards the exit with a certain speed, it is not possible on the contrary to predict the perception and reaction of individuals to an environment, as a response conditioned by absolutely personal and non-quantifiable factors, such as psychological ones, which determine second-level chaotic behaviours in human beings, certainly unpredictable.

As Edoardo Tibuzzi observes, a more reliable, albeit approximate, approach could be to start from real data, records of people's behaviour in different environments and occasions, that architects should, first, analyse for a correct interpretation and then deepen through the aid of artificial intelligence, techniques that today can autonomously recognise faces and even different human expressions (Shan et al., 2009). Despite the perspectives described, currently, few architectural firms have moved in this direction, on the contrary, what is easily observable is the interest for architectural firms towards data, so much so that, as Harry Ibbs argues, architectural firms are increasingly trying to establish professional partnerships with companies that own and manage large amounts of data, such as IT multinationals or large commercial groups from which architects could gain useful information on the use of spaces by the user. It is clear, as Al Fisher testifies, that in this historical moment many of the simulation methods already described have already cemented themselves within the design processes of the major contemporary practices. Talking about the most recent innovations in terms of simulation for architecture, the interviewee explains how research is moving more and more from the objectivity of physical characteristics, towards subjectivity, or towards new multidisciplinary complexities that concern the different perception of architecture by its inhabitants, intending to create what Fisher defines the architectural atmosphere. A value that can be expressed through the combination of heterogeneous parameters, approximations of reality that offer architects a different comprehension of architectural hypotheses, and represent a further attempt to overcome previously empirical approaches.

With this intention, architects began to simulate the design hypotheses through video games graphics engines, digital platforms used by video game designers for the

valore esprimibile tramite la combinazione di parametri eterogenei, approssimazioni della realtà che offrono ai progettisti una diversa lettura delle ipotesi progettuali, e rappresentano un ulteriore tentativo di superare approcci precedentemente empirici.

Con questa intenzione i progettisti hanno iniziato a simulare le ipotesi progettuali attraverso i motori grafici per video giochi, piattaforme digitali utilizzate dai progettisti di videogames per la costruzione di ambienti virtuali dove il giocatore può muoversi in tre dimensioni, esplorando paesaggi virtuali, così come testimoniato da Steven Chilton. Oggi, queste tecnologie informatiche iniziano ad essere utilizzate dagli architetti, che forti dell'esperienza in modellazione digitale, sono in grado non solo di realizzare modelli complessi, in cui i materiali e le loro diverse proprietà fisiche sono renderizzate con un'accuratezza senza precedenti, ma anche e soprattutto di visitare le architetture durante le diverse fasi di definizione progettuale.

Diversi intervistati descrivono l'utilità di queste simulazioni nell'evidenziare incongruenze progettuali che sarebbero altrimenti difficilmente identificabili, a partire dalla percezione delle architetture in relazione al contesto urbano, riprodotto all'interno dei motori grafici dove è possibile simulare l'esperienza di un utente sin dalla percezione dei manufatti in ambienti urbani, per avere immediatamente un riscontro sull'effettiva visibilità di punti di ingresso, snodi e sistemi di risalita, e virare quindi le ipotesi progettuale verso soluzioni più efficaci.

Dove questi metodi si spingono verso la soggettività, come già testimoniato da Al Fisher, è nella possibilità che i motori grafici offrono di impersonare le molteplici caratteristiche degli utenti, che come all'interno di un videogioco possono essere simulati definendo personaggi unici, come un bambino o un anziano, che si muoverà ad una velocità diversa e al contrario del bambino si stancherà più facilmente nel tragitto che lo separa da un parcheggio ad un ingresso. Così come nel caso di persone con difficoltà di deambulazione o con handicap, che navigando attraverso un architettura non possono affrontare un determinato dislivello o una serie seppur limitata di gradini, e per queste basilari motivazioni vivono con maggiore pesantezza problemi progettuali invisibili ad altri. La capacità inclusiva adesso garantita da questi metodi si spinge oltre la deambulazione, offrendo ai progettisti la possibilità di vivere l'architettura come farebbe ad esempio una persona con una diversa percezione visiva dei colori, come i daltonici, la cui visione può essere simulata tramite le caratteristiche proprie dell'avatar, e considerata in ambiente tridimensionale complesso e fotorealistico.

L'utilizzo di queste tecnologie informatiche è di sicura utilità secondo Arthur Mamou-Mani, che guardando all'architettura contemporanea legge una distanza tra le intenzioni dei progettisti e l'effettiva percezione delle architetture da parte degli utenti. Questo perché, nonostante le nuove capacità digitali e l'estensione delle responsabilità progettuali al ciclo di vita del manufatto architettonico, l'attività del progettista termina con la costruzione dell'edificio, sono pochi gli studi che realizzano degli studi supplementari sulle architetture già costruite per misurarne l'effettivo utilizzo da parte degli abitanti. I motori grafici e la realtà virtuale potrebbero essere utilizzati dai progettisti in fase di progettazione, rendendo le simulazioni partecipate, offrendo ai futuri abitanti la possibilità di visitarle per raccogliere feedback di sicura utilità da parte

construction of virtual environments where the player can move in three dimensions, exploring virtual landscapes. As witnessed by Steven Chilton, today architects, strong of their experience in digital modelling, are using these technologies, becoming able to create complex models, in which materials and their different physical properties are rendered with unprecedented accuracy, and to visit the architectures during the different phases of design definition. Several interviewees described the usefulness of these simulations in highlighting design inconsistencies that would otherwise be difficult to identify. Starting from the perception of the architectures with the urban context, reproduced within games engines where it is possible to simulate the users' experience in urban environments, to have immediate feedback on the effective visibility of entry points, junctions and lifts, and therefore turn the design hypotheses towards more effective solutions. Where these methods push towards subjectivity, as already witnessed by Al Fisher, is in the possibility that the graphics engines offer to impersonate the multiple characteristics of the users, which, as in a video game, can be simulated by defining unique characters, such as a child, or an elderly person who will move at a different speed and, unlike the child, will tire more easily on the journey that separates him from a parking lot to an entrance. As well as, for people with walking difficulties or with disabilities, who, navigating through an architecture, cannot tackle a certain height difference or a limited series of steps, and for these basic reasons experience design problems invisible to others. The inclusive capacity now guaranteed by these methods goes beyond walking, offering designers the possibility of experiencing architecture as would, for example, a person with a different visual perception of colours, such as colour blind people, whose vision can be simulated through characteristics of the avatar, and considered in a complex and photorealistic three-dimensional environment.

Using these information technologies is certainly useful according to Arthur Mamou-Mani, who, looking at contemporary architecture, reads a distance between the architects' intentions and the actual perception of the architecture by the end-users. This is because, despite the new digital capabilities and the extension of design responsibilities to the life cycle of the architectural artefact, the architects' activity ends with the construction of the building: only a few practices carry out additional studies on the architectures already built for measuring its actual use by the inhabitants. With these intentions, architects could use graphic engines and virtual reality during the design phase, making simulations participatory, offering future inhabitants the opportunity to visit them to collect feedback of sure usefulness from those who will inhabit the architectures. This alternative possibility of digital participation would therefore be useful for acquiring greater awareness of design hypotheses and would allow architects to avoid critical issues that currently arise only when the architectures are already built and users live in them.

An interesting example of constructive use of these tools is described by Alvis Simondetti (2016), head of Arup Explores, on the occasion of the Building smart conference held in Berlin in October 2016, wherein foreseeing a different participated future for architectural design, presented the Crowdsourcing design feedback method. An architecture navigation system based on a game engine which was developed to

di chi vive il contesto all'interno del quale le architetture verranno in seguito definite. Questa nuova possibilità di partecipazione digitale sarebbe quindi utile per acquisire una maggiore consapevolezza sulle ipotesi progettuali e consentirebbe ai progettisti di evitare criticità che attualmente si manifestano soltanto quando le architetture sono già costruite e gli utenti le abitano.

Un'interessante esempio di un utilizzo sicuramente costruttivo di questi strumenti è quello descritto da Alvise Simondetti (2016), capo del gruppo Arup Explores, in occasione della conferenza Buildingsmart svoltasi a Berlino nell'ottobre del 2016, dove nel prevedere un diverso futuro partecipato per la progettazione architettonica ha presentato il metodo *Crowdsourcing design feedback*. Un sistema di navigazione delle architetture basato su un motore grafico, che è stato sviluppato da Arup per registrare il comportamento di utenti all'interno di edifici virtuali, così da effettuare una vera e propria valutazione dell'architettura prima che venga costruita. Il sistema è già utilizzato da Arup in occasione di progetti complessi come aeroporti e stazioni, dove la capacità degli utenti di orientarsi e navigare tra gli ambienti è un importante indicatore di qualità progettuale, e viene in particolare utilizzato per verificare l'efficacia dei sistemi di *wayfinding* e di segni progettati per orientare l'utenza. Guardiamo ad esempio l'estensione della Admiralty station di Hong Kong, figure 3.3.13 e 3.3.14, stazione di snodo attualmente in costruzione, progettata per accogliere un milione di visitatori al giorno, che si muoveranno all'interno della complessa struttura con l'intento principale di raggiungere una piattaforma da cui prendere il mezzo successivo. Per studiare il complesso sistema di oltre mille segni progettati per la stazione, lo studio ha approfittato della biennale di Venezia del 2014, sfidando gli utenti della manifestazione a raggiungere un determinato punto della stazione sulla base del sistema di *wayfinding* riprodotto all'interno del sistema virtuale, registrando così oltre millecinquecento percorsi diversi, esperienze degli utenti che hanno permesso di evidenziare criticità nel 25% dei segni progettati, errori progettuali che gli architetti sono riusciti ad evitare grazie ad una simulazione digitale inclusiva.

3.4 LE RELAZIONI CON ALTRI AMBITI PROGETTUALI

La condizione contemporanea è caratterizzata, come abbiamo già letto, da un fervente incrocio fra saperi, una spiccata interdisciplinarietà che sta favorendo il dialogo e la contaminazione fra diversi ambiti epistemologici, un fenomeno che non è nuovo in senso assoluto, ma ha raggiunto una maggiore ampiezza in seno alla rivoluzione digitale. Come abbiamo già visto, il progetto d'architettura non è immune da questa ibridazione, che spinge con sempre maggior frequenza i progettisti a guardare al di fuori della nostra disciplina, alla ricerca di metodi e prassi da integrare all'interno del processo progettuale per leggere e controllare la complessità dei temi dell'architettura. Nell'esplorazione all'esterno della nostra disciplina, lo sguardo degli architetti si direziona innanzitutto verso altri ambiti progettuali, all'interno del quale è possibile trovare importanti punti di contatto con le specificità comuni alla nostra professione. Ciò non ci deve trarre in inganno, né ci deve portare a sottovalutare la differenza tra

Figure 3.3.13 e 3.3.14:
L'applicazione Crowd-
sourcing design feedback
utilizzata dallo studio
Arup per l'ottimizzazione
della segnaletica della
Admiralty station di Hong
Kong. (Simondetti, 2016)



Figures 3.3.13 and 3.3.14:
The Crowdsourcing
design feedback software
designed by Arup and
used for optimizing the
signage of the Hong Kong
Admiralty station.
(Simondetti, 2016)

record the users' behaviour inside virtual buildings, to assess the architecture before it is built. The system was already used by Arup on the occasion of complex projects such as airports and stations, where users' ability to orient themselves and navigate between environments is an important indicator of design quality and is used to verify the effectiveness of way-finding and signs. The interactive system was used for these purposes on the occasion of the Hong Kong Admiralty station extension, figure 3.3.13 and 3.3.14, a hub station currently under construction, designed to accommodate one million visitors a day, who will move within the complex structure with the main intent to reach a platform where they take the next vehicle. To study this complex system of over a thousand signs designed for the station, Arup took advantage of the 2014 Venice Biennale, challenging users to reach a specific point of the station based on the way-finding system reproduced within the virtual system: recording over one thousand five hundred different paths, user experiences that made it possible to highlight critical issues in 25% of the designed signs, design errors that the architects could avoid thanks to an inclusive digital simulation.

3.4 RELATIONS WITH OTHER DESIGN FIELDS

The contemporary condition is characterised, as we have already read, by a fervent intersection of knowledge. This marked interdisciplinarity is favouring dialogue and contamination between different epistemological fields: a phenomenon that is not new in an absolute sense but has reached a greater extent within the digital revolution. As we have already seen, architectural design is not immune from this hybridisation, which increasingly pushes designers to look outside our discipline, in search of methods and practices to be integrated into the design process to read and check the complexity of architectural themes. While exploring outside our discipline, architects' gaze is directed first to other design areas, within which it is possible to find important points of contact with some specificities common to our profession. This should not mislead us, nor should it lead us to underestimate the difference between the objectives and the peculiarities that define the architectural project compared to

gli obiettivi e le peculiarità che definiscono il progetto di architettura rispetto ad altre categorie di progetti. Il progetto di architettura è sempre una possibile risposta ad una serie di contesti, articolato in una serie di elaborati che tendono alla produzione di un manufatto unico, che deve rispondere alle specificità caratteristiche del luogo dove l'architettura si insedierà (Gregotti, 1966). Non si può dire lo stesso di altri ambiti della progettazione, come il design industriale ad esempio, dove i contesti hanno oggettivamente un'influenza minore e significati meno limitanti. Allo stesso modo è evidente un diverso rapporto tra le attività di progettazione e quelle di produzione dei manufatti, se il progetto di architettura viene realizzato fisicamente nell'arco di anni, con un corposo distacco temporale rispetto alla conclusione del progetto. Lo stesso non accade in altre discipline progettuali, dove il progetto ha un rapporto più stretto con la realizzazione esecutiva, è questo il caso della progettazione di interfacce grafiche digitali, ambito progettuale che negli ultimi decenni ha acquisito una nuova specificità disciplinare. Osserviamo un'ulteriore differenza nel rapporto tra progetto e realizzazione guardando a settori come l'industria automobilistica, dove con grande frequenza i progetti vengono realizzati internamente alla stessa azienda che si occuperà poi della produzione dei manufatti, ciò permette un dialogo più fluido tra le due fasi e tra i diversi attori. È quindi importante considerare le quantità di esemplari in cui un progetto verrà riprodotto, se il progetto architettonico coincide quasi sempre con un unico manufatto prodotto, di un'automobile verranno prodotti migliaia se non milioni di esemplari, ciò permette ai progettisti e alle aziende di concentrare un diverso investimento economico su di un unico progetto che nell'arco di generazioni si evolve, tanto che è spesso possibile leggere nelle auto prodotte una diretta relazione tra modelli che nel tempo si susseguono. Fattori che hanno tutti un'importante influenza sulla capacità di innovare dei diversi ambiti progettuali: se la risposta architettonica alle sollecitazioni tecniche e sociali è necessariamente rallentata dalle caratteristiche lentezza e unicità dell'architettura, ambiti come la progettazione automobilistica, sono in grado di offrire risposte più veloci. Una reattività superata dalla progettazione di interfacce grafiche e siti web, che oggi si evolvono ad una velocità tale che un progetto può risultare obsoleto già nell'arco di mesi. La consapevolezza di questa viscosità, caratteristica innata dell'architettura ha portato gli studi professionali a guardare con sempre maggiore frequenza all'esterno della disciplina, alla ricerca di analogie da poter ricostruire all'interno della pratica progettuale architettonica.

Un ambito progettuale a cui gli architetti guardano con particolare interesse è quello della progettazione aerospaziale: se come vedremo la spline, metodo di rappresentazione protagonista della prima svolta digitale, si è evoluto largamente in seno all'industria automobilistica e quindi all'interno della Boeing, multinazionale che si occupa di progettazione e costruzione di aeromobili, oggi gli architetti guardano ai metodi e all'organizzazione dei processi di questo settore. In occasione di una *lecture* tenutasi alla Università di Westminster il 3 ottobre del 2019, Cristiano Ceccato (2019a), direttore associato dello studio Zaha Hadid Architects propone un paragone tra l'iter progettuale all'interno della Boeing e in uno studio d'architettura. Osservando come per affrontare la complessità della progettazione di un aeromobile, l'azienda aerospaziale abbia nell'arco di anni adottato processi totalmente digitali, orientati

other categories of projects. The architectural project is always a possible solution to a series of contexts, a collection of conditions that produce a unique artefact which must respond to the specific characteristics of the place where the architecture will be established (Gregotti, 1966). The same cannot be said of other areas of design, such as industrial design for example, where contexts objectively have less influence and a less limiting meaning. Similarly, a different relationship between the design and production of objects is clear: if the architectural project is physically carried out over years, with a substantial time gap compared to the conclusion of the project, the same does not happen in other design fields, where the project has a closer relationship with the executive realisation. This is the case of the design of digital graphic interfaces, a field that in the last decades has gained a new disciplinary specificity. We observe a further difference in the relationship between design and implementation by looking at sectors such as the automotive industry, where projects are very often carried out internally by the same company that will then take care of the production of the products, this allows a more fluid dialogue between the two phases and between the several actors taking part the process. It is therefore important to consider the quantities of what will be produced: if the architectural design almost always coincides with a single manufactured product, thousands if not millions of copies of a car will be produced, this allows designers and companies to concentrate a different economic investment on a single project that strengthens over generations, so much so it is often possible to read in the cars produced a direct relationship between models that follow each another. These factors all have an important influence on the ability to innovate in the various design areas: where the architectural response to technical and social solicitations it is necessarily slowed down by the characteristic slowness and uniqueness of the architecture, areas such as automotive design can offer faster answers. A reactivity surpassed by web design, today developed at such a speed that a project can become obsolete within months. The awareness of this viscosity, innate characteristic of architecture, has led professional firms to look with an increasing frequency outside our discipline, in search of analogies that can be reconstructed within the architectural design practice.

A field to which architects look with particular interest is that of aerospace design. If, as we will see, the splines, a family of representation methods protagonist of the first digital turn, has largely evolved within the automotive industry and therefore also within Boeing, even contemporary architects look at aerospace, especially in their methods and organisation of processes. On the occasion of a lecture held at the University of Westminster on October 3, 2019, Cristiano Ceccato (2019a), associate director of Zaha Hadid Architects, proposes a comparison between the design process within Boeing and in an architecture studio. Observing how to deal with the complexity of the design, the aerospace company has adopted digital processes, oriented to the organisation of a single model, defined as a virtual mock-up, which not only makes the whole phase of documentation faster, by making paper technical drawings obsolete, but also collects all the design information in a single virtual environment, where every single part of the product is reproduced in its geometric and physical characteristics, by allowing to calculate weights and

alla organizzazione di un unico modello, definito come *virtual mock-up*, che non soltanto rende istantanea tutta la fase di documentazione, facendo diventare obsoleti i disegni tecnici cartacei, ma raccoglie tutte le informazioni progettuali in un unico ambiente virtuale, dove ogni singola parte del manufatto viene riprodotta nelle sue caratteristiche geometriche e fisiche, permettendo di calcolare pesi e performance, simulando il comportamento dell'aeroplano prima di ogni attività di produzione. Ogni operazione sul modello è gestita secondo il paradigma dell'*authoritative data*, un sistema di organizzazione dei permessi operativi all'interno del processo progettuale, che definisce ruoli e responsabilità sui singoli pezzi del manufatto, dalla fase di ideazione sino alla produzione. Questa diversa modalità di gestione è oggi resa necessaria da una caratteristica permeante della progettazione di aeromobili: la molteplicità di gruppi specialisti che operano contemporaneamente nella gestione della forma, risultato di collaborazioni internazionali tra oltre venti studi e aziende con competenze puntuali che si occupano della definizione e della produzione del progetto decentralizzata in America, Europa e Asia. È interessante osservare come data la complessità di produzione dei manufatti, la Boeing utilizzi metodi digitali non soltanto per misurare la performance degli aeroplani durante il ciclo di vita, ma anche per anticipare virtualmente la costruzione e l'assemblaggio delle parti, processo che viene ugualmente progettato da specialisti per evitare costose incongruenze.

Ceccato propone quindi una lettura del processo progettuale nell'industria aerospaziale, figura 3.4.1, partendo dal Boeing 747, progettato negli anni 70, secondo un iter che prevedeva una progettazione centralizzata, così come la produzione delle parti, realizzata all'interno dell'azienda, che detiene *in toto* la conoscenza necessaria alla produzione del progetto e del manufatto, assumendosi integralmente il rischio legato alle due attività. Inoltre, si tratta di un progetto che avviene ancora totalmente su carta, e culmina nella produzione di un manufatto composto da oltre tre milioni di parti diverse. Una prima svolta è segnata dal modello 777, progettato nel 1995, per il quale la Boeing ha mantenuto una progettazione centralizzata, iniziando a decentralizzare in tutto il mondo la produzione delle parti, che verranno comunque assemblate dall'azienda. Con questo progetto l'azienda detiene ancora internamente la conoscenza necessaria alla progettazione e alla realizzazione del manufatto, ma inizia a condividere i rischi di realizzazione con diversi gruppi di aziende produttrici. Un'ulteriore variazione è segnata dall'abbandono della carta che non è più il supporto su cui il progetto si evolve, ed è sostituita dal *mockup* digitale, all'interno del quale è possibile per i progettisti, non solo coordinare le complessità progettuali, ma anche ottimizzare il numero di pezzi singoli che compongono l'aeromobile, ridotto da tre ad un milione di parti che integrano le precedenti in moduli. Con il progetto del 787, completato negli anni dieci del duemila, è evidente un'ulteriore svolta, se con i modelli precedenti la progettazione era comunque un'attività centralizzata all'interno dell'azienda, adesso è diventata un'attività decentralizzata, condivisa tra diversi attori in tutto il mondo, che si fanno portatori di competenze e conoscenze diverse, e insieme all'azienda condividono il rischio non soltanto in fase di produzione ma anche in fase di progettazione. Allo stesso modo l'assemblaggio finale delle parti che compongono l'aeromobile è adesso preceduto da un preassemblaggio che avviene nelle diverse sedi

performances, and simulating the behaviour of the aeroplane before any production activity. They manage each operation according to the authoritative data paradigm: a system of operating permits within the design process, which defines roles and responsibilities on the individual pieces of the product, from the conception phase to the production. This different management method is now necessary because of a permeating characteristic of aircraft design: the multiplicity of specialist groups that operate simultaneously on the project. Aeroplane design at Boeing is now the result of international collaborations between over twenty firms and companies with specific skills, that deal with the definition of decentralised design and production in America, Europe and Asia. It is interesting to observe how given the complexity of manufacturing the artefacts, Boeing uses digital methods not only to measure the performance of aeroplanes during the life cycle but also to anticipate the construction and assembly of parts, a process that is also designed by specialists to avoid costly inconsistencies.

Ceccato proposes an interpretation of the design process in the aerospace industry, figure 3.4.1, starting from the Boeing 747, designed in the 70s, according to a process that provided for centralised design, and the production of parts, carried out within the company, which owns the knowledge necessary for the development of the project and the product, fully assuming the risk associated with the two activities. It is a project placed entirely on paper, and which culminated in the production of an artefact composed of over three million different parts. A first turning point is marked by the 777 model, designed in 1995, for which Boeing has maintained a centralised design, starting to decentralise the production of parts around the world, parts which the company will still assemble. With this project, the company still maintains the entire knowledge necessary for the design internally but shares the construction risks with disparate groups of manufacturing companies. A further variation is marked by the abandonment of paper which is no longer the support on which the project develops, and it is replaced by digital mockups, within which it is possible for designers not only to coordinate the design complexities but also to optimise the number of individual pieces that make up the aircraft, reduced from three to one million parts that integrate the previous ones in modules. With the 787 project, completed in the 10s of the 2000s, a further turning point is clear: when with the previous models the design was still a centralised activity within the company, now it has become a decentralised activity, shared between different actors all over the world, who become bearers of different skills and knowledge, and together with the company share the risk not only in the production phase but also in the design phase. In the same way, the final assembly of the parts that makes up the aircraft is now preceded by a pre-assembly that takes place in various manufacturing companies, this further decreases the number of parts, which has dropped to about one hundred thousand pieces, designed and optimised thanks to a different 3D modelling system, fully digital, which gives each actor full control over the individual parts designed and allows a richer comparison between the different groups distributed globally. From the graph presented by Ceccato, it is immediately possible to deduce how the design process has evolved towards a minimisation of the risk, and a reduction in the number of parts, which

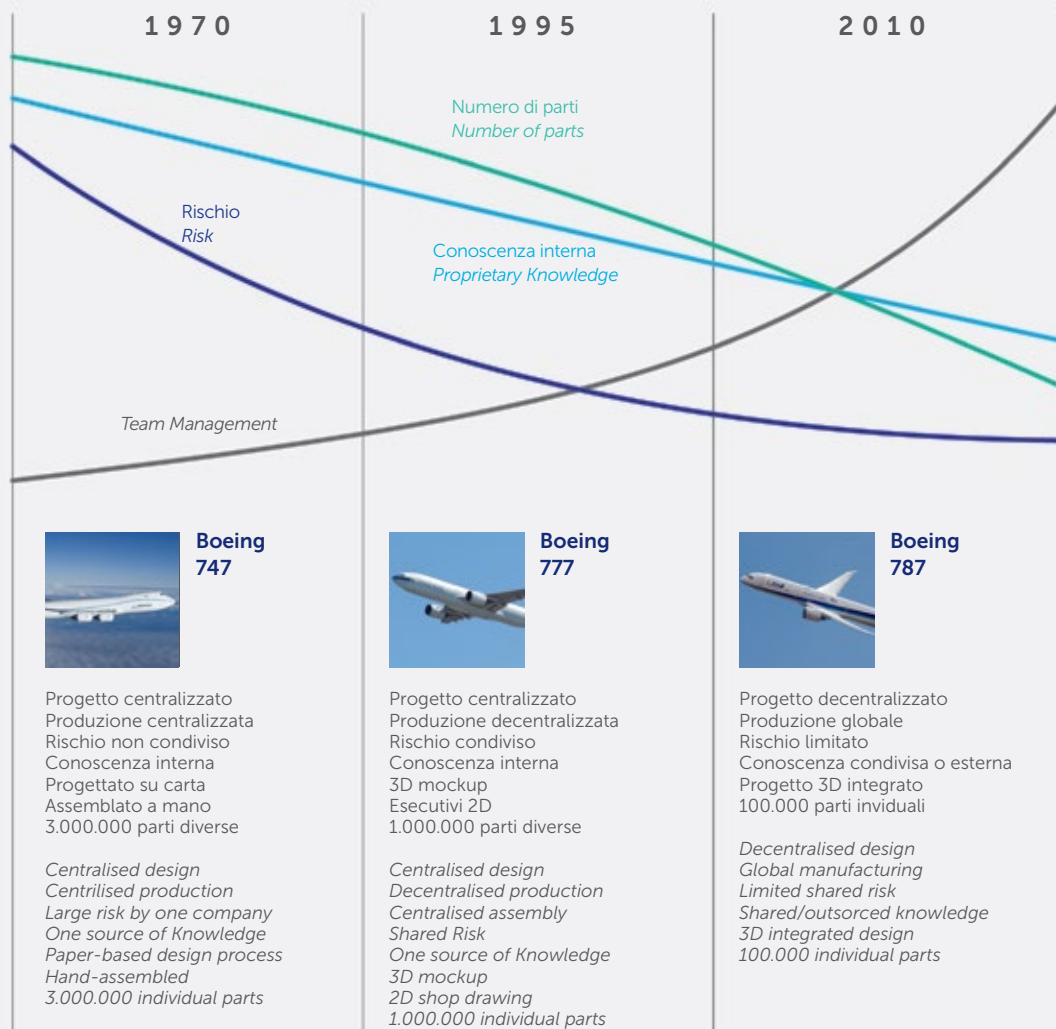


Figura 3.4.1: L'evoluzione della progettazione di aereomobili all'interno dell'azienda Boeing, dal 1970 al 2010. (Ceccato, 2019a)

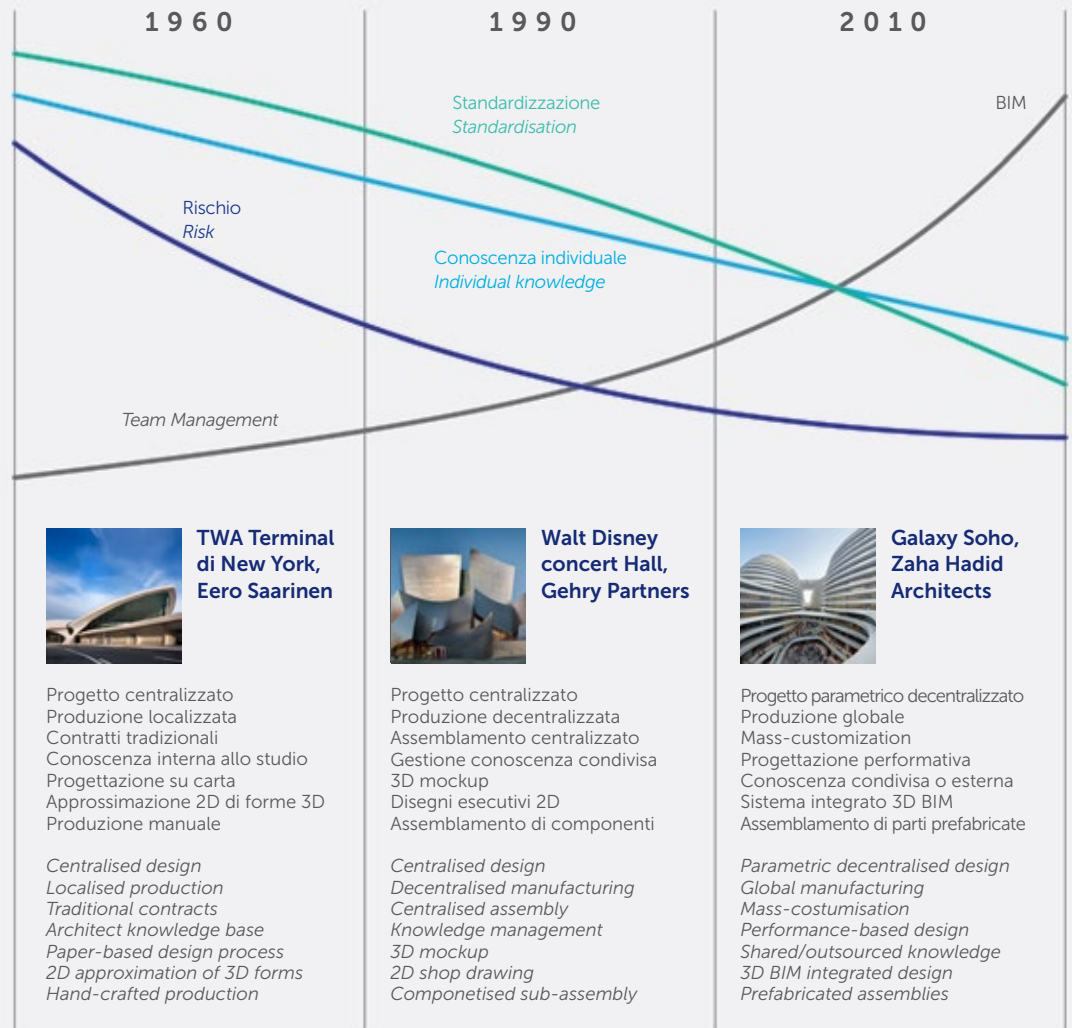
Figure 3.4.1: The evolution of aircraft design within the Boeing company, from 1970 to 2010. (Ceccato, 2019a)

delle aziende produttrici, ciò diminuisce ulteriormente il numero di parti, sceso a circa centomila pezzi, progettati e ottimizzati grazie a un diverso sistema di modellazione 3D, integralmente digitale, che fornisce ad ogni attore il pieno controllo sulle singole parti progettate e un confronto tra i diversi gruppi distribuiti globalmente. Dal grafico presentato da Ceccato è immediatamente desumibile come nell'arco di anni l'iter progettuale si sia evoluto verso una minimizzazione del rischio, così come una riduzione del numero di parti, passato da tre milioni a centomila pezzi unici, a ciò è corrisponde una graduale diminuzione della centralizzazione del sapere e quindi dell'iter progettuale, che coincide con una maggiore attenzione nei confronti del processo, sempre più partecipato, globale e condiviso.

L'architetto sviluppa quindi una analogia tra processo progettuale all'interno della Boeing e in architettura, guardando nello specifico alla progettazione di architetture dalle forme curvilineari, figura 3.4.2, prendendo ad esempio tre edifici paradigmatici progettati e realizzati in tre diversi momenti storici. La prima architettura presa in esame è il TWA flight centre di New York, architettura progettata negli anni sessanta dall'architetto Finlandese Eero Saarinen: edificio sviluppato all'interno dello studio del

Figura 3.4.2: L'evoluzione della progettazione di architetture curvilinee dagli anni sessanta agli anni 2010. (Ceccato, 2019a)

Figure 3.4.2: The evolution of the design of curvilinear architectures from the sixties to the 2010s. (Ceccato, 2019a)



has gone from three million to a hundred thousand unique pieces, this corresponds to a gradual decrease in the centralisation of knowledge and design process, which coincides with greater attention to the process, increasingly participatory, global and shared.

The architect, therefore, develops an analogy between the design process within Boeing and architecture, looking specifically at the design of curved architecture, figure 3.4.2, taking, for example, three paradigmatic buildings designed and built in three different historical moments. The first architecture examined is the TWA flight centre in New York, an architecture designed in the sixties by the Finnish architect Eero Saarinen. This building was developed within the designer's studio, according to a centralised activity, based on the specific knowledge of the architects, through an extensive design and study of organic forms on paper: a two-dimensional approximation of three-dimensional objects. This organic masterpiece was followed by a traditional contractual process, and in the same way, it was physically built through careful manual work by the several workers involved. The second architecture analysed is the Walt Disney concert hall in Los Angeles, designed in the 1990s by

progettista, secondo un'attività centralizzata, basata sulle conoscenze specifiche del gruppo di architetti, attraverso un'ampia attività di disegno e approfondimento delle forme organiche su carta, tramite un'approssimazione in due dimensioni di oggetti tridimensionali. Un capolavoro organico che ha seguito un iter contrattuale di tipo tradizionale, e allo stesso modo è stato realizzato fisicamente tramite un attento lavoro manuale da parte delle maestranze coinvolte. La seconda architettura è la Walt Disney concert hall di Los Angeles, progettata negli anni novanta dallo studio di Frank Gehry e completata nel 2004, secondo un processo che ancora una volta è centralizzato, ampiamente basato sulle conoscenze individuali del gruppo di progettisti, ma che sono adesso trasposte su ambienti digitali, dove è possibile modellare le complesse forme organiche in tre dimensioni, forme che verranno comunque tradotte in due dimensioni su disegni tecnici cartacei, ma che grazie ad un sistema di condivisione digitale di informazioni e modelli, verranno prodotte da aziende terze e quindi assemblate sul sito di costruzione. L'ultima architettura, rappresentativa degli anni duemiladieci, è il complesso Galaxy Soho di Pechino, firmato dallo studio Zaha Hadid Architects e curato dallo stesso Ceccato, che nel descriverne il processo progettuale parla di progettazione parametrica decentralizzata, sviluppata da diversi attori dislocati in diverse parti del mondo, che hanno operato contemporaneamente sul progetto confrontandosi con le possibilità costruttive e la maturità del settore di costruzioni cinese, in un ulteriore passo verso la personalizzazione delle parti costituenti il manufatto architettonico, ottenute in seguito ad un'attività progettuale di tipo performativo. Un progetto caratterizzato da una complessità dei temi nettamente superiore rispetto agli esempi precedenti, che gli architetti sono in grado di affrontare condividendo con gli altri attori la conoscenza necessaria allo sviluppo del progetto. Questo fattore determina da parte dei progettisti una diversa attenzione al processo di collaborazione e trova nuove possibilità negli strumenti digitali e in particolare nel BIM, sistema comune a tutti gli attori dell'iter architettonico, dai progettisti, sino alle aziende che realizzano i singoli elementi dell'edificio in fabbriche distribuite in tutto il mondo. Ceccato traccia quindi un grafico analogo a quello già utilizzato per il processo progettuale degli aeromobili, che anche in architettura si muove verso una sostanziale diminuzione e condivisione del rischio, a cui è seguita una decrescita della conoscenza individuale adesso sempre più condivisa tra attori diversi con competenze specifiche. È quindi facilmente osservabile quanto la standardizzazione sia sempre meno necessaria, grazie ad un sistema produttivo animato dalle possibilità digitali contemporanee, tecniche che risultano decisive nel gestire l'incremento di attenzione che i progettisti devono dedicare alla gestione di un processo condiviso con un ecosistema di consulenti e produttori, responsabili di aspetti puntuali del progetto che convogliano in un'unica forma architettonica secondo le possibilità digitali dei processi BIM.

Alla domanda, quali sono gli ambiti del design a cui l'architettura dovrebbe guardare per innovare processi e migliorare i manufatti finali, Edoardo Tibuzzi risponde parlando del design del prodotto, settore della progettazione che ha sviluppato specificità disciplinari che gli architetti possono oggi considerare per arricchire il processo progettuale architettonico. Nonostante le immediate differenze tra la scala dei manufatti è evidente che figura dell'*industrial designer* ha sempre avuto

Frank Gehry's office and completed in 2004, according to a process that is once again centralised, largely based on the individual knowledge of the architects, but which is now transposed onto digital environments, where it is possible to model complex organic shapes in three dimensions. Digital models eventually translated into two dimensions on paper technical drawings, but which, thanks to a digital sharing system of information and models, will be produced by third-party companies and then assembled on the construction site.

The latest architecture, representative of the two thousand and ten, is the Galaxy Soho complex in Beijing, designed by Zaha Hadid Architects and curated by Ceccato himself, who, describing the design process, speaks of decentralised parametric design, developed by different actors in different parts of the world. Actors who simultaneously operated on the project, confronting the constructive possibilities and the maturity of the Chinese construction sector, in a further step towards the customisation of the constituent parts of the architectural artefact, obtained through a performative design process. The project is characterised by a significantly higher complexity of the themes than the previous examples, complexity which the architects can tackle by sharing the knowledge necessary for the project development with the other actors. This factor determines the architects' different attention to collaboration processes and finds new possibilities in digital tools and in particular in BIM: a system common to all the actors of the architectural process, from the architects, up to the several companies who have created the individual elements of the building in factories distributed around the world. Ceccato then draws a graph similar to the one already used for the aircraft design process, which also in architecture moves towards a substantial decrease of the risk, shared by many actors. This is in line with a decrease in individual knowledge, now shared between different professionals with specific skills. It is therefore easy to observe how standardisation is less and less necessary, thanks to a production system animated by contemporary digital possibilities, techniques that are decisive in managing the increase in attention that architects must dedicate to managing a process shared with an ecosystem of consultants and producers, responsible of specific aspects of the project, that convey in a single architectural form along with the digital possibilities of BIM processes.

To the question: which are the areas of design to which architecture should look to innovate processes and improve final products? Edoardo Tibuzzi responds by talking about industrial design, a sector that has developed specific disciplinary that architects can now consider enriching the architectural design process.

Despite the immediate differences between the scale of the artefacts, the figure of the industrial designer has always had a particular relationship with the architects' one, a relationship that is alive today, so much so that many architectural firms are involved or have been involved in designing objects. With increasing frequency also designers are approaching architecture, the most famous example in this sense is undoubtedly that of Thomas Heatherwick, who started his career as a designer, and today is the head of an interdisciplinary studio that deals with architecture and even master plans. It is possible to observe distinct similarities between the two professions, starting from the role of designers: while architecture has a millenary history, born

un particolare rapporto con quella dell'architetto, rapporto che oggi è sicuramente vivo, tanto che numerosi studi di architettura si occupano o si sono occupati di progettare oggetti. Con sempre maggiore frequenza i *designer* si avvicinano all'architettura, l'esempio più celebre in questo senso è senza dubbio quello di Thomas Heatherwick, che ha avviato la sua carriera come *designer* e oggi è a capo di uno studio interdisciplinare che si occupa di architettura e addirittura di masterplan. Se da un lato è possibile osservare diverse assonanze tra le due professioni, a partire dal ruolo di progettisti, è comunque opportuno ricordare che mentre l'architettura ha una storia millenaria, nata da necessità umane fondamentali come il rifugio e la sicurezza: il design industriale è certamente molto più giovane, e deve la sua nascita all'avvento dell'industria nel diciottesimo secolo. Momento in cui nuove possibilità produttive hanno definito il formarsi di una figura diversa dall'artigiano, che progetta e realizza direttamente i suoi manufatti, ovvero quella di un progettista, che a partendo da una concreta consapevolezza dei processi di produzione industriale è in grado di definire il progetto di un oggetto da produrre secondo le possibilità di automatizzazione e produzione di massa del paradigma meccanico. La diversa consapevolezza dei processi di produzione industriale traccia un'importante differenza tra le due figure, differenza che data l'evoluzione delle tecniche costruttive, sempre più vicine al mondo dell'automazione e del *digital manufacturing*, gli architetti stanno colmando, sviluppando strategie costruttive digitali e facendo ricerca sull'applicazione di mezzi produttivi digitali all'architettura: interesse evidente sin dalla prima svolta digitale, più recentemente orientato all'integrazione delle tecnologie informatiche all'interno del manufatto architettonico (Kolarevic, 2004). A prescindere dai requisiti in termini di consapevolezza dei processi e dei metodi produttivi industriali che hanno segnato la nascita della figura del *designer*, e che l'architetto sta gradualmente sviluppando, guardando alla pratica professionale del progettista industriale contemporaneo sono immediatamente visibili sostanziali differenze nell'approccio e nella strutturazione dell'iter progettuale, figura 3.4.3. Nella definizione di progetto d'architettura Gregotti parte dal desiderio, e in particolare dal desiderio del committente, che finanzia la progettazione e realizzazione dell'architettura, attore con cui l'architetto deve immediatamente instaurare un dialogo e che è in grado di segnare il progetto in modo determinante. Anche nel caso del *design* industriale il desiderio è il fattore iniziale da cui emerge il progetto, ma c'è un'importante differenza rispetto all'architettura: in questo processo la committenza si deve sempre confrontare con le preferenze e le necessità dell'utente finale, a cui il prodotto è destinato. Si tratta di un processo esponenzialmente più inclusivo, orientato al soddisfacimento dei desideri di una moltitudine di individui che giudicheranno l'oggetto da acquistare secondo scale di valore personali. Certamente l'architettura, in senso più ampio, guarda alle esigenze degli utenti finali, ma anche nel caso di progetti di ampia scala, portati avanti secondo pratiche partecipative, la capacità di lettura delle esigenze dell'individuo non raggiunge mai i livelli di dettaglio a cui si spinge il design del prodotto, e il progetto si evolve sempre principalmente in relazione alla committenza. La capacità dei *designer* di leggere le esigenze degli utenti finali risulta quindi centrale nel definire il successo di un prodotto, che una volta commercializzato dovrà immediatamente confrontarsi con un mercato ricco di concorrenza, popolato da prodotti alternativi che in modo simile

from fundamental human needs such as shelter and safety, industrial design it is much younger and owes its birth to the advent of the industry in the eighteenth century. This is the moment in which new production possibilities have defined the formation of a figure other than the artisan who designs and manufactures his products directly: a designer, who starting from strong awareness of industrial production processes, can define the shape of an object produced according to the possibilities of automation and mass production of the mechanical paradigm. The different awareness of industrial production processes traces an important difference between the two figures, a difference that given the evolution of construction techniques, increasingly closer to the world of automation and digital manufacturing, architects are bridging, developing digital construction strategies and doing research on the application of digital means to architecture, a clear interest since the first digital turn, and more recently oriented to integrating IT within the architectural building (Kolarevic, 2004).

Regardless the awareness in the industrial production processes and methods that marked the birth of the figure of the designer, and that also the architects are gradually developing, looking at the professional practice of the contemporary industrial designer, are immediately visible substantial differences in the approach and the structuring of the design process figure 3.4.3. In defining the architectural design project, Gregotti starts from the client's desire, from the individual that finances the design and construction of the architecture: an actor with whom the architect must immediately establish a dialogue and who can decisively influence the project. Even in the case of industrial design, desire is the initial factor from which the project emerges, but there is an important difference with architecture: in this process, the client must always confront the preferences and needs of the end-users, for which the product is designed. Industrial design takes then an exponentially more inclusive process, aimed at satisfying the desires of a multitude of individuals who will judge the object to be purchased according to personal value scales. Also architecture, in a broader sense, looks at the needs of end-users, but even in the case of large-scale projects, carried out according to participatory practices, the ability to read the needs of the individuals never reaches the levels of detail to which product design is driven, and the project always evolves mainly in relation to the client. The capability of to understand the needs of end-users is central in defining the success of a product which once commercialised will immediately have to deal with a market full of competition, populated by alternative products that similarly meet the needs of the public (Ulrich, 2011).

Given the particular weight of end-users and the market on industrial design, contemporary designers have become experts in market research and in collecting user ratings: methods widely used by product design professionals during different phases of the design process, to gather information on how to improve the effectiveness of their choices. According to several designers interviewed, these surveys will be increasingly used in architecture, Xavier de Kestelier declares for example that within his studio there is already a group that creates questionnaires to evaluate the user experience about the built architectures. It must therefore be pointed out that post-occupancy evaluations are not new in architecture, but as Daniel

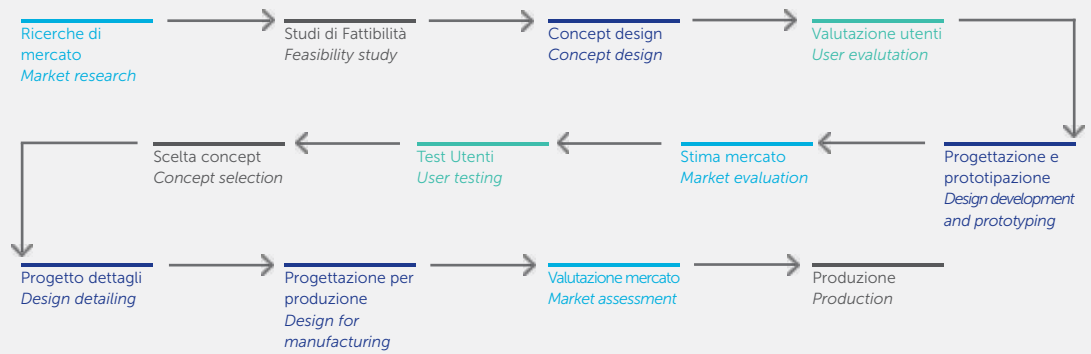
rispondono alle esigenze del pubblico (Ulrich, 2011).

Dato il particolare peso che le necessità degli utenti finali e il mercato inducono sull'attività di progettazione industriale, i designer contemporanei sono diventati esperti in ricerche di mercato e nella raccolta di valutazioni da parte degli utenti, metodi largamente utilizzati dai professionisti della progettazione del prodotto durante diverse fasi del processo progettuale, per raccogliere informazioni su come migliorare l'efficacia delle loro scelte. Secondo diversi progettisti intervistati, queste indagini saranno sempre più adoperati in architettura, Xavier de Kestelier dichiara ad esempio come all'interno del suo studio esista già un gruppo che realizza questionari per valutare l'esperienza degli utenti in merito alle architetture costruite. Bisogna quindi precisare che le *post-occupancy evaluation* non sono una novità in architettura, come però osserva Daniel Davis, anche in fase di progettazione l'attenzione dei progettisti è sempre più orientata verso la raccolta di *feedback* sull'esperienza dell'utente. Questo, avviene sempre più spesso, non solo come abbiamo già visto tramite l'ausilio di tecniche di realtà virtuale, ma anche grazie a dati, che come nel caso della Wework, vengono registrati o raccolti tramite sistemi digitali, analogamente a quanto fatto dai *designers* che seguono l'evoluzione di un prodotto nell'arco di generazioni, gli architetti non abbandonano il progetto al termine della sua costruzione, ma lo seguono durante l'intero ciclo di vita, e hanno iniziato a raccogliere collezioni di informazioni sull'efficacia dei progetti architettonici, sviluppando cataloghi tipologici su cui si basano per le future attività di progettazione, come confermato da diversi intervistati. La diversa attenzione nei confronti dell'esperienza dell'utente non è l'unico aspetto in cui la pratica professionale in architettura si sta avvicinando a quella dei *designer* industriali, se come abbiamo già letto, è evidente una tendenza di slittamento gerarchico all'interno dell'iter progettuale architettonico che vede la figura dell'architetto perdere autorità a favore di consulenti, costruttori e committenza, in particolare in relazione a fattori come il costo o la caratterizzazione tecnologica dell'edificio, questa diversa organizzazione gerarchica è già consolidata all'interno dell'iter di progettazione del prodotto. Una pratica che data la diversa relazione con gli strumenti di produzione e il mercato si è evoluta accogliendo nel tempo figure dalle competenze specifiche, che partecipano al progetto secondo un modello collaborativo di tipo circolare, dove, ad esempio, il designer è responsabile della progettazione di un prodotto utile all'utente, l'esperto di produzione è impegnato nell'abbattimento dei costi di realizzazione, l'esperto di materiali si occupa di approfondire la performance fisica degli oggetti e l'esperto di marketing si occupa di sviluppare una strategia in grado di penetrare il mercato. Ruoli diversi, con competenze e responsabilità differenti, che giocano sullo stesso campo, influenzando le ipotesi progettuale sino alla conclusione dell'iter (Kumar, 2006).

Tra gli ambiti della progettazione contemporanea in cui il tema dell'esperienza degli utenti ha assunto un ruolo centrale nella definizione di processi ed elaborati finali è importante citare la progettazione di piattaforme web, un settore la cui ascesa è sotto gli occhi di tutti e che più di altri vive di un costante dialogo con le possibilità tecniche, che ne animano l'evoluzione secondo paradigmi che si rinnovano con

Figura 3.4.3: Matrice del processo di design industriale. (Kumar, 2006, 87)

Figure 3.4.3: Matrix of the industrial design process. (Kumar, 2006, 87)



Davis observes, even in the design phase, the attention of designers is increasingly oriented towards collecting feedback on the user experience. This happens more and more often, not only as we have already seen through the aid of virtual reality techniques, but also thanks to data, which, as in the case of WeWork, are recorded or collected through digital systems. Similarly to what is done by designers, who follow the evolution of a product over generations, architects do not abandon the project at the end of its construction, but they follow it throughout its entire life cycle, and collect data on the effectiveness of their architectural choices, developing typological catalogues useful for future design activities, as confirmed by several interviewees.

The different focus on users experience is not the only aspect in which professional architecture practice is approaching industrial design, as we have already read, there is a clear trend of hierarchical shifting within the architectural design process. This shift sees the figure of the architect lose authority in favour of consultants, builders and clients, in particular concerning factors such as the cost or the technological characterisation of the building. A phenomena which is new for Architecture, not for industrial design, where this different hierarchical organisation is already consolidated within the product design process, a practice that, because of the unique relationship with production tools and the market, has grown welcoming figures with specific skills, who take part in the project according to a collaborative circular model. Where, for example, the designer handles the definition of a product useful to the user, the production expert is committed to reducing the costs of production, the materials expert deepens the physical performance of objects and the marketing expert develops a strategy capable of penetrating the market. Different roles, with unique skills and responsibilities, playing on the same field, influencing the design hypotheses until the end of the process (Kumar, 2006). Among those areas of contemporary design in which the theme of user experience has assumed a central role in defining processes and final outputs, it is important to mention the design of web platforms. Web developing lives in a constant dialogue with new technical possibilities, which animate its evolution according to paradigms that change almost annually. If at the beginning of the nineties the design of a website was entrusted to the figure of the webmaster, a professional with transversal skills, from the configuration and management of servers, up to the programming and design of graphic interfaces and marketing, today the same tasks, along with others that have been structured

cadenza quasi annuale. Se con l'inizio degli anni novanta la progettazione di un sito web era demandata alla figura del *webmaster*, un professionista con competenze trasversali, dalla configurazione e gestione dei server, sino alla programmazione e alla progettazione di interfacce grafiche e il marketing, oggi le stesse mansioni, insieme ad altre che nell'arco di oltre 20 anni si sono strutturate, vengono svolte da gruppi sempre più ampi che raccolgono anche decine di diverse professionalità, che insieme concorrono alla definizione, alla costruzione e al mantenimento delle piattaforme digitali. Nonostante le evidenti differenze esistono diverse analogie tra il progetto di architettura e la progettazione di piattaforme web: anche in questo campo i progettisti procedono nella strutturazione di un programma, che viene definito in base alle finalità delle piattaforme ed è composto da un numero variabile di schermate proporzionalmente alla complessità del progetto. Così come in architettura i progettisti studiano la circolazione interna ed esterna agli edifici, allo stesso modo nella progettazione di una piattaforma digitale i designer analizzano i flussi degli utenti fra le diverse pagine secondo criteri di prossimità, stabilendo gerarchie tra contenuti in termini di dimensioni e visibilità (Lynch e Horton, 2016).

Il tema dell'esperienza dell'utente ha raggiunto oggi nel *web design* livelli di ampiezza e profondità che difficilmente l'architettura riuscirà mai a costituire, ciò è dovuto banalmente alla fisicità dell'architettura, che a prescindere dalle possibilità di riconfigurazione anche automatica, mai permetterà agli utenti di fruire lo spazio in modo unico, cosa oggi possibile e diffusa sulle piattaforme digitali. Se con la nascita del web, le interfacce grafiche erano limitate ad una configurazione statica e univoca, simile alle pagine di un libro, con l'avvento delle applicazioni dinamiche e il paradigma del *web 2.0*, le piattaforme web sono diventate interattive, capaci di raccogliere informazioni e modificarsi di conseguenza, è questo il momento in cui i progettisti hanno iniziato a confrontarsi con l'indeterminazione, sviluppando non più pagine statiche, ma regole formali e criteri secondo cui le pagine web si strutturano al variare dei contenuti e dei diversi fruitori (Newman et al., 2016). Se oggi è banale effettuare un *log-in* all'interno di una piattaforma per accedere a servizi esclusivi, e il nostro accreditamento ci offre un'interfaccia arricchita di ulteriori funzionalità, non è necessario l'accesso per vivere un'esperienza di utilizzo univoca. Ciò è dovuto al la sempre maggiore mole di dati che i siti web raccolgono, a partire dalla banale posizioni geografica, sino alle nostre preferenze in termini di gusti musicali, interessi, acquisti o addirittura posizioni politiche. In ogni momento la nostra navigazione sul web è registrata da organizzazioni e aziende che raccolgono informazioni sulle nostre attività e svolgono un attento lavoro di profilazione con la finalità di fornirci un'esperienza unica, costruita intorno al nostro gemello digitale, costantemente arricchito ad ogni click. Interrogare un motore di ricerca come Google (2017), ci porta ad ottenere risposte diverse a partire dal nostro profilo, così se ricerchiamo la parola chiave "grasshopper" il sistema strutturerà i risultati in base alle nostre esperienze pregresse, organizzandoli in base ai diversi significati che la *keyword* rappresenta, dall'insetto, all'applicativo per la progettazione computazionale, sino al cocktail.

La capacità di configurazione personalizzata propria di questi sistemi, l'immediata

over 20 years, are carried out by increasingly large groups that also include dozens of different professionals, who together contribute to the definition, construction and maintenance of digital platforms. Despite the obvious differences, there are several similarities between the architectural project and the design of web platforms: also in this field, the designers proceed with the structuring of a program which is defined according to the purpose of the platforms and is proportionally composed to the complexity of the project. Just as in architecture the designers study the internal and external circulation of buildings, in the same way in the design process of a digital platform the designers analyse the flows of users between the different pages according to criteria of proximity, establishing hierarchies between contents in terms of size and visibility. (Lynch and Horton, 2016).

User experience has today reached levels of breadth and depth in web design that architecture will hardly ever be able to achieve, this is because of the physicality of architecture, which regardless of the possibility of reconfiguration, even automatic, will never allow users to enjoy the space in a real unique way, thing which is now possible and widespread on digital platforms. If with the birth of the internet, graphic interfaces were limited to a static and unique configuration, similar to the pages of a book, with dynamic applications and the paradigm of web 2.0, web platforms have become interactive, capable of collecting information and change accordingly. This has happened when web designers have begun to deal with indetermination, developing no longer static pages, but formal rules and criteria according to which web pages are structured, according to the variation of contents and different users (Newman et al., 2016). If today it is easy to log-in within a platform to access exclusive services, and our accreditation offers us an interface enriched with additional features, our log-in is not required to enjoy a unique user experience. This is possible thanks to the increasing amount of data that websites collect, starting from our geographic location, up to our preferences in terms of musical tastes, interests, purchases, or even political ideas. At all times, our web browsing is registered by organisations and companies that collect information about our activities and carry out careful profiling work to provide us with a unique experience, built around our digital twin, constantly enriched with every click. Querying a search engine like Google (2020) leads us to get different answers starting from our profile, so if we search for the keyword "grasshopper" the system will structure the results based on our previous experiences, organising them according to the different meanings that the keyword represents, from the insect to the software for computational design, up to the cocktail.

The customisation capacity of these systems, the immediate availability of enormous amounts of data, together with the clear familiarity with computer science and digital methods, have transformed the internet into the perfect ground for machine learning, to which developers entrust the choices on the configuration of the pages we visit in terms of layout and contents (Cruz-Benito, 2017). This happens daily, even if as users we are not aware of it, when we view advertisements relating to our interests, or when we interact within a social network where the contents are no longer structured and proposed according to the temporal publication order, but according

disponibilità di enormi moli di dati, insieme alla evidente familiarità con l'informatica e con i metodi digitali, hanno trasformato il *web* nel terreno perfetto su cui sperimentare metodi di intelligenza artificiale e in particolare *machine learning*, a cui gli sviluppatori affidano le scelte sulla configurazione delle pagine che visitiamo in termini di forme e contenuti (Cruz-Benito, 2017). Ciò avviene quotidianamente, anche se da utenti non ce ne rendiamo conto, quando visualizziamo annunci pubblicitari inerenti ai nostri interessi, o quando interagiamo all'interno di un *social network*, dove i contenuti non sono più strutturati riproposti secondo l'ordine di pubblicazione temporale, ma vengono strutturati in base a criteri come la popolarità e lo storico di interazioni che abbiamo con l'utente che li ha generati. Come vedremo in dettaglio in un capitolo dedicato, oggi in architettura il *machine learning* è già utilizzato e i progettisti intervistati lo identificano come di sicura utilità all'interno dell'iter progettuale nel prossimo decennio. Abbiamo già osservato che un tema in crescita all'interno della nostra professione è quello dell'architettura responsiva, termine che indica la possibilità per le architetture di riconfigurarsi, anche autonomamente al variare di condizioni ambientali o di fruizione. Se da un lato è evidente come il fenomeno non sia assolutamente nuovo, e sia oggi favorito dall'indeterminazione dello spazio, così come da una rinnovata coscienza ecologica e da fattori economici, è possibile ipotizzare un'influenza dovuta all'ampia diffusione del *responsive web design*. Questo è un diverso approccio progettuale che i professionisti del *web* hanno adottato e strutturato nell'arco di poco più di un decennio come risposta alla diffusione di dispositivi mobili come *tablet*, *smartphone*, *smart tv*, strumenti utilizzati oggi per navigare sul *web* e che hanno rivoluzionato il modo in cui le piattaforme *web* vengono progettate e realizzate. Se fino a qualche anno fa la consultazione di un sito *web* era esclusivamente possibile tramite *personal computer*, fissi o portatili, che nonostante le differenze mantenevano una sostanziale uniformità nella forma e nella risoluzione degli schermi, oggi lo stesso sito *web* deve essere consultabile su schermi di orientamento e proporzione diverse, con larghezze che variano dai 320 pixel di uno *smartphone* di fascia economica, sino e oltre i 1900 pixel (Wiener et al., 2017). Per ovviare a questo problema che prevederebbe la progettazione di un numero indefinito di diversi *layout* al variare delle risoluzioni i designer hanno ideato un approccio responsivo, basato su strumenti progettuali propri dell'architettura, la griglia e il modulo, che permettono ai progettisti di sviluppare un sistema elastico, che si adatta al variare delle risoluzioni dei dispositivi, occupando tutto lo spazio disponibile sullo schermo, riconfigurando la dimensione e la proporzione dei contenuti in base al numero di moduli disponibili.

Tra le professioni che gli architetti guardano con crescente interesse è opportuno citare quella degli sviluppatori di *software*, tecnici incaricati di programmare sistemi informatici, che hanno toccato oggi nuovi apici in termini di quantità, funzioni e complessità. Se guardando alla nostra tradizione disciplinare non ci sembra possibile trovare un ambito tanto distante dall'architettura quanto l'ingegneria del *software*, osserviamo come tra queste discipline esista effettivamente un dialogo bidirezionale che ha avuto inizio ben prima di quanto immaginiamo. Un momento particolarmente significativo di questo rapporto sono gli anni settanta, periodo in cui la crescente

to criteria such as popularity and the history of interactions we have with the user who produced them. As we will see in a dedicated chapter, we already use machine learning in architecture today, and the architects interviewed foresee its usefulness for the architectural design process in the next decade. We have already observed that a growing theme within our profession is that of responsive architecture, a term that indicates the possibility for architectures to reconfigure themselves, even independently as the environmental conditions or their use changes. While the phenomenon is not absolutely new, and is now favoured by the indetermination of space, and by a renewed ecological awareness and economic factors, it is possible to hypothesise an influence due to the widespread diffusion of responsive web design. This is a different design approach that web professionals have adopted and structured over a decade, as a response to the spread of mobile devices such as tablets, smartphones, smart TVs: a whole range of tools used today to browse the web, and which have revolutionised how web platforms are designed and produced. If, until a few years ago the consultation of a website was only possible through personal computers, desktop or laptop, which despite the differences maintained a substantial uniformity in the form and resolution of the screens, today the same website must be accessible on screens of different orientation and aspect ratio, with widths ranging from 320 pixels of a budget smartphone, up to and over 1900 pixels (Wiener et al., 2017). To overcome this problem that would involve the design of an indefinite number of different layouts as the resolutions vary, web designers have devised a responsive approach, based on design tools typical of architecture: the grid and the module. These approaches allow interface designers to develop an elastic system, which adapts to varying device resolutions, occupying all available space on the screen, reconfiguring the size and proportion of contents based on the number of modules available.

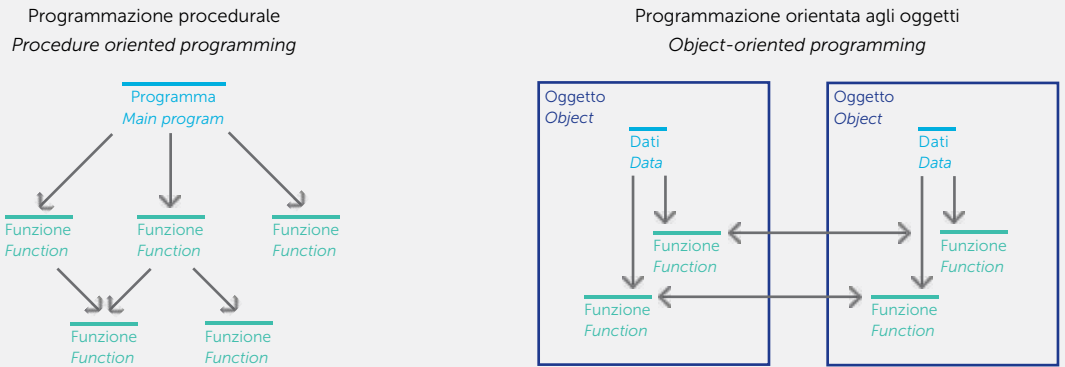
Among the professions that architects look at with growing interest, it is worth mentioning that of software developers, technicians in charge of programming computer systems, which today have reached new heights in terms of quantity, functions and complexity. If looking at our disciplinary tradition, it does not seem possible to find an area as distant from architecture as software engineering; we observe that between these disciplines there is a two-way dialogue that began well before we imagine. A significant moment of this relationship is the seventies, a period in which the growing software engineering structured collective disciplinary practices and criteria, and in which Christopher Alexander (1977) published *A pattern language*, a book on architectural design and urban planning aimed both at professionals and outsiders, within which it proposes a new possibility of analysing architecture, and therefore the establishment of a new architectural language through patterns: timeless entities that are present both in the structure of society and in the architectural organism, and can be used for solving design problems. Alexander's book, less known in the field than the previous *Notes on the Synthesis of Form*, will become an important reference within the IT developer community, so much so that Alexander will be invited to describe his theories on the occasion of computer engineering conferences and events (Stenson, 2017). His texts will become a point of reference for the industry, and there is no doubt in the contribution that Alexander's theories have

ingegneria informatica iniziava a strutturare prassi e criteri disciplinari collettivi, e in cui Christopher Alexander (1977) pubblica il celebre *A pattern language*, un libro sulla progettazione architettonica e urbana rivolto tanto a professionisti quanto a profani, all'interno del quale propone una nuova possibilità di lettura dell'architettura, e quindi l'istituzione di un nuovo linguaggio architettonico tramite *pattern*: entità senza tempo che sono presenti tanto nella struttura della società quanto nell'organismo architettonico, e possono essere utilizzati per la risoluzione di problemi progettuali. Il libro di Alexander, meno conosciuto del precedente *Notes on the Synthesis of Form*, incontrerà un successo molto relativo in architettura, al contrario diventerà un importante riferimento all'interno delle comunità di sviluppatori, tanto che Alexander verrà invitato a descrivere le sue teorie in occasione di congressi ed eventi di ingegneria informatica (Steenson, 2017). I suoi testi diventeranno un punto di riferimento per il settore, ed è indubbio il contributo che le teorie di Alexander hanno fornito allo sviluppo di paradigmi e approcci alla OOP, programmazione orientata agli oggetti, figura 3.4.4, come i *software design pattern*, metodi di estesa diffusione all'interno dei gruppi di sviluppatori, che li utilizzano per organizzare il codice informatico secondo degli schemi riutilizzabili quali soluzione a diverse famiglie di problemi.

Il dialogo tra architettura e ingegneria del *software* trova ulteriori sviluppi nella diffusione dei modelli BIM, metodi digitali che, abbiamo visto, sono diventati onnipresenti all'interno degli studi di architettura, e si basano sul linguaggio orientato agli oggetti, non tanto nella strutturazione del codice sorgente, con cui un architetto non si confronta, ma nella costituzione e descrizione del modello digitale dell'architettura. La logica della programmazione orientata agli oggetti si basa sulla definizione di classi, gruppi di entità con proprietà comuni, che permettono ai programmatori di strutturare il codice informatico in modo elastico, velocizzando il processo ed evitando la ripetizione di parti che potrebbero arricchire il codice di errori umani. Allo stesso modo, nel definire un modello BIM un architetto contemporaneo utilizza delle famiglie parametriche, classi di oggetti digitali, accomunate da proprietà specifiche e che permettono al progettista di costituire un numero indefinito di singole entità. Se secondo il precedente paradigma di modellazione digitale delle architetture, con l'intenzione di posizionare all'interno del nostro edificio decine di finestre con proprietà simili in termini di materiali e tecnologia, ma con diverse dimensioni, avremmo dovuto modellare le diverse entità singolarmente, secondo il paradigma del BIM operiamo diversamente, definendo, a monte della costituzione del modello, una famiglia di oggetti parametrici che chiameremo finestre, famiglia che raccoglierà tutte le proprietà utili a determinare gli oggetti in termini tecnologici, materiali, etc: aspetti comuni a tutte le entità finestra che posizioniamo all'interno del modello. Ciò, come già avviene nel caso dell'OOP in ingegneria, porta notevoli vantaggi in termini di velocità nella definizione del modello e riduzione dell'errore umano, inoltre alleggerisce il lavoro del progettista in relazione ad attività come il disegno tecnico, l'analisi dei costi, la performance energetica, funzioni che possono essere realizzate con una nuova facilità grazie alla ricchezza di proprietà che è possibile includere in una famiglia parametrica. C'è inoltre un aspetto specifico dell'ingegneria informatica che gli architetti guardano con interesse: l'organizzazione

Figura 3.4.4: La differenza logica tra programmazione procedurale e programmazione orientata agli oggetti.

Figure 3.4.4: The logical difference between procedural programming and object-oriented programming.



provided to the development of paradigms and approaches to OOP, object-oriented programming, such as software design patterns: methods of widespread diffusion between groups of developers, who use them to organise the information code according to reusable schemes as a solution to different families of problems.

The dialogue between architecture and software engineering finds further developments in the diffusion of BIM models, digital methods that, as we have seen, have become ubiquitous within architectural firms, and are based on object-oriented language. This is not just related to the structuring of code but in the constitution and description of the digital model of the buildings. The logic of object-oriented programming begins with the definition of classes: groups of entities with common properties, which allow programmers to structure the software elastically, speeding up the process and avoiding the repetition of parts that could enrich the code of human errors, figure 3.4.4. Similarly, in defining a BIM model, a contemporary architect uses parametric families, classes of digital objects, united by specific properties and which allow the designer to constitute an indefinite number of single entities. If according to the previous digital modelling paradigm of architectures, to place dozens of windows with similar properties in terms of materials and technology, but with different sizes, we would have had to model the different entities individually, according to the BIM paradigm we operate differently: defining, upstream of the constitution of the model, a family of parametric objects that we will call windows, and that will collect all the properties useful for determining the objects in terms of technology, materials, etc, aspects common to all entities window that we place inside the model. This, as already happens with OOP in software engineering, brings considerable advantages in terms of speed in the model's definition and reduction of human error, it also lightens the work of the architect in activities such as technical design, analysis of costs, energy performance: functions that can be realised with a new ease thanks to the wealth of properties that can be ideally included in a parametric family.

There is also a specific aspect of software engineering that architects look upon with interest: the organisation of workflows. A topic that for Aurelie de Boissieu and Al Fisher has become of pressing topicality within architectural firms, because of the increase in complexity of the design process and the growth of organisations in terms

dei flussi di lavoro. Tema che per Aurelie de Boissieu e Al Fisher è diventato di pressante attualità all'interno degli studi di architettura, a causa dell'incremento di complessità dell'iter progettuale come della crescita delle organizzazioni in termini di personale impiegato e varietà delle competenze. Gli ingegneri del *software* sono oggi considerati dei campioni in di organizzazione del lavoro, ciò è sicuramente dovuto alla naturalezza con cui si interfacciano agli strumenti informatici, naturalezza che ha permesso l'evolversi di immediate soluzioni digitali in risposta a criticità riscontrate con l'incrementarsi della complessità dei temi disciplinari. L'informatica è inoltre un settore estremamente più veloce di quello dell'architettura e nella sua breve storia ha raggiunto complessità che hanno superato diversi ambiti dell'ingegneria: prodotti come il *social network* Facebook, o il motore di ricerca Google, sono il risultato di organizzazioni intrinsecamente digitali, che coinvolgono più di 100.000 impiegati nel caso di Alphabet, ex Google. Non è stato sempre così, alla fine degli anni 60 il settore dell'informatica ha affrontato un periodo di grandi difficoltà, una fase definita come la crisi del software, in cui si riconobbe che un'ampia percentuale di progetti era tormentata da problemi di grande frequenza: il superamento dei tempi e dei costi previsti, la rinuncia al completamento da parte dei committenti, la presenza di difetti o addirittura la totale inutilità dei sistemi realizzati. Per risolvere alla crisi, la NATO organizzò una conferenza svoltasi in Germania nel 1968, a Garmisch-Partenkirchen, città natale dell'Ingegneria del software, che nella sua definizione «è la disciplina tecnologica e manageriale che riguarda la produzione sistematica e la manutenzione dei prodotti software entro tempi e costi preventivati» (Damiani et al., 2007).

La gestione manageriale dei processi è quindi un tema centrale nell'ingegneria del *software*, ed è stato sviluppato tra gli altri da Fred Brooks, uno dei più celebri pionieri della disciplina, e che, forte della sua lunga esperienza professionale alla IBM, scriverà *The mythical man-month*. Libro diventato un punto di riferimento disciplinare, all'interno del quale l'autore descrive la realizzazione di un *software* come un esercizio di interrelazioni complesse, una pratica di gruppo per la quale è necessario uno sforzo di comunicazione che può incidere sul tempo individuale.

Per questo motivo, la scelta del numero adeguato di persone da inserire all'interno di progetto di sviluppo ha importanti ripercussioni sull'intero processo. Se da un lato è vero che piccoli gruppi di sviluppatori esperti raggiungono alti livelli di produttività, è anche vero che piccoli gruppi sono troppo lenti per sistemi di grandi dimensioni, ciò si concretizza nel rischio che i sistemi diventino obsoleti prima che vengano completati. Considerazioni che convogliano nella famosa legge di Brooks (1975, 13): «aggiungendo forza lavoro a un progetto software in ritardo se ne accentua il ritardo». Esistono per Brooks diverse assonanze tra il progetto di architettura Il processo dello sviluppo del *software*, che come il processo architettonico può essere diviso in due diverse fasi, l'essenza, ovvero la realizzazione mentale della struttura concettuale di un sistema software e l'accidente, che corrisponde alla fase di implementazione, di costruzione del programma. La prima fase, l'essenza, è caratterizzata da quattro proprietà dei sistemi *software*: complessità, conformità, trasformabilità e invisibilità. La complessità è la prima causa di problemi di sviluppo, criticità che dato il numero di stati raggiunti da un sistema contemporaneo, lo rende enormemente difficile

of staff used and variety of skills. Software engineers are today considered champions of work organisation, this is for the naturalness with which they interface with IT tools, a naturalness that has allowed the evolution of immediate digital solutions in response to critical issues encountered with the increase in complexity of the discipline. Information technology is also an extremely faster sector than architecture, and in its short history, it has reached complexities that have surpassed various areas of engineering: products such as the Facebook social network, or the Google search engine, result from intrinsically digital organisations, involving over 100,000 employees with Alphabet, formerly Google. This has not always been the case: at the end of the 1960s, the IT sector faced a period of great difficulty, a phase defined as the software crisis, in which it was recognised that a large percentage of software projects were plagued by problems of great frequency. These were: the overcoming of expected times and costs, the renunciation of completion by the clients, the spread presence of defects, or even the total uselessness of the systems created. To solve the crisis, NATO organised a conference held in Germany in 1968, in Garmisch-Partenkirchen, the hometown of software engineering, which in its definition is "the technological and managerial discipline that concerns the systematic production and maintenance of products software within estimated times and costs" (Damiani et al., 2007). Project management is, therefore, a central aspect of software engineering, and is a topic addressed among others by Fred Brooks (1975), one of the most famous pioneers of the discipline, who, thanks to his long professional experience at IBM, will deepen project management in *The mythical man-month*. In his book, become a disciplinary point of reference, the author describes the creation of software as an exercise in complex interrelationships, a group practice for which is required a communication effort that can affect individual time. The choice of the appropriate number of people to include in the software development project has then important repercussions on the entire process. While small groups of experienced developers achieve high levels of productivity, small groups are too slow for large systems, this means that systems may become obsolete before they are completed. Considerations that lead Brooks to the definition of his famous law: «adding workforce to a late software project accentuates its delay» (Brooks, 1975, 13). As Brooks shows, there are several similarities between architecture and software development, which, like architecture can be divided into two different phases: the essence, as the mental realisation of the conceptual structure of a software system, and the accident, which corresponds to the implementation phase, that of software construction. The first phase, the essence, is characterised by four properties of software systems: complexity, conformity, changeability and invisibility.

Complexity is the first cause of development problems, a criticality that, given the number of states reached by a contemporary system, makes it enormously difficult to design or simply describe and then test it. A complexity that increases with the number of human resources involved, following the difficulties of group communication and management. Besides, a software system will have to adapt to the most diverse human structures and institutions, which are complex and sometimes arbitrary in themselves, which is why software design is a pragmatic exercise, endowed with

da ideare o semplicemente descrivere e quindi testare. Una complessità che aumenta in relazione al numero di risorse umane coinvolte, in seguito alle difficoltà di comunicazione e di gestione del gruppo. Inoltre, un sistema *software* dovrà essere in grado di adeguarsi alle più diverse strutture e istituzioni umane, di per se complesse e a volte arbitrarie, per questo la progettazione di un programma è un esercizio pragmatico, dotato di conformità: la seconda caratteristica dell'essenza. Il *software* è tra i livelli di strutture umane più recenti, per questo è naturalmente soggetto ad un adattamento ai fattori esterni, inoltre la sua natura virtuale lo rende facilmente malleabile. Ciò porta all'introduzione della trasformabilità, terza proprietà dei sistemi, soggetti alle continue pressioni del cambiamento provenienti dall'insieme di applicazioni, utenti, norme, e apparati tecnici, che evolvono costantemente, imponendo al programma di adeguarsi. Urgenza dovuta innanzitutto agli utenti finali, che quando riconoscono un prodotto come utile lo portano ai suoi limiti, addirittura oltre il suo dominio originale, e anche al fatto che un applicativo utilizzato sopravvive oltre il ciclo di vita dell'*hardware* per il quale è stato progettato, migrando su nuovi dispositivi che portano con se nuove opportunità di espansione per le capacità del programma, opportunità che per essere colte richiedono una trasformazione del sistema. La malleabilità del *software*, che è un puro oggetto di pensiero, favorisce la trasformazione, ma nel trattarlo, la mente deve rinunciare ad alcuni dei suoi più potenti mezzi concettuali, questa rinuncia ha origine nella quarta proprietà del sistema, l'invisibilità, che rende il programma impossibile da visualizzare.

L'essenza, in quanto progetto, rappresenta il percorso di costruzione della struttura concettuale del sistema, ed è la parte più importante del processo di sviluppo informatico, che Brooks stesso accosta all'architettura. Lo fa paragonando la realizzazione di un programma al cantiere di una cattedrale, quella di Reims: svariate cattedrali europee sono il frutto di accostamenti di elementi risalenti a periodi diversi, realizzati secondo stili diversi, influenzati da mutamenti esterni, figura 3.4.5. In questa ampia casistica, continua l'autore, la cattedrale di Reims è una rarità, costruita in tempi diversi da diverse generazioni, che hanno seguito il progetto originale e prodotto una fortunata coerenza architettonica (Thurner, 2009). Allo stesso modo, l'approccio al progetto di un programma informatico deve cercare l'unità, rifuggendo le incongruenze dovute all'operato di diversi attori, rinunciando a caratteristiche aggiuntive, che anche se valide renderebbero il sistema scoordinato e inefficiente. Brooks propone l'architettura come metafora, parlando per la prima volta non di scrittura ma di costruzione di un *software*, modello operativo più vicino all'articolazione di un sistema. Paragone che supererà anni dopo, affermando come la complessità delle strutture concettuali raggiunta dai sistemi *software* contemporanei ne impedisca la definizione in anticipo, come si fa in un progetto di architettura, ma al contrario, si evolva in un processo di crescita, analogo a quello di un organismo naturale, che si arricchisce di nuova funzionalità, e procede morfologicamente sino ad assumere un determinato livello di stabilità.

Figura 3.4.5: La cattedrale di Reims, citata da Brooks come esempio di unità. (foto Reno Laithienne)

Figure 3.4.5: The Reims cathedral, cited by Brooks as an example of unity. (photo Reno Laithienne)



conformity: the second characteristic of the essence. Software is among the most recent levels of human structures, which is why it is naturally subject to adaptation to external factors, moreover its virtual nature makes it easily malleable. This leads to introducing changeability, the third property of systems, subject to the constant pressures of change from the set of applications, users, standards, and technical devices, which constantly evolve, forcing the software to adapt: urgency due primarily to end-users, who take useful products to their limits, even beyond their original domain. We must add to this the fact that software survives beyond the life cycle of the hardware for which it was designed, migrating to new devices that bring with them new opportunities to expand software capabilities: opportunities that require a system transformation. The malleability of software, which is a pure object of the thought, favours transformation, but in dealing with it, the mind must give up some of its most powerful conceptual means. This renunciation originates in the fourth property of the system, invisibility: which makes the software impossible to visualise. The essence, as a project, represents the construction process of the conceptual structure of the system and is the most important part of the software development process, which Brooks himself approaches to architecture: comparing the creation of a software to the construction site of a cathedral, that of Reims, figure 3.4.5. Several European cathedrals result from combinations of elements dating back to different periods, made according to different styles, and influenced by external changes. In this large series, the author continues, the Reims cathedral is a rarity, built at different times by several generations, which followed the original project and produced a fortunate architectural coherence (Thurner, 2009). Similarly, the approach to software design must seek unity, avoiding inconsistencies because of the work of different actors, giving up additional features, which, even if valid, would make the system uncoordinated and inefficient. Brooks proposes architecture as a metaphor, speaking for the first time, not of writing, but building the software: an operating model closer to the articulation of a system. A comparison that he will overcome years later, affirming how the complexity of the conceptual structures reached by contemporary software systems prevents them from being defined in advance, as is done in an architectural project. They evolve in a process of growth, similar to that of a natural organism that morphologically proceeds until it assumes a certain level of stability.

3.5 PROGETTO E COMUNICAZIONE

Uno dei temi che contraddistingue la contemporaneità digitale, e con cui il progetto di architettura si deve necessariamente confrontare è quello della comunicazione. Abbiamo già visto quanto le impalpabili infrastrutture digitali stiano contribuendo alla liquefazione della società e quanto stiano spingendo verso l'indeterminazione dello spazio, dissociando le dimensioni culturali e personali, persino affettive, entro le quali strutturiamo la nostra identità. Ciò è immediatamente visibile a chiunque possenga uno smartphone, strumento che ci rende istantaneamente connessi e costantemente reperibili al mondo ed è diventato uno dei principali tramiti con cui ci interfacciamo alla società. Così come è evidente su larga scala, ponendo lo sguardo non solo su individui, ma anche su gruppi, aziende, istituzioni e governi, che comunicano, internamente ed esternamente, attraverso media e processi che sono diventati in molti casi, esclusivamente digitali. Internamente, tutti questi gruppi hanno oggi la possibilità di trasporre digitalmente operazioni, elaborati e comunicazioni precedentemente analogici, con investimenti relativamente bassi, o addirittura gratuitamente. La dimensione digitale garantisce non solo la precisione dell'informazione, e istantaneità nella comunicazione, ma anche e soprattutto, permette un controllo su processi e operazioni altrimenti impossibili analogicamente. Tutte utilità di sicuro interesse per qualsiasi azienda, che spinta da mercato e dall'attività legislativa è oggi, in molti casi, obbligata a comunicare esternamente ad essa tramite mezzi digitali. È possibile quindi distinguere almeno due livelli di comunicazione esterna: un primo livello privato e aziendale, descrivibile in una rete di partner e istituzioni con cui l'azienda comunica per svolgere le attività intrinsecamente legate alle finalità aziendali, e un secondo livello, quello pubblico. Una distinzione che tuttavia risulta oggi sempre più sfocata, ciò è immediatamente osservabile nelle pratiche di comunicazione digitale, che con il paradigma 2.0 hanno permesso ad ogni utente del web di interagire, condividere istantaneamente qualsiasi tipo di contenuto, partecipando al divenire collettivo di internet.

Ogni individuo ha oggi a disposizione un'infinità di piattaforme e palcoscenici sul quale strutturare un'immagine di se, un vero e proprio gemello digitale, composto da profili dove costruisce la sua rappresentazione, similmente a quanto già fatto prima del digitale da personaggi pubblici e organizzazioni. In questo senso, ognuno di noi è diventato un personaggio pubblico, di cui si può ricostruire l'identità a partire dalle informazioni presenti su internet, al pari di qualsiasi celebrità azienda o istituzione. Inoltre, se nell'era precedente al digitale la reputazione era la somma di valori provenienti dalle strutture della società, oggi questi valori si sono disciolti nella partecipazione digitale: ognuno di noi ha la possibilità di influire quantitativamente e qualitativamente sulla reputazione digitale dell'altro. Tale condizione ha favorito l'emergere di nuove voci, personaggi, gruppi, aziende, che forti del riconoscimento da parte del pubblico digitale, acquisiscono un'autorevolezza liquida, a volte inconsistente, e pericolosamente superiore a quella posseduta da istituzioni e fonti affidabili. All'interno delle piattaforme web l'informazione si muove trasversalmente e viene recepita dagli utenti a prescindere dalle strutture che le convogliano, ciò ha favorito nell'arco di anni il manifestarsi di nuove realtà professionali, che partendo

3.5 ARCHITECTURAL DESIGN AND COMMUNICATION

One theme that distinguishes digital contemporaneity, and with which architecture must confront is that of communication. We have already seen how intangible digital infrastructures are contributing to the liquefaction of society and how they are pushing towards the indetermination of space, dissociating the cultural, personal, and even emotional dimensions within which we structure our identity. This is immediately visible to anyone who owns a smartphone, a tool that makes us instantly connected, and constantly available to the world and has become one of the primary means by which we interface with society. As it is clear on a large scale, focusing not only on individuals but also on groups, companies, institutions and governments, which communicate, internally and externally, through media and processes that have most times become only digital. Internally, all these groups now have the possibility of digitally transposing, with relatively low investments, operations that previously were analogue. The digital dimension guarantees not only the accuracy of the information, and instantaneity in communication but also and above all, it allows control over processes and operations that would otherwise be impossible analogically. All useful utilities for contemporary companies, which, driven by the market and legislative activity, are today obliged to communicate externally via digital means. It is, therefore, possible to distinguish at least two levels of external communication: a first one at the private and corporate level, which can be described in a network of partners and institutions with which the company communicates to carry out activities intrinsically linked to the business purposes, and a second level: the public one. A distinction that, however, is increasingly blurred today. This is immediately observable in digital communication practices, which with the 2.0 paradigm have allowed every web user to interact, instantly share any type of content, taking part in the collective becoming of internet.

Today, every individual has an infinite number of platforms at his disposal on which to structure his identity, a real digital twin, composed of profiles where he builds his representation, similar to what already done before social networks by public figures and organisations. In this sense, each of us has become a public figure, whose identity can be reconstructed from information available on the internet, like any celebrity, company or institution. If in the pre-digital era, reputation was the sum of values coming from the structures of society. Today these values have dissolved in digital participation: each of us can quantitatively and qualitatively influence the digital reputation of the other. This condition has favoured the emergence of new voices, individuals, groups, companies, which, thanks to the recognition of the digital public, have gained a liquid, sometimes inconsistent, authority, dangerously superior to that possessed by reliable institutions and sources. Within the web platforms, information moves transversally and it is received by users regardless of the structures that convey them, this has favoured the emergence of new professional realities over the years, which starting from digital success have built their reputation. Those things, we will see, also occurs in architecture. How do these new communication paradigms influence the complex and layered world of architecture? First, we should remember

dal successo digitale hanno costruito la loro reputazione, cosa che vedremo, avviene anche in architettura. In che modo allora, questi nuovi paradigmi comunicativi influenzano il complesso e stratificato mondo dell'architettura? È innanzitutto opportuno ricordare che il progetto di architettura è intriso di comunicazione, il contributo produttivo richiesto all'architetto dalla società è infatti quello di realizzare progetti di architettura, atti a comunicare anche tecnicamente i significati che altri renderanno materiali nella fisicità dell'architettura. Svariati autori assimilano l'architettura ad un linguaggio, indagabile secondo gli strumenti e metodi della semiotica, come ad esempio Umberto Eco (1968) che addirittura definisce l'architettura quale una forma di comunicazione di massa, in quanto "operazione che si rivolge a gruppi umani, per soddisfare alcune loro esigenze e persuaderli a vivere in un determinato modo". Di diversa opinione sono altri teorici, come Brandi, che si dichiara scettico nei confronti del parallelismo tra architettura e linguaggio:

Ora si può veramente ricondurre l'architettura ad un sistema di comunicazione come la lingua, con cui pure si sono trovati dei cattivanti paralleli? Se l'essenza del linguaggio sta nella comunicazione, l'essenza dell'architettura non si rivela nella comunicazione. La casa non comunica d'essere una casa, non più di quanto una rosa comunichi di essere una rosa: la casa, il tempio, l'edificio termale si pongono, si rendono astanti o come realtà di fatto o come realtà d'arte, ma non sono tramite di comunicazione: solo in via secondaria trasmetteranno delle informazioni. (Brandi, 1967, 38)

A prescindere dalle opinioni discordanti di importanti studiosi, è immediatamente visibile come il tema della comunicazione sia presente nel dibattito architettonico contemporaneo, se ad esempio Schumacher (2011) nel definire il suo parametricismo fa riferimento al pensiero di Niklas Luhmann, ideatore di una teoria di sistemi che legge la società come sommatoria di comunicazioni tra entità, Gregotti (1991) ci avverte delle derive che la comunicazione contemporanea rischia di insinuare all'interno del progetto di architettura, avvicinandolo pericolosamente alla moda e al marketing.

Orientando il nostro sguardo al processo progettuale contemporaneo e all'organizzazione dello studio di architettura, è effettivamente possibile leggere come i nuovi paradigmi comunicativi abbiano modificato l'interazione all'interno di gruppi progettuali sempre più ricchi. Se già teorici dell'ingegneria del software come Brooks identificano la comunicazione tra collaboratori come generatrice di viscosità e problemi all'interno dei processi, questa condizione si ripropone oggi in architettura. Disciplina che abbiamo letto, si è arricchita di ponti verso altri ambiti del sapere e che ha fatto largo uso di strumenti digitali per la gestione e comunicazione del processo, trovando nel BIM una possibile risposta alle necessità organizzative e di controllo dell'iter progettuale. In questo modo, il progetto di architettura viaggia sempre più frequentemente su percorsi digitali, tanto che anche gli elaborati analogici utili alla progressione del progetto vengono tradotti in file, condivisibili, controllabili e modificabili in qualsiasi parte del pianeta. Ulteriori cambiamenti nella comunicazione del progetto di architettura riguardano quindi il rapporto con il cliente, a cui l'architetto deve riuscire a comunicare complessità e valori del progetto. Come testimonia Harry

that the architectural project is imbued in communication: the contribution required of the architect by the society is to carry out architectural projects, capable of communicating the meanings that others will build in the physicality of architecture. Various authors assimilate architecture to a language, which can be investigated according to the tools and methods of semiotics, such as Umberto Eco (1968) who even defines architecture as mass communication, as an operation that is aimed at groups human beings, to satisfy some of their needs and persuade them to live in a certain way. Other theorists have a different opinion, such as Brandi, who declares himself sceptical of the parallelism between architecture and language:

Now, can architecture really be traced back to a communication system like language, with which we have found some captivating parallels? If the essence of language lies in communication, it does not reveal the essence of architecture. The house does not communicate that it is a house, any more than a rose communicates that it is a rose: the house, the temple, the thermal building stand, become bystanders either as a factual reality or as an art reality, but they are not means of communication: only secondarily they will transmit information. (Brandi, 1967, 38).

Regardless of the discordant opinions of important scholars, it is immediately visible how communication is present in the contemporary architectural debate if for example Schumacher (2011) in defining his parametricism refers to the thought of Niklas Luhmann, creator of a theory of systems who reads society as the sum of communications between entities, Gregotti (1991) warns us of the drifts that contemporary communication risks insinuating within the architectural project, dangerously bringing it closer to fashion and marketing.

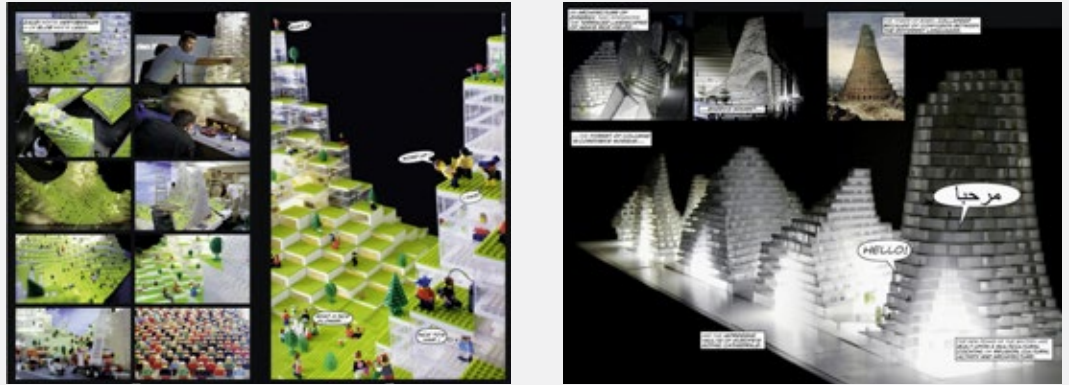
By orienting our gaze to the contemporary design process and the organisation of the architectural firms, it is possible to read how the new communication paradigms have changed the interaction within increasingly bigger design groups. If already software engineering theorists such as Brooks identify communication between collaborators as a generator of viscosity and problems within processes, this condition recurs today in architecture: a discipline that we have read has been enriched with bridges to other areas of knowledge and has extensively used digital tools for the management and communication of the process, finding in BIM a possible response to the organisational and control needs of the design process. Along this way, the architectural design project travels more and more frequently on digital paths, so much so that even the analogue documents useful for the progression of the project are translated into files, which can be shared, controlled and modified in any part of the planet. Further changes in the communication of the architectural project concern the relationship with the client, to which the architect must be able to communicate the project values and complexity. As Harry Ibbes declares, the architects must have a broad awareness of communication, knowing how to translate the architectural project into a language understandable by non-experts. This effort to translate the values of the architectural project into even simplified forms goes beyond the relationship with the client and it is repeated in the public communication of architecture firms. The interviewee cites storytelling as one of the essential skills

Ibbs, il progettista deve possedere una vasta consapevolezza dei nuovi temi, sapere che gli permette di tradurre il progetto di architettura in un linguaggio comprensibile da non esperti. Questo sforzo di traduzione in forme anche semplificate dei valori del progetto di architettura supera il rapporto con la committenza, e si ripropone nella comunicazione pubblica degli studi di architettura. L'intervistato cita tra le competenze essenziali per l'architetto contemporaneo lo storytelling, ovvero la capacità di narrazione, che secondo Ibbs riveste un ruolo centrale nel definire il successo dello studio di architettura. Della stessa opinione è Andreas Klok Pedersen, che sottolinea la necessità di avere all'interno dello studio d'architettura, progettisti che sappiano comunicare, spiegare in modo chiaro, di modo che i media e il pubblico siano in grado di comprendere i valori del progetto e digerirli. La comunicazione pubblica è quindi oggi vitale per la prosperità di uno studio d'architettura, tanto che in tutti i maggiori studi contemporanei esistono gruppi di architetti e specialisti, che collaborano nella gestione dei processi di comunicazione del progetto di architettura e di attività divulgative di ogni genere. Tra gli studi di architettura che negli ultimi anni sono riusciti a costruire un'immagine a partire da un diverso modo di narrare l'architettura spicca BIG Bjarke Ingels Group, che per raccontare il processo progettuale di ogni edificio cura la realizzazione di schemi grafici, sfruttando i quali ripropone l'avvicinarsi delle scelte a partire dai temi e dai requisiti del diverso progetto. A testimoniare la volontà dello studio BIG di avvicinarsi al pubblico è anche la creazione di un nuovo slogan "Yes is more", che recuperando la celebre frase di Mies, intende descrivere un diverso approccio pragmatico e inclusivo al progetto di architettura. Lo slogan è inoltre diventato il titolo di un libro, firmato dal socio principale del gruppo, Bjarke Ingels (2009). Una pubblicazione all'interno del quale la filosofia dello studio viene illustrata per mezzo di fumetti, che hanno come protagonista e narratore lo stesso Ingels, figura 3.5.1.

Se da un lato quindi è cambiato l'approccio alla comunicazione dell'architettura da parte degli studi, sono cambiati anche i media che gli architetti utilizzano per comunicare il progetto, ricostruendo l'avvicinarsi di possibilità digitali per il progetto, Andreas Klok Pedersen testimonia come gli anni 2000 siano stati la fase in cui la produzione di immagini renderizzate si è diffusa nel mondo dell'architettura, e come nei successivi dieci anni le strumentazioni digitali abbiano reso possibile l'animazione delle immagini in video, sicuramente più accattivanti e coinvolgenti delle immagini statiche, e che da anni il suo studio adotta per la comunicazione pubblica e con i clienti. La renderizzazione di immagini sta inoltre contribuendo a spostare il progetto di architettura dal mondo reale a quello virtuale. Se un qualsiasi studio di architettura avesse voluto attuare attività di comunicazione e marketing in un'era pre digitale, avrebbe dovuto prima progettare l'architettura, quindi seguirne la costruzione, dopo la quale avrebbe potuto documentare il manufatto reale tramite fotografie. Oggi costruire non è più necessario, le immagini virtuali renderizzate hanno raggiunto un livello di fedeltà che rasenta quello della fotografia, le uniche operazioni necessarie alla comunicazione di un'architettura sono la progettazione di un modello 3D e quindi il render dello stesso modello (Ney e Adriaenssens, 2014). È nata così una nuova generazione di architetti che hanno costruito i loro concept architettonici

Figura 3.5.1: Immagini tratte dal libro a fumetti *Yes is More* di Bjarke Ingels (2009).

Figure 3.5.1: Images from the comic book *Yes is More* by Bjarke Ingels (2009).



for the contemporary architect, affirming how it plays a central role in defining the success of any architectural firm. Of the same opinion is Andreas Klok Pedersen, who underlines the need to have within the architectural office, architects who know how to communicate, explain clearly, so that the media and the public can understand the values of a project. and digest them. Public communication is therefore vital today for the prosperity of an architecture studio, so much so that in all major contemporary studios there are groups of architects and specialists who collaborate in the management of the communication processes of the projects and dissemination any activity related to the firm. Among the architectural firms that in recent years have constructed their identity starting from fresh ways of narrating architecture, BIG Bjarke Ingels Group stands out. To narrate the design process of each building, the company takes care of the creation of graphic schemes which re-proposes the design of building starting from requirements of each different project. The creation of a new slogan "Yes is more" testifies the will of BIG to approach the public, recovering the famous Mies phrase to describe a different pragmatic and inclusive approach to architectural design. The slogan has also become the title of a book, signed by the group's principal partner, Bjarke Ingels (2009). A publication in which the philosophy of the studio is illustrated through comics, which have Ingels himself as the main protagonist and narrator, figure 3.5.1.

If on the one hand, the approach to communication of architecture has changed, along with the evolution of digital tools, also the media that architects use to communicate their design have changed. Andreas Klok Pedersen testifies how the 2000s were the phase in which the production of rendered images spread to the world of architecture, and how in the following ten years digital instruments made it possible to animate images on video more captivating and engaging than static images, explaining how his studio is using them to communicate the project to clients and public. CGI images are also shifting the architectural design from the real to the virtual world. If any architectural firms had wanted to implement communication and marketing activities in a pre-digital era, it would have first to design the architecture, then follow its construction, after which it could have documented the actual building through photographs. Today, the building is no longer necessary, rendered virtual images have reached a level of fidelity that borders on that of photography: the only

su dimensioni esclusivamente virtuali, dove non esistono né vincoli fisici né limiti economici, e le possibilità formali non devono affrontare le incongruenze che troverebbero nella fisicità dell'architettura, attuando una ricerca che evidentemente si rivolge più all'immagine che all'architettura.

È indubbio il contributo del paradigma digitale nello sviluppo di quella che molti autori definiscono, società dell'immagine (Sinclair, 1991), un panorama globale orientato al consumo di immagini che animano il desiderio individuale e lo incalzano costantemente verso nuove aspirazioni. Ciò ha un'importante influenza sul modo in cui l'architettura viene comunicata globalmente: è osservabile una traslazione al digitale nei luoghi che rappresentano il dibattito architettonico contemporaneo e quindi nel pubblico che l'architettura riesce a raggiungere. Se ad esempio riconosciute riviste ed editori di architettura come Domus hanno affiancato il digitale alla produzione fisica di edizioni cartacee, riproducendole on-line o realizzando piattaforme ad hoc, il web ha favorito la nascita di numerose nuove iniziative editoriali, gruppi che grazie all'innovazione della tecnica, hanno costruito piattaforme editoriali esclusivamente digitali, affermandosi come leader nella comunicazione e divulgazione dell'architettura. Tra le più affermate segnaliamo la piattaforma ArchDaily, nata nel 2008 e che oggi è uno dei più influenti gruppi editoriali specializzati in architettura, punto di riferimento per i 13 milioni di architetti e appassionati di tutto il mondo, che ogni mese fruiscono del sito (ArchDaily, 2020), e quindi di articoli sulla presentazione di nuovi progetti, approfondimenti e riflessioni pubblicati in inglese spagnolo e cinese. A partire da ArchDaily, è possibile enumerare un numero indefinito e sempre più vasto di blog che si occupano di architettura e design, citiamo tra questi Dezeen e Designboom, piattaforme nate agli inizi del 2000, e partendo da un blog si sono articolate in un ventaglio di iniziative e servizi, che partono dalla raccolta verificata di offerte lavorative in architettura, sino alla vendita di prodotti, la realizzazione di eventi, premi e trasmissioni digitali: palcoscenici di indiscutibile valore comunicativo per i grandi studi professionali, che nell'arco di anni hanno sviluppato relazioni professionali sempre più fitte con queste nuove realtà. Se da un lato è evidente come queste piattaforme siano diventate nuovi punti di riferimento per la comunità architettonica, trasponendo sul digitale le funzioni precedentemente svolte dalle riviste cartacee, esistono sostanziali differenze tra i precedenti analogici e le nuove alternative digitali. Questo innanzitutto perché una rivista analogica sino agli anni 90 era il risultato di un'attività complessa, che anche dal punto di vista produttivo richiedeva un investimento di tempo e denaro non indifferente, così come di un sistema di distribuzione fisico, e quindi raccoglieva delle fonti affidabili, la cui autorevolezza era desunta dalla strutturazione della società. Oggi, al contrario, basta una sola persona con un numero anche limitato di competenze digitali per avviare un blog. Chiunque può, idealmente, proporre la propria opinione e strutturarla dietro un sito web e quindi un marchio, che agli occhi di un non specialista è un vettore di informazioni tanto affidabile quanto una blasonata rivista. Considerazione che vale per la moltitudine di voci oramai presenti nel panorama comunicativo dell'architettura, un contesto in cui comunque spiccano le grandi piattaforme già citate, che si sono strutturate in gruppi professionali e hanno dimostrato la loro affidabilità nell'arco di anni. Una

operations necessary for the communication of architecture are the design of a 3D model and therefore the rendering of the same model (Ney and Adriaenssens, 2014). Thus was born a new generation of architects who have built their architectural concepts on virtual dimensions, where there are neither physical constraints nor economic limits, and the formal possibilities do not have to face the inconsistencies that they would find in the physicality of architecture, carrying out a research which turns more towards the image than to architecture.

There is no doubt the contribution of the digital paradigm in the development of what many authors define, the image society (Sinclair, 1991), a global panorama oriented towards the consumption of images that animate individual desire and constantly pursue new aspirations. This has an important influence on the way architecture is communicated globally: we can observe a translation to digital in those places that represent the contemporary architectural debate, and therefore in the public that architecture can reach. If, for example, recognised architecture magazines and publishers such as Domus have combined digital editions with the physical production of paper editions, reproducing them online or creating ad hoc platforms, the internet has also favoured the birth of many new publishers: groups that thanks to IT, have built digital platforms, establishing themselves as leader in communication and dissemination of architecture. Among the most successful we find ArchDaily, a platform born in 2008 and which today is one of the most influential publishing groups specialised in architecture: a reference point for the 13 million architects and enthusiasts from all over the world, who visit the site every month (ArchDaily, 2020), reading articles on the presentation of new projects, insights and reflections published in English, Spanish and Chinese. Starting from ArchDaily, it is possible to enumerate an increasingly vast number of blogs that deal with architecture and design, among these Dezeen and Designboom: platforms born in the early 2000s, and starting from a blog, are now divided into a range of initiatives and services, which start from the verified collection of job offers in architecture, up to the sale of products, the creation of events, awards and digital broadcasts. Websites of indisputable communicative value for large professional firms, which over the years have developed increasingly close professional relationships with these new realities. While these platforms have become new reference points for the architectural community, transposing the functions previously performed by print magazines onto the digital, there are substantial differences between the analogue precedents and the new digital alternatives. This, above all, because an analogue magazine up to the 90s resulted from a complex activity, which required a considerable investment of time and money, and a physical distribution system, also collecting reliable sources, whose authority was derived from the structure of the institution. Today, on the contrary, just one person with even a few digital skills is enough to start a blog. Anyone can, ideally, propose their opinion and structure it behind a website and therefore a brand, reliable as a renowned magazine in the eyes of a non-specialist. This consideration applies to the multitude of voices now present in the communication landscape of architecture, a context in which the afore mentioned large platforms still stand out, since they have structured themselves into professional groups and have proven their reliability over the years. A difference

differenza rispetto al passato che riguarda tanto i microeditori quando le grandi piattaforme architettoniche digitali è il rapporto con l'immagine dell'architettura. Sfogliando una rivista specialistica un architetto ha l'opportunità, non solo di vedere immagini del manufatto architettonico costruito: il progetto è descritto tecnicamente tramite testi, schizzi, ma anche e soprattutto disegni tecnici, piante, sezioni, prospetti, particolari costruttivi, supporti immaginativi che permettono di comunicare, e quindi comprendere la complessità del progetto di architettura, secondo un linguaggio che è comune alla nostra disciplina. Al contrario le piattaforme su cui si anima il dibattito architettonico sono il regno dell'immagine, fotografie, render e concept architettonici sono presentati principalmente tramite foto e video, i disegni tecnici sono presenti in modo ridotto su alcuni siti web, o addirittura totalmente assenti nella maggior parte dei casi. Tralasciando le ripercussioni, anche profonde, che questo fenomeno porta nel dibattito architettonico, ma anche nella formazione di progettisti in erba, è possibile identificarne le cause nella mercificazione dell'informazione conseguente alla diffusione del web 2.0. Se, come abbiamo visto, ogni utente è in grado di comunicare attivamente, è aumentata esponenzialmente la mole di informazione che lo raggiunge, ciò ha innescato un vero e proprio meccanismo di competizione tra contenuti, che per avere successo devono superare in visioni ed interazioni migliaia di concorrenti o perire nell'oblio. Nell'alternativa tra popolarità e oblio, chiunque gestisca e crei contenuti su queste piattaforme sceglierà la popolarità, pubblicherà quindi le immagini più accattivanti tra quelle utili alla descrizione del progetto, tralasciando disegni tecnici e schizzi, che non possiedono né la ricchezza comunicativa di un'immagine, né il potenziale di coinvolgimento di un video, ma che comunque sono necessari per comprendere un'architettura.

Il fenomeno dell'architettura come immagine è amplificato sui social media, i luoghi virtuali che dalla seconda metà del duemila popoliamo quotidianamente con un resoconto più o meno veritiero delle nostre esistenze. Così come i profili social oggi ci rappresentano e contribuiscono alla definizione della nostra identità, allo stesso modo rappresentano lo stratificato mondo dell'architettura e plasmano le identità di progettisti e architetture. Sono pochi gli studi di architettura contemporanea che ancora non hanno sviluppato una presenza sui social network, al contrario ognuno dei maggiori gruppi internazionali ha profili su diverse piattaforme, a partire da Facebook, Twitter, Instagram, LinkedIn, reti sociali generaliste, sino ad Archilovers, un social network per architetti nato in Italia dove i progettisti possono pubblicare il loro profilo e ottenere una visibilità e un pubblico che non sarebbero alternativamente raggiungibili per loro. Se per una piattaforma editoriale digitale il successo di un contenuto è uno degli obiettivi della comunicazione, la stessa cosa vale all'interno dei social media, dove la mole di informazione con cui il contenuto deve competere è esponenzialmente maggiore. A causa di questa incredibile quantità, e con l'intenzione di fornire agli utenti contenuti in linea con i loro interessi, i principali social network si sono dotati di strumenti e metodi che giudicano la qualità dei contenuti proposti dagli utenti, e in base a delle metriche quantitative, come il numero di likes ottenuti da un post nell'arco dei primi minuti di pubblicazione, o il tempo che gli utenti passano guardando il post: fattori che ne influenzano la visibilità. Una ulteriore struttura

from the past, that concerns both micro-publishers and large digital architectural platforms, is the relationship with the image of architecture. Leafing through a specialist magazine, an architect has the opportunity, not only to see images of the built architectural artefact: the project is described technically through texts, sketches, but also and above all technical drawings, plans, sections, elevations, construction details. Imaginative supports that allow to communicate, and therefore to understand the complexity of the architectural project, according to a language that is common to our discipline. On the contrary, the platforms on which the architectural debate is animated are the realm of the architectural image: photographs, renders and architectural concepts are presented mainly through photos and videos, technical drawings are present in a reduced way on some websites, or even totally absent in most of the cases. Leaving aside the repercussions, even profound ones, that this phenomenon brings to the architectural debate, but also to the education of architects, it is possible to identify the causes in the commodification of information resulting from the spread of web 2.0. If, as we have seen, each user can communicate actively, the amount of information that reaches him has increased exponentially, this has triggered a mechanism of competition between contents, which to be successful must overcome thousands of visions and interactions of other information or perish into oblivion. In the alternative between popularity and oblivion, anyone who manages and creates content on these platforms will choose popularity, then publishing the most captivating images among those useful for the description of the project, leaving out technical drawings and sketches, which do not have the communicative richness of an image, nor the involvement potential of a video, but which are still necessary to understand architecture.

The phenomenon of architecture as an image is amplified on social media, virtual places that we populate every day since the second half of the 2000s with a more or less truthful report of our lives. Just as social profiles today represent us and contribute to the definition of our identity, they also draw the fragmented world of architecture and shape the identities of designers and architects. Few contemporary architecture firms have not yet developed a presence on social networks, on the contrary, each of the major international groups has profiles on different platforms, starting with Facebook, Twitter, Instagram, LinkedIn, generalist social networks, up to Archilovers, a social network for architects born in Italy where designers can publish their profile and get visibility and an audience that would not alternatively be reachable for them. If for a digital publishing platform the success of content is the principal aim of communication, the same thing is true within social media, where the amount of information with which the content must compete is exponentially greater. Because of this incredible quantity, and intending to provide users with content in line with their interests, the main social networks have equipped themselves with tools and methods that judge the quality of the content proposed by users, and based on quantitative metrics, such as the number of likes got by a post within the first few minutes of publication, or the time users spend looking at the post: factors that influence its visibility. A further structure of the apparatus that plays in favour of novelty, sensation, involvement, which in architecture is more easily reached through images and videos,



dell'apparato che gioca a favore di novità, sensazione, coinvolgimento, che in architettura vengono più facilmente raggiunti tramite immagini e video, piuttosto che da disegni tecnici e schizzi, rappresentazioni sicuramente più sincere del progetto di architettura.

Figura 3.5.2: Immagini tratte dal profilo Instagram ufficiale di Norman Foster. (@officialnormanfoster)

Osserviamo inoltre come i social abbiano permesso l'emergere di ulteriori attori che partecipano alla comunicazione architettonica, utenti appassionati di architettura, così come gruppi informali presenti esclusivamente sulle reti sociali, grazie alle quali non è più necessario possedere un sito web per comunicare, e che offrono a chiunque la possibilità di presenziare il dibattito globale in modo analogo a quanto fatto da aziende, progettisti o gruppi editoriali strutturati. Un'ulteriore democratizzazione delle pratiche digitali, che adottate con consapevolezza hanno favorito l'ascesa di super-utenti, definiti anche influencer, famosi perché dotati di un pubblico particolarmente vasto, nell'ordine anche di milioni di utenti, che seguono i frequenti aggiornamenti a loro indirizzati. Se il termine è spesso correlato alla moda e viene utilizzato con accezione anche negativa, ad indicare superficialità e leggerezza, il fenomeno non è limitato all'abbigliamento e allo spettacolo. Ogni ambito del sapere ha i suoi influencer, voci specializzate in un determinato argomento, che offrono consigli e o intrattenimento tematizzato. L'architettura non è da meno, diversi tra i più celebrati architetti contemporanei sono influencer, progettisti come Bjarke Ingels, o il ben più maturo Norman Foster, figura 3.5.2, lodato per l'attenzione dedicata alla cura del suo profilo Instagram (Carter, 2017). Esistono inoltre nuovi attori che hanno costruito la loro carriera contribuendo al dibattito architettonico grazie ai social media: persone come Darran Anderson (2017), scrittore Scozzese e gestore di un account Twitter relativo all'architettura virtuale, a partire dal quale ha pubblicato un celebrato libro sulle città immaginarie.

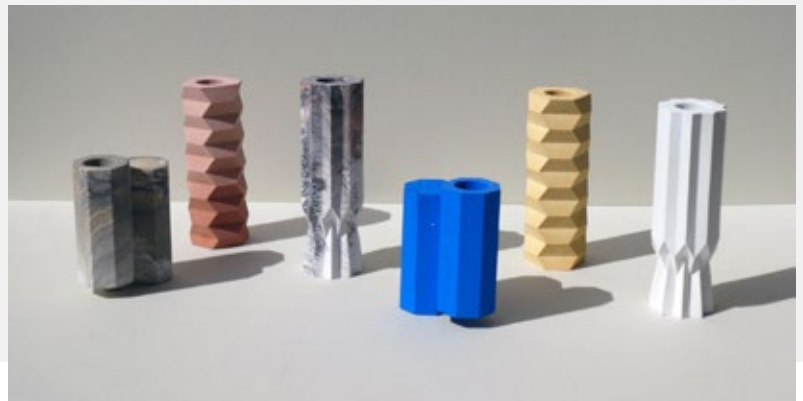
Figure 3.5.2: Images from the official Norman Foster Instagram profile. (@officialnormanfoster)

Allargando il nostro sguardo al di là di singoli utenti che sono riusciti a conquistare un pubblico tramite i social media, è possibile osservare come l'approccio bottom-up della rete abbia favorito la rinascita di una corrente architettonica che apparentemente ha pochi legami con la contemporaneità digitale: il brutalismo. Basta effettuare una ricerca della parola chiave "brutalism" su social network generalisti come

rather than by technical drawings and sketches, certainly more sincere representations of the architectural project.

We also observe how social networks have allowed the emergence of new actors who take part in architectural communication, users who are passionate about architecture, and informal groups present only on social networks, thanks to which it is no longer necessary to have a website to communicate, and which offer anyone the opportunity to attend the global debate similarly to what is done by companies, designers or structured publishing groups. This further democratisation of digital practices has favoured the rise of super-users, defined as influencers: identities famous because they have a large audience, in the order of even millions of users, who follow their frequent updates. Even if the term Influencer is often related to fashion and is also used with a negative meaning to indicate superficiality, the phenomenon is not limited to style and entertainment. Each area of knowledge has its influencers, voices specialised in a given topic, offering advice and or themed entertainment. Architecture is no exception, several of the most celebrated contemporary architects are influencers, designers such as Bjarke Ingels, or the much more mature Norman Foster, figure 3.5.2, praised for the attention dedicated to the care of his Instagram profile (Carter, 2017). Some new actors have also built their careers by contributing to the architectural debate thanks to social media: people like Darran Anderson (2017), Scottish writer and manager of a Twitter account related to virtual architecture, author of a celebrated book about imaginary cities.

Broadening our gaze beyond individual users who have conquered an audience through social media, it is possible to observe how the bottom-up approach has favoured the rebirth of an architectural style that has few links with the contemporary digital world: brutalism. Searching for the keyword brutalism on a generalist social networks like Facebook it is easy to find dozens of thematic groups, figure 3.5.3, where users from all over the world share images of architectures more or less adherent to the style, of which they appreciate the material aesthetics and structural expressionism. This has made brutalism a phenomenon, celebrated by musicians and directors who use brutalist architectures as a set for music videos and films, but also designers who have designed furniture and objects in concrete, figure 3.5.4, advertising them as brutalist, or even travel companies, who organise brutalist tours or trips through the European capitals of brutalist architecture. This is also testified by Virginia McLeod (2018), author of a new atlas of brutalist architecture, in which, while introducing the current, states how social media have been decisive in awakening the interest of the public and the architectural community. A renewed public interest in brutalism does not necessarily mean that architects will return to design and build according to the language of a past current, yet we have already observed how popularity is a determining value in defining the propagation of information on the net. According to this crucial peculiarity of digital communication, the renewed fame of brutalism has favoured the rise of new professional firms, which have gone from anonymity to fame even with just one project. This is the case of OPA, a graphic design and architecture studio formed by Laertis-Antonios Ando Vassiliou and Pantelis



Facebook per trovare decine di gruppi tematici, figura 3.5.3, dove utenti da ogni parte del mondo condividono immagini di architetture più o meno aderenti alla corrente, di cui apprezzano l'estetica materiale e l'espressionismo strutturale. Ciò ha reso il brutalismo un fenomeno di costume, celebrato da musicisti e registi che utilizzano le architetture della corrente come set per video musicali e film, ma anche designer che hanno iniziato a progettare mobili e oggetti in cemento, figura 3.5.4, pubblicizzandoli come brutalisti, o addirittura aziende turistiche, che organizzano tour brutalisti o viaggi attraverso le capitali europee della corrente architettonica. Così testimonia anche Virginia McLeod (2018), autrice di un nuovo atlante dell'architettura brutalista, all'interno del quale, nell'introdurre la corrente, afferma quanto internet e i social media siano stati determinanti nel risvegliare l'interesse del pubblico e della comunità architettonica. Un rinnovato interesse del pubblico per il brutalismo non significa necessariamente che gli architetti torneranno a progettare e costruire secondo il linguaggio di una passata corrente, eppure abbiamo già osservato come la popolarità sia un valore determinante nel definire la propagazione delle informazioni in rete. Secondo questa determinante peculiarità della comunicazione digitale, la rinnovata fama del brutalismo ha favorito l'ascesa di nuovi studi professionali, passati dall'anonimato alla fama anche con un solo progetto. È questo il caso di OPA uno studio di design grafico e architettura formato da Laertis-Antonios Ando Vassiliou e Pantelis Kampouropoulos, due giovanissimi progettisti greci, che nel 2015 pubblicano su piattaforme social e sul loro sito web il concept architettonico Casa Brutale: il progetto di una residenza di lusso incastonata in una parete rocciosa prospiciente al mare, in un paesaggio tipicamente mediterraneo, figura 3.5.5. L'architettura è sormontata da una piscina interamente realizzata in vetro e acciaio: unico elemento che ne denuncia la presenza dalla strada. Di fianco alla piscina una scala orientata verso il mare permette di accedere ad un ambiente a doppia altezza, illuminato dall'alto tramite la base vetrata della piscina, e frontalmente, attraverso un'unica grande parete vetrata sul mare. L'abitazione, progettata per una sola persona o per una coppia, è sviluppata secondo una composizione lineare, evidenziando la fisicità dei materiali: acciaio, legno usurato e in particolare calcestruzzo, adottato tanto per le pareti quanto per arredi fissi, elementi che mostrano evidenti i segni delle casseforme lignee virtualmente adottate per la loro costruzione (Goodwin, 2015). Un progetto che ricalca il linguaggio materiale del brutalismo, adottandolo per la progettazione di una singola residenza di lusso, inserita in un contesto naturalistico di pregio, e che i giovani designer immaginano come architettura virtuale, da condividere online con il

Figura 3.5.3: Alcuni dei diversi gruppi Facebook dedicati al brutalismo.

Figure 3.5.4: I vasi in cemento ispirati al brutalismo presentati dal designer Phil Cuttance al Barbican nel 2019. (foto Phil Cuttance)

Figure 3.5.3: Some of the several Facebook groups dedicated to brutalism.

Figure 3.5.4: Concrete vases inspired by brutalism presented by designer Phil Cuttance at the Barbican in 2019. (photo Phil Cuttance)

Kampouropoulos, two young Greek designers, who in 2015 published on social platforms and their website the architectural concept of Casa Brutale: the project of a luxury villa set in a rocky wall overlooking the sea, in a typically Mediterranean landscape, figure 3.5.5. The architecture is surmounted by a swimming pool made entirely of glass and steel: the only element that denounces its presence from the street. Next to the pool, a staircase facing the sea allows access to a double-height room, lit from above through the glass base of the pool, and from the front, through a single large glass wall overlooking the sea. The house, designed for a single person or a couple, is developed according to a linear composition, highlighting the physicality of the materials: steel, worn wood and concrete, adopted both for the walls and for fixed furnishings, elements that clearly show the signs of the wooden formwork virtually adopted for their construction (Goodwin, 2015). OPA's project follows the material language of brutalism, adopting it for the design of a single luxury residence, inserted in a prestigious naturalistic context, and that young designers imagine as virtual architecture, to be shared online with the public interested in brutalism. The project, disclosed through renderings and videos, was not created to be built, but with the sole intent of being communicated and becoming viral: in the words of the authors "break the internet", a phrase that in jargon indicates having a global success on the net. The design choices are therefore developed within a communication strategy aimed at an audience of enthusiasts, taking advantage of the renewed popularity of brutalism, from which the house derives its name. Nobody, I believe not even the OPA studio, could have imagined the success that the images of Casa Brutale will have on the web. Within a few days from the first publication, the major platforms specialised in architecture will chase each other in presenting the project, the fame of the house will go beyond the architectural communication, amplified by websites and generalist televisions that all over the world will talk about the project, comparing it to the house of a villain from the James Bond films or even Casa Malaparte. The incredible attention obtained by the project is such as to make the home one of the most discussed topics in 2015 on some major websites specialised in architecture. As communicated in 2016 the house will actually be built, thanks to a mysterious and wealthy client interested in owning the architecture that "broke the internet", and to Arup, which will deal with the geotechnical and structural design of the project (Lynch, 2016).

Another example of architects who have found their success thanks to the diffusion of his projects on the net is Steven Chilton, one of the architects interviewed on the occasion of my research work: English designer who began his career in some major London architectural practices, collaborating in the design of important landmarks such as the famous London eye, or the design of stage sets for celebrated musical groups. When Steven Chilton started the SCA studio in 2016, he put his skills on the line by participating in various international competitions, participations which, despite the commitment dedicated to each project, didn't result in works. The architect then published a selection of images taken from the projects developed for competitions and clients, to find recognition in the dissemination online. A communication, probably less strategic than that adopted by OPA for Casa Brutale, which will bring

pubblico interessato al brutalismo. Il progetto, divulgato tramite render e video, e non nasce per essere costruito, ma con l'unico intento di essere comunicato e diventare virale: nelle parole degli autori «break the internet», frase che in gergo indica l'aver un successo globale sulla rete. Le scelte progettuali sono quindi sviluppate in seno ad una strategia di comunicazione rivolta ad un pubblico di appassionati, sfruttando la rinnovata popolarità del brutalismo, da cui la casa deriva il nome. Nessuno, credo neanche lo studio OPA, poteva comunque immaginare il successo che le immagini di Casa Brutale riscuoteranno su internet. Nell'arco di pochi giorni dalla prima pubblicazione le maggiori piattaforme specializzate in architettura si rincorreranno nel presentare il progetto, la fama della casa oltrepasserà la comunicazione architettonica, amplificata da siti web e televisioni generaliste che in tutto il mondo parleranno del progetto, paragonandolo alla casa di un cattivo dei film di James Bond o addirittura a Casa Malaparte. L'incredibile attenzione ottenuta dal progetto è tale da rendere la casa uno degli argomenti più trattati nel 2015 su alcuni dei maggiori siti web specializzati in architettura, e ne cambia il destino. È del 2016 la notizia che la casa verrà effettivamente costruita, grazie a un misterioso e facoltoso committente interessato a possedere l'architettura che ha "rotto internet", e allo studio Arup, che si occuperà della progettazione geotecnica e strutturale del progetto (Lynch, 2016).

Un ulteriore esempio di architetti che hanno trovato il successo grazie alla diffusione dei loro progetti su internet è Steven Chilton, uno degli architetti intervistati in occasione del mio lavoro di ricerca, progettista inglese che ha iniziato la sua carriera all'interno di alcuni dei maggiori studi di architettura londinesi, collaborando alla progettazione di importanti landmark come il celebre London Eye, o alla composizione di scenografie per concerti di celebrati gruppi musicali. Quando Steven Chilton avvia nel 2016 lo studio SCA sceglie di mettere le sue competenze in gioco partecipando a diversi concorsi internazionali, partecipazioni che nonostante l'impegno dedicato ad ogni progetto non sempre si traducono in commesse reali. L'architetto decide quindi di pubblicare una selezione di immagini tratte dai progetti sviluppati per concorsi e clienti, con l'intenzione di trovare un riconoscimento nella divulgazione dei progetti on-line. Una comunicazione probabilmente meno strategica di quella adottata da OPA per Casa Brutale, che porterà risultati addirittura maggiori. Il progetto che in particolare, tra quelli presentati da Chilton, incontra l'interesse del pubblico, è il teatro per la città di Wuxi in Cina, edificio a pianta circolare caratterizzato da una volta sviluppata secondo un pattern strutturale di triangoli irregolari popolati di frangisole in metallo dorato, figura 3.5.6. La copertura, che supera radialmente la base dell'edificio per diversi metri è sorretta da un'intricata foresta di pilastri inclinati che circonda l'intero edificio e si interrompe in concomitanza con l'ingresso principale. Un progetto dal forte impatto comunicativo che verrà pubblicato prima su Dezeen (Block, 2018), e poi su numerosi altri siti web internazionali, celebrato addirittura dalla CNN come uno dei più attesi progetti del 2019 e che sarà quindi costruito in Cina nello stesso anno. Lo stesso Chilton (Van Es, 2019) afferma come non si aspettasse un tale successo e quanto la pubblicazione del progetto abbia favorito il fiorire dello studio, che da quel momento ha ricevuto numerose proposte di lavoro da importanti clienti, tra cui l'azienda Epic games, casa di sviluppatori del celebre videogioco Fortnite. Nella stessa intervista l'architetto si sofferma anche sul valore comunicativo



Figura 3.5.5: Una vista di Casa Brutale, progettata dallo studio OPA per "rompere internet". (immagine OPA)

Figure 3.5.6: Il teatro di Wuxi in Cina, progettato da Steven Chilton Architecture. (immagine di SCA)



Figure 3.5.5: A view of Casa Brutale, designed by the OPA studio to "break the internet". (image OPA)

Figure 3.5.6: The Wuxi Theater in China, designed by Steven Chilton Architecture. (image by SCA)

even greater results. The project that in particular, among those presented by Chilton, meets the interest of the public, is the theatre for the city of Wuxi in China: a circular building characterised by a vault developed according to a structural pattern of irregular triangles populated by sunshades in golden metal, figure 3.5.6. The roof, which radially exceeds the base of the building for several meters, is supported by an intricate forest of inclined pillars that surrounds the entire building and is interrupted with the main entrance. A project with a strong communicative impact that will be published first on Dezeen (Block, 2018), and then on many other international websites, even celebrated by CNN as one of the most expected projects of 2019 and which will therefore be built in China in the same year. Chilton himself (Van Es, 2019) states that he did not expect such success and how much the publication of the project has favoured the flourishing of his studio, which since that moment has received many job offers from important clients, including the company Epic Games, developer house of the famous video game Fortnite. In the same interview, the architect also focuses on the communicative and symbolic value of the project, stating that this feature of the project is not always the result of the designers' will, but on the contrary, it has become a requirement set by the client. Those of Casa Brutale and Steven Chilton are the most emblematic cases of success in the digital communication of architecture: they are not the only ones, there is an infinite number of virtual designers, who share concepts and architectural projects with the most shapes and styles. Digital artists specialised in the packaging of rendered architectural images that collect hundreds of likes on social networks. This is the case of Massimo Colonna, an Italian designer who creates images of architectures that recall in colour and composition the works of masters such as Luis Barragán or Ricardo Bofill and has built a reputation creating images for large industrial design groups or multinational technology companies such as Microsoft (Wade, 2019).

While several of these digital artists have not received training in architecture and limit their production to architectural images, not showing interest in a career as architects, the formal choices, and the language adopted influence the panorama of

e simbolico del progetto cinese, affermando come tale frequente caratteristica del progetto non sia sempre il frutto di una volontà dei progettisti, ma al contrario sia diventato un requisito posto dalla committenza in seno al progetto d'architettura. Quelli di Casa Brutale e Steven Chilton sono sicuramente i più emblematici casi di successo nella comunicazione digitale dell'architettura, non sono comunque gli unici, esiste infatti un infinito numero di progettisti virtuali, che condividono concept e progetti di architettura dalle forme e lo stile più variegato, digital artists specializzati nel confezionamento di immagini architettoniche renderizzate che fanno il pieno di likes sui social. È questo il caso di Massimo Colonna, designer italiano che realizza immagini di architetture che ricordano per colori e composizione le opere di maestri come Luis Barragán o Ricardo Bofill e si è costruito una reputazione realizzando immagini per grandi gruppi di design industriale o multinazionali della tecnologia come la Microsoft (Wade, 2019).

Se da un lato è vero che diversi tra questi digital artists non hanno ricevuto una formazione in architettura e limitano la loro produzione a immagini architettoniche, non dimostrando interesse alla carriera da architetti, è anche vero che le scelte formali e il linguaggio adottato ha influenza sul panorama dell'architettura contemporanea: pratica che come altri ambiti della progettazione si trova oggi a navigare nel mercato della comunicazione, subendone la pressione. Possiamo osservare come il fenomeno sia maggiormente vivo in pratiche progettuali come la moda e il design del prodotto, che dato il rapporto più stretto con il mercato, instaurano più facilmente strategie orientate alla comunicazione. Ambiti dove oggi spopolano oggetti progettati da star, Very Important Designers: personaggi come Kanye West, rapper statunitense che ha progettato delle scarpe da ginnastica realizzate con un nuovo materiale parzialmente ricavato dalle alghe (Marchese, 2019). Oppure Pharrell Williams celebrato musicista contemporaneo che ha iniziato nel 2010 la sua carriera da designer del prodotto, realizzano diverse sedie, indumenti in materiali ecosostenibili, biciclette, scarpe sportive per la multinazionale Adidas, e tanti altri prodotti. Oggetti disponibili in commercio, che rendono di fatto il famoso musicista un designer di successo. Dal 2019, inoltre, Pharrell Williams è diventato anche un architetto, il suo progetto di debutto è il complesso Untitled di Toronto, due torri residenziali che ospiteranno alla base dell'edificio ambienti comuni a disposizione dei residenti e spazi commerciali. Un progetto realizzato in collaborazione con uno studio d'architettura assoldato per seguire le indicazioni del neo architetto, che comunica di aver svariati aspetti del progetto, dalle facciate sino al design degli interni e dei mobili (Dobson, 2019). Quale sia il livello raggiunto dai contributi di Williams non ci è dato saperlo, il progetto di architettura contemporaneo, abbiamo visto, è vasto e collaborativo, ricco di attori che definiscono coralmemente il progetto, ciò nonostante la narrazione dell'architettura sia rimasta ancorata al genio di singoli, artisti, poeti della forma e dell'abitare, capaci di cogliere istantaneamente aspetti salienti di un progetto e risolverli. Non più persone, ma marchi, che come le case di moda sopravvivono ai loro fondatori, e competono globalmente, secondo pratiche comunicative sempre più orientate al marketing. Una considerazione fatta anche da importanti progettisti e teorici come Gregotti, o Peter Eisenman e Micheal Graves, che in occasione di una dialogo svoltosi alla Parson school di New York nel 2014, criticano l'influenza della comunicazione sul progetto di architettura, assoggettato più al branding che allo sviluppo dei temi progettuali.



Figura 3.5.7: Un'immagine della serie Ambiguous di Massimo Colonna.

Figure 3.5.8: Poster promozionale dell' progetto Untitled di Toronto, curato dal musicista e designer Pharrell Williams.

Figure 3.5.7: An image from Massimo Colonna's Ambiguous series.

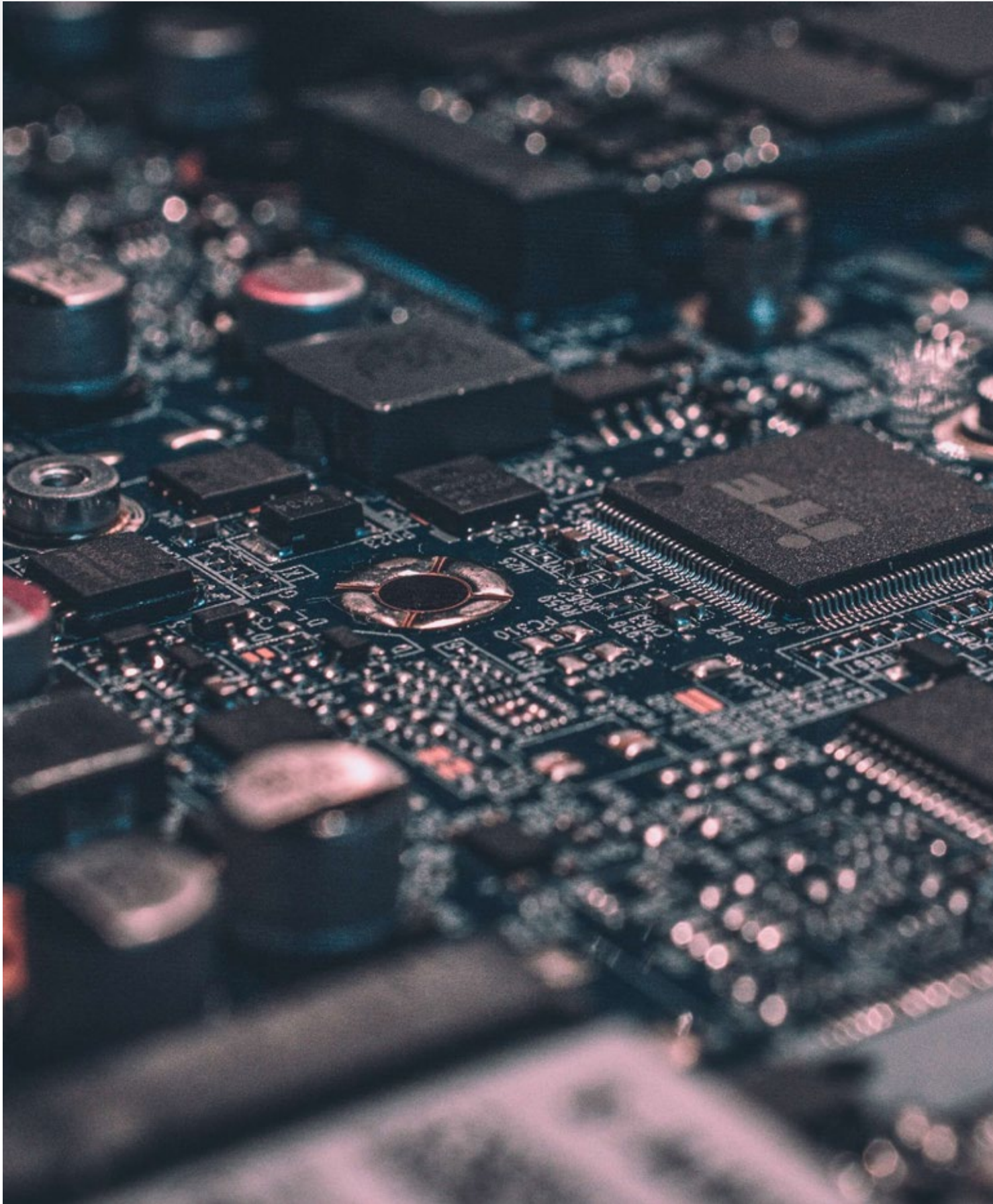
Figure 3.5.8: Promotional poster of the Untitled, in Toronto, curated by the musician and designer Pharrell Williams.



contemporary architecture: a practice that, like other areas of design, now navigates the communication market, undergoing its pressure. We can observe how the phenomenon is more alive in design practices such as fashion and product design, which, given the closer relationship with the market, establish communication-oriented strategies more easily. Fields where objects designed by VIP, or VID, Very Important Designers, are depopulated today: stars like Kanye West, American rapper who designed sneakers made with a new material partially obtained from algae (Marchese, 2019). Or Pharrell Williams, a celebrated contemporary musician who began his career as a product designer in 2010, making various chairs, clothing in eco-sustainable materials, bicycles, sports shoes for Adidas, and many other products. Objects which are now available on the market, produced in millions of copies, and in fact, make the famous musician a successful designer. Since 2019, Pharrell Williams has also become an architect: his debut project is "The Untitled" complex in Toronto, two residential towers that will house common areas available to residents and commercial spaces at the base of the building. A project created in collaboration with an architectural firm hired to follow the indications of the new architect. Williams communicated that he developed several aspects of the project, from the facades to the interior and furniture design (Dobson, 2019). We do not know what the level reached by Williams' contributions is. The contemporary architectural project, we have seen, is vast and collaborative, full of actors who chorally define the project. Despite this, the narrative of architecture remains anchored to the genius of individuals, artists, poets of form and lifestyle, capable of instantly grasping the salient aspects of a project and resolving them. No longer people, but brands, which, like fashion houses, survive their founders, and compete globally, according to increasingly marketing-oriented communication and public relations practices. A consideration also made by important architects and theorists such as Gregotti or Peter Eisenman and Micheal Graves, who on the occasion of a dialogue held at the Parson school for design in New York in 2014, criticised the influence of communication on the contemporary architecture project, subjected more to branding than to a coherent development of the project.

- Adriaenssens, S., Ney, L., Bodarwe, E., Williams, C., 2010. Dutch Maritime Museum: Form-finding of an irregular faceted skeletal shell-Part b, in Domingo, A., Lazaro, C. a cura di, *Symposium of the International Association for Shell and Spatial Structures*, Editorial Universitat Valencia. pp. 356-366.
- Alexander, C., 1964. *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge.
- Alexander, C., Ishikawa S., Silverstein. M., 1977. *A Pattern Language*, Oxford University Press, Oxford.
- ArchDaily, 2020. "Tools, inspiration, and knowledge to help create better cities" visitato il 10 giugno 2020 <https://www.archdaily.com/content/about>.
- Anderson, D., 2017. *Imaginary cities: a tour of dream cities, nightmare cities, and everywhere in between*, University of Chicago Press, Chicago.
- Block, I., 2018. "Steven Chilton Architects designs Wuxi Show Theatre with white columns and golden canopy" visitato il 12 giugno 2020 <https://www.dezeen.com/2018/10/04/steve-chilton-architects-wuxi-show-theatre-china-architecture/>.
- Brandi, C., 1967. *Struttura e architettura*, Giulio Einaudi editore, Torino.
- Brooks, F.P., 1975. *The mythical man-month*, Addison-Wesley, Reading.
- Carter, T., 2017. "10 architects you need to follow on Instagram" visitato il 10 giugno 2017 <https://www.dezeen.com/2017/03/16/10-architects-follow-instagram-norman-foster-john-pawson-david-adjaye/>.
- Castro, F., 2018. "Coal Drops Yard / Heatherwick Studio" visitato il 03 Maggio 2020 <https://www.archdaily.com/904676/coal-drops-yard-heatherwick-studio>.
- Ceccato, C., 2019a. "ZHA Aviation, design, Computation and Construction in Aviation" visitato il 23 Maggio 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=PK8ChcA6j-Q>.
- Ceccato, C., 2019b. "Danjiang Bridge Collaboration" visitato il 4 Maggio 2020 <https://vimeo.com/328019048>.
- Cruz-Benito, J., Vázquez-Ingelmo, A., Sánchez-Prieto, J.C., Therón, R., García-Peñalvo, F.J., Martín-González, M., 2017. Enabling adaptability in web forms based on user characteristics detection through A/B testing and machine learning, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2251-2265.
- Damiani, E., Madravio, M., Böhm, A., 2007. *UML pratico con elementi di ingegneria del software*, Pearson Italia Spa, Torino.
- Davis, D., 2013. *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, Tesi dottorale, RMIT University, Melbourne.
- Davis, D., 2016. Evaluating Buildings with Computation and Machine Learning, in Velikov, K., Ahlquist, S., del Campo, M., a cura di, *Posthuman frontiers: data, designers and cognitive machines*, *Proceedings of ACADIA Association for Computer Aided Design in Architecture conference*, ACADIA, Ann Arbor, pp. 116-123.
- De Carlo, G., Bunčuga, F., 2014. *Conversazioni su architettura e libertà*, Elèuthera, Milano.
- Deleuze, G., 1988. *Le pli – Leibniz et le baroque*, tr. en., Conley, T., 1993. *The fold: Leibniz and the Baroque*, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Deutsch, R., 2019. *Superusers: design technology specialists and the future of practice*, Routledge, London
- Dobson, A., 2019. "Pharrell Williams Announces Residential Design Partnership" visitato il 12 giugno 2020 <https://www.forbes.com/sites/amydobson/2019/11/06/pharrell-williams-announces-residential-design-partnership/#332a73231800>.
- Eco, U., 1962. *Opera aperta*, Bompiani, Milano.
- Eco, U., 1968. *La struttura assente: La ricerca semiotica e il metodo strutturale*, La Nave di Teseo Editore, Milano.
- Eisenman, P., Graves, M., 2015. "Graves & Eisenman Conversation | Michael Graves: Past as Prologue" visitato il 07 Aprile 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=WBCzwwFwIk0>.
- Erman, M., 2019. "hassell + eckersley o'callaghan design martian habitat where people could really thrive" visitato il 7 Maggio 2020 <https://www.designboom.com/design/hassell-eckersley-ocallaghan-martian-habitat-people-thrive-08-01-2018/>.
- Foster and Partners, 2019. *CSER Report May 2018 - April 2019*, Foster and Partners, London.
- Foster and Partners, 2020, "Contact, Foster + Partners" visitato il 10 maggio 2020 <https://www.fosterandpartners.com/contact/>.
- Gensler, 2020. "About Gensler" visitato il 10 maggio 2020 https://www.gensler.com/uploads/document/355/file/Gensler_Fact_Sheet_200417v2.pdf.
- Germanà, M.L., 2019. Technology and Architectural Heritage: Dynamic Connections, in Hawkes, D., Bougdah, H., Rosso, F., Cavalagli, N., Ghoneem, M.Y.M., Alalouch, C., Mohareb, N., a cura di, *Conservation of Architectural Heritage*, Springer, Cham, pp. 77-92.
- Goodwin, D. 2015. "Live on the Edge with OPA's Casa Brutale" visitato il 10 giugno 2020 https://www.archdaily.com/769631/live-on-the-edge-with-opas-casa-brutale?ad_medium=gallery.
- Google., 2017. "About Google." visitato il 17 maggio, 2019 <https://about.google/intl/en-GB/>.
- Gregotti, V., 1966. *Il territorio dell'architettura*, Feltrinelli, Milano.
- Gregotti, V., 1991. *Dentro l'architettura*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Grimshaw, 2020. "Tun Razak Exchange Master Plan Kuala Lumpur, Malaysia" visitato il 22 maggio 2020 <https://grimshaw.global/projects/tun-razak-exchange-master-plan/>.
- Hillier, B., Leaman, A., Stansall, P., Bedford, M., 1976. Space syntax, Environment and Planning B, *Planning and design*, vol. 3, n. 2, pp.147-185.
- Howarth, D., 2018. "Arthur Mamou-Mani unveils twisting temple for Burning Man 2018" visitato il 12 Maggio 2020 <https://www.dezeen.com/2018/01/02/burning-man-2018-temple-galaxia-arthur-mamou-mani-university-westminster/>.
- Ingels, B., 2009. *Yes is more: an archicomic on architectural evolution*, Taschen, Colonia.
- Jo, S.J., Jones, J., Grant, E., 2018. Trends in the application of CFD for architectural design, in Wingert-Playdon, K. a cura di, *Proceedings of 2018 EAEE international conference*, ARCC, Philadelphia, pp. 257-265.
- Kocakaya, M.N., 2019. Building Information Management (BIM), A New Approach to Project Management, *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, vol. 4, n.1, p.323-332.
- Kolarevic, B. ed., 2004. *Architecture in the digital age: design and manufacturing*, Taylor and Francis, London.
- Kumar, S., 2006. Architecture and Industrial Design, in Luhan, G. A. a cura di, *Synthetic Landscapes: Proceedings of the 25th Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture*, ACADIA, Louisville.
- Labarre, S., 2019. "How this CEO transformed a small architectural shop into a cutting-edge international megafirm" visitato il 10 maggio 2020 <https://www.fastcompany.com/90343345/most-creative-people-2019-bjarke-ingels-group-sheela-sogaard>.
- Lynch, P., 2016. "Casa Brutale is Getting Built, and HerEs Why (Hint: The Internet)" visitato il 10 maggio 2020 <https://www.archdaily.com/786550/casa-brutale-is-getting-built-and-heres-why-hint-the-internet>.
- Lynch, P.J., Horton, S., 2016. *Web style guide: Foundations of user experience design*, Yale University Press, London.
- Marchese, K., 2019. "kanye west's yeezy sneaker will be made using algae in new 'seed to sole' concept" visitato il 12 giugno 2020 <https://www.designboom.com/design/kanye-west-yeezy-clog-algae-seed-to-sole-11-08-2019/>.
- Massey, J., 2013. "Risk Design" visitato il 20 maggio 2020 <http://we-aggregate.org/piece/risk-design>.
- Mayine, L.Y., 2013. *Skins, envelopes, and enclosures: concepts for designing building exteriors*, Routledge, London.

- McLeod, V., 2018. *Atlas of brutalist architecture*, Phaidon, London.
- Newman, R., Chang, V., Walters, R.J., Wills, G.B., 2016. Web 2.0 - The past and the future, *International Journal of Information Management*, vol. 36, n.4, pp. 591-598.
- Ney, L., Adriaenssens, S., 2014. Shaping forces, in Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., Willians, C. a cura di, *Shell Structures for Architecture*, Routledge, London, pp. 29-34.
- Otto, F., Barthel, R., 1984. *L'architettura della natura: forme e costruzioni della natura e della tecnica e processi della loro formazione*, Il Saggiatore, Milano.
- Peters, B., 2018a. Designing Environments and Simulating Experience: Foster + Partners Specialist Modelling Group, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley and Sons, London, p. 94-105.
- Peters, B., 2018b. Parametric environmental design: Simulation and generative processes, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley and Sons, London, p. 39-52.
- Peters, B., 2018c. Designing atmospheres: simulating experience, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley and Sons, London, p. 53-68.
- Peters, B., 2018d. BIG Ideas: information driven design, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley and Sons, London, p. 69-78.
- Peters, B., Peters, T. 2018. Computing the environment: design workflows for the simulation of sustainable architecture, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley and Sons, London, pp. 7-9.
- Pintos, P., 2019b. "The Shed, a Center for the Arts / Diller Scofidio + Renfro" visitato il 08 Maggio 2020 <https://www.archdaily.com/914639/the-shed-a-center-for-the-arts-diller-scofidio-plus-renfro>.
- Sacchi, A. L., 2018. *How Drawing Changes*, disegno, vol. 1, n.3, pp. 131-142.
- Schumacher, P., 2011. *The Autopoiesis of Architecture, Volume I: A New Framework for Architecture*, John Wiley & Sons, London.
- Shan, C., Gong, S., McOwan, P.W., 2009. Facial expression recognition based on local binary patterns: A comprehensive study, *Image and vision Computing*, vol. 27, n.6, pp. 803-816.
- Simondetti, A., 2016. "Arup: Constructing the Digital Future" visitato il 23 maggio 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=X2xwjAqhJ38>.
- Sinclair, J., 1991. *La società dell'immagine, la pubblicità come industria e ideologia*, Franco Angeli Editore, Milano.
- Stenson, M.W., 2017. Christopher Alexander: Patterns, Order, and Software, in Steenson, M.W., *Architectural Intelligence: How Designers and Architects Created the Digital Landscape*, MIT Press, Cambridge, pp. 67-75.
- Stevens, P., 2019a. "zaha hadid architects completes 'leeza SOHO tower' in beijing" visitato il 20 maggio 2020, <https://www.designboom.com/architecture/zaha-hadid-leeza-soho-tower-beijing-china-11-19-2019/>.
- Stevens, P., 2019b. "city of london approves foster + partners' tulip-shaped tower" visitato il 15 maggio 2020, <https://www.designboom.com/architecture/tulip-london-tower-approved-norman-foster-partners-04-02-2019/>.
- Taleghani, M., 2018. Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 81, pp. 2011-2018.
- Thurner, N., 2009. Proiettili d'argento nella rete, Frederick Brooks: un punto di partenza tecnico per una riflessione filosofica sulla natura del software e delle architetture digitali, in Ciastellardi, M., *Le architetture liquide: dalle reti del pensiero al pensiero in rete*, LED Edizioni Universitarie, Milano, pp.145-153.
- Transport for London, 2016. "2016 pilot of Wi-Fi data collection" visitato il 17 maggio 2019 <https://tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/wifi-data-collection>.
- Ulrich, K.T., 2011. *Design: Creation of artifacts in society*, University of Pennsylvania, Philadelphia.
- Van Es, K., 2019, "Interview with Steven Chilton: On Design, China, & Fortnite" visitato il 12 giugno 2020 <https://www.avontuura.com/interview-with-steven-chilton-on-design-china-fortnite/>.
- Wade, S. 2019. "Ambiguous By Massimo Colonna" visitato il 12 giugno 2020 <https://www.ignant.com/2018/09/14/ambiguous-by-massimo-colonna/>.
- Walsh, N. P., 2019. "BIG, UNStudio and Squint/Opera Launch AR Design Tool" visitato il 5 Maggio 2020 <https://www.archdaily.com/919404/big-unstudio-and-squint-opera-launch-ar-design-tool>.
- Wiener, L., Ekholm, T., Haller, P., 2017. Modular responsive web design: an experience report, in Sartor, J. B., D'Hondt, T., De Meuter, W. a cura di, *Programming '17: Companion to the first International Conference on the Art, Science and Engineering of Programming*, ACM, New York pp. 1-6.
- Williams, C. J. K. 2001. The analytic and numerical definition of the geometry of the British Museum Great Court Roof. in Burry, M., Datta, S., Dawson, A., Rollo, A. J. a cura di, *Mathematics & design 2001*. Deakin University, Geelong, pp. 434-440.
- Woodbury, R., 2010. *Elements of parametric design*, Routledge, London.
- Wu, P., Mao, C., Wang, J., Song, Y., Wang, X., 2016. A decade review of the credits obtained by LEED v2. 2 certified green building projects, *Building and Environment*, n. 102, pp. 167-178.





4. L'EVOLUZIONE DEGLI STRUMENTI DIGITALI IN ARCHITETTURA

- 4.1** **INFORMATICA E ARCHITETTURA: DAL CAD ALLA REALTÀ VIRTUALE**
- 4.2** **LA STORIA DELLA CURVA COMPUTAZIONALE**
- 4.3** **IL BUILDING INFORMATION MODEL**
- 4.4** **LA DIFFUSIONE DI SOFTWARE E LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE IN ARCHITETTURA**
- 4.5** **IL FLUSSO DI LAVORO E L'INTEROPERABILITÀ**
- 4.6** **ARCHITETTURA E STRUMENTI OPEN-SOURCE**

Figura 4.1: Il panorama definito da dispositivi a semiconduttori e circuiti di una scheda informatica. (Foto Alexandre Debiève)

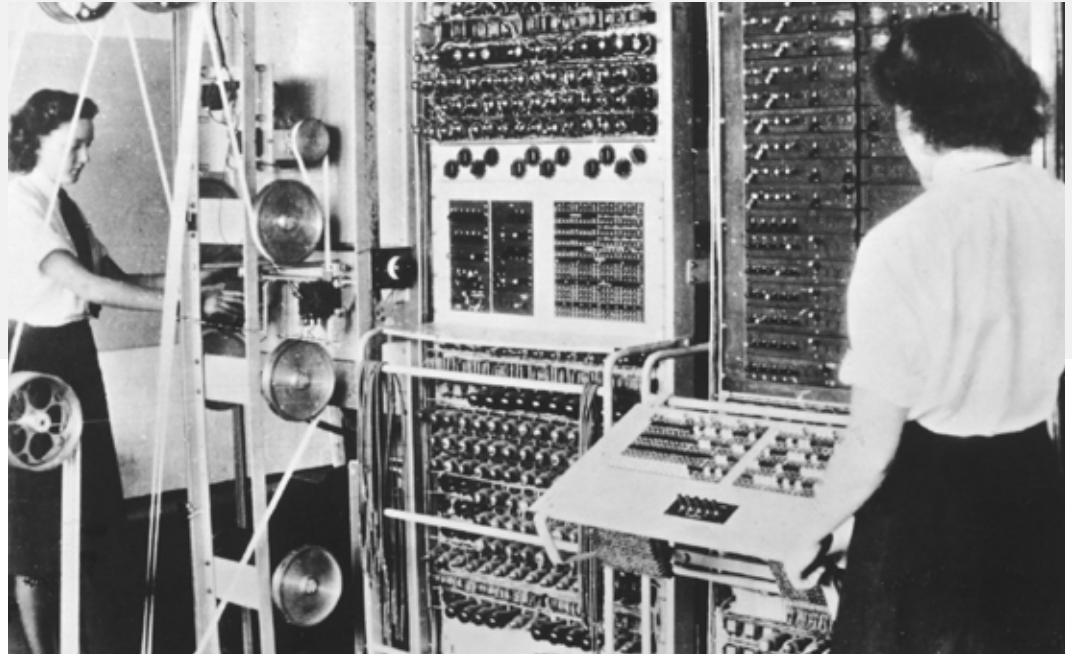
4. L'EVOLUZIONE DEGLI STRUMENTI DIGITALI IN ARCHITETTURA

4.1 INFORMATICA E ARCHITETTURA: DAL CAD ALLA REALTÀ VIRTUALE

La società, così come il progetto d'architettura sono oggi intrisi di capacità digitali, abilità possibili grazie ai mezzi e alle infrastrutture informatiche, strumenti tuttora qualificati come nuovi, ma che nell'arco di oltre tre decenni dalla massiccia ascesa commerciale degli anni novanta, si sono diffusi esponenzialmente, modificando nostre esistenze, raggiungendo una capillarità e una maturità precedentemente inimmaginabile. Se il panorama di funzionalità e facoltà disegnato oggi dagli strumenti digitali ci sembra praticamente infinito e si arricchisce costantemente di nuove peculiarità, è importante ricordare che qualsiasi computer svolge essenzialmente due funzioni, effettuare calcoli e ricordarne i risultati. Ciò è vero sin dalla comparsa del *Colossus*, figura 4.1.1, il primo computer elettronico programmabile, realizzato dal governo del regno unito durante la seconda guerra mondiale per decifrare il codice *Enigma* adottato dai nazisti (Randell, 1982), ma vale ancora oggi per qualsiasi calcolatore, dai server adottati con finalità infrastrutturali sino agli smartphone che traslano la nostra esistenza sulle dimensioni digitali.

Se è quindi possibile datare al secolo scorso la nascita dei primi calcolatori elettronici, ponendo il nostro sguardo al linguaggio e alle strutture logiche dei processi computazionali dobbiamo tornare indietro almeno al seicento, secolo durante il quale il filosofo-matematico Gottfried Wilhelm Leibniz pubblica il manoscritto *De progressionem dyadica*, all'interno del quale il celebre autore spiega e dimostra un paradigma di calcolo algebrico denominato sistema binario (Glaser, 1971). Il sistema binario è proposto come alternativa al sistema decimale, composto da dieci valori, dallo zero al nove, sostituiti nel caso del calcolo binario da due valori, lo zero e l'uno. È lo stesso Leibniz il primo ad immaginare l'utilizzo di questo sistema per la realizzazione di una prima calcolatrice binaria, e così come teorizzato dall'autore, i computer contemporanei sono tuttora basati sul sistema binario, ovvero su *bit*, dall'inglese *binary digit*, elemento basilare dell'informazione che costituisce qualsiasi *file* digitale (Hénin, 2007). Come spesso accade nel caso di evoluzioni tecniche e metodologiche, il nostro percorso può procedere ulteriormente a ritroso, e in questo caso addirittura di millenni. Il codice binario inventato da Leibniz trova infatti un importante antenato nelle radici della cultura orientale, figura 4.1.2, ambito di particolare interesse per il filosofo, che studia il sistema di segni alla base del cinese

Figura 4.1.1: Colossus, il primo computer programmabile. (foto di dominio pubblico)



e mantiene una fitta corrispondenza con diversi missionari Gesuiti allora in servizio in Cina. Alla cultura Cinese si deve infatti la nascita del primo sistema binario, descritto e utilizzato all'interno dell' *I Ching* o *Yi Jing*, il libro dei mutamenti, una composizione scritta intorno al decimo secolo avanti Cristo, figura 4.1.3 che utilizza un sistema di esagrammi formati da linee, intere o interrotte a segnare il valore di 1 e 0 (Doroudi, 2007). Un sistema che Leibniz conosce e sicuramente amplia e articola nel suo sistema binario, ma che comunque rappresenta un importante contributo orientale alla formazione dell'informatica, tecnica che fiorirà in seguito principalmente all'interno delle culture prevalentemente occidentali.

Ora, se come abbiamo detto è vero che il sistema binario è alla base di qualsiasi processo svolto dai calcolatori contemporanei, si tratta comunque di un sistema gestito oggi autonomamente dalle macchine, tramite codici che gli sviluppatori informatici organizzano grazie a specifici linguaggi di programmazione, creati e adottati per facilitare l'interazione con le macchine. Osserviamo inoltre come utilizzare degli strumenti digitali oggi non richieda necessariamente la conoscenza di linguaggi di programmazione, fattore che ne renderebbe impossibile l'utilizzo da parte degli utenti comuni, questo è possibile grazie ad un'ulteriore innovazione, quella delle GUI, *Graphical User Interface*, una struttura grafica che traduce ulteriormente il sistema complesso di codici informatici in un'interfaccia grafica, e ne permette la comprensione e quindi l'utilizzo da parte dell'utente medio.

L'introduzione delle interfacce grafiche è quindi uno dei fattori determinanti per il successo dei sistemi digitali, e la sua nascita avviene in seno allo sviluppo dei primi programmi CAD, *Computer-Aided Drafting*, antenati dei moderni pacchetti di CAAD, *Computer-Aided Architectural Design*. Un ambito oggi popolato di un numero pressoché infinito di strumenti specialistici per la progettazione architettonica, ma che in un modo o nell'altro fanno tutti capo ad un primo importante antenato: Sketchpad,

il primo programmi CAD, ideato da Ivan E. Sutherland all'inizio degli anni 60, figure 4.1.4 e 4.1.5. Sutherland (1963) è allora un giovane dottorando in scienze informatiche presso il prestigioso Massachusetts Institute of Technology, e proprio in seno alla sua ricerca dottorale proporrà quello che è oggi riconosciuto come il primo strumento di rappresentazione digitale, un sistema basato su un'innovativa GUI, che permette a qualsiasi utente di disegnare sullo schermo di un calcolatore tramite l'ausilio di una penna simile a quelle che utilizziamo oggi su tavolette grafiche e tablet.

Nonostante la nuova possibilità di interazione fornita dalle interfacce grafiche, durante gli anni sessanta l'informatica è ancora una disciplina in fase esplorativa, la potenza di calcolo è particolarmente costosa e la realizzazione di calcolatori richiede competenze altamente specialistiche, tanto che sono in pochi gli attori che possono sfruttarne le capacità: governi, università e grandi aziende. Tra queste è opportuno citare la General Motors, in seno alla quale verrà sviluppato nel 1964 il programma DAC-1, *Design Augmented by Computer*, o la Renault, dove Pierre Bezier svilupperà nel 1968 il programma UNISURF, uno strumento utilizzato per la progettazione del corpo centrale e accessori di automobili (Farin et al., 2002). Nello stesso periodo l'evolversi degli strumenti informatici per la progettazione sfocia nel CAM *Computer-Aided-Manufacturing*, paradigma che prevede la possibilità di utilizzare il computer per risolvere i problemi di produzione di forme complesse, interfacciando il calcolatore alle prime macchine a controllo numerico, capaci di tradurre in oggetti fisici le strutture precedentemente progettate su strumenti CAD. Un'innovazione intuita da Donald Welbourn, che ne animerà lo sviluppo prima in seno alla Ford e poi all'università di Cambridge. Il ricercatore realizzerà un sistema collegato a due macchinari che tramite un sistema a tre assi permettono la produzione di oggetti fisici a partire da file digitali senza necessità di interazione umana: un progetto che segnerà l'avvio di quello che oggi conosciamo come *digital manufacturing*, pratica che nell'arco di decenni giocherà un ruolo sempre più importante per l'architettura (Welbourn, 1983).

Gli anni 70 sono una fase in cui il mercato dei programmi informatici inizia a strutturarsi e crescere, università e gruppi di ricerca privati organizzati all'interno di grandi aziende progettano nuovi metodi matematici e geometrici che permettono di superare le due dimensioni e disegnare oggetti tridimensionali. In un primo momento gli oggetti tridimensionali venivano rappresentati tramite un sistema wireframe, composto esclusivamente da punti e linee, non era quindi ancora possibile rappresentare superfici complesse (Riccobono, 2014). Un problema affrontato, tra gli altri, da Marcel Dassault, celebre ingegnere francese che organizzerà un gruppo specializzato nella progettazione di strumenti digitali per l'industria aeronautica, e svilupperà nel 1977 un applicativo interattivo per la rappresentazione di solidi tridimensionali complessi. Un programma che negli anni si evolverà in CATIA, *Computer-Aided Three Dimensional Interactive Application*, figure 4.1.6 e 4.1.7, strumento orientato alla produzione industriale e ingegneristica, che troverà applicazione in architettura sin dalla prima svolta digitale, quando Gehry lo utilizzerà anche per definire le forme organiche e taglienti del Guggenheim di

Figura 4.1.2: Diagramma degli esagrammi I Ching posseduto da Gottfried Wilhelm Leibniz. (immagine di pubblico dominio)

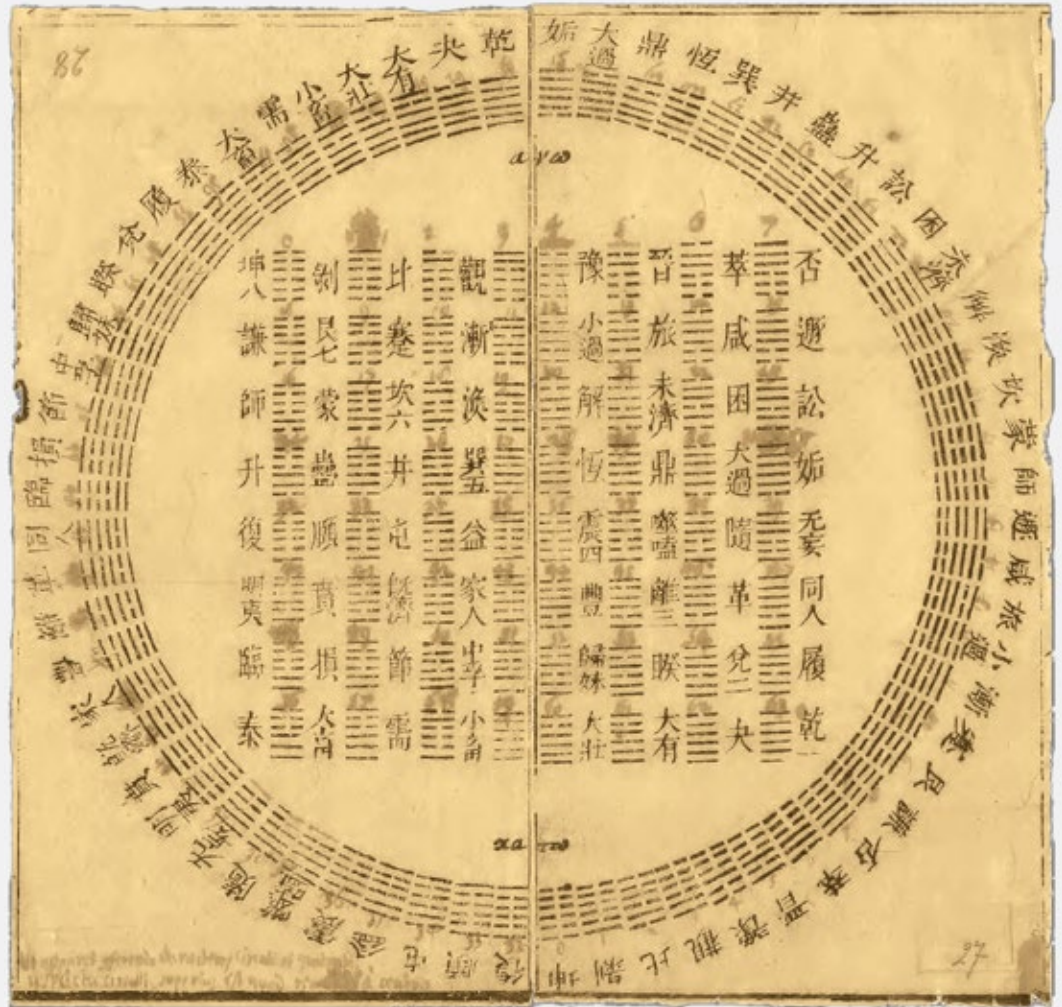
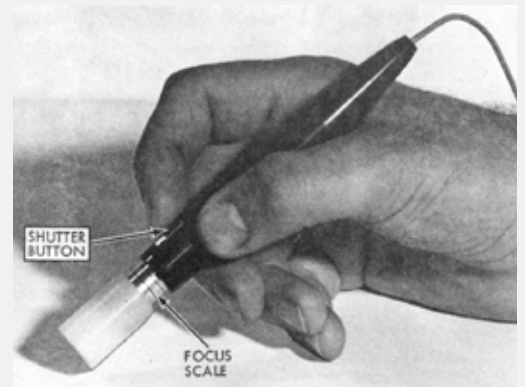


Figura 4.1.3: Il significato dei primi 8 segni dell'I Ching per la tradizione cinese.



Figure 4.1.4 e 4.1.5: Il software Sketchpad e la penna digitale utilizzata come interfaccia. (copyright Ivan E. Sutherland)



Bilbao. Contemporaneamente a Dassault, anche l'esercito statunitense sviluppa degli strumenti orientati al controllo di forme e superfici tridimensionali, è il caso di BRL-CAD, un sistema ideato dallo statunitense Mike Muss per il *Balistic Research Laboratory*, rilasciato pubblicamente solo nel 1984, e che dal 2004 è un progetto *open-source*, condiviso con chiunque sia interessato a collaborare nel suo sviluppo.

Una decade che segna una significativa svolta nella diffusione e nell'utilizzo dei *software* è quella degli anni 80, un periodo in cui i computer diventano finalmente strumenti personali, disponibili a costi relativamente bassi per ogni azienda o addirittura per i privati. Questa prima democratizzazione economica dell'informatica, coincide con l'apertura di un nuovo mercato per gli strumenti di rappresentazione digitale, una possibilità commerciale intuuta da John Walker, fondatore della celebre casa di sviluppatori Autodesk e creatore nel 1982 di Autodesk Autocad, figura 4.1.8, un programma commerciale che permetteva già allora, con un investimento alla portata di qualsiasi azienda, di abbandonare i metodi di rappresentazione analogica e sfruttare la potenza e la precisione del paradigma CAD. La nascita dei primi CAD commerciali viene accolta positivamente dal mercato, progettisti di ogni ambito sfruttano le possibilità di questi strumenti, traducendo progetti cartacei in *file* digitali operati da figure specializzate nel disegno digitale. Da allora i metodi di rappresentazione digitale diventano un requisito per l'attività progettuale, dapprima in ambito ingegneristico, poi anche nel settore delle costruzioni e tra gli architetti, che iniziano ad esplorare le possibilità del CAD per la rappresentazione del progetto. La massiccia adozione di applicativi commerciali, porta gli sviluppatori di software a confrontarsi con il pubblico, con le esigenze degli utenti e dei gruppi professionali, ciò favorisce la differenziazione degli strumenti CAD al variare del settore in cui vengono utilizzati. Questo accade anche in architettura, dove gli strumenti per la rappresentazione digitale iniziano ad arricchirsi di funzionalità specifiche per la rappresentazione del progetto di architettura, programmi che iniziano a popolare una nuova categoria quelli dei CAAD, *Computer-Aided Architectural Design*. A ciò corrisponde la nascita di un mercato, che fa da traino ad un ampio numero di gruppi strutturatisi con l'intenzione di sviluppare soluzioni *ad hoc* per settori specifici della progettazione, citiamo tra gli altri Mc Neel & Associates, azienda produttrice di Rhinoceros 3D nata negli anni 80 per commercializzare le NURBS, un particolare modello matematico utilizzato per la progettazione di forme organiche, metodo inventato già negli anni 70 da Ken Versprille (1975) e di cui seguiremo l'evoluzione all'interno del prossimo sottocapitolo dedicato alle *splines*.

Con l'avvento degli anni novanta, periodo corrispondente all'avvio della prima svolta digitale in architettura, i programmi informatici hanno già raggiunto livelli di complessità funzionale vicini a quelli contemporanei, esistono aziende strutturate che si rivolgono ad un mercato, quello dell'architettura, in seno al quale gli strumenti digitali conquistano sempre più spazio nella rappresentazione del progetto. Questo è anche il momento in cui, analogamente a quanto riportato da Arthur Mamou-Mani all'interno delle interviste, ci si inizia ad accorgere che il computer non è semplicemente utile alla rappresentazione, quindi a facilitare e velocizzare il

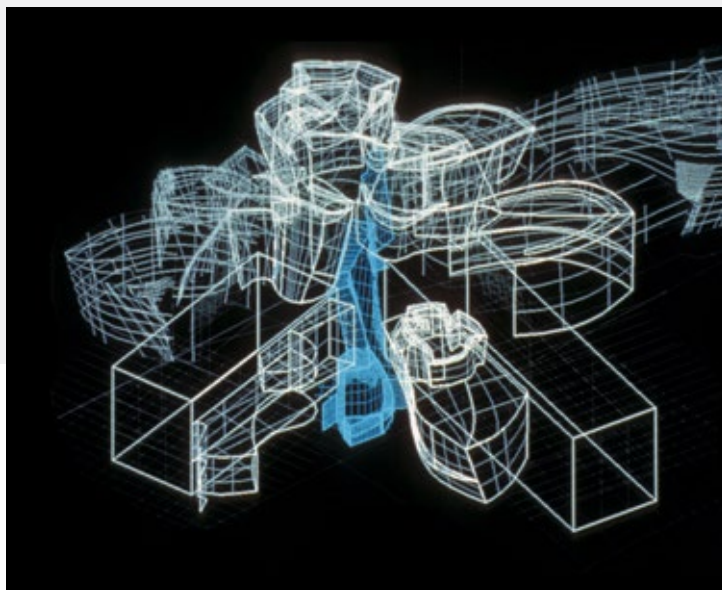


Figura 4.1.6: Il modello digitale del Guggenheim di Bilbao, realizzato da Gehry Partners su CATIA. (foto Gehry Technologies)



Figura 4.1.7: Il Pacchetto 3DExperience, recente evoluzione del programma CATIA.

disegno tecnico, ma è anche un'occasione per acquisire un diverso controllo sull'iter progettuale, così regala agli architetti la facoltà di creare forme complesse, grazie ai modelli tridimensionali che ne permettono l'esatta descrizione e approfondimento. Se ciò avviene a velocità distinte all'interno di diversi studi di architettura, ed è osservabile come nonostante il tempo trascorso esistano ancora oggi progettisti che si limitano all'utilizzo di strumenti CAD elementari, alcuni dei protagonisti della prima svolta digitale si avventurano nell'utilizzo di pacchetti informatici realizzati per settori lontani dall'architettura e l'ingegneria. È il caso di Maya, un programma rilasciato alla fine degli anni 90 dalla Alias Systems corporation, come strumento per il cinema e l'animazione tridimensionale, pacchetto che Greg Lynn utilizzerà per praticare il *morphing* di forme architettoniche e creare quelli che battezzerà come BLOB. Il *software*, acquisito nel frattempo dalla Autodesk è tuttora utilizzato all'interno di diversi importanti studi contemporanei, che ne sfruttano le potenzialità per la creazione di forme organiche (Tang, 2014).

La fine degli anni 90 e l'inizio degli anni duemila corrispondono alla prima diffusione del BIM, modello e metodo di gestione dell'iter progettuale di cui descriveremo le evoluzioni in un capitolo dedicato, un paradigma che vede l'applicativo commerciale Archicad rilasciato dalla ungherese Graphisoft come il più longevo tra quelli attualmente disponibili (Forbes, e Ahmed, 2010), e che è attualmente dominato da Autodesk Revit, un pacchetto ideato inizialmente dalla Charles River Software nel 1997, che verrà poi acquisita dalla Autodesk già nel 2002 (Demchak et al., 2009).

La diffusione del BIM, metodo di gestione del processo progettuale specifico per l'architettura e l'industria delle costruzioni, non è l'unico segnale di una nuova maturità degli strumenti digitali nel nostro campo: gli anni duemila sono infatti il momento in cui gli architetti, sempre più spesso, a partire dai grandi studi, iniziano a strutturare nuovi metodi performativi basati sulle simulazioni digitali. Per questo ed altri fini i progettisti iniziano ad ampliare gli applicativi commerciali tramite l'utilizzo di linguaggi di programmazione, realizzando comandi ad hoc per le loro esigenze: sviluppando metodi non presenti sui programmi predefiniti e strutturando strategie computazionali

uniche e complesse. Le nuove esigenze dei progettisti trovano risposta nei VPL *Visual Programming Languages*, letteralmente linguaggi di programmazione visuale, che al contrario dei classici linguaggi di programmazione testuali permettono una più facile ed intuitiva costruzione di algoritmi, avvicinando ulteriormente il mondo dell'architettura a quello dell'informatica. Come tutti gli intervistati testimoniano, il più celebre e diffuso tra i VPL è senza alcun dubbio Grasshopper 3D, figura 4.1.9, un programma ideato da David Rutten, vero e proprio guru della progettazione computazionale, che rilascerà nel 2008 la prima versione del pacchetto integrato oggi in Rhinoceros 3D (Tedeschi, 2014). L'elemento che ha contribuito all'ampia diffusione di Grasshopper 3D, è l'ecosistema di *plug-in* e componenti aggiuntivi che nell'arco di anni sono stati creati da società e gruppi informali, strumenti studiati per la risoluzione di problemi specifici, dalla simulazione fisica, sino alla razionalizzazione di facciate organiche in pannelli regolari, temi che gli studi di architettura contemporanei affrontano abitualmente tramite il popolare VPL e altri linguaggi di programmazione testuali.

L'inizio del secolo ventunesimo è inoltre, come ricordato da Andreas Klok Pedersen, il periodo in cui osserviamo la prima diffusione nel mondo dell'architettura di visualizzazioni fotorealistiche, possibili grazie a *plug-in* commerciali come V-ray: un pacchetto sviluppato dall'azienda Bulgara Chaos Group, e che gli architetti possono facilmente integrare all'interno dei più comuni programmi per la modellazione 3D. Oggi il livello di fedeltà fotografica raggiunto dalle immagini rasenta quello di fotografie realizzate dal vero, e grazie alle potenze di calcolo adesso disponibili a prezzi accessibili è inoltre possibile per gli architetti navigare all'interno di architetture virtuali, sfruttando motori grafici realizzati per l'industria video-ludica. I *game engines*, sono sicuramente una tra le più recenti tecniche digitali adottate dagli studi di architettura: si tratta di sistemi di simulazione che come abbiamo già letto nei capitoli precedenti, anche gli studi di architettura utilizzano per simulare con sempre maggiore consapevolezza la materialità e la percezione delle architetture da parte degli utenti, fino a realizzare esperienze interattive di *virtual reality* e *augmented reality*. Tra i *game engines* più diffusi all'interno degli studi di architettura è opportuno citare Unreal, figura 4.1.10, motore grafico sviluppato dalla casa Epic Games per l'omonimo gioco nel 1998, e che è disponibile a chiunque lo voglia adoperare gratuitamente dal 2015, o Unity3D, programma rilasciato per la prima volta nel 2005 dalla Unity Technologies (Christopoulou e Xinogalos, 2017).

Da questa sintetica progressione storica attraverso gli strumenti digitali ideati per la rappresentazione e la progettazione, e il loro graduale utilizzo all'interno degli studi di architettura attraverso approcci che abbiamo già descritto all'interno del capitolo precedente, è chiaro quanto le possibilità che arrivano all'architettura tramite gli strumenti digitali giochino oggi un ruolo determinante nella definizione del progetto di architettura. Osserviamo però come definire con precisione il numero di strumenti digitali utilizzati nella nostra professione sia praticamente impossibile, se non addirittura inutile. Questo per due fattori: innanzitutto perché, come è evidente, il mercato dei programmi informatici è in in costante evoluzione e nuovi strumenti digitali finalizzati alla risoluzione di problemi specifici vengono rilasciati anche con

Figura 4.1.8: La prima versione del software commerciale Autodesk Autocad. (foto Autodesk)

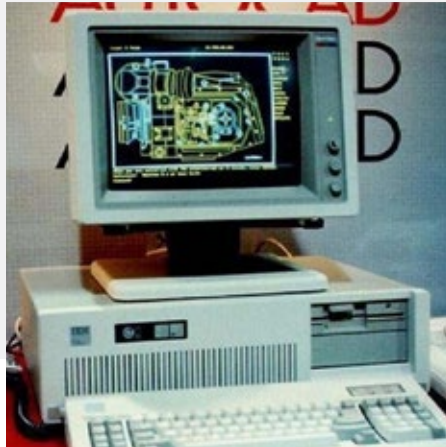
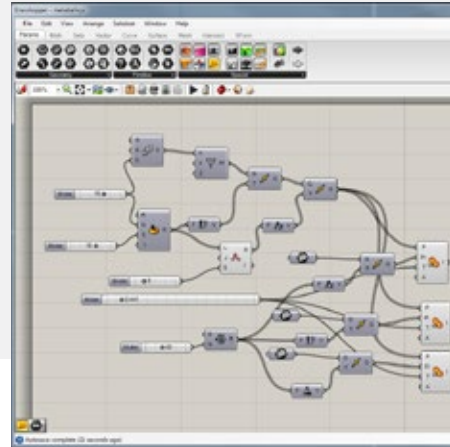


Figura 4.1.9: La programmazione visuale su Grasshopper all'interno del software Rhinoceros 3D.



cadenza semestrale, e inoltre perché, come riportato da diversi progettisti intervistati, il mondo dell'architettura è estremamente frastagliato, ed è composto da un numero limitato di gruppi che hanno abbracciato appieno le nuove opportunità digitali, e da una moltitudine di progettisti che si limitano a sfruttare le possibilità più basilari degli strumenti digitali. Nonostante questa considerazione è comunque possibile definire una classificazione dei principali metodi e modelli digitali adottati dai progettisti, così come proposto da Rivka Oxman (2006) che nel ripercorrere le evoluzioni del processo progettuale in architettura dagli anni novanta identifica quattro principali componenti della progettazione architettonica digitale: la rappresentazione, prima tra le quattro componenti a manifestare un'utilità per il progetto, che trasla su dimensioni digitali la definizione di disegni tecnici precedentemente sviluppati su carta, quindi la generazione, che trasferisce sui media digitali i processi generativi delle forme architettoniche, la valutazione, ovvero i quei processi analitici e decisionali interni al progetto di architettura, e la performance, che include processi performativi basati su considerazioni programmatiche e di contesto. L'autrice definisce inoltre cinque principali famiglie di modelli digitali adottati in architettura ordinati in base al loro livello di complessità: partendo con i modelli CAD, evoluzione digitale del foglio cartaceo, seguiti dai modelli di formazione, grazie ai quali i progettisti sfruttano le nuove capacità di rappresentazione offerta dai mezzi digitali, i modelli generativi, che permettono di impostare una struttura algoritmica del progetto, definendone parametri e vincoli, quindi i modelli performativi, realizzati con finalità di ottimizzazione di uno o più parametri, concludendo con i modelli compositi, sommatoria digitale delle caratteristiche afferenti ai modelli precedenti.

Quelli CAD, sono sicuramente i più datati fra i modelli digitali, e rappresentano l'analogo informatico dei disegni tecnici analogici da cui ereditano una prima bidimensionalità, riportata sullo schermo di un calcolatore tramite un'interfaccia grafica che permette di operare funzioni elementari tipiche del disegno. All'interno della categoria, Oxman propone un'ulteriore differenziazione in modelli descrittivi e modelli che permettono attività di generazione valutazione e previsione. I modelli CAD descrittivi consentono la gestione e la modifica delle rappresentazioni di oggetti digitali, che possono comunque essere connessi ad oggetti fisici, creando un dialogo

tra modelli fisici e virtuali secondo pratiche di *reverse modelling*, tecnica già adottata nella progettazione automobilistica e largamente sfruttata da Gehry in occasione della progettazione di diverse architetture (Chikofsky e Cross, 1990). I modelli di generazione valutazione e previsione rappresentano un'evoluzione della precedente tipologia e permettono idealmente di considerare fattori di sicura utilità per il progetto di architettura, come la stima dei costi, il comportamento strutturale e la performance ambientale. Se da un lato quindi rappresentano un primo tentativo di integrare ai modelli CAD informazioni supplementari e metodi per la collaborazione, si tratta di modelli in cui la collaborazione è asincrona, ovvero non esiste ancora un modello unico in cui tutti questi aspetti vengono integrati.

I modelli di formazione rappresentano un secondo passo nell'evoluzione degli strumenti digitali per l'architettura, se con il primo CAD si intende sfruttare esclusivamente le capacità di rappresentazione dei calcolatori, con questi modelli si ha l'opportunità di creare metodi astratti per la definizione della forma architettonica, secondo procedimenti dinamici che spostano l'attenzione dei progettisti dalla forma finale al processo utilizzato per ottenerla, favorendo la creazione di processi e metodi computazionali unici. All'interno di questa categoria, Oxman distingue tre diverse tipologie: modelli di formazione topologici, associativi e dinamici.

I modelli di formazione topologici sono tra i protagonisti della prima svolta digitale e permettono ai progettisti di superare la geometria euclidea nell'esplorazione di nuove possibilità formali. La topologia è una branca della matematica che studia le proprietà geometriche delle forme, e in particolare le relazioni tra strutture formali che si mantengono inalterate nonostante processi deformativi come la torsione, l'allungamento, la dilatazione: processi oggi possibili grazie all'utilizzo delle *splines*, che nelle loro derivazioni sono disponibili all'interno di diversi pacchetti commerciali come Rhinoceros 3D e Autodesk Maya (Wirz, 2008). I modelli di formazione associativi sono quelli che iniziano a contemplare l'adozione di strategie progettuali parametriche, analoghe a quelle inventate all'inizio del secolo scorso da Moretti. Se con i modelli CAD tradizionali effettuare modifiche e variazioni sulla forma degli oggetti rappresentati può essere un processo tedioso e articolato, la progettazione parametrica permette di sviluppare un vero e proprio algoritmo della forma, all'interno del quale le caratteristiche che generano la forma sono racchiuse in parametri e funzioni, vero e proprio codice genetico dell'oggetto, al variare del quale anche il fenomeno cambia (Tedeschi, 2014). Queste strategie richiedono oggi ai progettisti una diversa consapevolezza delle logiche secondo cui la forma viene generata, e la conoscenza di VPL come Grasshopper 3D e Dynamo, disponibili oggi come *plug-in* integrati all'interno di Rhinoceros 3D e Autodesk Revit. I modelli di formazione dinamici non si basano come nel caso dei modelli topologici sulla manipolazione deformativa o sulla definizione di algoritmi, come abbiamo appena visto nei modelli associativi, al contrario sono basati sul movimento, che viene rappresentato all'interno di programmi per l'animazione digitale, simulando gli effetti deformativi caratteristici di forme e materiali in natura. Una delle più diffuse pratiche possibili grazie ai modelli dinamici è il *morphing*, metodo che prevede una vera e propria metamorfosi topologica, e che è stato utilizzato sin dalla prima svolta digitale da progettisti come

Peter Eisenman, Greg Lynn e Zaha Hadid. Si tratta di modelli che, prima della loro applicazione in architettura, sono stati largamente sperimentati nel cinema e per gli effetti speciali. Diversi protagonisti della prima svolta digitale citano ad esempio gli effetti di liquefazione adottati nel celebre film Terminator 2, pellicola prodotta alla fine degli anni 80, dove uno dei personaggi principali della serie ha la capacità di assumere la forma del metallo liquido per superare gli ostacoli: un esempio che viene spesso utilizzato a significare la capacità offerta dai mezzi digitali di superare le contraddizioni progettuali in architettura. Per attuare strategie di *morphing* i progettisti possono oggi sfruttare programmi commerciali come Autodesk Maya, all'interno del quale è possibile impostare una graduale trasformazione di un oggetto 3D in un altro, attraverso un numero definito di istanti. Un processo caratterizzato da parametri fisici, posizionali e dimensionali, che vengono progressivamente variati risultando in trasformazioni topologiche pressoché infinite e che permettono agli architetti di generare forme intermedie fra alternative progettuali, utili a includere e assimilare le contraddizioni tipiche delle composizioni basate su geometrie euclidee in soluzioni architettoniche tipicamente plastiche.

Dove l'astrazione di processi di modellazione delle forme architettoniche cresce in entità e portata è nei modelli generativi, questi, come nel caso dei modelli di formazione associativi sono basati sulla strutturazione algoritmica di un processo, che definisce a monte aspetti strutturali e geometrici, ma non prescrive le proprietà formali dell'oggetto, risultato ultimo di uno sviluppo esplorativo controllato dal progettista tramite l'attenta manipolazione di parametri. Modelli e metodi generativi non nascono in architettura, così come altre innovazioni progettuali hanno raggiunto la nostra professione da altri ambiti come la grafica interattiva, il design del prodotto e l'ingegneria, settori dove questi paradigmi progettuali hanno già mostrato grande utilità sin dagli anni novanta del secolo scorso. I modelli generativi sono basati su processi logico matematici, schematizzati in algoritmi composti da funzioni elementari: operazioni geometriche e meccanismi evolutivi ereditati dalle scienze biologiche, così come da vincoli, settati dal progettista. Questi modelli permettono agli architetti di gestire la configurazione delle forme interattivamente, modificando parametri e la struttura dell'algoritmo, permettendo ai progettisti di osservare in tempo reale la variazione formale dell'architettura, e arricchendo il progetto di nuove possibilità esplorative. Un nuovo paradigma progettuale, che porta a considerare l'architettura in fase di definizione, non come un elemento statico, ma come il risultato di un processo interattivo, governato dal progettista che è quindi capace di affrontare con una diversa consapevolezza temi architettonici contemporanei.

I metodi generativi segnano un ulteriore avvicinamento del progetto di architettura alla biologia, di cui ricalcano processi e sistemi, fornendo ai progettisti un ambiente virtuale su cui sperimentare soluzioni simili a quelle già esplorate da Otto con i suoi modelli fisici, traslati su dimensioni digitali quindi potenzialmente più ricche di informazioni, caratteristiche e vincoli utili al progetto. Non a caso questi metodi hanno dimostrato grande efficacia nella gestione della complessità progettuale, permettendo lo sviluppo di sistemi analoghi a quelli di complessi multicellulari, veri e propri ecosistemi, sommatoria di elementi singoli animati da comportamenti

indipendenti. Ciò è estendibile al rapporto tra organismi e ambiente: se in natura gli organismi sono il risultato di condizioni ambientali, allo stesso modo l'ambiente è influenzato dagli elementi singolari che lo popolano (Weinstock, 2010). Tra le prime applicazioni dei metodi generativi in architettura è opportuno citare gli *shape grammars*, un sistema progettuale che prevede la scomposizione della forma architettonica in un vero e proprio alfabeto di elementi categorizzati, che i progettisti adoperano per popolare il progetto attraverso regole sintattiche basate sulla variazione dimensionale, la rotazione, la traslazione e la riflessione (Stiny, 1980). Una tecnica che è stata applicata alla ricerca in architettura sin dagli anni 70, e ha trovato spesso applicazione nella progettazione di *pattern* utilizzati per la configurazione di facciate. Applicazioni più avanzate dei modelli generativi sono rappresentate da gli algoritmi evolutivi, metodi che prevedono la simulazione del processo di selezione naturale su una popolazione di forme individuate a partire da parametri definiti dal progettista, e che misurano l'efficacia dei diversi individui secondo gli obiettivi posti a monte del modello, così da produrre un susseguirsi di generazioni dove i nuovi esemplari sono il risultato della combinazione dei migliori elementi della generazione precedente. Una strategia che ha trovato grande riscontro in architettura e che i progettisti possono oggi sviluppare attraverso un numero sempre più ampio di *plug-in*, tra cui citiamo Galapagos, pacchetto integrato in Grasshopper 3D da diversi anni, e il più recente Wallacei, rilasciato nel 2018 da un gruppo di dottorandi dell'Architectural Association di Londra e immediatamente adottato da alcuni dei maggiori studi di architettura contemporanea (Makki e Showkatbakhsh, 2018).

I metodi generativi trovano un'evoluzione in quella categoria di modelli che Oxman definisce performativi, una tipologia che l'autrice separa dalla precedente, ma con cui sono evidenti numerosi punti di contatto. Il tema della performance, abbiamo già visto, ha sempre più spazio all'interno del dibattito architettonico contemporaneo, l'attenzione rivolta al comportamento dell'edificio in termini soprattutto energetici influisce quindi sulla diffusione di questi approcci, che analogamente agli algoritmi evolutivi misurano l'efficacia di soluzioni a partire dalla loro performance. Se nel caso di generici algoritmi evolutivi le soluzioni identificate sono il frutto di valutazioni basate su parametri individuati in precedenza, in questo caso le diverse soluzioni progettuali vengono simulate nelle loro caratteristiche fisiche, da cui vengono desunti valori performativi e quindi selezionati gli individui più adatti alla risoluzione dei temi progettuali. Un vero e proprio processo di ottimizzazione che può partire da qualsiasi forma, ma si svilupperà, a seconda dei parametri presi in considerazione, verso una forma adatta alla risoluzione del problema, tenendo conto esclusivamente di fattori quantificabili come temperatura, velocità dei flussi d'aria, livelli di radiazione solare etc. Metodi che come abbiamo già detto sono già cementificati all'interno dell'iter progettuale di alcuni dei grandi studi progettuali e sono già stati adoperati in progetti dei primi anni duemila come il *The Gherkin* o la *London city hall* di Foster and Partners. La creazione di modelli performativi richiede ai progettisti, non solo una maggiore conoscenza della fisica necessaria alla comprensione dei temi, ma un'ulteriore avvicinamento verso l'informatica. Se infatti, come abbiamo visto è possibile oggi adottare strategie generative tramite pacchetti commerciali e linguaggi

Figura 4.1.10:
L'interfaccia del
programma Unreal,
motore grafico per
videogiochi, utilizzato
dagli architetti per
creare modelli navigabili
in realtà virtuale.



Figura 4.1.11: Il modello
BIM MEP del Leeza Soho,
completato a Pechino
nel 2019. (immagine Zaha
Hadid Architects)

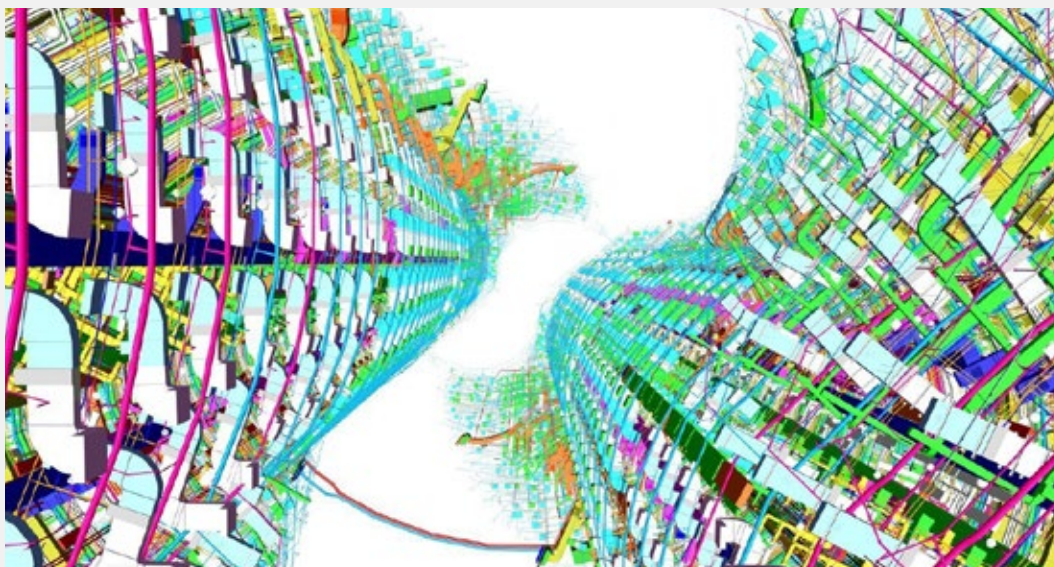
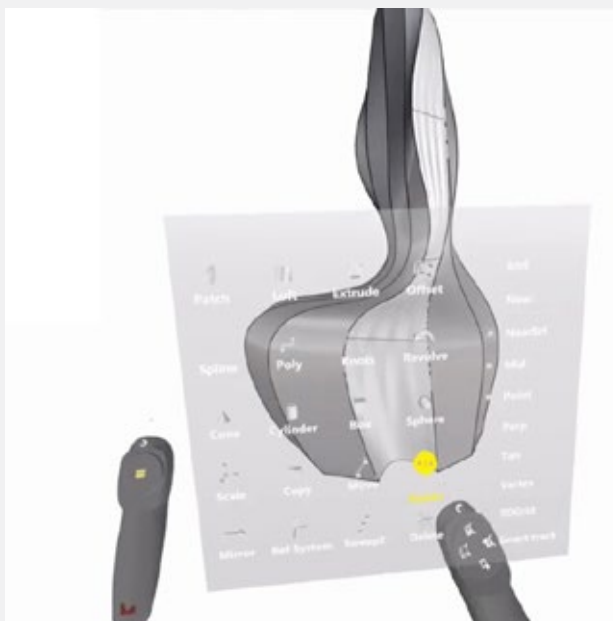


Figure 4.1.12 e 4.1.13:
L'interfaccia utilizzata da
Arturo Tedeschi, a destra,
per progettare la sedia
Oyster. (foto AT consulting)



di programmazione visuale, per applicare questi metodi alla performance dell'edificio è necessario simulare l'edificio tramite applicativi come OpenFOAM (Jacobsen et al., 2012), uno strumento *open-source* realizzato per la simulazione fluidodinamica, che non è immediatamente integrabile all'interno dei pacchetti commerciali per l'architettura: integrazione che i progettisti possono realizzare grazie ai linguaggi di programmazione e a una consapevole organizzazione dei dati.

L'ultima categoria di modelli digitali identificata da Oxman è quella dei *compound models*, modelli compositi, che includono in un unico ambiente virtuale tutte le caratteristiche dei modelli precedenti, da quelli di formazione, sino a quelli generativi e basati sulla performance. Se nel 2006, l'autrice li descrive guardando al futuro, come utile possibilità per il processo di architettura, oggi, come già altri hanno già fatto (Riccobono, 2014) è facile leggere quanto l'integrazione di metodi e modelli si stia realizzando all'interno del BIM, *Building Information Modelling*, vero e proprio paradigma progettuale che, abbiamo già visto si è diffuso a macchia d'olio nel settore delle costruzioni, figura 4.1.11. Nonostante il BIM non richieda ai progettisti un'approfondita conoscenza di linguaggi di programmazione informatica, anzi al contrario punti all'integrazione di diverse tipologie di modelli digitali all'interno di un unico programma, osserviamo come questa nuova *koinè* digitale non sia ancora effettivamente in grado di raccogliere metodi di simulazione avanzata, e mostri ancora ridotte capacità parametriche, limitate alla gestione delle famiglie di oggetti piuttosto che ad aspetti riguardanti la forma architettonica in senso più ampio. È questa la motivazione per cui all'interno dei grandi studi di architettura vengono ancora utilizzati decine di applicativi e modelli diversi, ciò ha fatto emergere un tema di grande importanza per il flusso di lavoro in architettura: l'interoperabilità, che come il BIM, tratteremo in un capitolo dedicato.

Tra i modelli compositi è inoltre possibile includere quelli oggi disponibili grazie ai game engines e metodi di realtà virtuale, che abbiamo visto permettono oggi di integrare gli aspetti fisici di un edificio all'interno di un ambiente navigabile, o addirittura di progettare oggetti modellandoli in tre dimensioni all'interno della realtà virtuale. È il caso di Oyster Chair, figure 4.1.12 e 4.1.13, il primo mobile integralmente progettato in VR da Arturo Tedeschi (2018), progettista tra i maggiori esperti al mondo nell'utilizzo di metodi computazionali, e che ha integrato il programma Rhinoceros 3D al pacchetto CAD Mindesk: uno dei primi software che permette di progettare in realtà virtuale, rilasciato per la prima volta nel 2015 e sviluppato da una *startup* italiana che ha ottenuto finanziamenti internazionali per sviluppare l'innovativo programma. Per operare all'interno della realtà virtuale il progettista indossa un visore che gli permette di immergersi all'interno dell'ambiente digitale, e adopera due *controller*, dotati di sensori di movimento e tasti, tramite i quali gestisce un'interfaccia grafica simile a quella dei comuni applicativi CAD, selezionando comandi e funzioni che gli permettono di trasformare i gesti in forme digitali. Un processo sicuramente innovativo, che non ha ancora trovato analoghi in architettura, ma che sicuramente mostrerà utilità nella definizione di forme architettoniche nei prossimi anni, producendo ulteriori evoluzioni nell'approccio al progetto.

4.2 LA STORIA DELLA CURVA COMPUTAZIONALE

Ripercorrendo la storia degli strumenti e dei metodi digitali adottati per la progettazione architettonica è necessario porre un accento sull'evoluzione della *spline*, la curva computazionale per eccellenza, un metodo matematico di rappresentazione di curve *freeform* senza il quale i protagonisti della prima svolta digitale non sarebbero stati in grado di descrivere la complessità organica dei loro progetti. Se come abbiamo già letto le prime applicazioni della spline all'interno degli studi di architettura si devono a Frank Owen Gehry, che in occasione del progetto per il *Peix d'Or* di Barcellona trova nelle *spline* uno strumento adatto a descrivere la curvilinearità della forma organica. Con il termine spline è possibile descrivere un'ampia famiglia di strumenti che comprende tanto nel NURBS quanto le *subdivision surfaces*, tecnica che Greg Lynn utilizzerà per la progettazione dei Blob.

Una famiglia di tecniche di rappresentazione che ha segnato tanto la prima svolta digitale quanto la successiva produzione architettonica contemporanea, e che dopo aver raggiunto una prima maturità già negli anni novanta, non ha smesso di evolversi negli anni successivi, permettendo una sempre maggiore consapevolezza nella definizione e produzione di forme organiche da parte di progettisti, non soltanto in architettura, ma anche in ingegneria, cinema, design del prodotto e dell'automobile. L'esigenza di progettare e produrre forme curvilinee è relativamente nuova in architettura, un settore dove al contrario questa necessità è una caratteristica fondante della pratica progettuale è l'industria navale. La produzione di imbarcazioni è sicuramente determinante nello sviluppo delle società umane, che sin dall'epoca preistorica strutturano metodi per la fabbricazione di barche utili alla pesca, al trasporto di uomini e beni, tanto che limitando il nostro sguardo al mediterraneo, è possibile leggerne l'importanza nella diffusione di vere e proprie talassocrazie: Fenici, Greci, Cartaginesi e Romani, popoli che nell'arco di secoli hanno affinato le loro capacità tecniche, sino a definire metodi standardizzati per la produzione di navi in serie (Lopez et al., 2010). Una strutturazione del processo che si evolverà nei secoli successivi, tanto tra le comunità di Vichinghi del nord Europa, costruttori di *Drakar*, quanto nella repubblica di Venezia, dove la progettazione di imbarcazioni viene organizzata nell'arsenale, e custodita come un segreto di stato. Per tutte queste popolazioni di costruttori di barche la realizzazione di forme curvilineari non è un vezzo estetico frutto di fluttuazioni stilistiche, ma una necessità direttamente collegata all'efficacia delle imbarcazioni, tanto che l'omogeneità della curvatura in una superficie di uno scafo è ben presto considerata come indicatore della qualità dei manufatti: una superficie omogenea incontra infatti una minore resistenza al movimento in acqua, permette maggiori velocità e richiede meno energia per gli spostamenti.

Fino alla fine del 600 costruire una barca è però principalmente un fatto artigianale, così, il metodo più adottato per la produzione di imbarcazioni in serie prevede la realizzazione e l'utilizzo di modelli in legno di grandezza naturale, sagome necessarie per produrre la caratteristica forma della chiglia e le costole che definiscono la struttura portante dello scafo (Towsend, 2017). Con il 700 l'artigianato si evolve

in scienza, i disegni sostituiscono i modelli a grandezza naturale, e per riprodurre la curvilinearità del progetto navale viene introdotta la pratica del *lofting*, figura 4.2.1, dall'inglese *loft*, attico, poiché l'attico sopra l'officina navale era l'unico piano asciutto non ostruito e grande abbastanza da ospitare il processo. Con questa pratica viene introdotto l'utilizzo della *spline*, una sottile striscia in metallo o legno, che fissata su una superficie piana e bloccata tramite l'ausilio di pesi uncinati in tre o più punti determinati, grazie alle proprietà fisiche del materiale e a una distribuzione uniforme delle tensioni, permette di riprodurre una curva omogenea e funzionale alla produzione di chiglia e costole (Nowacki, 2006). Un'innovazione che segna un diverso approccio al progetto di imbarcazioni, e permette ai progettisti di approfondire lo studio della forma dei diversi elementi che la compongono su carta, rappresentando curve organiche impossibili da definire tramite metodi geometrici tradizionali, e quindi di riprodurre lo schema attraverso un sistema composto da un telaio regolare riprodotto in legno a grandezza naturale, figura 4.2.1, e dai punti a cui verranno fissati i tiranti che determinano la deformazione della curva. Nell'arco di due secoli il metodo del *lofting* si diffonde tra le potenze coloniali europee, e viene largamente utilizzato nell'industria navale, trasformandosi da prassi in standard. Intanto la linea e la superficie curva diventano di interesse per progettisti di altri campi, dall'industria automobilistica a quella aero-spaziale, dove, sempre per motivazioni legate alla performance dei prodotti, la forma curva viene sfruttata oramai in qualsiasi manufatto.

Già negli anni 50 del 900, la progettazione della carrozzeria di un'automobile da produrre in serie è un problema complesso, tema che i designer affrontano emulando i metodi sviluppati dai progettisti di imbarcazioni. Osserviamo ad esempio come per disegnare auto come la Citroën DS, presentata con enorme successo nel 1955 (Barthes, 1957) al Motor Show di Parigi, il team di progettisti si avvalga principalmente di modelli fisici in scala, plastici modellati in creta o cera da cui rileva per punti le caratteristiche forme curve, per poi riprodurle a dimensione reale interpolando i punti delle curve con l'ausilio di spline flessibili. Il processo di generazione del modello finale è dispendioso in termini di tempo risorse e competenze, inoltre l'interpretazione spesso qualitativa della geometria non è mai esatta e lascia spazio significativo per l'inconsistenza, la discrepanza e l'errore umano. L'azienda supera il processo di riproduzione manuale e i relativi errori intorno alla fine degli anni cinquanta, con l'adozione dei primi computer analogici: mezzi che richiedono all'azienda un dispendioso investimento di denaro e lo sviluppo di nuove competenze, ma al contempo permettono alla Citroën di eliminare la necessità di interazione umana per la produzione di forme grazie ai primi macchinari a controllo numerico. Per instaurare un dialogo tra calcolatori e mezzi di produzione l'azienda struttura un linguaggio informatico geometrico, che consente a progettisti e responsabili della produzione una esatta fabbricazione delle forme digitalmente definite. Questa innovazione ha comunque dei limiti tecnici, se è infatti possibile descrivere con precisione forme regolari come linee rette, cerchi e parabole, non esiste ancora un metodo geometrico in grado di descrivere forme prodotte a mano libera, necessarie a garantire una esatta definizione formale delle automobili e quindi a ottimizzarne le performance fluidodinamiche. Il gruppo assume nel 1959 Paul de Faget de Casteljau, fisico e matematico

superfici di Bézier-de Casteljau abbiano una l'applicabilità limitata: non consentono, ad esempio, una rappresentazione accurata delle sezioni coniche, come semplice un arco circolare. Un altro problema è che il loro grado algebrico aumenta insieme al numero di punti di riferimento, il che complica enormemente i calcoli numerici, rallentandoli esponenzialmente con l'incrementare della complessità delle forme. (Ushakov, 2011). Nello stesso periodo in cui l'industria automobilistica francese è in fermento per le primissime evoluzioni dei metodi computazionali, le industrie automobilistiche degli Stati Uniti affrontano le stesse necessità in modo diverso: un ricercatore della General Motors, Carl de Boor, inventa nel 1978 un nuovo algoritmo ricorsivo per valutare graficamente una famiglia di funzioni polinomiali ideate dal matematico Isaac Jacob Schoenberg nel 1946, le *Basis spline*, creando un metodo intuitivo per la loro rappresentazione grafica e il calcolo delle loro forme (de Boor, 1978). Quello della ricorsività è un espediente che viene utilizzato con grande frequenza all'interno di algoritmi informatici, costruiti logici che per risolvere temi complessi operano una suddivisione del problema, richiamano se stessi per gestire sotto problemi analoghi a quello di partenza. Il problema da risolvere è suddiviso in molti problemi simili a quello originale, ma di dimensione inferiore, i sotto problemi sono risolti ricorsivamente, se la dimensione dei sotto problemi è sufficientemente piccola, essi sono invece risolti direttamente. Le soluzioni dei sotto problemi sono quindi combinate per ottenere la soluzione del problema di partenza (Dijkstra, 1960) L'analisi ricorsiva delle curve grazie al metodo della *B-spline* permette quindi di risolvere ulteriormente il problema di descrizione di una curva, grazie ad un sistema di sub-divisione della stessa in tratti dalla lunghezza costante. Una volta definiti, i tratti vengono sovrapposti e unificati, i loro punti di unione vengono detti "nodi", queste caratteristiche garantiscono al progettista una maggiore precisione e controllo locale per punti e velocizzano enormemente l'attività di progettazione, l'interpretazione da parte delle macchine e quindi la produzione delle forme. Matematicamente, la B-spline è stata in seguito scoperta come una generalizzazione dell'algoritmo di de Casteljau, generalizzazione che permette di includere anche una gamma più ampia di geometrie, tra cui la curva di Bezier come caso speciale (Farin e Farin, 2002).

Il percorso della curva computazionale trova ulteriori evoluzioni all'interno della Boeing, colosso dell'industria aerospaziale americana, dove, con la diffusione dei primi computer negli anni 70, ogni dipartimento aveva comprato o sviluppato soluzioni differenti per rispondere a esigenze di progettazione specifiche. Questa differenziazione nella gestione dei processi interni, portava quindi un'evidente incoerenza nella descrizione delle forme geometriche computazionali, che ogni programma gestiva con metodi diversi, producendo una effettiva incapacità di comunicazione tra i diversi dipartimenti che partecipavano alla definizione delle forme degli aeromobili. Per ovviare a questa incompatibilità sistemica, la Boeing nomina nel 1979 un gruppo di matematici, con la richiesta di realizzare dei metodi di rappresentazione standardizzati per undici diverse forme di curva: dalle linee rette alle *B-splines*. I matematici riconoscono presto come loro obiettivo quello di ottenere un unico metodo in grado di rappresentare coerentemente tutte le 11 diverse tipologie di curve. Il gruppo di matematici riuscirà a risolvere il difficile problema

Figura 4.2.2: Una curva rappresentata secondo il metodo Bézier - de Casteljaou. (immagine Giuseppe Gallo)

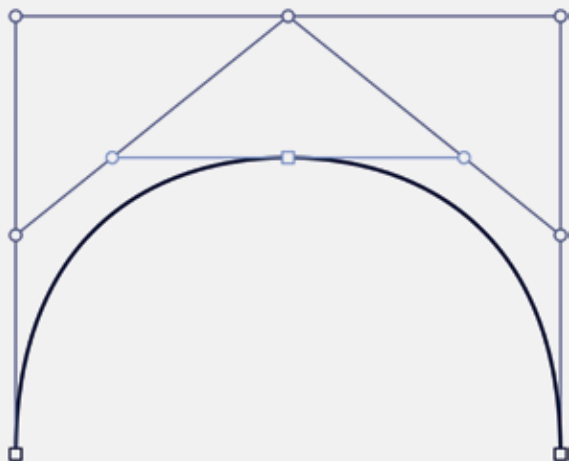


Figura 4.2.3: Una Basis Spline non uniforme, in colori diversi, tratti di suddivisione, la posizione dei punti di controllo definisce la forma della curva. (immagine Giuseppe Gallo)

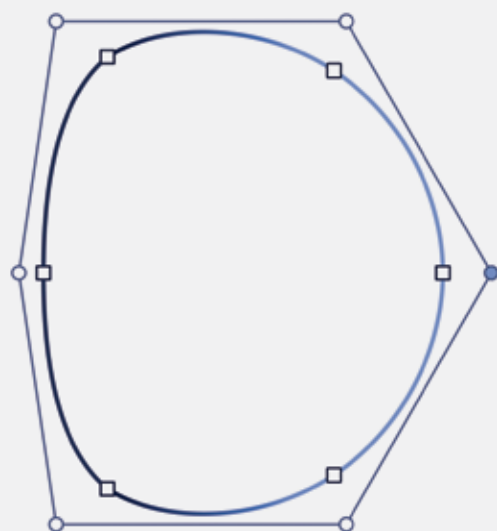
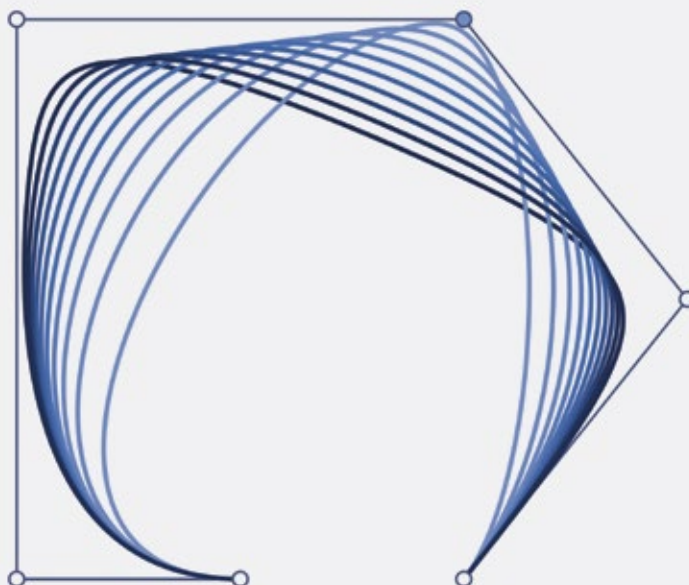


Figura 4.2.4: Curve NURBS realizzate con gli stessi punti di controllo, disposti non uniformemente, ma con pesi diversi. (immagine Giuseppe Gallo)



geometrico computazionale in due step: dapprima rendendo la curva di Bezier razionale, ovvero fornendo ai singoli punti del poligono di controllo la possibilità di variare in "forza" secondo un rapporto di peso, quindi incorporando in seguito il concetto di Spline non uniforme, figura 4.2.3 in cui i nodi della spline non sono distanziati in modo uniforme tra loro, ma secondo segmenti dalla lunghezza variabile (Piegl e Tiller, 1995). Un processo lungo e macchinoso che impegnerà i matematici sino al 1981, quando troveranno la soluzione matematica nelle NURBS, *Non-Uniform Rational Basis Spline*, figura 4.2.4, definite per la prima volta da Ken Versprille, durante il suo dottorato presso l'Università di Syracuse, New York (Versprille 1975). Lo stesso anno l'IGES, *Initial Graphics Exchange Standard*, un sistema di standard promosso da un consorzio di industrie e organismi governativi statunitensi, in seguito a una proposta dei progettisti Boeing, adotterà le NURBS, proponendolo come standard per il CAD. L'IGES viene in seguito riconosciuto come standard nazionale dall'ANSI, *American National Standards Institute* (Brauner et al., 1981) diventando la lingua comune di ingegneri e designer degli Stati Uniti e quindi di tutto il mondo.

Con il progredire del CAD commerciale sin dagli anni ottanta, la modellazione 3D si diffonde dal mondo scientifico a quello della ricerca industriale e quindi all'industria dell'intrattenimento, sempre più interessata alle tecnologie per la visualizzazione computazionale. Nel 1986 il già famoso Steve Jobs, già cofondatore della Apple, acquisisce il Graphics Group di Lucas Film, fondando insieme a Edwin Catmull e Alvy Ray Smith, la Pixar Animation Studios, una casa di produzione finalizzata all'integrazione e allo sviluppo di metodi informatici per il cinema e la televisione. Oggi la Pixar è riconosciuta come uno dei principali pionieri della CGI, *Computer Graphics Imaging*, ed è entrata di diritto nella storia del cinema per aver realizzato nel 1995 *Toy Story*, il primo lungometraggio completamente sviluppato in computer grafica. Per realizzare il celebre film, campione d'incassi nel novantacinque e vincitore di un premio oscar, il team della Pixar ha dovuto lavorare per ben quattro anni, svolgendo dapprima una prima attività di ricerca sulla renderizzazione di immagini e animazione (Henne e Hickel, 1996), e poi modellando, faticosamente tutti i personaggi, oggetti e scene, utilizzando quasi esclusivamente la tecnologia NURBS.

Come testimoniato dagli autori del progetto, la modellazione e l'animazione dei personaggi realizzati con superfici NURBS si è rivelata un processo lento e difficile, questo perché le superfici NURBS sono per definizione limitate a una topologia rettangolare, come piani distorti, cilindri, sfere e tori. Le forme organiche sono raramente così semplici, la loro topologia è arbitraria, non può essere assimilata al rettangolo e presenta un numero indefinito di fori, pieghe e sporgenze. Caratteristiche che i designer sono riusciti a ricreare con le NURBS attraverso un approccio frammentario, soggetto a errori, quindi costoso in termini di tempo e denaro (DeRose, 1998). Per risolvere i problemi legati alla modellazione di forme organiche la Pixar sperimenta nel 1997 le *subdivision surfaces*, figura 4.2.5 un nuovo algoritmo basato sulle ricerche di Edwin Catmull e Jim Clark (Catmull e Clark, 1978). I due ingegneri, dottorandi all'epoca della definizione del metodo, avevano scoperto di poter applicare le regole che definiscono le superfici *b-splines*, dalla topologia rettangolare, anche a gruppi di *mesh* poligonali dalla topologia irregolare, ideando un processo geometrico

Figura 4.2.5: Esempio di *subdivision surfaces*, la forma originale a sinistra, viene suddivisa fino ad diventare liscia. (immagine Giuseppe Gallo)

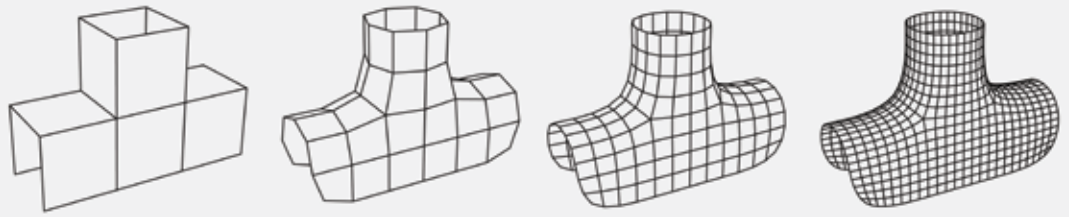
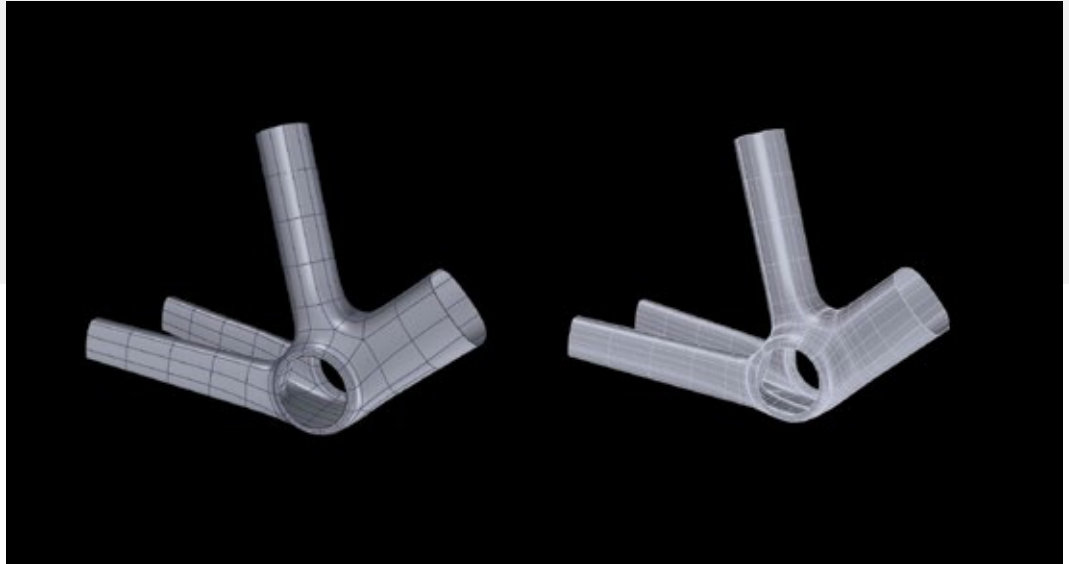


Figura 4.2.6: Un modello prodotto con superfici t-spline, a sinistra, e con NURBS, a destra.



che smussa i bordi delle *mesh* in modo iterativo, fino ad ottenere una superficie liscia perfettamente coerente. Sfruttando il Catmull-Clark la Pixar è finalmente in grado di ottenere velocemente forme organiche, queste però sono però generate tramite un processo totalmente diverso da quello utilizzato per le NURBS: il modellatore-sculptore lavora prima su una forma poligonale composta da *mesh*, una versione sfaccettata di quella finale, e in seguito lancia l'algoritmo di suddivisione che approssima la forma delle *mesh* fino ad ottenere superfici perfettamente levigate. Il metodo permette di risolvere i dispendiosi problemi di continuità delle forme in fase di animazione (De Rose 1998), il vantaggio è tanto grande che da allora diventerà lo standard di produzione per ogni film della Pixar.

Oggi la pratica della modellazione poligonale si è diffusa in tutti gli studi di animazione digitale che fanno un ampio utilizzo dei metodi di *subdivision surfaces* per la produzione di forme organiche, meno nell'ambito ingegneristico, dove si preferisce utilizzare le NURBS, queste permettono di ottenere il preciso controllo sulle curvature di cui il progettista ha bisogno per la produzione di oggetti reali. Al contrario gli animatori, che devono preoccuparsi principalmente di come verranno riprodotte le forme in movimento, rinunciano a parte del controllo sulla precisione formale, a favore della flessibilità artistica e della velocità offerta dalle *subdivision surfaces*. Le *subdivision surfaces*, così come le NURBS, sono oggi ampiamente utilizzate da alcuni dei principali protagonisti dell'architettura digitale, come lo studio Zaha Hadid Architects. Non è un caso che le *subdivision surfaces* abbiano fatto l'ingresso nel

mondo dell'architettura a Los Angeles, principale polo dell'industria cinematografica statunitense, all'interno dello studio di Greg Lynn, che è stato il primo a sperimentarle per la produzione di forme architettoniche proprio all'interno di programmi realizzati originariamente per l'animazione digitale (Lynn, 1999). Metodi di *subdivision surfaces* sono oggi integrati all'interno di numerosi pacchetti per l'animazione e per la modellazione 3D da Autodesk Maya, sino a Blender, Autodesk 3ds Max, ma anche all'interno di *plug-in* per Rhinoceros 3D e Grasshopper 3D: programmi che permettono partendo da modelli *mesh* opportunamente organizzati, di ottenere superfici organiche continue pronte per la produzione.

Nell'arco di sessant'anni dalla loro creazione le *splines*, nelle loro diverse forme e articolazioni si sono quindi diffuse all'interno dei programmi CAD in ogni campo del design, e proprio il successo del CAD commerciale ha favorito il fiorire di *software houses* specializzate, una di queste, la T-spline Inc, nasce nel 2004 con l'intenzione di commercializzare le *t-splines*, figura 4.2.6 una nuova generalizzazione delle NURBS e del Catmull-Clark, che permette di realizzare superfici organiche articolate, controllabili e precise come le NURBS, ma con una facilità e una velocità fino ad allora raggiungibili soltanto con i metodi di *subdivision surfaces*. Se per definizione le NURBS devono avere una struttura dalla topologia rettangolare, al contrario le *t-splines* possono avere una struttura topologica irregolare, grazie all'introduzione dei punti T interni, collegati non a 4 ma a 3 altri punti. Questa differenza permette di realizzare superfici organiche complesse che non è possibile rappresentare con un'unica superficie NURBS, garantendo quindi una maggiore uniformità del modello (Sederberg, 2003).

Per favorire diffusione della t-spline, la neonata azienda, decide sviluppare diversi *plug-in* da utilizzare all'interno degli applicativi di modellazione Rhinoceros 3D e SolidWorks. Nel 2011 la Autodesk, acquisirà la T-spline Inc., nelle mani di Autodesk purtroppo la diffusione delle *t-splines* rallenta, la multinazionale del software ha infatti deciso di eliminare il *plug-in* per SolidWorks (Mings, 2016) e nel 2017 ha cessato l'aggiornamento e la vendita del *plug-in t-spline* per Rhinoceros 3D e SolidWorks, impedendo l'attivazione di nuove licenze e mantenendo le *t-splines* esclusivamente su Autodesk Fusion 360. L'impossibilità di attivare nuove licenze del *plug-in* per Rhinoceros 3D ha creato non pochi problemi all'interno degli studi di architettura, che utilizzano le t-splines nella versione 5 di Rhinoceros 3D per razionalizzare le forme progettate in fase di concept con i metodi di *subdivision surfaces* su altri pacchetti come Autodesk Maya e Blender. Influenzando negativamente il flusso di lavoro all'interno degli studi, che con le nuove versioni di Rhinoceros 3D, dalla 6 in poi, stanno cercando degli strumenti alternativi. Nel 2019, durante il mio periodo all'estero presso la University of East London ho avuto l'opportunità di partecipare a diverse riunioni del gruppo BIM dello studio Zaha Hadid Architects, un gruppo di specialisti in modellazione digitale allora gestito da Harry Ibbs. All'interno di una di queste riunioni i progettisti del gruppo hanno affrontato, tra gli altri temi, anche il problema delle *t-splines*, metodo oramai strutturato all'interno del flusso di lavoro interno allo studio, che per continuare a utilizzarlo su Rhinoceros 3D, ha richiesto alla software house McNeel una distribuzione ad hoc del programma nella versione 5 che integri alcune caratteristiche della versione 6. Il numero limitato di licenze *t-splines* possedute dallo

studio e l'impossibilità di attivarne nuove ha creato non pochi problemi ai progettisti, che sono riusciti a risolverli parzialmente grazie al dialogo con l'azienda che sviluppa Rhinoceros 3D, e all'interno delle riunioni presentano possibili alternative utili a sostituire le *t-splines*. Tra queste, Clayoo, un *plug-in* per Grasshopper 3D che permette la creazione di oggetti Clayoo, un metodo sviluppato dalla azienda Spagnola TDM solutions e si avvicina ai risultati ottenuti con le *t-splines*.

Gli attuali problemi legati all'utilizzo delle *t-splines* si sarebbero potuti evitare se questi strumenti fossero stati rilasciati in modalità *open-source*, permettendo agli utenti di visualizzare e modificare il codice sorgente, partecipando allo sviluppo dello stesso e rendendola di fatto una conoscenza collettiva. In questa direzione si sta muovendo dal 2012 la Pixar, che ha presentato in collaborazione con Microsoft Opensubdiv, (Nießner, 2012) una libreria di *subdivision surfaces open-source*, che sfrutta l'efficienza del calcolo in parallelo per ottenere più velocemente delle superfici organiche partendo da mesh ed è attualmente disponibile su alcuni dei principali programmi di modellazione 3d come Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max e Blender. Come abbiamo visto, la storia delle spline, nelle sue diverse ramificazioni, è iniziata già nel settecento, e da allora si è evoluta seguendo esigenze concrete all'interno della progettazione e produzione industriale fino ad arrivare all'animazione e ha gradualmente fatto il suo ingresso nel nostro settore negli anni novanta del novecento, diventando rapidamente uno strumento fondamentale all'interno dei più grandi studi di architettura al mondo. Gli architetti ne hanno sfruttato le capacità descrittive, diventando anche dipendenti da questi strumenti, senza i quali alcune delle più celebrate architettura degli ultimi 30 anni non sarebbero mai state realizzate.

Oggi le NURBS restano uno dei principali metodi di descrizione per curve e superfici utilizzate all'interno dei pacchetti CAD, tramite le NURBS il progettista può rappresentare matematicamente sia oggetti geometrici analitici che superfici a mano libera, i punti di controllo dal peso razionale e gli strumenti delle NURBS consentono una variazione della forma praticamente infinita. Allo stesso tempo la rappresentazione tramite NURBS richiede ai calcolatori più memoria rispetto ad altri metodi, soprattutto per figure geometriche regolari. Ad esempio, rappresentando un cerchio come una curva NURBS è necessario definire sette punti di riferimento e dieci nodi, invece di centro, normale e raggio, come possibile con altri metodi. Dove le NURBS evidenziano i propri limiti, mostrandosi uno strumento macchinoso per la produzione di forme complesse, i metodi di sub divisione permettono di ottenere facilmente superfici organiche e continue che gli architetti lavorano ulteriormente razionalizzandole per la produzione su programmi di modellazione NURBS. Le *t-splines* in particolare, si sono rivelate uno strumento molto potente in fase di razionalizzazione delle superfici, unendo la precisione delle NURBS alla velocità delle *subdivision surfaces*, eppure il progetto *t-splines* sembra essersi arenato sotto il controllo di Autodesk che è diventata proprietaria della tecnologia e ne ha limitato l'uso esclusivo ad un suo programma commerciale, togliendo dal mercato uno strumento su cui gli architetti facevano e fanno tuttora affidamento.

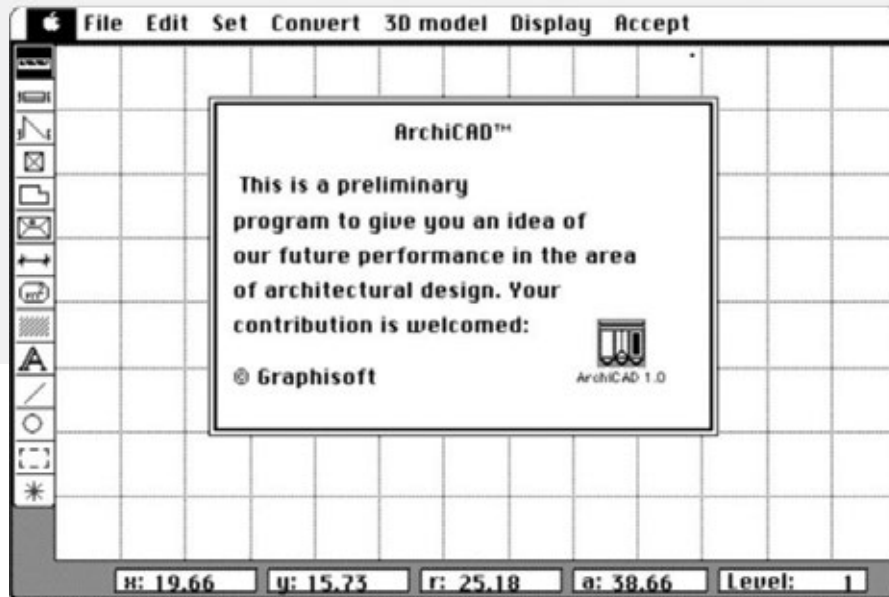
4.3 IL BUILDING INFORMATION MODEL

Nel nostro percorso attraverso le oscillazioni che hanno influenzato e quindi caratterizzato l'iter progettuale in architettura dalla prima svolta digitale negli anni novanta, sino alla contemporaneità, abbiamo descritto la graduale diffusione del BIM, quale nuovo paradigma progettuale che nell'arco di oltre trent'anni ha conquistato il settore dell'architettura dell'ingegneria e delle costruzioni, sino a strutturarsi all'interno del processo progettuale, definendo nuovi requisiti per il progetto e quindi nuove figure all'interno degli studi di progettazione. Nonostante la terminologia *Building Information Model* sia in circolazione all'interno del nostro ambito dalla prima metà degli anni novanta, la prima pubblicazione relativa ad un diverso sistema di rappresentazione finalizzato alla descrizione dei manufatti architettonici nella loro complessità secondo un diverso paradigma digitale risale agli anni settanta, all'interno del giornale dell'American Institute of Architects, dove Charles Eastman (1975) descrive il BDS, *Building Design System*. Un metodo che anticipa le funzionalità principali dei programmi BIM contemporanei, permettendo ai progettisti una definizione interattiva di un modello digitale del manufatto architettonico che integri i diversi aspetti del progetto architettonico all'interno di un unico ambiente, da cui desumere disegni tecnici in pianta, prospetti, sezioni e particolari costruttivi. Un modello interattivo che aggiorna istantaneamente ogni aspetto del progetto architettonico in funzione delle modifiche operate dai progettisti ed è quindi arricchito di un database di informazioni supplementari utile alla previsione delle quantità materiali e quindi dei costi di costruzione.

Durante la seconda metà degli anni settanta e tutti gli anni ottanta, ricerche analoghe vengono condotte all'interno di diverse università statunitensi ed europee, con l'intenzione di strutturare metodi di progettazione digitale integrati, sistemi che prenderanno il nome di *Product Information Models* e *Building Product Models*. Il primo contributo che proporrà il termine *Building Modelling*, per indicare quello che è oggi riconosciamo come BIM è un articolo di Robert Aish, che all'interno della GMW Computers contribuirà allo sviluppo del pacchetto RUCAPS, proponendo un metodo che già allora includeva la modellazione 3D, l'estrazione automatica di disegni tecnici, componenti parametrici, database relazionali e la differenziazione del modello in base alle diverse fasi di produzione (Aish, 1986). La nomenclatura dei modelli BIM trova la sua definizione finale negli anni 90 (van Nederveen e Tolman, 1992), decennio che segna l'inizio della relativa diffusione di programmi commerciali, figura 4.3.1 sviluppati da aziende specializzate, pacchetti come AllPlan, Graphisoft Archicad, Autodesk Revit, Bentley Building, DigitalProject e VectorWorks, che rappresentano oggi un'ampia fetta del mercato dei pacchetti BIM. Osserviamo come l'interesse da parte di *software houses* specializzate e le ferventi attività di marketing sviluppate dalle aziende sin dalla prima decade del ventunesimo secolo abbiano contribuito alla diffusione del BIM nel settore delle costruzioni, creando al contempo confusione sul significato stesso del termine.

È comunque possibile riassumere le caratteristiche fondamentali dei modelli BIM, secondo la definizione (Campbell, 2006) proposta dalla M.A. Motterson Company,

Figura 4.3.1:
L'interfaccia della versione
1.0 di Archicad. (immagine
Graphisoft)



colosso del settore delle costruzioni statunitense che ha fatto un largo utilizzo di questi modelli sin dagli anni novanta e dichiara i sei requisiti fondamentali dei modelli BIM:

- Digitali: non esistono modelli BIM analogici;
- Navigabili: i modelli devono permettere una visualizzazione tridimensionale e la visione a diverse scale del manufatto digitale;
- Misurabili: ovvero immediatamente quantificabili e interrogabili da parte degli utenti;
- Comprensivi di informazioni utili alla comunicazione, alla performance dell'edificio, alle diverse fasi di costruzione, alla gestione dei costi;
- Accessibili ai diversi gruppi di attori che partecipano alla progettazione e alla costruzione dei manufatti architettonici;
- Duraturi: non solo per progettazione e costruzione, ma anche per tutto il ciclo di vita del manufatto architettonico.

Caratteristiche che possono ulteriormente estese a quattro ulteriori peculiarità che secondo Eastman (2011) definiscono i modelli BIM:

- L'utilizzo di *Building Components*, rappresentazioni di oggetti arricchite di qualità gestibili tramite processi parametrici;
- La gestione di informazioni sul comportamento sulle specificità degli elementi dal punto di vista costruttivo, energetico;
- Le informazioni devono essere consistenti e non ridondanti;
- I dati inclusi nel modello devono essere coordinati nelle diverse possibilità di visualizzazione del modello.

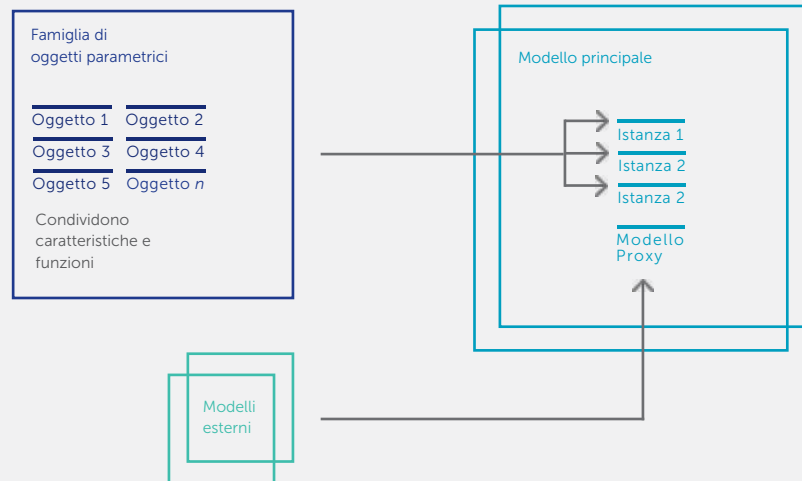
Si può quindi distinguere il BIM dalla modellazione 3D, è però opportuno considerare la relazione tra queste tecnologie: momenti di un'evoluzione, iniziata con i primi modelli CAD a due dimensioni e che nell'arco di decenni ha trovato nuove definizioni

in prassi e metodi, arricchendosi di un numero sempre maggiore di dati sino a consolidarsi nel BIM. All'interno della generica tipologia BIM sono inoltre identificabili svariate categorie sviluppatasi nel tempo secondo il crescente livello di informazioni e dettaglio raggiunto all'interno dei modelli. L'American Institute of Architects (2013) identifica questi diversi livelli attraverso i LOD, *Level Of Development*, letteralmente livelli di sviluppo: un indicatore che descrive i minimi dimensionali, spaziali, quantitativi, qualitativi e di dati inclusi all'interno dei componenti. Da LOD 100 a LOD 500 l'AIA definisce una chiara progressione dalla rappresentazione geometrica accurata all'esistenza di dati integrati:

- LOD 100: Il componente può essere rappresentato tramite un simbolo o altre descrizioni generiche. A causa della sua rappresentazione semplificata è possibile effettuare esclusivamente analisi basilari;
- Da LOD 200 a LOD 400: Il componente è creato come un oggetto, conterrà probabilmente degli attributi non grafici. Gli sviluppi grafici tra LOD 200 e 400 sono relativi alla specificità e all'accuratezza con cui viene generata la geometria in termini di quantità, dimensione, forma, localizzazione e orientamento. Con il LOD 400 l'intenzione è quella di portare questa precisione al livello dei disegni tecnici tradizionali. Gli attributi possono comprendere informazioni su costi, pianificazione del processo costruttivo, produzione etc;
- LOD 500: Il componente è viene verificato in termini di geometria, può anche includere attributi avanzati utili alla manutenzione e al ciclo di vita dell'architettura.

Nel definire i metodi e i processi che differenziano i modelli BIM rispetto ai precedenti modelli CAD è opportuno puntualizzare che se nel caso del CAD, la rappresentazione di forme e oggetti avviene usualmente tramite la produzione di linee e successivamente di superfici, al contrario i pacchetti BIM sono basati su una diversa logica di costruzione del modello: l'*object based parametric modelling*, figura 4.3.2, un diverso paradigma digitale, che deriva dalla programmazione orientata agli oggetti, già descritta nei capitoli precedenti. Questa diversa logica prevede la costruzione del modello architettonico tramite elementi, comunemente detti istanze, che possono essere distinti nelle loro caratteristiche attraverso una gerarchia di proprietà e parametri. Vere e proprie famiglie di oggetti, che vengono definite a monte della strutturazione del modello sulla base di fattori comuni al gruppo di elementi che rappresentano, e permettono all'utente una parziale modifica dei parametri. Se ad esempio nella modellazione CAD, inserire una finestra all'interno di un modello necessita un complesso di operazioni che portano l'utente a costruire virtualmente gli elementi secondo forme definite univocamente, con i modelli BIM l'utente definisce a monte del processo una famiglia di oggetti finestre, una classe che può racchiudere un numero potenzialmente infinito di informazioni sulla tipologia di finestre da inserire, dalla geometria alle specifiche degli infissi, materiali, ma anche le diverse dimensioni di oggetti commercialmente disponibili. Informazioni comuni a tutta la famiglia di oggetti che l'utente può inserire all'interno del modello a partire dal contesto virtuale, secondo parametri come distanze, angoli e diverse regole geometriche. Questo approccio parametrico fa sì che la singola istanza possa variare in relazione ai contesti o a

Figura 3.3.2: Uno schema che spiega il funzionamento del object based parametric modelling, basato sulla definizione di famiglie di oggetti parametrici.



parametri specifici definiti dall'utente, è inoltre possibile definire una serie di requisiti che il modello deve rispettare, sarà il programma stesso ad avvertire il progettista di incoerenze, permettendone o addirittura suggerendo l'immediata correzione delle stesse (Clayton, 2015). La costruzione del modello per mezzo di famiglie parametriche lascia ampio spazio alla variazione e velocizza enormemente i processi: se nella modellazione CAD tridimensionale, modificare la geometria di un elemento specifico richiede all'utente una variazione singolare, che può diventare particolarmente dispendiosa nel caso la si debba ripetere su elementi simili disseminati all'interno del modello, nel caso del BIM il progettista può agire direttamente sulle classi di oggetti, modificando i parametri che ne definiscono le proprietà principali, così da trasformare in pochi click tutte le istanze inserite. In un processo di modellazione i progettisti definiranno quindi le famiglie di oggetti da inserire nel modello esternamente ad esso, in file che gli studi raccolgono in vere e proprie librerie digitali, da cui possono attingere in occasione di qualsiasi progetto. Osserviamo inoltre, come la grande diffusione del BIM nella pratica progettuale contemporanea abbia favorito la nascita siti web che raccolgono collezioni di migliaia se non milioni di oggetti BIM: porte, finestre, pannellature, pareti, tubature, sistemi di ventilazione, ma anche sanitari e arredi che i progettisti possono scaricare e utilizzare istantaneamente (Bimobject, 2020). Le stesse aziende produttrici, inoltre hanno iniziato a realizzare modelli BIM che mettono a disposizione di chiunque li voglia utilizzare all'interno dei suoi progetti. A seguito della preselezione delle famiglie di elementi da utilizzare all'interno del progetto l'utente inizia la costruzione del vero e proprio modello, iniziando dalla definizione di griglie orizzontali e piani che rappresentano le diverse elevazioni dell'edificio: linee guida e caratteristiche che servono da luoghi preferenziali o propedeutici all'inserimento delle istanze. Se ad esempio vorrò tracciare una parete avrò bisogno di impostare una o più rette su cui tracciarle, un punto di inizio e di fine in pianta, così come due livelli tra i quali sviluppare la parete in altezza. I livelli serviranno anche come vincoli per il posizionamento di istanze specifiche, non è possibile ad esempio inserire un plinto di fondazione o una trave rovescia all'interno di un livello non a contatto con il terreno, come non è possibile inserire una finestra

o una porta al di fuori di una parete. Questo sistema di requisiti al posizionamento di stanze funziona a cascata, partendo dalle griglie arrivando sino agli arredi, che a seconda della diversa tipologia, secondo caratteristiche impostate all'interno della famiglia avranno bisogno di una parete, come nel caso di uno specchio, o di più piani, come le scale. Se come abbiamo già detto le famiglie possono essere modificate nella loro totalità all'esterno del modello, su file separati da quello principale, i progettisti possono inoltre modificare un gruppo o una singola stanza secondo parametri corrispondenti alle diverse proprietà anche all'interno del modello primario. Un'istanza scala, elemento di una determinata famiglia, esteso tra due o più piani, potrà quindi essere modificato nei valori di alzata e pedata, inoltre, se la famiglia è adeguatamente progettata e lo permette, in materiali e sistemi costruttivi utilizzati per realizzarla (Meadati e Irizarry, 2010).

Il sistema orientato agli oggetti e la definizione parametrica di griglie, figura 4.3.3, piani e vincoli trasforma la definizione del modello BIM in un gioco di costruzioni elastico, strutturato in regole formali al variare delle quali la configurazione del modello cambia. Se ad esempio in una fase avanzata del progetto si deciderà di modificare la larghezza di un edificio, sarà sufficiente modificare la griglia di base perché il modello si riconfiguri autonomamente adattandosi alla nuova forma, allo stesso modo la variazione dell'interpiano può essere impostata cambiando l'altezza dei livelli, così che le stanze parete e tutte quelle collegate ad essa si adattino istantaneamente. Una differenza immediatamente visibile a chiunque abbia utilizzato sia programmi per la modellazione CAD che BIM è l'interfaccia grafica: se i pacchetti CAD comprendono oggi anche centinaia di comandi e funzioni diverse, il numero di comandi disponibili con il BIM è sicuramente maggiore, ciò corrisponde ad una diversa struttura logica dell'interfaccia. Una logica, che come il modello, segue un'impostazione a cascata, dove comandi specifici sono disponibili solo se è selezionata un'istanza che li prevede. Ciò vincola il processo di costruzione del modello secondo un iter predefinito di operazioni che gli utenti devono necessariamente seguire nell'articolazione delle diverse caratteristiche del manufatto. Come abbiamo già letto una delle caratteristiche del BIM è la sua navigabilità, ed effettivamente gli utenti possono, non soltanto visualizzare il modello in tre dimensioni, ma anche secondo proiezioni ortogonali come piante prospetti e sezioni, inoltre all'interno di diversi pacchetti BIM è possibile impostare una scala di visualizzazione, che cambierà il dettaglio di rappresentazione del modello da linee e superfici nel caso di viste più ampie, sino alla visualizzazione differenziata in retini e riempimenti nel caso di sezioni di particolari costruttivi. Una differenza sostanziale rispetto ai modelli CAD, dove nonostante dall'oggetto in tre dimensioni si possa già facilmente estrapolare una proiezione ortogonale, non esiste un metodo per la gestione delle informazioni al variare della scala, e arricchire il modello di dettagli costruttivi è un'operazione lunga e complessa.

Uno degli ulteriori temi del progetto architettonico contemporaneo che l'adozione di modelli BIM tenta di risolvere è la collaborazione tra attori diversi. Come puntualizzato nelle interviste da Harry Ibbs, il BIM non è solo un modello, ma un paradigma di gestione del progetto integralmente digitale, che richiede da parte dei progettisti la

Figura 4.3.3: L'interfaccia grafica e il sistema di griglie all'interno del programma Autodesk Revit.

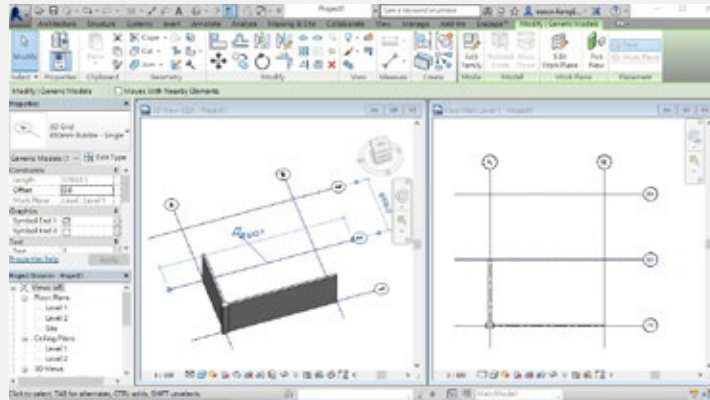


Figura 4.3.4: La visualizzazione di un impianto all'interno di un modello BIM MEP.

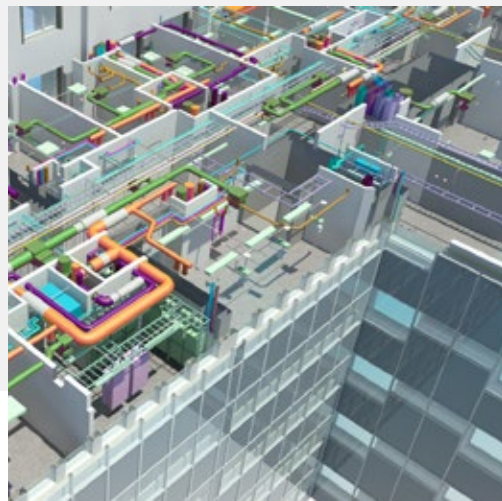
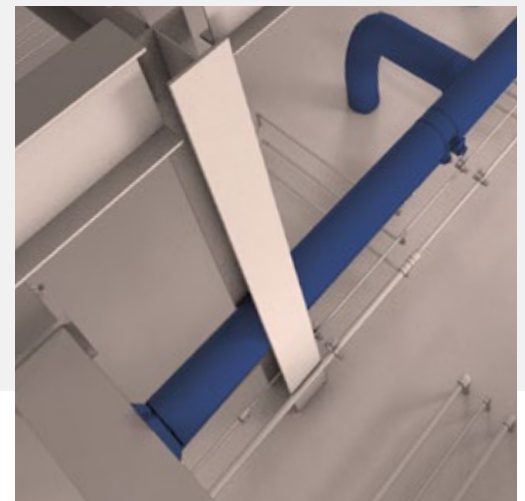


Figura 4.3.5: Il sistema di Clash detection segnala le incongruenze all'interno dei modelli BIM. (foto Trimble)



trasposizione di qualsiasi gesto progetto sulle dimensioni virtuali, e ne permette quindi un controllo avanzato da parte di chi gestisce il modello. In un'ottica collaborativa ogni operazione di uno specifico utente viene registrata, di modo da permettere di identificare i diversi contributi, che possono comunque essere limitati da sistemi di permessi, distinguendo le possibilità di definizione del modello di ogni singolo utente. In questo modo, in un processo BIM ideale, diversi attori, con competenze diverse possono lavorare contemporaneamente sullo stesso modello, che può comunque ospitare, secondo un sistema a cascata, un numero di modelli specifici gestiti autonomamente da architetti responsabili del manufatto architettonico così come della sistemazione esterna, ma anche da ingegneri specialisti in strutture o in impiantistica, settore in cui il BIM si articola nel MEP, *Mechanical Electrical and Plumbing*, figura 4.3.4. Come riportato da diverse ricerche la possibilità di realizzare un modello ideale che integri geometricamente la totale complessità del manufatto architettonico offre ai progettisti una capacità di previsione di problemi ed errori che in un processo tradizionale avrebbero accompagnato il progetto sino alla fase di costruzione, causando problemi e costose ripercussioni economiche (Wang et al., 2016).

Il crescente interesse nei confronti del BIM e le sue capacità anticipatrici ha contribuito all'evoluzione di questi sistemi, che nell'arco di anni si sono arricchiti di numerosi metodi di controllo noti come *Clash Detection*, figura 4.3.5, strumenti avanzati che

identificano autonomamente intersezioni tra elementi dell'organismo architettonico e permettono una risoluzione automatica o semi-automatica dei problemi più frequenti (Seo et al., 2012). Questi sistemi di identificazione di conflitti vanno oltre la semplice definizione del modello, e permettono di identificare discrepanze tra le diverse fasi del progetto architettonico, dallo stato di fatto, sino ai successivi *step* di costruzione dell'edificio, che i progettisti possono descrivere all'interno di un unico modello. Tra le caratteristiche principali dei modelli, abbiamo letto è determinante la possibilità di interrogarli, per ottenere informazioni supplementari. Queste nuove capacità aprono ai progettisti una diversa consapevolezza sul manufatto architettonico, è ad esempio possibile ottenere informazioni sulle aree o sui volumi degli spazi e dei singoli elementi, così come l'ampiezza delle superfici per cui è previsto una determinata finitura, ma anche sulle quantità di materiali necessarie alla costruzione del manufatto: dati che consentono, se il modello è strutturato adeguatamente, una previsione dei costi di costruzione sempre più precisa, e un numero crescente di analisi. Le possibilità analitiche e previsionali integrate all'interno dei modelli digitali sono determinanti nel definire le diverse dimensioni del BIM, figura 4.3.6, se un livello 3D definisce la possibilità di un modello di rappresentare oggetti in tre dimensioni e simulare graficamente le fattezze del manufatto architettonico, il BIM viene definito 4D quando integra la dimensione temporale, offrendo l'opportunità di valutare la costruzione nelle sue diverse fasi e integrare analisi sul processo produttivo. Gli utenti che partecipano al progetto possono visualizzare, analizzare e comunicare problemi riguardanti aspetti sequenziali, temporali e spaziali del processo architettonico. Ciò permette una più esatta definizione delle diverse fasi, dell'impostazione del *layout* e della organizzazione di cantiere. La quinta dimensione integrata è quella relativa ai costi: all'interno dei modelli 5D opportunamente realizzati è infatti possibile ottenere istantaneamente calcoli relativi alle previsioni di spesa, in relazione alle diverse fasi di costruzione. Questo riduce i tempi necessari per la definizione delle quantità, da tempi che abitualmente possono raggiungere le settimane, a minuti, migliora l'accuratezza dei preventivi di investimento e minimizza i problemi dovuti alle ambiguità riscontrate nei modelli CAD precedenti, inoltre permette ai consulenti della committenza e ai costruttori di tenere sotto controllo i costi di produzione. Il BIM 6D si estende al *facility management*, garantendo un'ulteriore capacità di previsione della gestione del manufatto architettonico, nella qualità di risorsa integrata all'interno di processi aziendali o pubblici, una possibilità che desta sempre più spesso l'interesse delle grandi committenze, che richiedono ai progettisti dei modelli da adottare durante tutto il ciclo di vita degli edifici per realizzarne non solo un'adeguata manutenzione, ma anche e soprattutto una più consapevole gestione. La successiva dimensione raggiunta è la 7D, che estende le capacità dei modelli permettendo analisi legate alla sostenibilità ambientale: calcoli predittivi sull'efficienza in termini di emissioni di biossido di carbonio, temperature e costi energetici per il funzionamento degli impianti durante tutto il ciclo di vita del manufatto architettonico, e quindi il controllo dei requisiti per l'ottenimento di certificazioni, come le già descritte LEED (Hardin, 2015). L'ottava dimensione è l'ultima raggiunta in ordine di tempo dai modelli BIM, i modelli 8D, ancora in fase di sperimentazione e definizione, dovrebbero, secondo diversi ricercatori, integrare una serie di previsioni sulla sicurezza, comprendendo

Figura 4.3.6: Le diverse dimensioni del BIM raggiunte dalla nascita del paradigma.

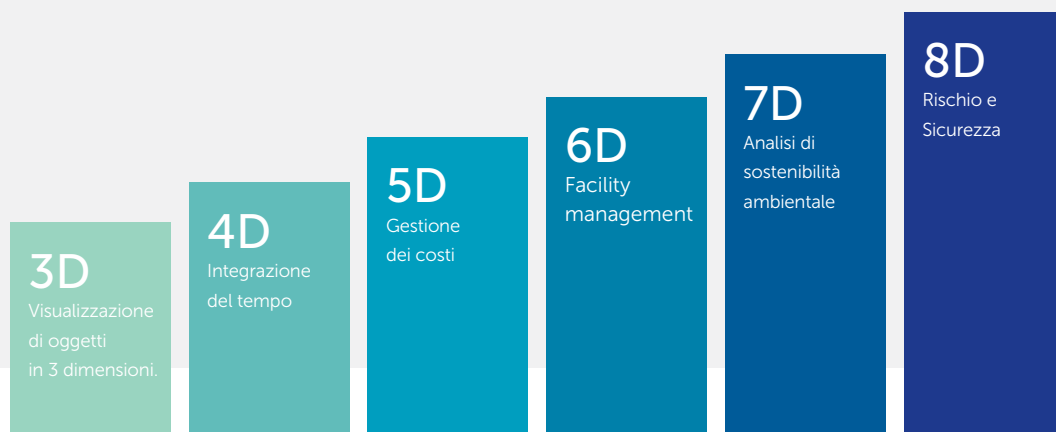
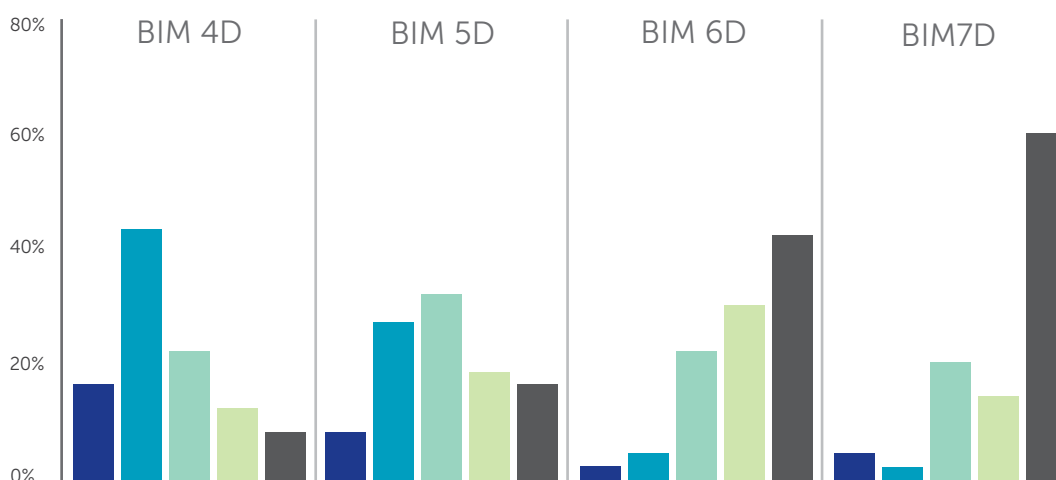


Figura 4.3.7: Frequenza di utilizzo dei modelli BIM da parte di un campione di progettisti esperti. (Charef et al. 2018, 21)

Leggenda:

- Molto frequente
- Frequente
- Meno Frequente
- Raro
- Mai



calcoli sul rischio: da quello relativo all'attività di costruzione, sino ad integrare quelli ambientali durante tutta la vita del manufatto, così come piani e procedure di sicurezza e prevenzione (Kamardeen, 2010). Se attualmente la multi dimensionalità dei modelli BIM raggiunge idealmente l'ottava dimensione, fattore che da solo è utile ad indicare il livello di profondità ottenibile con i modelli all'interno di uno studio d'architettura contemporanea, nuove dimensioni vengono promosse sporadicamente da alcuni dei svariati attori che partecipano al mercato dei programmi informatici per l'architettura l'ingegneria e le costruzioni. Dimensioni che tuttavia non sono ancora riconosciute e che competono tra loro per trovare spazio all'interno del già complesso mondo dei modelli digitali.

Alla luce di queste definizioni, sorvolando l'enfasi mediatica sviluppata dalle aziende che sviluppano programmi informatici, è lecito chiedersi quanto sia estesa la consapevolezza nei confronti delle dimensioni raggiunte dai modelli BIM e quanti progettisti contemporanei seguano flussi di lavoro che ne integrano tutte le potenzialità. Una ricerca svolta presso le università di Coventry e Bath (Charef et al., 2018) ha tentato di definire queste incognite, chiedendo a diversi progettisti europei di identificare le diverse dimensioni del BIM. I risultati mostrano chiaramente come ci sia effettivamente un accordo generale sui significati a cui si riferiscono la quarta e la quinta dimensione, rispettivamente riferite a tempo e costi, quando al contrario

si parla di 6D e 7D, le discrepanze aumentano e poco più dell'ottanta per cento degli intervistati è consapevole del vero significato di queste sigle. La discrepanza fra le effettive possibilità del BIM 6D e 7D è accentuata nella frequenza di utilizzo di questi modelli da parte dei progettisti, figura 4.3.7, se infatti il 42% dei progettisti intervistati dichiara di non aver mai sviluppato modelli 6D, questa percentuale raggiunge il 60% nel caso del 7D, che risultano ancora lontani da un'effettiva diffusione all'interno degli studi di architettura in Europa.

Esistono oggi numerosi pacchetti che permettono la creazione e gestione di modelli BIM, tra i più diffusi citiamo Autodesk Revit, che alcuni considerano un'evoluzione di Autodesk Autocad, ma è in realtà un prodotto diverso che la casa di sviluppatori ha acquisito nel 2002 e permette la gestione di aspetti architettonici, strutturali e di impiantistica per l'edilizia, integrando inoltre al suo interno il *plug-in* Dynamo, un VPL adoperato dagli architetti per espandere le funzionalità del programma.

Tra i punti di forza di Autodesk Revit ricordiamo la ricca interfaccia grafica e il sistema di organizzazione delle funzioni, che permettono un apprendimento facilitato, a ciò si aggiunge l'ampia collezione di librerie di oggetti sviluppate da terzi. Il sistema di supporto al disegno permette la generazione e l'integrazione di informazioni tramite diverse modalità di strutturazione del modello. Di contro, si tratta di un programma che richiede per operare una mole non indifferente di memoria, ciò lo rende talvolta più lento nel caso di operazioni su modelli corposi, inoltre, le sue capacità parametriche nella gestione della forma sono limitate, così come le funzionalità di rappresentazione di curve e superfici organiche.

Un altro gruppo di pacchetti per il BIM è quello sviluppato dalla Bentley Systems, casa che distribuisce Microstation, programma che ha trovato ampio riscontro nel settore dell'architettura ingegneria e costruzioni nella prima decade del secolo.

I programmi sviluppati dall'azienda integrano il VPL Generative Components, che anche in questo caso viene utilizzato per l'adozione di strategie parametriche e l'integrazione di diverse funzionalità. Tra le caratteristiche più vantaggiose di questi pacchetti, la diversa gestione della memoria, che permette un'operabilità più fluida anche su progetti di grandi dimensioni, così come l'ampio numero di funzionalità specifiche per l'architettura e la possibilità di utilizzare metodi di rappresentazione avanzati come le NURBS. L'interfaccia grafica e la strutturazione delle funzioni è sicuramente più complessa rispetto a Autodesk Revit e meno integrata, ciò lo rende più difficile da apprendere, inoltre il numero di librerie di oggetti sviluppati da terzi è limitato. Graphisoft Archicad è il più longevo tra i pacchetti BIM attualmente disponibili, ed è l'unico che può essere utilizzato nativamente sia su macchine Microsoft Windows che Apple Macintosh. Attualmente rilasciato dall'azienda tedesca Nemetschek, permette un ampio numero di funzionalità avanzate e l'integrazione di applicativi specifici per le analisi energetiche del manufatto architettonico, così come attività di personalizzazione tramite linguaggi di programmazione testuali. Ha un'interfaccia grafica intuitiva e una buona collezione di librerie di oggetti, e prevede sistemi di supporto per la gestione del processo di costruzione e il *facility management*, di contro il modello tende a rallentare quando supera determinate dimensioni e le capacità di modellazione parametrica integrate hanno alcune limitazioni. Tra i diversi

applicativi utili alla realizzazione e gestione di modelli BIM è inoltre opportuno citare Digital Project, un pacchetto sviluppato dalla Gehry Technologies e finalizzato alla gestione di modelli architettonici all'interno del celebre programma CATIA della Dassault Systèmes: un programma ricco di funzionalità adottato largamente nella progettazione aerospaziale e automobilistica, che permette una gestione parametrica e una precisione difficilmente raggiungibile tramite altri sistemi. Un pacchetto che richiede l'utilizzo di calcolatori particolarmente potenti come le *workstation*, e come altri permette pratiche di scripting per l'espansione e l'integrazione di funzionalità tramite linguaggi di programmazione testuali. Data la sua complessità è caratterizzato da una bassa curva di apprendimento, inoltre il numero di librerie di oggetti disponibili per l'architettura è basso (Eastman et al., 2011). Se il pacchetto CATIA della Dassault, nonostante le corpose funzionalità, è attualmente utilizzato da un numero limitato di progettisti, osserviamo come l'interesse da parte dell'azienda nei confronti dell'architettura sia crescente, e come la multinazionale abbia realizzato pacchetti e funzionalità utili alla definizione di modelli avanzati. Pacchetti che mette a disposizione all'interno di 3dexperience, un vero e proprio ecosistema di strumenti, basato su infrastruttura *cloud*, che permette agli utenti di acquistare funzionalità specifiche per la strutturazione di modelli avanzati, simulazione fisica ed energetica, ma anche l'utilizzo di un VPL tramite un'interfaccia grafica web, quindi all'interno di un comune browser. Un'innovazione questa, che consente ai progettisti di operare potenzialmente su qualsiasi dispositivo capace di navigare su internet, spostando i requisiti in termini di potenza di calcolo dal terminale ai *data centre online*, capaci di conservare una quantità pressoché infinita di dati e di performance informatiche nettamente superiori a quelle delle *workstation* (Sims, 2019).

Leggendo le definizioni delle dimensioni dei *Building Information Models*, si potrebbe pensare che l'integrazione di nuove funzioni e dati sia possibile tramite l'uso di un unico programma capace di gestire tutta la ricchezza del modello architettonico attraverso sistemi e metodi standardizzati. Guardando agli applicativi commerciali maggiormente diffusi ci si rende invece conto di come non esista una vera e propria uniformità nella possibilità e nelle modalità di gestione del modello. Se da un lato è possibile affermare che alcune funzionalità sono più diffuse e analogamente strutturate su diversi pacchetti, come nel caso di modelli afferenti alla terza e alla quarta dimensione del BIM, ciò non è sempre vero per le successive dimensioni, tanto che per coordinare informazioni relative a costi, energia e gestione dell'edificio durante il suo ciclo di vita, i progettisti sono soliti espandere le possibilità degli strumenti BIM tramite linguaggi di programmazione testuali e visuali. Al tema dell'espandibilità dimensionale è propedeutica l'integrazione di nuove possibilità di definizione dei modelli, ciò è determinante per gli studi di architettura, che come afferma Aurelie de Boissieu, creano strumenti ad hoc per le diverse attività di modellazione, ma anche per adottare strategie di tipo performativo. Se infatti è vero che i modelli BIM sono caratterizzati da un forte orientamento verso la gestione parametrica del progetto, questi strumenti hanno ancora delle limitazioni nella gestione parametrica della forma globale del modello architettonico, che viene spesso realizzata collegando i programmi BIM ad altri pacchetti o *plug-in* sviluppati per la

risoluzione di problemi specifici. Ciò ci porta ad introdurre il tema dell'interoperabilità, ovvero di una diversa capacità di comunicazione tra applicativi che gli architetti stanno alimentando, sviluppando anche internamente agli studi nuovi sistemi di connessione tra questi e altri tipi di modelli, da cui i progettisti possono estrarre informazioni utili alla sempre più ricca strutturazione del modello BIM, argomento che approfondiremo in seguito in un sottocapitolo dedicato.

Un concetto vicino al BIM che trova sempre più spazio nel dibattito architettonico contemporaneo è quello dei *digital twins*, figura 4.3.9, letteralmente gemelli digitali, modelli arricchiti di informazioni dettagliate sul manufatto architettonico che, non solo lo rappresentano con fedeltà e precisione, ma sono collegati in tempo reale all'architettura tramite sensori utili a misurarne il ciclo di vita in tema di performance e utilizzo degli ambienti. Un nuovo paradigma che promette addirittura la possibilità di esercitare un controllo effettivo sul funzionamento dell'architettura attraverso modelli digitali. Se come abbiamo letto la storia del BIM è una digressione dell'informatica rivolta essenzialmente verso l'architettura, e si è strutturata nell'arco di decenni in ambiti disciplinari legati al mondo dell'architettura e dell'ingegneria, ciò non è vero per i *digital twins*, una rappresentazione virtuale e dinamica di oggetti fisici integrata con dati raccolti tramite sensori (Bolton et al., 2018). Idea introdotta teoricamente da David Gelernter (1991) nel libro *Mirror worlds*, e che all'inizio del secolo ventunesimo troverà spazio nella ricerca e nei modelli digitali adottati per la gestione di pratiche industriali. Un concetto che verrà comunque chiamato in modi diversi sino a quando un report della NASA, non proporrà il nome oggi riconosciuto di *digital twins* (Piascik et al., 2010). La velocità con cui questa innovazione ha raggiunto l'architettura, destando l'interesse dei progettisti contemporanei è sintomatica di quanto il nostro settore sia sempre più orientato verso l'integrazione di metodi e sistemi provenienti da altri campi del sapere, e in particolare all'applicazione dell'informatica. Come abbiamo letto, le *splines* faranno il loro ingresso nel nostro campo con la prima svolta digitale, svariati decenni dopo i loro primi sviluppi computazionali in seno all'industria automobilistica francese. Al contrario, i *digital twins* sono già oggi un obiettivo concreto per i progettisti contemporanei, come per Andreas Klok Pedersen, che ne enumera i numerosi vantaggi all'interno delle intervista allegata, ma anche per governi e organi professionali, che da anni si fanno promotori della creazione di *smart cities*: sistemi che si possono idealmente includere nella categoria dei *digital twins* e hanno trovato nuovi livelli di specificità nella pianificazione urbana (Farsi et al., 2020). L'ambiente costruito, grazie all'ampia produzione e adozione del BIM, viene sempre più frequentemente rappresentato all'interno di gemelli digitali secondo livelli di dettaglio crescenti. I modelli BIM dei manufatti architettonici prodotti dagli architetti sono quindi destinati a diventare gli elementi puntuali che i governi e le istituzioni utilizzeranno per la definizione di gemelli digitali estesi all'intero territorio cittadino attuando il CIM, *City Information Modelling*, figura 4.3.10. Come prospetta il CDBB (2020), Centre for Digital Built Britain, ente responsabile del piano nazionale sui gemelli digitali del Regno Unito, che prevede, grazie a questo nuovo paradigma, una nuova comprensione delle nostre città e la possibilità di adottare strategie energetiche ottimizzate su larga scala.

Figura 4.3.8: L'interfaccia grafica a nodi del VPL Dynamo integrato nel software BIM Autodesk Revit.

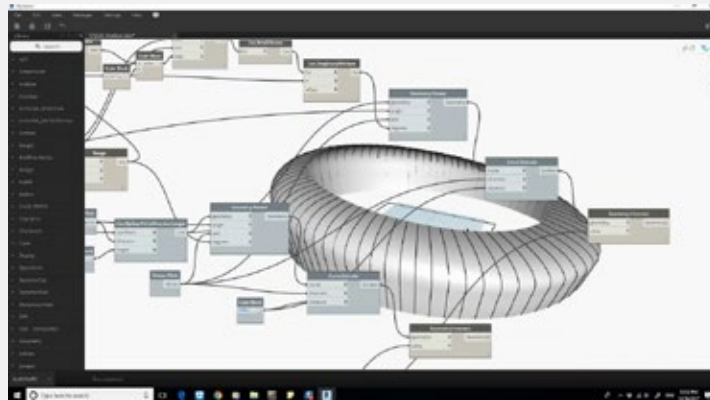


Figura 4.3.9: Uno schema esplicativo che spiega la logica il funzionamento e le potenzialità dei gemelli digitali applicati all'architettura. (Giuseppe Gallo)

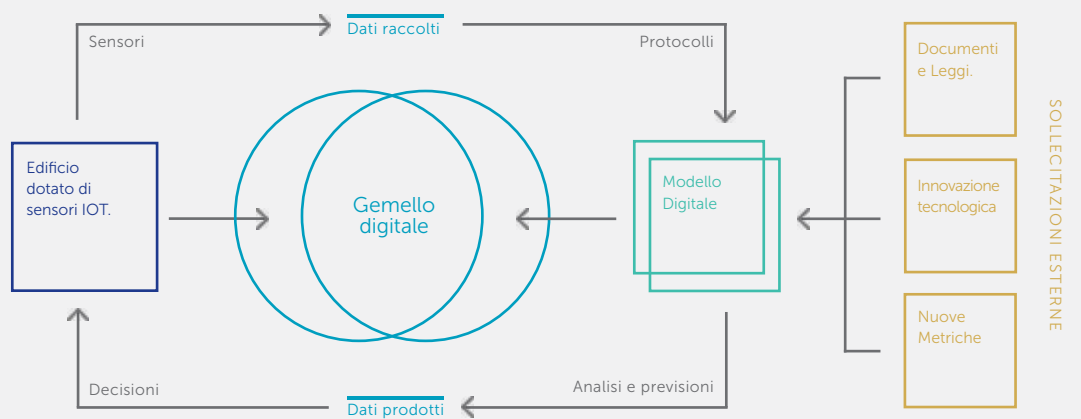
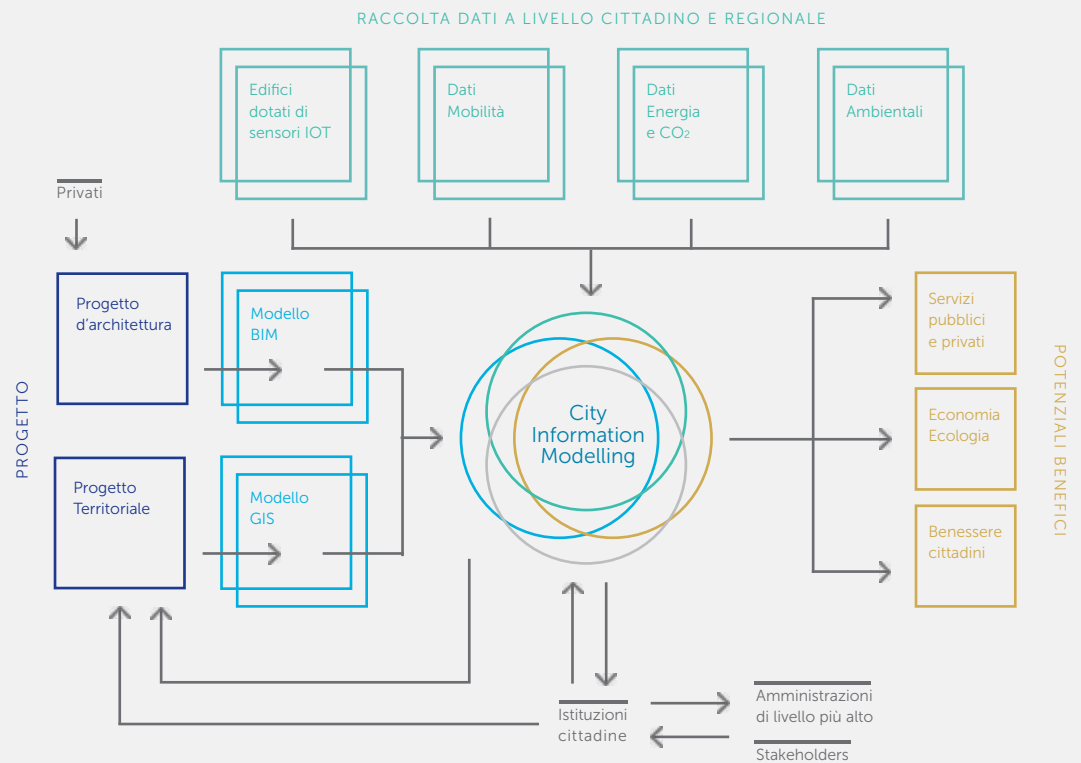


Figura 4.3.10: Il paradigma del City Information Modelling che prospetta di estendere i benefinci del BIM ad interi territori cittadini. (Giuseppe Gallo)



4.4 LA DIFFUSIONE DI SOFTWARE E LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE IN ARCHITETTURA

Come abbiamo visto, nell'arco di decenni il progetto di architettura si è arricchito di nuovi strumenti e modelli che ne toccano potenzialmente ogni fase: dalla rappresentazione, trasposta alle dimensioni digitali del CAD, alla modellazione di forme organiche, facilitata dalle tecniche 3D, la simulazione fisica, i metodi performativi, sino alla dettagliata descrizione del manufatto architettonico, oggi possibile con il BIM, all'interno di modelli che puntano a diventare l'elemento di partenza su cui strutturare gemelli digitali arricchiti di informazioni in tempo reale sul comportamento degli edifici.

Per ognuna di queste finalità esistono, e con costanza vengono sviluppati innumerevoli strumenti, programmi realizzati da *software houses* internazionali specializzate in design e architettura, o internamente agli studi, da progettisti e tecnici capaci di utilizzare linguaggi di programmazione, che permettono di costruire strumenti specifici per velocizzare i processi, istituire nuove strategie progettuali e quindi ampliare le capacità dei pacchetti commerciali (Peters, 2018e). La centralità di questi strumenti all'interno del flusso di lavoro di uno studio di architettura contemporaneo è tale che la conoscenza di determinati programmi e linguaggi di programmazione sono diventate competenze necessarie per essere assunti: basta dare un'occhiata alle offerte di lavoro su un qualsiasi sito web o social media dedicato, per leggere tra i requisiti per le diverse posizioni lavorative una lista di applicativi che di solito comprende almeno tre o quattro pacchetti distinti, ma anche, uno o più linguaggi di programmazione. Questo è tanto vero che come riconoscono diversi tra i nostri intervistati, sembra che le diverse competenze digitali stiano favorendo un'ulteriore diversificazione dei ruoli all'interno degli studi di architettura. Un rischio che è sicuramente presente nel panorama professionale contemporaneo per progettisti come Andreas Klok Pedersen e Xavier de Kestelier, che leggono la differenziazione tra tecnici BIM e progettisti architettonici come una eventualità da evitare, dichiarando quanto sia necessario oggi per qualsiasi progettista avere competenze digitali utili all'esatta descrizione di un modello BIM. Quello che Edoardo Tibuzzi (2016) prospetta per questi ruoli, così come per quello dei progettisti computazionali, è un destino simile a quello già seguito dai tecnici CAD, figure che in un determinato periodo storico si sono occupate della trasposizione digitale di disegni tecnici sviluppati da architetti, e che oggi non esistono più all'interno degli studi, perché le loro competenze sono state assorbite nella figura dell'architetto contemporaneo.

A prescindere dall'ascesa del BIM e delle figure ad esso collegate, abbiamo già parlato di metodi generativi, possibili grazie a strumenti di progettazione parametrica e VPL come Grasshopper 3D, che da poco più di dieci anni permettono ai progettisti computazionali di adottare nuove strategie progettuali con una relativa facilità. Sin dall'inizio del ventunesimo secolo il numero di programmi, librerie e linguaggi di programmazione utilizzati per strutturare queste strategie è cresciuto esponenzialmente all'interno degli studi di progettazione, analogamente al numero di informazioni che gli architetti possono sfruttare per la definizione del progetto: dati che sono aumentati sia in dimensione che eterogeneità, e permettono le simulazioni

fisiche di solare, luminosità degli ambienti, comfort termico, fluidodinamica e consumi energetici. Simulazioni che gli architetti possono oggi realizzare grazie ad un numero crescente di pacchetti disponibili su un mercato popolato da più di cento diversi strumenti senza i quali sviluppare strategie energetiche consapevoli è praticamente impossibile. A testimonianza dell'importanza che questi strumenti rivestono nell'approccio progettuale contemporaneo osserviamo come sia stata prodotta (Peters, 2018a) una rivisitazione del celebre diagramma di Charles Jencks (1973) sull'evoluzione dei movimenti in architettura, che descrive l'evoluzione degli strumenti informatici per la progettazione architettonica basata sulla performance e cita i loro creatori.

Se come abbiamo già visto parlando delle dimensioni del BIM, nonostante il fiorire di nuove possibilità e metodi, l'effettiva diffusione degli strumenti digitali procede a velocità variabili. A ciò si deve aggiungere, come ricordato da Daniel Davis, che il mondo dell'architettura è popolato da entità professionali che procedono a velocità diverse, generando un panorama frastagliato che parte da piccoli studi composti da un solo progettista e arriva sino a vere e proprie multinazionali con centinaia se non migliaia di dipendenti. All'interno degli studi più grandi, dove la necessità di innovare è urgente, i progettisti hanno abbracciato appieno le potenzialità degli strumenti digitali (Ceccato, 2001), creando strumenti in grado di incrementare la loro comprensione dei temi e la capacità di risolvere le complessità architettoniche contemporanee. Al contrario, in studi più piccoli l'utilizzo di strumenti digitali è spesso limitato alla rappresentazione o alla modellazione in tre dimensioni. In entrambi i casi, gli architetti sono oggi dipendenti dagli strumenti digitali, così come lo sono dalle *software houses*, aziende specializzate che realizzano e commercializzano questi strumenti. Un numero sempre maggiore di pacchetti che nell'arco di oltre quarant'anni dalla prima diffusione dei primi CAD commerciali, si sono evoluti arricchendosi di funzionalità complesse e specifiche per il settore della progettazione architettonica, come già successo anche in altri ambiti della progettazione. Inoltre, è necessario ricordare che anche quei progettisti interessati a sfruttare metodi digitali avanzati, creando strumenti ad hoc per necessità singolari, devono comunque partire da un programma per la modellazione di architetture, pacchetto che hanno scelto tra quelli disponibili sul mercato e per cui devono giustamente comprare delle licenze, diventando *de facto* consumatori. A ciò, dobbiamo aggiungere che, nonostante gli annunci promozionali degli sviluppatori di *software*, non esiste un singolo strumento capace di rispondere a tutte le esigenze della progettazione architettonica, dalla fase di analisi e sviluppo di *concept* architettonici fino alla rappresentazione, la produzione di modelli BIM e disegni tecnici necessari per la produzione delle architetture (Tommasi, 2017). Per queste motivazioni, all'interno degli studi di architettura contemporanea, è necessario investire risorse per personalizzare i diversi strumenti e renderli capaci di comunicare tra loro. Osserviamo inoltre, che nonostante esistano numerose ricerche utili a dimostrare l'efficacia di strategie digitali avanzate (Menges, 2011), e la loro adozione da parte di diversi importanti studi professionali (Kotnik, 2010), non esistono ricerche che descrivono l'effettiva diffusione dei diversi pacchetti e linguaggi di programmazione nel panorama professionale globale dell'architettura.

Date queste premesse, e a causa della mancanza di informazioni sulla portata effettiva della diffusione di programmi informatici e linguaggi di programmazione nella totalità

del panorama architettonico, ho deciso di indagare il tema, provando a identificare e quindi misurare la propagazione dei diversi strumenti attualmente disponibili. Per farlo avrei potuto strutturare un sondaggio e proporlo a centinaia di studi di diversa scala e posizionamento geografico: avrei comunque ottenuto un prospetto parziale, e mi sarei dovuto misurare con la reticenza di alcuni studi nel fornire informazioni riguardo i loro processi interni. Per raggiungere una prospettiva globale, il più neutrale e rigorosa possibile mi sono affidato alle potenzialità di analisi di Google Trends, misurando l'interesse dimostrato dagli utenti Google all'interno delle ricerche relative ai diversi strumenti digitali per l'architettura durante un periodo che va dal 2009 al 2018. Un prospetto che ho quindi confrontato con quello ottenuto dalle interviste a progettisti di grande esperienza nei metodi digitali allegate a questa tesi.

Google è oggi una delle più grandi multinazionali al mondo, la sua missione dichiarata è "organizzare le informazioni mondiali e renderle universalmente accessibili e utili" (Google, 2017), l'azienda ha rivoluzionato il mondo in cui accediamo alla conoscenza tramite internet e fornisce oggi ad ogni utente risultati personalizzati basati su innumerevoli informazioni: tra queste, circa 20 *petabyte* sono i dati che da utenti condividiamo giornalmente con il motore di ricerca, questo raccoglie inoltre informazioni attraverso un'ampia rete di servizi e prodotti offerti anche gratuitamente. La massiccia raccolta di informazione si traduce nella produzione di un vero e proprio gemello digitale di ogni utente, un profilo che permette a Google di offrire la migliore risposta possibile agli oltre due trilioni di ricerche che il motore di ricerca sviluppa ogni anno (Sullivan, 2016): un'incredibile risorsa per l'azienda, che condivide parte di queste informazioni attraverso Google Trends, una piattaforma disponibile gratuitamente a chiunque voglia capire quanto spesso gli utenti cerchino *on-line* determinate parole chiave. È importante specificare che i dati di Google Trends sono indipendenti dai risultati delle ricerche Google, attività di marketing come il SEO, *Search Engine Optimization*, non possono influenzarle, perché si riferiscono alle domande che facciamo a Google, non alle risposte che otteniamo dal motore di ricerca. Dal lancio di Google Trends nel 2006, numerosi ricercatori ne hanno sfruttato le potenzialità della piattaforma per sviluppare ricerche scientifiche in svariati campi, dall'epidemiologia (Ginsberg et al., 2009), all'economia (Baker e Fradkin, 2011) alla geofisica (Grigoli et al., 2017). In queste e altre occasioni la incredibile mole di informazioni raccolte da Google si sono dimostrate un'importante risorsa statistica per la comprensione del comportamento umano. Altri in passato hanno utilizzato con successo la piattaforma per condurre ricerche finalizzate a definire la diffusione di *software* (Rech, 2007), nessuno si era mai occupato di applicativi finalizzati alla progettazione architettonica.

Prima di proporre i risultati è necessario fare una puntualizzazione sul funzionamento della piattaforma e sulla metodologia utilizzata per la ricerca. I dati non riportano il numero totale di ricerche effettuate utilizzando una determinata parola chiave, ma il suo *query share*: una metrica ottenuta dividendo le ricerche condotte su Google in una determinata area geografica durante un periodo temporale, per il totale delle ricerche condotte su Google nella stessa area e periodo. Il sistema normalizza quindi il valore massimo del *query share* portandolo a 100, gli ulteriori valori che popolano il grafico indicano la deviazione, normalizzata ad 1, all'interno della cornice temporale

selezionata (Choi e Varian, 2012). È possibile effettuare ricerche per parola chiave o per argomento, nel caso di ricerca per parola chiave i risultati proposti da Google Trends comprendono anche le ricerche Google effettuate tramite parole composte. Ad esempio, se analizziamo il termine "architettura", Trends conterà anche le ricerche di *keyword* composte come "lavoro in architettura" o "università architettura". Effettuando una ricerca per argomenti, cosa possibile solo quando la mole di ricerca per una parola chiave è sufficientemente ampia, siamo al contrario in grado di ottenere una maggiore precisione sul rapporto tra termini e significati, gli argomenti raccolgono parole dal significato comune ma afferenti a lingue diverse: se effettuiamo una ricerca sull'argomento "Londra", il prospetto raccoglierà risultati per "London", "capitale del regno unito", etc. Google Trends permette inoltre di differenziare la ricerca in 30 categorie principali e 250 categorie secondarie, identificate tramite un complesso algoritmo di *machine learning*, che il sistema utilizzata per definire un approccio probabilistico: ad esempio, il termine "apple" si riferisce parzialmente alla categoria "computer ed elettronica" e a quella "cibo e bevande": sarà il "gemello digitale" dell'utente e le informazioni sulla navigazione raccolte tramite *cookies* permetteranno la determinazione probabilistica dei due diversi significati.

Poiché la moltitudine di pacchetti, *plug-in* e linguaggi di programmazione utilizzati degli architetti contemporanei è tanto vasto e sfocato da essere difficilmente enumerabile, e le funzionalità integrate all'interno di questi programmi spesso si intersecano, abbiamo deciso di differenziare le nostre analisi in tre diverse tipologie di applicativi in base alle loro caratteristiche principali e due ulteriori tipologie che includono linguaggi di programmazione testuali e visuali:

1. *General-purpose CAD software*;
2. *Software BIM*;
3. *Rendering software*;
4. Linguaggi di programmazione visuali;
5. Linguaggi di programmazione testuali;

Per ognuna di queste tipologie abbiamo selezionato i prodotti più popolari, ovvero quelli con una mole di ricerca sufficientemente ampia per essere riconosciuti da Trends come argomenti. Questi sono stati quindi analizzati su una finestra temporale che parte dal primo gennaio del 2009 e comprende le ricerche svolte in tutto il mondo sino al primo gennaio 2019, limitandoci alla categoria architettura.

Tra i *general-purpose CAD software* abbiamo selezionato: Autodesk Autocad, Rhinoceros 3D della Robert McNeel & Associates, Cinema 4D di Nemetschek Group, Autodesk 3ds Max e Sketchup, pacchetto creato da Google e oggi distribuito dall'azienda Trimble. Come evidente dalla figura 4.4.1, osserviamo che il più ricercato su Google è Autodesk Autocad, che raggiunge il picco nel marzo del 2010, momento da cui è visibile una lenta e costante diminuzione, che porta comunque Autodesk Autocad a mantenere un *query share* medio di 69. Sketchup è in seconda posizione, con un valore medio di 16 e un trend che nonostante le variazioni denota un interesse grossomodo costante negli ultimi 10 anni. Terzo Autodesk 3ds Max, in lenta e costante

diminuzione dall'inizio della decade analizzata, con un valore medio di 5. Il grafico si conclude con Rhinoceros 3D e Cinema 4D, che riscontrano un interesse più basso, con un grafico a mala pena visibile e un valore medio di 1.

Quella del BIM è tra le tipologie analizzate, l'unica intrinsecamente legata all'architettura, settore per il quale questi strumenti sono stati creati. Tra i pacchetti e *plug-in* che permettono la creazione di modelli BIM abbiamo selezionato: Autodesk Revit, Bentley Microstation, VisualARQ dell'azienda Asuni, Graphisoft Archicad e Allplan, entrambi distribuiti dal gruppo Nemetschek.

Come si desume dalla figura 4.4.2 Autodesk Revit è quello che desta maggior interesse su Google, con un trend crescente dall'inizio della decade analizzata e un apice raggiunto nel marzo del 2017 e un valore medio di 65, in seconda posizione Graphisoft Archicad, che risultava il pacchetto BIM più ricercato sul web nel gennaio 2009, e descrive negli anni una lenta e costante discesa, raggiungendo un valore medio di 28. In terza posizione Microstation, con un valore medio di 8 e una graduale perdita di interesse nel tempo, tanto da avvicinarsi alla quarta posizione occupata da Allplan, che raccoglie un valore medio di 4. In ultima posizione, VisualArq, che sebbene venga riconosciuto da Trends come argomento, ottiene un interesse medio inferiore a 1 in confronto al picco di Autodesk Revit.

La rappresentazione è da sempre un elemento fondamentale del nostro lavoro di progettisti, abbiamo letto quanto la visualizzazione e la comunicazione dei progetti sia diventata determinante per il successo di uno studio nella società dell'immagine. Esistono attualmente diversi strumenti utili alla renderizzazione, disponibili come *stand-alone* o *plug-in* da utilizzare all'interno di altri pacchetti. Tra questi abbiamo selezionato: Vray, prodotto e distribuito dall'azienda Chaos group, Corona Renderer, prodotto da Render Legion, anche questa parte del Chaos group dal 2017, quindi Octane Render, distribuito dalla Otoy dal 2015, Maxwell Renderer, sviluppato da Next limit technologies, e Renderman, sviluppato dalla Pixar.

In questa tipologia di applicativi, come da figura 4.4.3, osserviamo il primato di Vray, indubbiamente il *plug-in* per la renderizzazione che desta il maggior interesse su Google, con un massimo nell'aprile del 2009 e un lieve andamento calante che lo porta a raggiungere un valore medio di 43. In seconda posizione Octane Render, che dalla data di rilascio ha collezionato un interesse medio di 14, seguito da Maxwell Renderer e Corona Renderer, il primo dei due, nonostante un valore medio di 10, riporta un importante calo, al contrario Corona, nonostante un valore medio di 7, mostra un'importante crescita. Ultimo Renderman, che ottiene un valore medio di 2. Come si desume dal grafico, c'è una grande discontinuità nelle ricerche Google, ciò è sintomatico di un interesse minore rispetto a quello raggiunto dalle tipologie precedentemente analizzate.

La più recente tra le tipologie di strumenti analizzati è senza dubbio quella dei *Visual programming Languages*, nati per facilitare l'utilizzo della logica dei linguaggi di programmazione attraverso un'interfaccia grafica che permette di creare algoritmi connettendo funzioni, parametri e variabili in una rappresentazione grafica costituita da linee e moduli. Questa tipologia, e Grasshopper 3D in particolare, ha segnato

Figura 4.4.1: Query-share globale per general-purpose CAD, categoria architettura, dal 2009 al 2018.

- Leggenda:
- Maxon Cinema 4D
 - Sketchup
 - Autodesk 3ds Max
 - Rhinoceros 3D
 - Autodesk Autocad

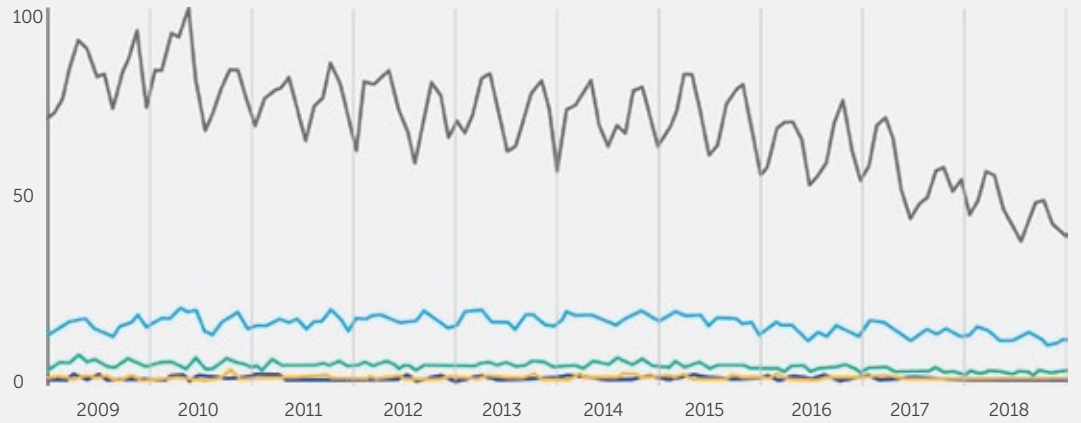


Figura 4.4.2: Query-share globale per i programmi BIM, categoria architettura, dal 2009 al 2018.

- Leggenda:
- Autodesk Revit
 - Bentley Microstation
 - Archicad
 - Allplan
 - VisualARQ

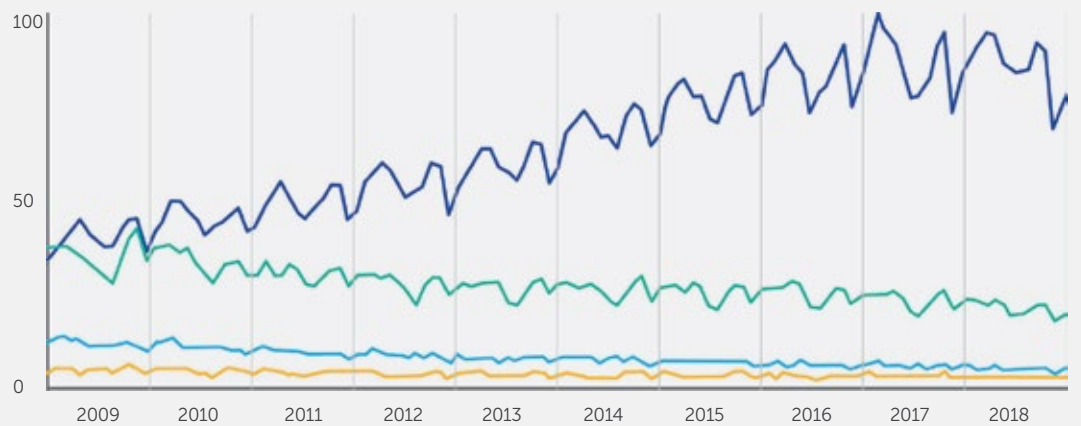


Figura 4.4.3: Query-share globale per i rendering software, categoria architettura, dal 2009 al 2018.

- Leggenda:
- Vray
 - Renderman
 - Maxwell Renderer
 - Octane Render
 - Corona Renderer

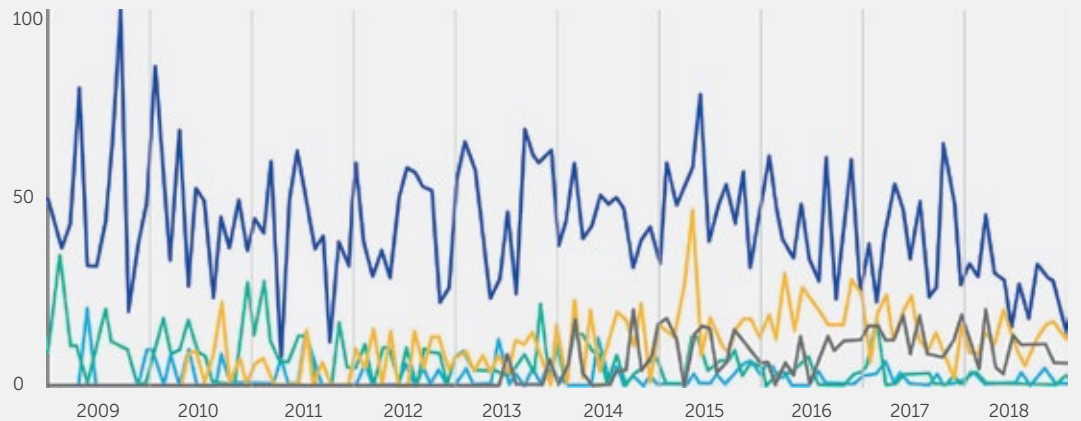
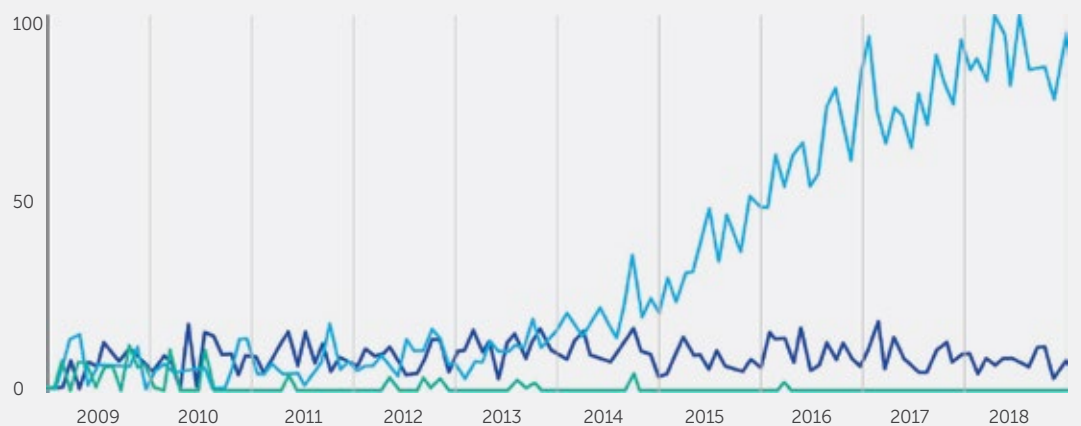


Figura 4.4.4: Query-share globale per i linguaggi di programmazione visuale, categoria architettura, dal 2009 al 2018.

- Leggenda:
- Grasshopper
 - Dynamo
 - Generative Components



l'evoluzione della progettazione architettonica degli ultimi anni, permettendo anche a neofiti di creare algoritmi e strumenti *ad hoc* per la risoluzione di problemi specifici. Poiché Google Trends non riconosce tutti i linguaggi di programmazione visuale come argomenti, ci siamo dovuti limitare a una ricerca per parole chiave. Abbiamo quindi selezionato i tre principali VPL oggi adottati in architettura: Generative Components, sviluppato e distribuito da Bentley Systems, Grasshopper 3D, sviluppato da David Rutten e oggi integrato all'interno di Rhinoceros 3D, quindi Dynamo, creato da Ian Keough e disponibile sia come *stand-alone* che all'interno di Autodesk Revit. Come evidente dalla figura 4.4.4, il VPL che ha sviluppato il numero maggiore di ricerche su Google nell'ultima decade è Dynamo, che descrive una rapida crescita sin dal 2014, raggiungendo il picco a metà del 2018, con un valore medio di 32. In seconda posizione Grasshopper 3D, che negli ultimi 5 anni descrive una lieve decrescita e mantiene una media di 9 rispetto al concorrente Dynamo. Ultimo tra i tre: Generative Components, che nonostante una mole di ricerca paragonabile a quella di Grasshopper 3D nei primi due anni della decade, è lentamente diventato invisibile rispetto agli altri due, raggiungendo un valore medio di 1.

La relazione tra linguaggi di programmazione testuale e la ricerca in architettura sembra oggi essere consolidata (Burry, 2011), sempre più spesso i maggiori studi di architettura hanno tra i loro dipendenti architetti con competenze in programmazione o addirittura programmatori, reclutati per sviluppare strumenti digitali ed espandere le funzioni dei programmi commerciali. Tra i linguaggi di programmazione integrati all'interno dei principali pacchetti di modellazione abbiamo scelto C++, il più maturo ed efficiente tra i linguaggi selezionati, Visual Basic.net e C#, entrambi sviluppati da Microsoft, quindi Ruby e Python, linguaggi creati con la finalità di facilitare le attività di programmazione. Dalla figura 4.4.5 vediamo come C++ sia quello che desta il maggiore interesse, con un massimo raggiunto nel gennaio 2009 e un valore medio di 49, seguito da C# con 33, quindi Python, in crescita e con un valore medio di 18, per finire con Visual Basic.net e Ruby, entrambi in calo con una media di 14 e 13. Ancora più che nella figura 3, è chiara una forte discontinuità degli andamenti, un chiaro segno che le moli di ricerca sono basse. Svolgere la stessa analisi su tutte le categorie, figura 4.4.6, non limitandosi quindi esclusivamente all'architettura, ci permette di osservare un differente andamento degli interessi, che mostra una diversa crescita di Python e una tendenza decrescente per tutti gli altri linguaggi di programmazione testuale.

Per comprendere quale fra le 5 diverse tipologie di strumenti siano quelli più ricercati in architettura abbiamo questa volta scelto il massimo range temporale possibile su Google Trends, a partire dal gennaio 2004, sino al primo gennaio 2019, abbiamo quindi selezionato quegli strumenti che hanno riportato i valori medi più alti all'interno di ogni tipologia: Autodesk Autocad per il *general-purpose CAD software*, Autodesk Revit per i pacchetti BIM, V-ray per i *plug-in* di renderizzazione, Dynamo tra i linguaggi di programmazione visuale e C++ per i linguaggi di programmazione testuali. I risultati di figura 4.4.7 mostrano come Autodesk Revit e quindi i programmi BIM riscuotano il maggiore interesse, con una media di 52, valore più alto di quello ottenuto da Autodesk Autocad, campione tra i general-purpose CAD, che ottiene un valore medio di 19 e mostra un costante e lento calo. Quindi Vray e C++ con una

Figura 4.4.5: Query-share globale per i linguaggi di programmazione testuali, categoria architettura, dal 2009 al 2018.

- Leggenda:
- Python
 - C++
 - VisualBasic.NET
 - C#
 - Ruby

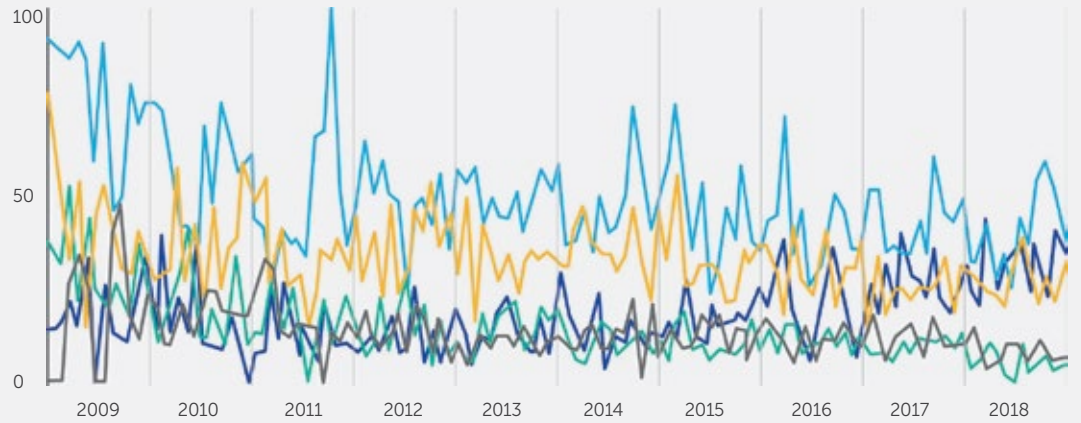


Figura 4.4.6: Query-share globale per i linguaggi di programmazione testuali, tutte le categorie, dal 2009 al 2018.

- Leggenda:
- Python
 - C++
 - VisualBasic.NET
 - C#
 - Ruby

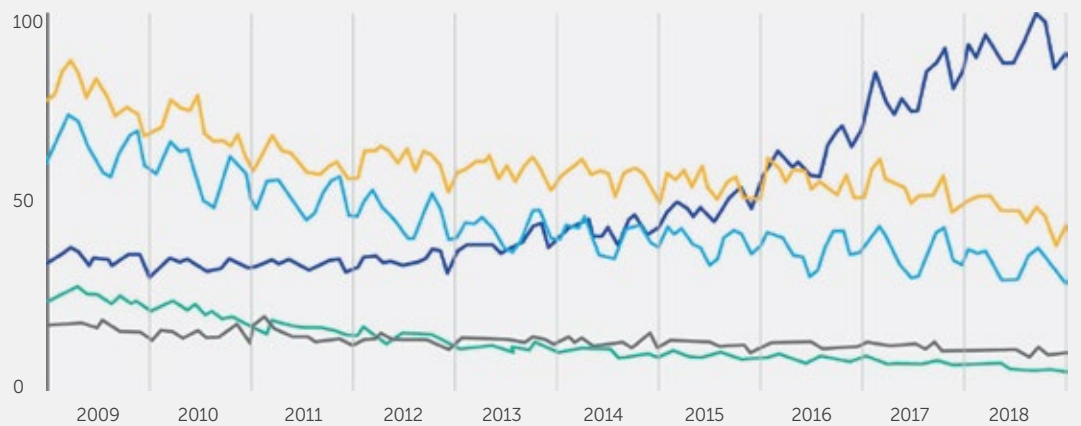


Figura 4.4.7: Query-share globale per gli strumenti più ricercati di ogni tipologia, categoria architettura, dal 2004 al 2018.

- Leggenda:
- Autodesk Revit
 - Autodesk Autocad
 - Vray
 - C++
 - Dynamo

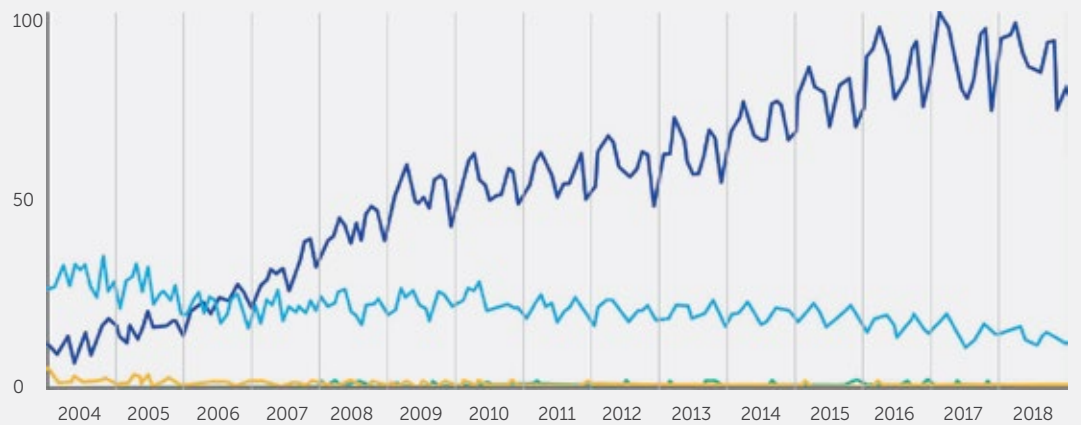
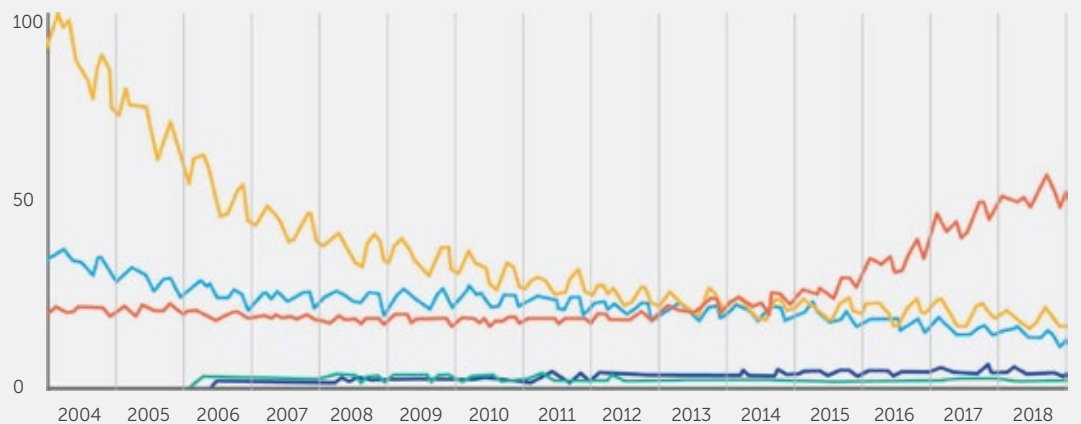


Figura 4.4.8: Query-share globale per gli strumenti più ricercati di ogni tipologia, tutte le categorie, dal 2004 al 2018.

- Leggenda:
- Autodesk Revit
 - Autodesk Autocad
 - Vray
 - C++
 - Dynamo
 - Python



media di 1 e Dynamo, invisibile rispetto al picco raggiunto da Autodesk Revit in un range temporale di 15 anni e un valore medio inferiore a 1. È facile notare come fino al 2006, Autodesk Autocad, nonostante già in fase di lento declino, ottenesse più ricerche di Autodesk Revit, che dal giugno dello stesso anno ha conquistato il primato in architettura e non ha mai smesso di crescere in ricerche Google.

Il confronto fatto tra gli stessi strumenti includendo tutte le categorie mostra risultati ben diversi, sconvolgendo l'ordine strutturatosi nella categoria architettura. Dalla figura 4.4.8 è infatti chiaro come lo strumento più cercato sia in questo caso C++, che raggiunge il picco nel 2004 e nonostante un forte calo sino al 2012 conserva il valore medio più alto, 36. In seconda posizione Autodesk Autocad, anche qui in lieve e costante calo durante tutto il periodo analizzato e con un valore medio di 22, terzo Autodesk Revit, che mostra una leggera crescita e una media di 2, lo stesso valore raggiunto da Vray, *plug-in* che mostra un andamento calante. Ultima posizione per Dynamo, invisibile rispetto al picco di C++, con un valore medio inferiore a 1. All'interno del grafico abbiamo inoltre analizzato Python, il cui andamento crescente dimostra l'evidente interesse generale per il linguaggio di programmazione.

Per una corretta interpretazione dei dati raccolti e descritti, che ci forniscono un prospetto globale sugli interessi misurati on-line attraverso le moli di ricerche svolte attraverso Google, abbiamo ritenuto opportuno raccogliere informazioni sulla diffusione all'interno di alcune delle maggiori pratiche globali, proponendo agli intervistati di rispondere alla domanda: Quali sono, sulla base della tua esperienza, i programmi più comuni utilizzati all'interno degli studi di progettazione architettonica? Guardando alla figura 4.4.9, che raccoglie l'opinione cumulativa dei progettisti intervistati è evidente come la triade Rhinoceros 3D, Grasshopper 3D e Autodesk Revit distacchi tutti gli altri strumenti digitali menzionati dai progettisti. Rhinoceros 3D e Grasshopper 3D vengono citati da tutti i dieci intervistati, seguiti da Autodesk Revit, che raccoglie otto menzioni, quindi Dynamo con un punteggio di cinque, Autodesk Autocad citato tre volte, Sketchup con due, per chiudere con Maya, Autodesk 3ds Max, Microstation, Graphisoft Archicad, VisualARQ e CATIA menzionati una sola volta. In occasione delle interviste abbiamo inoltre raccolto informazioni sui linguaggi di programmazione più utilizzati all'interno degli studi di architettura, gli intervistati menzionano C++, Visual Basic.net, Rhinoscript e Ruby, ma anche e soprattutto Python e C#, che raccolgono il numero maggiore di menzioni tra le interviste dei progettisti, e diversi intervistati dichiarano fondamentali per espandere le funzionalità dei programmi e sviluppare strategie progettuali avanzate.

Un prospetto che al confronto con i dati raccolti tramite Google Trends mostra similarità e differenze tra macro-studi e panorama globale, dove, se l'ipotesi che l'incremento nelle moli di ricerca è positivamente correlata ad un aumento nella adozione dei diversi strumenti, è possibile affermare come Autodesk Revit sia lo strumento che ha visto la crescita di utilizzatori più netta nell'arco temporale che va dal primo gennaio 2004 al primo gennaio 2019, surclassando i concorrenti e avvicinandosi a diventare uno standard nel frastagliato mondo dell'architettura. Crescita confermata dagli intervistati, che nella quasi totalità del campione di

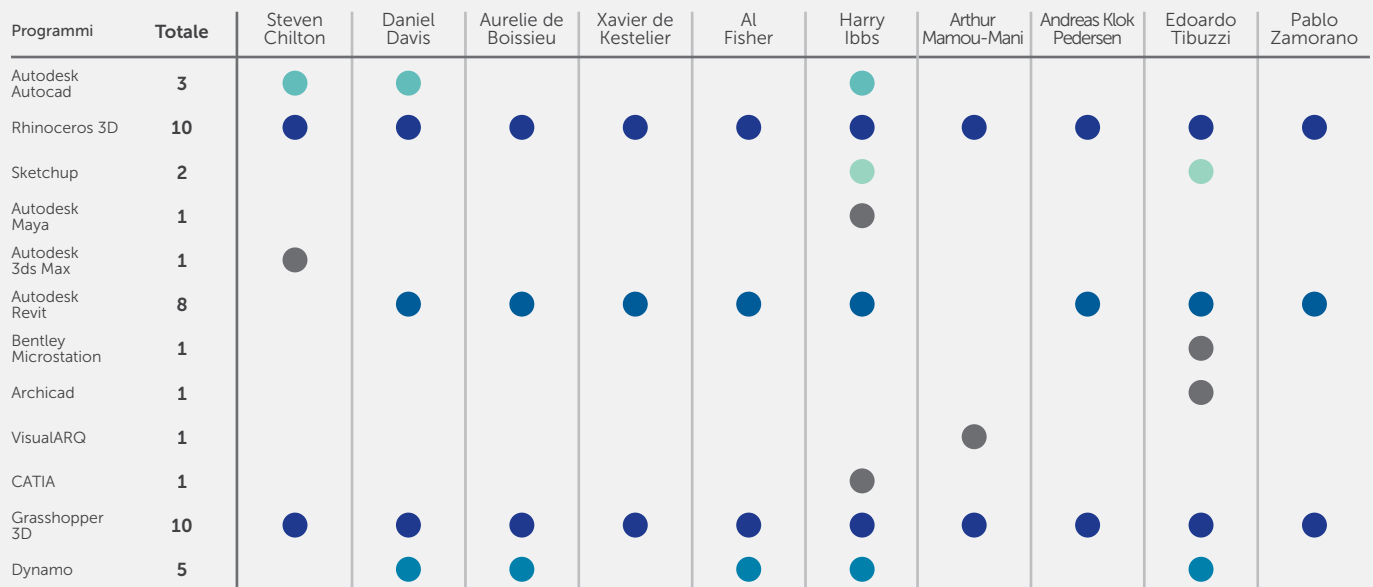


Figura 4.4.9: Risposte alla domanda: Quali sono, sulla base della tua esperienza, i programmi informatici più utilizzati per la progettazione architettonica?

Leggenda:

- 10/10
- 8/10
- 5/10
- 3/10
- 2/10
- 1/10

progettisti, citano Autodesk Revit. Il primo contrasto fra i due prospetti è quello relativo ad Autodesk Autocad: nonostante ottenga solo due menzioni da parte degli intervistati, le ridotte capacità e i limiti di espansione rispetto ad altri, mantiene un ruolo predominante tra i pacchetti CAD generici, superando strumenti più potenti e versatili come Rhinoceros, programma utilizzato quotidianamente da diversi protagonisti dell'architettura contemporanea, e che tutti gli intervistati citano. Quello dei *plug-in* per la renderizzazione, a prescindere dalla supremazia di Vray, è la tipologia dove è stata più facile l'ascesa di nuovi strumenti, in particolare Corona Renderer. Questo è vero nonostante la discontinuità nei grafici mostri un interesse più basso rispetto ad altre tipologie di strumenti. Il primato di Dynamo tra i linguaggi visuali per la programmazione è il più inaspettato tra i risultati raccolti tramite Google Trends: se Generative Components è sempre meno utilizzato anche all'interno dei maggiori studi, così come confermato dagli intervistati, Grasshopper 3D è diventato il VPL per eccellenza tra ricercatori e architetti. Questo è sicuramente dovuto alle sue maggiori possibilità di estensione rispetto a Dynamo, che è più giovane, e utilizzato all'interno di Autodesk Revit, un pacchetto spesso adoperato in una fase successiva all'interno del flusso di lavoro in architettura, piuttosto che in una fase iniziale quando la logica parametrica permette un diverso approfondimento dei temi progettuali. La diffusione dei linguaggi di programmazione, nonostante le ricerche scientifiche prodotte all'interno delle università e il crescente utilizzo all'interno dei maggiori studi di architettura, così come testimoniato da tutti gli intervistati, rimane globalmente bassa. Fattore nuovamente evidente dalla discontinuità di interesse riscontrata all'interno dei dati di Google Trends. Il paragone tra i programmi più cercati *on-line* nelle diverse tipologie conferma il trend positivo per il BIM in architettura, paradigma che riscuote il massimo dell'interesse, surclassando i pacchetti CAD, ancora utilizzati in altri ambiti della progettazione.

Se, come da nostre ipotesi e così come dimostrato da ricerche condotte in merito ad altre discipline, c'è una correlazione tra la mode di ricerche Google e l'effettiva

diffusione di un prodotto, paragonando i dati raccolti globalmente tramite la piattaforma Google Trends e le interviste con progettisti con grande esperienza in progettazione tramite strumenti digitali, è possibile definire un panorama professionale globale caratterizzato da una diversa adozione degli strumenti digitali all'interno degli studi di architettura. Un paesaggio dove sono presenti gruppi professionali con competenze interdisciplinari, familiarità con l'informatica e le scienze: un numero limitato di campioni digitali che hanno superato l'utilizzo di strumenti digitali esclusivamente per la rappresentazione, e hanno adottato strumenti più complessi e potenti come Rhinoceros 3D e Grasshopper 3D. Strumenti che hanno già dimostrato la capacità di gestire la complessità del progetto architettonico contemporaneo e permettono ai progettisti di adottare strategie parametriche avanzate, impossibili da sviluppare tramite strumenti CAD tradizionali. A questi "campioni", si contrappone globalmente una maggioranza di architetti non interessati all'utilizzo di metodi digitali avanzati, ritardatari digitali interessati in strumenti meno potenti, come Autodesk Autocad. Dove il paragone tra campioni e ritardatari digitali trova assonanza è nel BIM, e in particolare in Autodesk Revit, riconosciuto come il più popolare tra i programmi della tipologia BIM da entrambi i gruppi. I linguaggi di programmazione visuale non trovano interesse nella larga popolazione di ritardatari digitali, questo nonostante l'ascesa di Dynamo, fenomeno che è sicuramente legato alla diffusione di Autodesk Revit, ma è invisibile a confronto dell'interesse globale verso Autodesk Autocad. Di contro, come abbiamo visto, i VPL giocano un ruolo centrale nelle strategie computazionali dei campioni digitali, che considerano tuttora Grasshopper 3D come il più diffuso tra i linguaggi di programmazione visuale. Questo è probabilmente dovuto anche all'ecosistema di plug-in che permettono l'adozione di strategie computazionali attualmente impossibili o comunque non immediatamente adottabili tramite altri VPL. Le differenze tra campioni e ritardatari digitali sono ancora più marcate se guardiamo ai linguaggi di programmazione testuale, che gli intervistati considerano fondamentali, ma sembrano non interessare alla larga maggioranza degli architetti, così come i *plug-in* per la renderizzazione di immagini, entrambe tipologie di strumenti che sono adoperati da un numero limitato di specialisti.

Poiché i linguaggi di programmazione, testuali o visuali, sono necessari per gestire la complessità dell'architettura contemporanea, se la maggior parte degli architetti non sono interessati al loro utilizzo, si dovranno limitare agli strumenti digitali commerciali, incapaci di strutturare strategie basate sulla simulazione fisica, *big data* o metodi di intelligenza artificiale (Gallo e Pellitteri, 2018). Questo denota che, nonostante la diffusione degli strumenti digitali in architettura, siamo ancora lontani da livelli di familiarità con i nuovi strumenti sufficienti a segnare l'avvento di una nuova architettura, promossa tanto da Moretti quanto da Schumacher (2011) e altri recenti teorici e progettisti. Allo stesso tempo, è possibile osservare sempre più chiaramente il ruolo delle case di sviluppo e commercializzazione di pacchetti per l'architettura, ed è evidente come, nonostante la disponibilità di strumenti commerciali ed *open-source*, solo un numero limitato di aziende iperspecializzate sia in grado di destare l'interesse degli architetti con i loro prodotti digitali, cosa già successa in altri campi della progettazione, dove il mercato è dominato da una sola azienda.

4.5 IL FLUSSO DI LAVORO E L'INTEROPERABILITÀ

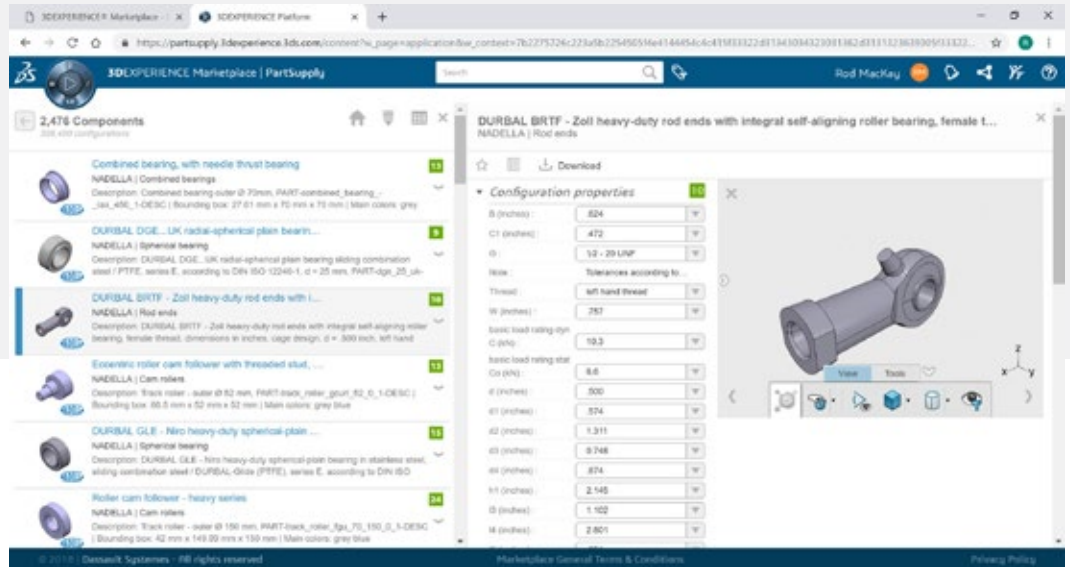
La varietà di strumenti digitali oggi disponibili per l'elaborazione e la documentazione del progetto di architettura pone i progettisti di fronte a temi che nessun architetto avrebbe mai immaginato di affrontare sino a una ventina di anni fa. Se come abbiamo visto, a prescindere dalle comunicazioni promozionali delle *software houses*, l'adozione di nuovi strumenti e paradigmi progettuali procede a velocità diverse, negli studi di architettura più all'avanguardia i campioni digitali si devono confrontare con la strutturazione di un flusso di lavoro che integri i diversi strumenti utilizzati quotidianamente e ne garantisca l'interoperabilità, ovvero la capacità di operare in modo fluido e coerente tra diversi pacchetti, secondo formati che permettano l'esatta trasposizione di modelli e delle informazioni integrate. Temi tradizionalmente più vicini all'informatica che all'architettura, ma che sono sempre più trattati nel dibattito architettonico contemporaneo, che data la complessità e la corallità raggiunta dall'iter progettuale di architettura si è arricchito di contributi e ricerche finalizzate a strutturare metodi e modelli che permettano una più facile collaborazione tra progettisti e la interoperabilità tra programmi differenti (Lee et al., 2015).

È importante precisare, che nonostante alcuni strumenti siano più utilizzati di altri, e i pacchetti BIM in particolare, sembrino essere destinati ad accogliere in un unico modello le crescenti dimensioni del progetto di architettura, le prassi e i flussi di lavoro variano da studio a studio, addirittura da progetto a progetto. Così ci ricorda Aurelie de Boissieu, che parlando dei processi interni allo studio Grimshaw, afferma come l'utilizzo di modelli BIM e quindi di applicativi come Autodesk Revit, sia frequente sin dalle primissime fasi del progetto. Non è lo stesso per altre pratiche di architettura, come studio Heatherwick, dove, come testimoniato da Pablo Zamorano, il progetto di architettura viene convogliato su modelli BIM solo in una seconda fase, dopo essere stato sviluppato all'interno di pacchetti maggiormente efficaci nell'approfondimento e nella strutturazione parametrica delle forme architettoniche: programmi come Rhinoceros 3D, che l'intervistato dichiara il principale applicativo utilizzato dallo studio, e all'interno del quale il progetto raggiunge un importante livello di definizione prima di essere traslato su Autodesk Revit. In modo analogo, nel descrivere del flusso di lavoro interno allo studio Zaha Hadid Architects, Harry Ibbs, parla di un *workflow* che parte usualmente con Autodesk Maya, pacchetto di animazione digitale che permette la modellazione di forme organiche tramite i metodi di *subdivision surfaces* e viene utilizzato per la definizione di *concept* architettonici che vengono poi traslati su Rhinoceros 3D, dove le forme del modello vengono razionalizzate secondo criteri e metodi finalizzati alla ottimizzazione produttiva, per poi convogliare solo in una fase finale su Autodesk Revit, dove il modello viene scomposto e ricostruito tramite la definizione di famiglie parametriche e l'esatta descrizione delle singole parti. Osserviamo come all'interno dello stesso studio sia frequente l'utilizzo del programma CATIA della Dassault Systèmes, e in particolare del recente pacchetto 3dexperience (Simms, 2019), una collezione di strumenti che include tanto metodi di *subdivision surfaces*, quanto sistemi parametrici per la progettazione algoritmica e la descrizione dettagliata del progetto caratteristica dei modelli BIM, figura 4.5.1.

Una soluzione questa, che mira a risolvere i problemi di interoperabilità tra strumenti diversi, ma che di contro lascia poco spazio alla integrazione di prodotti realizzati da altre aziende, e che nonostante sia già adoperata da alcuni dei campioni digitali, non raggiunge tra i macro-studi la diffusione della triade Rhinoceros 3D, Grasshopper 3D, Autodesk Revit, riconosciuti dagli intervistati come gli applicativi più utilizzati tra quelli oggi disponibili nel nostro ambito. Se l'interoperabilità tra Grasshopper 3D e Rhinoceros 3D è praticamente istantanea, tanto che dalla versione 6 Rhinoceros 3D integra Grasshopper 3D nella sua distribuzione ufficiale, al contrario, la connessione tra Rhinoceros 3D e i diversi strumenti utilizzati per la modellazione di forme in 3D con Autodesk Revit e altri programmi BIM non è immediata, questo ha causato e provoca tuttora numerosi disagi e rallentamenti all'interno dell'iter progettuale, che nonostante l'apparente linearità dei flussi di lavoro richiede una frequente traslazione su pacchetti diversi, sino alla definizione finale del progetto che verrà raggiunta su modelli BIM.

A prescindere dai più recenti paradigmi progettuali e i differenti strumenti adottati, il trasferimento di informazioni è sempre stato un tema centrale nel progetto d'architettura: tradizionalmente i dati raccolti e prodotti in occasione del progetto venivano rappresentati su carta tramite disegni tecnici e documenti, condivisi tanto con clienti quanto con ingegneri e ditte di costruzione. Con la diffusione degli strumenti CAD i progettisti traslano lo stesso tipo di informazioni sulle dimensioni digitali e nonostante non esistano inizialmente dei formati di riferimento, l'ampia diffusione di Autodesk Autocad fa sì che i file DWG diventino *de facto* uno standard nel mondo della progettazione digitale. Il DWG, abbreviazione dell'inglese *drawing*, disegno, viene introdotto nel 1984 dalla Autodesk come file binario per il salvataggio di disegni bidimensionali all'interno della prima versione di Autodesk Autocad, si tratta di un file con licenza proprietaria interamente sviluppato da Autodesk che è quindi finalizzato alla gestione e al funzionamento all'interno dei diversi applicativi sviluppati dall'azienda. In concomitanza con la presentazione del DWG l'Autodesk rilascia il formato DXF, *Drawing eXchange Format*, sviluppato dalla società come soluzione per lo scambio di dati tra Autocad e altri programmi. Se in merito ai DWG la Autodesk non ha mai rilasciato specifiche tecniche, utili agli sviluppatori di altre aziende per integrarne le funzionalità all'interno di altri programmi, nel caso del DXF l'azienda pubblica una corposa documentazione (Liu e Lu, 2004). Tuttavia il successo di questa estensione è limitato, probabilmente a causa delle minori possibilità di rappresentazione di oggetti e solidi che nell'arco del tempo hanno arricchito le diverse versioni dei file DWG. Tanto è vero che tutti i programmi CAD sviluppati negli anni supportano il DWG come principale formato di scambio di file, questo è possibile, non perché la Autodesk abbia deciso ad un certo punto di rendere pubbliche le caratteristiche del file, ma perché un consorzio no-profit, la Open Design Alliance (2020), si è occupata del *reverse engineering* del formato, e ha creato delle librerie *open-source* disponibili a chiunque voglia interpretare e creare file DWG all'interno di programmi non sviluppati da Autodesk. La enorme diffusione di Autodesk Autocad e la forzata apertura del formato DWG da parte di ODA, contribuirà alla diffusione del formato, che è oggi disponibile su qualsiasi strumento di modellazione digitale. Ulteriori passi finalizzati a garantire una maggiore interoperabilità tra i diversi sistemi

Figura 4.5.1: L'interfaccia di 3dexperience, pacchetto di applicazioni CAD avanzate utilizzabili da browser.



CAD vengono realizzati nel 2008, quando Autodesk e Bentley Systems firmano un accordo che prevede la condivisione dei formati utilizzati da entrambe le aziende, e che include la condivisione di RealDWG, un pacchetto di sviluppo realizzato dalla Autodesk (2020) utile a integrare le caratteristiche delle ultime versioni del formato DWG.

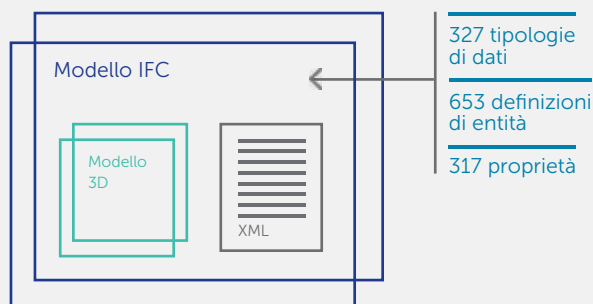
Nonostante la graduale apertura, il largo utilizzo possibile oggi all'interno di sempre più programmi e il costante incremento in termini di capacità di descrizione e rappresentazione dei modelli, il DWG è un formato con importanti limitazioni, che non permette di conservare e comunicare informazioni caratteristiche di modelli complessi che contengano ad esempio dati sui materiali, comportamento termico degli elementi, etc. Così, con la diffusione di nuovi programmi di modellazione avanzata e in particolare di applicativi BIM, ogni azienda struttura i propri formati, non tenendo conto delle necessità di interoperabilità che creeranno non pochi problemi ai progettisti, capaci finalmente di raggiungere nuovi livelli di definizione del progetto di architettura, ma incapaci di trasportare i progetti da un programma all'altro. Un tentativo di risolvere i problemi legati alla mancanza di un formato strutturato per la esatta trasmissione di modelli arricchiti di informazioni viene promosso dalla Autodesk, azienda che insieme ad altre multinazionali fonderà nel 1994 la Alliance for Interoperability, dal 2005 BuildingSmart, l'associazione internazionale a cui dobbiamo la creazione degli IFC, *Industry Foundation Classes*, un formato nato nel 1996 (Bazjanac e Crawley, 1997), e che nell'arco di anni si è sviluppato sino a diventare uno standard per la trasmissione di modelli BIM. Gli IFC nascono come modelli neutrali, ciò significa che non sono di proprietà di un'azienda specifica, ma rappresentano un tentativo condiviso di risolvere i problemi comuni all'industria dell'architettura dell'ingegneria e delle costruzioni. Questi modelli sono stati progettati in modo da contenere, non solo la geometria tridimensionale degli oggetti, ma anche e soprattutto una mole di informazioni che nell'arco degli anni si è sempre più arricchita e strutturata per descrivere la complessità dei manufatti architettonici. Se ad esempio,

all'interno di un modello IFC consideriamo l'istanza di un oggetto porta, questa non sarà soltanto posizionata all'interno di una parete, a sua volta sviluppata all'interno di un piano di un edificio, ma includerà informazioni che ne descrivono la performance termica, il costo, indicazioni sulla sicurezza e un numero di dati che si è arricchito sino all'ultima versione rilasciata nel 2019. Dal punto di vista tecnico gli IFC sono sviluppati sulla base delle norme ISO10303, anche conosciute come STEP, *Standard for the Exchange of Product data*, che descrivono le caratteristiche di modelli digitali finalizzati alla produzione di manufatti e quindi di architetture (Pratt, 2004), definendo uno standard che include non soltanto il modello geometrico, ma anche e soprattutto un database testuale organizzato secondo l'XML, *eXtensible Markup Language*, per mezzo del quale vengono organizzate le informazioni che arricchiscono il modello, figura 4.5.2. Il sistema alla base dei file IFC è ampio e complesso, e permette di definire modelli tramite 327 diverse tipologie di dati, 653 definizioni di entità e 317 proprietà, che i progettisti possono utilizzare per descrivere le caratteristiche degli elementi architettonici a partire da geometrie basilari sino a elementi costruttivi come piastre, colonne, travi, porte, ma anche diversi tipi di strutture, impiantistica, fino a contenere informazioni sul comportamento strutturale degli edifici, analisi avanzate sui sistemi costruttivi, e più recentemente dati relativi alla manutenzione dei manufatti architettonici.

La complessità del sistema è acuita dalle diverse possibilità di modellazione degli oggetti, che variano a seconda degli strumenti utilizzati e sulla base delle strategie adottate dagli utenti, secondo iter diversi che ottengono risultati apparentemente identici. Ad esempio, volendo definire un'istanza è possibile partire da piani posti ai limiti dell'oggetto da strutturare, o utilizzare un poligono di base, estruso tramite un vettore. Nel caso volessimo definire una parete ribassata è possibile modellare l'istanza a partire da famiglie come la parete, ma anche la trave, la piastra, o addirittura il cordolo, oggetti che ci permetterebbero di ottenere lo stesso identico risultato in termini di descrizione del manufatto e dettaglio costruttivo, ma che hanno significati semantici diversi, che i metodi di analisi BIM interpretano diversamente. Nei casi in cui il formato IFC non preveda una tipologia di definizioni basate su categorie parametriche è possibile inserire all'interno dei modelli degli IFCProxy, oggetti ereditati da altri file da cui i modelli estrapolano informazioni principalmente geometriche, come per alberi e arbusti, che non sono inclusi all'interno delle categorie IFC (Steel et al., 2012).

Data la finalità partecipata dell'iniziativa che ha favorito la nascita dell'IFC, il formato è stato presto adottato dai principali sviluppatori di *software* per l'architettura, a partire da Autodesk, quindi Bentley Systems, Graphisoft, Nemetschek, fino aziende leader nel settore ingegneristico come Tekla. La creazione di modelli IFC è possibile su Rhinoceros 3D grazie all'integrazione di plug-in come VisualArq, che permette la realizzazione di modelli BIM anche all'interno del pacchetto sviluppato dalla McNeel (Mirtschin, 2011). A partire dall'ampia famiglia di programmi che oggi supportano il formato IFC è possibile considerare l'interoperabilità dei formati sulla base di quattro livelli. Il primo livello è quello del *file*, ovvero la capacità di due strumenti diversi di scambiarsi reciprocamente modelli, il secondo livello è quello della sintassi, definito nella capacità di analizzare i modelli senza errori, il terzo livello è quello della visualizzazione,

Figura 4.5.2: Schema del formato IFC contenente un modello geometrico e un database testuale in XML.



ovvero il grado di coerenza ottenuta visualizzando un modello realizzato con un applicativo all'interno di uno differente. L'ultimo livello è quello semantico, relativo alla capacità di due pacchetti diversi di comprendere i relativi significati di oggetti e istanze. Nel caso dei primi due livelli, l'ampia diffusione degli IFC e il susseguirsi di sviluppi che hanno segnato l'evoluzione del formato garantisce oggi una corretta apertura dei *files* realizzati con altri pacchetti, i pochi problemi riscontrati si osservano nel caso di modelli di grande dimensione, che a causa dei diversi metodi di gestione della memoria da parte dei differenti applicativi possono creare problemi nella generazione di oggetti tridimensionali complessi, e in certi casi nella estrazione di disegni bidimensionali. Anche in merito al terzo livello, quello relativo alla corretta visualizzazione dei modelli, è possibile affermare che lo standard degli IFC abbia raggiunto una buona interoperabilità, è possibile riscontrare problemi di visualizzazione con un numero limitato di categorie di oggetti, che nel caso di strumenti specifici per l'analisi energetica o strutturale, mostrano ancora incoerenze. Più frequentemente problemi sono dovuti ai diversi stili di visualizzazione, differenti da programma a programma e che comunque i progettisti possono modificare a partire da esigenze personali. Il livello semantico è quello che presenta il maggior numero di problemi di interoperabilità: nonostante il formato IFC garantisca una coerente visualizzazione dei modelli generati tramite programmi diversi, ogni programma è caratterizzato da stili di modellazione e analisi diversi tra loro, questo può provocare complicazioni in particolare con determinati metodi. Uno dei fattori determinanti nel corretto utilizzo di strumenti di analisi avanzata è la consistenza stilistica dei modelli. Se non esiste una consistenza nella impostazione degli oggetti, in particolare nei materiali utilizzati e nella tipologia a cui fanno riferimento, chi si occupa delle analisi dovrà dedicare del tempo alla correzione dei modelli, ciò riduce il valore che questi strumenti portano all'interno del processo progettuale. Ad esempio, alcuni programmi organizzano le famiglie di acciaio strutturale tramite il materiale "acciaio strutturale", i diversi gradi dell'acciaio, C350, C450, etc, sono quindi una caratteristica dell'oggetto, al contrario, altri programmi includono il grado dell'acciaio nelle caratteristiche materiale, ciò crea una discrepanza che si ripercuote sul modo in cui i programmi di analisi stabiliscono le quantità materiali, generando errori. Alcuni problemi riscontrati a questo livello sono dovuti a limiti propri del linguaggio IFC nell'implementazione di nuovi strumenti o a particolari tipi di oggetti che non sono previsti nelle già ampie tipologie di dati attualmente compresi. Volendo, ad esempio, inserire all'interno di un modello un serbatoio d'acqua, ci troviamo di fronte a differenti possibili metodi da

seguire, questo perché non esiste un costrutto finalizzato all'esatta rappresentazione dell'oggetto: gli utenti potranno quindi scegliere di rappresentare il serbatoio tramite delle istanze parete curva o utilizzare un oggetto IFC *proxy*. Entrambe le soluzioni generano incoerenze nell'analisi del modello, da ciò consegue l'oggetto non sarà interpretato correttamente. Problemi che comunque possono essere facilmente risolti e vengono attualmente affrontati tramite la definizione, a monte del progetto, di linee guida e convenzioni condivise tra i diversi gruppi di progettisti che partecipano all'iter architettonico. Dove la mancanza di coerenza tra i meccanismi di strutturazione, descrizione e analisi del modello genera un diverso grado di problemi è nei diversi paradigmi di collezione e interpretazione dei dati (Muller et al., 2017). Ci sono differenze nella rappresentazione delle pareti tra il modello architettonico e il modello utilizzato per la simulazione energetica: la costruzione del modello architettonico si basa su geometrie solide, questo perché una coerente rappresentazione fisica degli oggetti è fondamentale nella descrizione dell'architettura, al contrario i pacchetti di analisi energetica si basano sul coefficiente termico dei materiali, e descrivono le geometrie basandosi sulle linee centrali degli elementi. Questa differenza geometrica si ripercuote su tutto il modello, e fa sì che un'intersezione tra pareti correttamente modellata dal punto di vista architettonico possa tradursi in un mancato contatto tra le istanze all'interno dei programmi di simulazione energetica, che considerando due ambienti separati come unici genereranno errori nelle analisi finali. Problemi che si ripercuotono sul corretto funzionamento dei programmi anche in occasione delle sempre più frequenti applicazioni dei modelli IFC al *facility management*, che promettono la creazione di sistemi interattivi basati sui paradigmi dell'IOT, aggiornati in tempo reale con dati raccolti tramite sensori, e che automaticamente popolano il modello e a partire da simulazioni ricostruiscono il comportamento delle architetture durante tutto il ciclo di vita del manufatto (Shalabi e Turkan, 2017).

Uno dei più evidenti limiti di interoperabilità a livello semantico è quello legato alle possibilità parametriche del formato IFC. Nonostante quelli BIM siano per definizione costrutti parametrici, ciò si limita attualmente ad aspetti inerenti a caratteristiche generali dei modelli, ad esempio: nel modificare l'altezza di un grattacielo, i progettisti potranno facilmente gestire il numero di piani tramite parametri che sono correttamente riconosciuti da tutti gli strumenti, così come potranno cambiare le proprietà materiali degli oggetti, definendo addirittura nuove proprietà delle famiglie. Come abbiamo letto però, nella definizione del progetto d'architettura i progettisti adottano oggi logiche algoritmiche realizzate tramite linguaggi di programmazione visuali e testuali, queste strutture logiche sviluppate tramite *plug-in*, sempre più frequentemente integrati all'interno degli strumenti BIM, sono necessarie per sviluppare strategie di progettazione generativa, di permeante importanza per il progetto di architettura contemporaneo. Informazioni e strutture logiche che in nessun modo rientrano all'interno di un modello IFC, che può solamente rappresentare una istantanea del modello, fissata secondo una determinata configurazione di algoritmo e parametri. Un problema che crea viscosità all'interno dell'iter progettuale, come confermato da de Kestelier: il progettista, nel parlare degli strumenti e dei modelli BIM ne testimonia le scarse capacità parametriche, che

nonostante l'accelerazione verso la progettazione algoritmica osservata nell'ultimo decennio, ancora non si è tradotta nella strutturazione di standard in questo senso. Temi su cui si stanno concentrando diversi ricercatori (Amann e Borrmann, 2016) e sviluppatori di software, che propongono una riconfigurazione degli IFC che preveda l'integrazione di nuove logiche algoritmiche all'interno dei modelli.

Nonostante il crescente impegno in questa direzione, che sicuramente convoglierà nell'istituzione di nuove soluzioni nell'arco dei prossimi anni, siamo ancora lontani da uno standard in grado di includere le componenti algoritmiche del progetto di architettura all'interno di un modello BIM interoperabile, questo fa sì che per sviluppare processi algoritmici e di ottimizzazione delle forme architettoniche la maggior parte dei campioni digitali faccia oggi affidamento su Rhinoceros 3D e Grasshopper 3D durante le prime fasi del progetto e traduca in seguito il modello secondo i paradigmi del BIM su Autodesk Revit. Una traslazione che comunque comporta la perdita delle informazioni algoritmiche del progetto, che nonostante le nuove possibilità rappresentate oggi in questo senso da *plug-in* come Dynamo, già integrato all'interno di Autodesk Revit, non trovano un'immediata analogia nella sintassi e nella strutturazione dei processi parametrici secondo degli standard. Una discontinuità che genera non poche difficoltà per i progettisti, così come confermato da Pablo Zamorano, consapevole dei problemi comuni all'interno degli studi di architettura contemporanei, e che dichiara come una efficace soluzione al problema fosse stata raggiunta grazie al pacchetto Flux, flusso in inglese. Un applicativo sviluppato all'interno dei programmi di ricerca dei laboratori Google X, gruppo nato come costola della multinazionale della tecnologia con l'intenzione di affrontare temi legati alla sostenibilità energetica ed economica, e che ha sviluppato un sistema di interoperabilità tra applicativi, utile tanto alla collaborazione da remoto su sistemi *cloud*, quanto alla gestione dei dati che i diversi attori condividono all'interno del processo progettuale, permettendone la rimodulazione e facilitando la conversione di informazioni secondo le logiche intrinseche dei diversi programmi. Al contrario di altri sistemi di condivisione di dati basati sul trasferimento di *file*, Flux deve essere installato come *plug-in* sugli strumenti da collegare, ponendosi come nodo di scambio tra i programmi e permettendo la condivisione di progetti, analisi e altri dati in tempo reale, collegando istantaneamente pacchetti come le coppie Rhinoceros 3D / Grasshopper 3D e Autodesk Revit / Dynamo, tra loro e con Excel, Autodesk Autocad, e Sketchup (Afsari et al., 2016). Dal 2010, anno di inizio del progetto, il gruppo di ricerca è cresciuto, si è staccato da Google, trasformandosi in startup, ottenendo 8 milioni di dollari di finanziamento nel 2014, e sviluppando un'ampia collezione di strumenti utili all'interoperabilità per il flusso di lavoro architettonico (Lunden, 2014). Utilità, che come ricorda Zamorano, sono entrate a far parte degli strumenti adottati dai progettisti all'interno di molti studi, dove il *workflow* è stato convertito per svilupparsi sulla base del sistema di interoperabilità. A marzo del 2018 il progetto Flux è stato interrotto, riportando gli studi di architettura che avevano strutturato i loro processi di lavoro sulla base dell'applicativo a confrontarsi nuovamente con problemi apparentemente già risolti: un caso incredibilmente simile a quello già verificatosi con le *t-splines*, che allo stesso modo dopo un'importante diffusione sono state parzialmente ritirate dal mercato.

Il vuoto lasciato da Flux è stato colmato da altre iniziative e progetti, che a partire dall'evidente bisogno di un sistema di interoperabilità per il settore dell'architettura hanno sviluppato applicativi e utilità finalizzati a facilitare lo scambio di informazioni. Tra le varie piattaforme recentemente rilasciate, una delle più promettenti è senza dubbio Speckle, un sistema di scambio dati sviluppato da Dimitrie Stefanescu in seno all'University College di Londra nel 2016: iniziativa che ha assunto la forma di *startup* all'inizio del 2020, e propone come principale prodotto un sistema per la condivisione di informazioni tra professionisti connessi da remoto, permettendo inoltre l'agognato collegamento tra le coppie Rhinoceros 3D /Grasshopper 3D, Autodesk Revit / Dynamo e altri strumenti. Il sistema, sviluppato da progettisti appartenenti oggi ad alcuni dei principali studi di ingegneria e architettura londinesi, si basa su un'infrastruttura web e consente agli utenti di strutturare sistemi di interoperabilità altamente configurabili, supportando la creazione di classi di dati specifiche realizzate *ad hoc* dagli utenti finali e integrando formati strutturati come gli IFC. Il trasferimento di dati è orchestrato da un server installato sul calcolatore, che serve da nodo per la condivisione di informazioni e processi, e assicura il corretto funzionamento del sistema nel caso gli altri nodi della rete siano *off-line*, registrando le operazioni che convoglieranno sempre in un modello condiviso, figura 4.5.3. Speckle implementa un sistema di accesso gerarchizzato, che concede un effettivo controllo sui processi e sugli attori che collaborano alla definizione del progetto: un sistema che può essere gestito grazie a Speckleviz, una rappresentazione in tempo reale del flusso di lavoro condiviso tra diversi utenti attraverso il server, e che raccoglie ogni operazione e illustrando *workflow* architettonico in tempo reale (Poinet et al., 2020). Al contrario di Flux, che prevedeva un abbonamento e la sottoscrizione di licenze da parte degli utenti, il progetto Speckle è gratuito e *open-source*, ciò significa che chi ne è capace è libero di contribuire allo sviluppo del progetto, operando direttamente sul codice sorgente del programma, caratteristica che fa ben sperare sull'effettiva longevità del pacchetto, meno sensibile alle oscillazioni del mercato, e maggiormente capace di crescere sulla base di una comunità di utenti e sostenitori (Stefanescu, 2020).

Tra le ulteriori aziende attualmente impegnate nella risoluzione dei problemi di interoperabilità tra programmi per la progettazione architettonica è opportuno citare Proving Ground, una società di consulenza fondata nel 2015 da Nathan Miller, già progettista architettonico e docente presso alcune università statunitensi, autore di alcuni dei più diffusi *plug-in* per Grasshopper 3D e Dynamo, come Lunchbox, ampiamente utilizzato dai progettisti per la discretizzazione di superfici, ma anche Rhynamo, un *plug-in* inizialmente sviluppato dall'azienda Case, che permette un'interoperabilità di base tra file Rhinoceros 3D e il pacchetto Dynamo. Tra le diverse soluzioni proposte dall'azienda, molte delle quali *open-source*, spicca il pacchetto Conveyor, un applicativo a pagamento che permette ad utenti con competenze informatiche anche basilari di connettere i pacchetti Rhinoceros 3D e Autodesk Revit, creando un flusso che trasla istantaneamente dati e geometrie dal principale strumento per la modellazione architettonica utilizzato dai campioni digitali, verso il più diffuso programma per la creazione di modelli BIM. Al contrario delle piattaforme precedenti, basate sul formato IFC, Conveyor si fonda

sulla condivisione di *file* 3DM, nativi di Rhinoceros 3D, e sviluppati con licenza *open-source* da parte della Mc Neel and Associates. Un formato che Proving Ground ha analizzato e scomposto automatizzando la traslazione alle logiche proprie di Autodesk Revit, impostando un sistema che non solo consente l'aggiornamento di singoli cambiamenti verso Autodesk Revit, ma di fatto espande le capacità di Rhinoceros 3D, attraverso un diverso paradigma di gestione dei dati, e un sistema di classi, più vicino alla logica ad oggetti propria dei modelli BIM. Se è vero, che gli applicativi sviluppati da Proving Ground hanno riscosso un ampio successo all'interno degli studi di architettura contemporanei, ampliando le possibilità di gestione delle geometrie e l'interoperabilità nella direzione Rhinoceros 3D → Autodesk Revit (Miller e Stasiuk, 2017), è anche vero che il processo progettuale architettonico non è mai strettamente unidirezionale e in certi casi è utile poter tornare sui propri passi, sulla base di considerazioni nate dal livello di dettaglio proprio dei modelli BIM: ciò necessita di interoperabilità nella direzione inversa Autodesk Revit → Rhinoceros 3D. Una soluzione in questo senso è quella proposta dalla Mks dtech, gruppo di ricerca focalizzato sull'interoperabilità per l'architettura fondato da progettisti esperti nella modellazione digitale per l'architettura, che nel 2019 hanno presentato il pacchetto Beam: un applicativo nato sulla base di esigenze che i progettisti hanno riscontrato durante la pratica quotidiana e che permette un'efficace interoperabilità bidirezionale tra Rhinoceros 3D e Autodesk Revit, figura 4.5.4. Anche questo componente instaura un nodo, che si pone tra i due programmi come un ponte, traducendo la struttura dei dati, così da garantire la piena interoperabilità tra i due applicativi. Al contrario di altri pacchetti già presentati, che si basano su formati IFC e 3DM, ampliandone le capacità, il pacchetto Beam utilizza ACIS: *kernel* di proprietà della Dassault Systemes, largamente utilizzato da sviluppatori di diverse aziende per la creazione di applicazioni ibride (Cousins, 2020).

Una svolta nella risoluzione dei problemi di interoperabilità tra Rhinoceros 3D e Autodesk Revit è sicuramente quella proposta sempre nel 2019 dalla Mc Neel Associates, che spiazzando la concorrenza ha presentato tra le nuove funzionalità incluse nella versione 7 di Rhinoceros 3D (2020), attualmente disponibile in versione WIP, *work in progress*, il progetto open-source Rhino.inside, figura 4.5.5. Un'utilità che consente l'utilizzo del popolare pacchetto di modellazione all'interno di qualsiasi altro programma, a partire da Autodesk Revit, che per mezzo di un *plug-in*, viene ampliato includendo capacità e gli strumenti di modellazione propri di Rhinoceros 3D e Grasshopper 3D, garantendo livelli di interoperabilità bidirezionale mai raggiunti in precedenza.

Il crescente interesse verso l'interoperabilità da parte degli studi di architettura e ingegneria è testimoniato inoltre da Al Fisher, che all'interno delle interviste parla ampiamente di The Bhom (2020), *Buildings and Habitats Object Model*. Un applicativo sviluppato dallo studio Buro Happold, che nel 2018 lo ha presentato come progetto *open-source* proponendolo come soluzione al problema dell'interoperabilità. Come abbiamo visto, le più popolari soluzioni per l'interoperabilità attualmente disponibili si concentrano principalmente sulla connessione tra le coppie Rhinoceros 3D / Grasshopper 3D e Autodesk Revit / Dynamo, nel caso di the Bhom, l'intenzione è quella di creare una infrastruttura elastica, accessibile e modificabile da parte degli

utenti finali che possono integrare facilmente nuove funzionalità e connessioni grazie all'innovativo paradigma rappresentato dall'ECS. L'*Entity Component System* è un diverso paradigma di strutturazione informatica sperimentato per la prima volta nel 2007 all'interno dell'industria video ludica: un *design pattern* che da allora si è diffuso ampiamente fra gli sviluppatori di *software* e ha raggiunto il settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni con the bhom. Il paradigma attualmente ricalcato dai modelli BIM è quello del linguaggio orientato agli oggetti, OOP, che per definizione consente di creare intere famiglie di oggetti da proprietà e funzioni condivise, l'ECS aggiunge gradi di libertà al sistema, definendo le entità sulla base dei dati che li costituiscono, e permettendo quindi di aggiungere nuove proprietà e funzioni al variare di vicissitudini riscontrate in seguito (Alatalo, 2011). Al Fisher cita un esempio pratico che aiuta a comprendere l'utilità del sistema: se in occasione di un progetto in fase già avanzata, gli specialisti di illuminotecnica vorranno cambiare le caratteristiche di un sistema di illuminazione, sarà necessario ritornare alla definizione di quegli oggetti per variarne le proprietà a monte del flusso di lavoro: un'attività che l'ECS velocizza e semplifica, consentendo una più facile iniezione di nuove proprietà senza incorrere in problemi e viscosità che attualmente ostacolano l'operato dei progettisti. Le caratteristiche innovative di strutturazione dei processi proprie dell'ECS, consentono ai progettisti una nuova flessibilità in termini di interoperabilità e quindi una più facile integrazione di nuovi strumenti all'interno dell'iter progettuale, ma anche e soprattutto, investono di ulteriore attenzione un tema, quello dei dati, argomento che altre discipline più vicine alle scienze dure e all'informatica hanno già affrontato e parzialmente risolto (Noura et al., 2019).

Se, come abbiamo visto, la creazione di standard in termini di formati per i modelli digitali del progetto di architettura è un processo lento, che gli architetti condividono con le software houses specializzate, e nonostante gli annunci promozionali, il consenso intorno al formato IFC è ancora lontano dal raggiungere soluzioni consolidate. Oggi, il nuovo orizzonte verso cui tendono i progettisti è quello della standardizzazione dei dati, estesa ben oltre i formati digitali per l'architettura, per includere tutte le informazioni che confluiscono all'interno dei modelli architettonici, tanto in fase di progetto, quanto durante tutto il ciclo di vita del manufatto architettonico. La standardizzazione dei dati è di focale importanza per i prossimi sviluppi del progetto architettonico, ed è un tema riconosciuto da un numero sempre più ampio di progettisti, come Edoardo Tibuzzi, che all'interno delle interviste, parla della crescente mole di dati che pervengono al progetto da fonti eterogenee e non sempre affidabili: abbiamo visto nelle parole di Gregotti quanto i dati provenienti da altre discipline possano influenzare anche negativamente la composizione di un progetto. Per queste motivazioni è di focale importanza che i progettisti si muovano coralmemente verso l'istituzione di soluzioni condivise e aperte, che garantiscano la validità dei dati e permettano un nuovo livello di interoperabilità *open-source*.

Figura 4.5.3: L'interfaccia grafica di Speckle, il modello e l'interoperabilità sono gestibili anche attraverso browser. (foto Speckle)

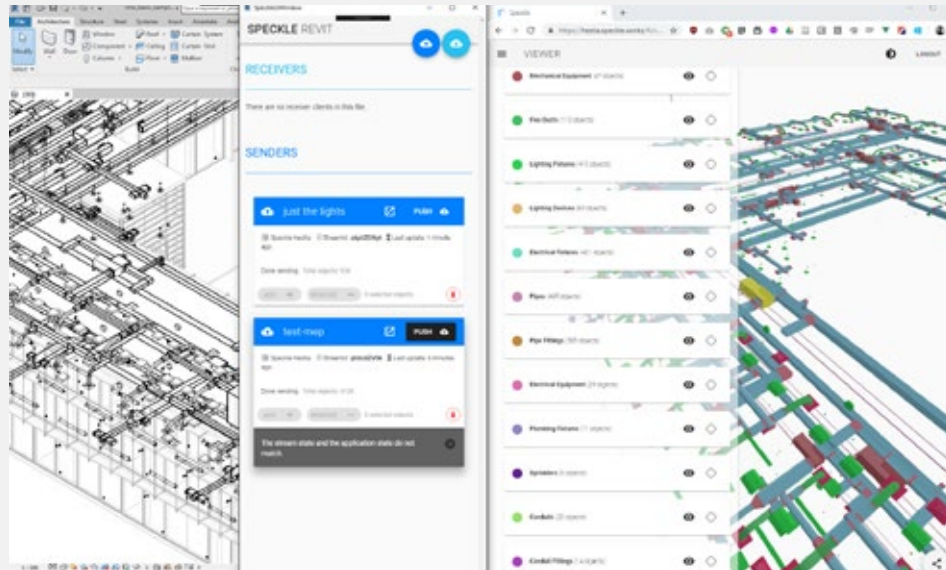


Figura 4.5.4: L'interfaccia del software BEAM all'interno di Grassopper 3D. (foto Mks dtech)

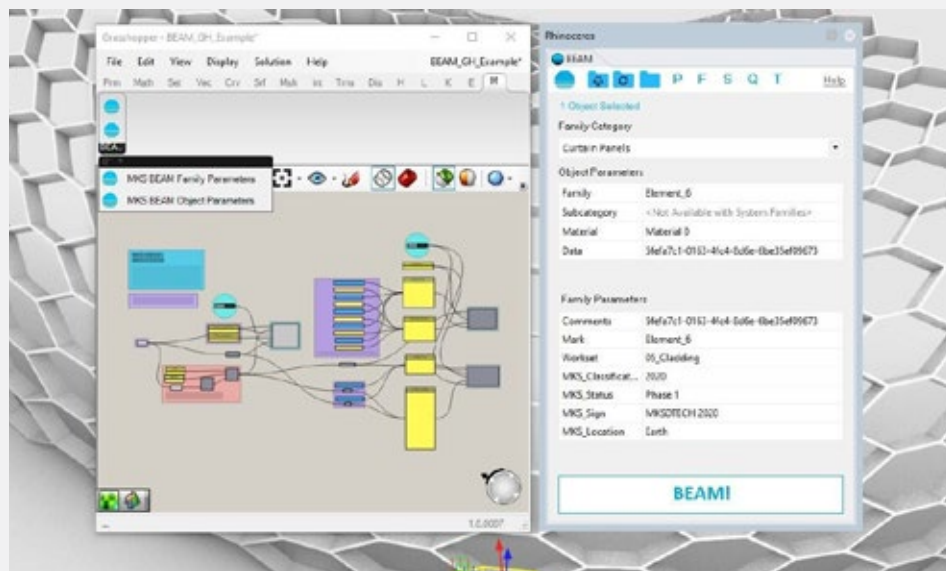
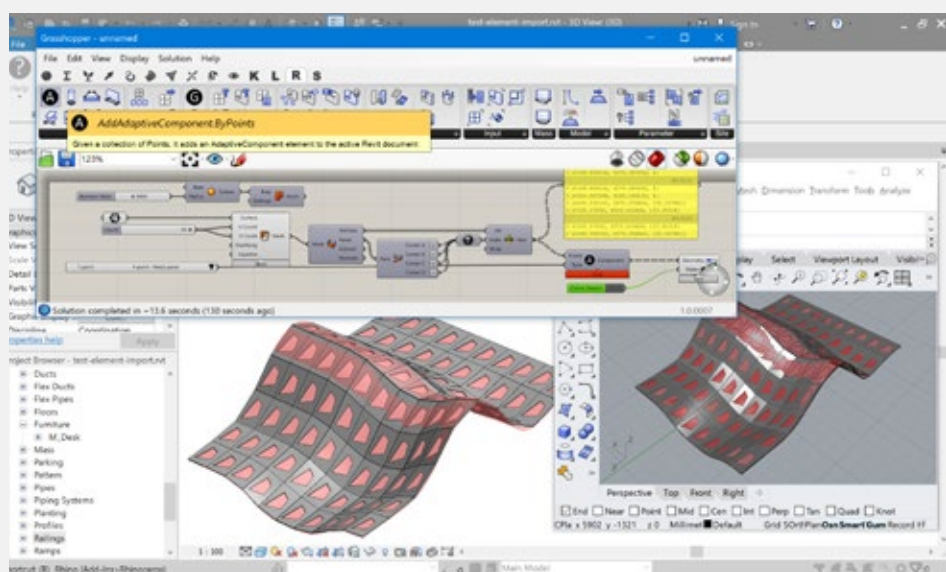


Figura 4.5.5: L'applicativo Rhino Inside, che permette di utilizzare il programma Rhinoceros 3D all'interno di altri software come Autodesk Revit. (immagine Mc Neel and Associates)



4.6 ARCHITETTURA E STRUMENTI OPEN-SOURCE

La locuzione *open-source*, che possiamo tradurre letteralmente in “a sorgente aperta”, è utilizzata con una certa frequenza all’interno di stampa specializzata e media generici. Opinionisti, giornalisti, politici ed esperti dichiarano quanto sia importante sviluppare politiche *open-source*, basate sulla libera condivisione della conoscenza: un paradigma quantomai attuale, che nell’ambito accademico trova sviluppo nell’*open science*, e anche in architettura raccoglie un numero crescente di sostenitori (Ratti e Claudel, 2015).

Un fenomeno apparentemente recente, che in realtà risale agli albori dell’informatica, quando all’interno di laboratori i primi programmi informatici venivano trattati come prodotti scientifici al pari di ricerche matematiche o fisiche: così come di un esperimento scientifico si condividono ipotesi, metodologie e risultati, allo stesso modo i programmi venivano distribuiti divulgando il codice sorgente, necessario alla comunità per effettuare valutazioni e sviluppare ulteriori applicazioni dei metodi descritti. Una fase iniziale, destinata ad uno stravolgimento quando la produzione di applicativi inizia a riscontrare l’interesse del mercato, con l’istituzione di gruppi commerciali finalizzati allo sviluppo e quindi alla distribuzione di pacchetti realizzati con finalità specifiche. Sarà proprio la nascita del *software* commerciale a favorire l’uso di licenze, definite secondo una giurisprudenza che nell’arco di decenni si è gradualmente articolata per tutelare prodotti coperti dal segreto industriale e distribuiti a pagamento in forma di eseguibile. Così, anche grazie ad un’importante e sistematica attività di marketing i programmi commerciali raggiungono un numero sempre più ampio di utenti, attirando investimenti e sviluppando funzioni e caratteristiche innovative a un ritmo che il *free software*, letteralmente software libero, non è in grado di sostenere. Ciò contribuisce negativamente alla fama del software libero, che viene percepito come poco affidabile e di scarsa qualità.

Dobbiamo la dicitura *open-source*, ad un gruppo informale di sviluppatori appartenenti al movimento per il *software* libero, che, consapevoli dell’ambiguità della locuzione *free software*, e in particolare dei significati dell’aggettivo *free*, libero o gratuito, propongono un riposizionamento finalizzato a migliorare la percezione dei prodotti e dei metodi collaborativi a sorgente aperta (Raymond, 1998). Dal punto di vista legale, i programmi *open-source* sono rilasciati con una licenza che ne consente la libera distribuzione in forma di codice sorgente, ovvero nel codice testuale che descrive l’organizzazione integrale del complesso algoritmico di funzioni e parametri che definiscono il flusso di esecuzione del programma, consentendo quindi a qualsiasi utente di operare modifiche sul programma originario e distribuirne una nuova versione modificata. È possibile classificare un pacchetto informatico sulla base delle possibilità consentite in fase di rilascio: a partire da software di dominio pubblico, un caso particolare di *software* libero che dal punto di vista legale non è tutelato da alcun copyright: ciò significa però che chiunque può creare una nuova versione del programma su cui dichiarare dei diritti. Una prima soluzione è quella proposta da Richard Stallman, il fondatore del progetto GNU, che consapevole del problema

Figura 4.6.1: Schema delle categorie di software sulla base della condivisione del codice sorgente. (Stallman, 2002, 42)

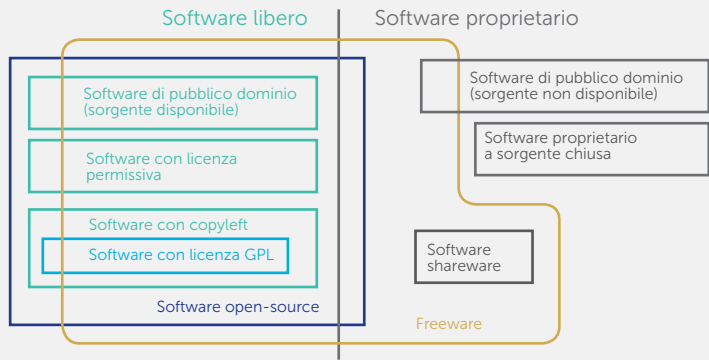


Figura 4.6.2: Linus Torvalds con una delle prime versioni del sistema operativo open-source Linux. (foto Linux Foundation)



propone nel 1985 il termine *Copyleft*, ad indicare una diversa tutela dei termini di distribuzione stabiliti dall'autore di un pacchetto, permettendone al contempo la modifica (Heffan, 1997). Sarà lo stesso Stallman, insieme alla Free Software Foundation, da lui fondata, a redarre nel 1989 la prima GPL, figura 4.6.1, *General-Purpose License*: una licenza finalizzata alla protezione legale del software libero, che permette la libera distribuzione dei programmi originali e delle successive versioni nate dalla modifica degli stessi. La licenza, che nell'arco di anni si è estesa e articolata, ed è oggi ampiamente utilizzata per garantire i programmi a sorgente aperta, basati su quelle che Stallman (2002) e la Free Software Foundation definiscono le quattro libertà fondamentali degli utenti di un software:

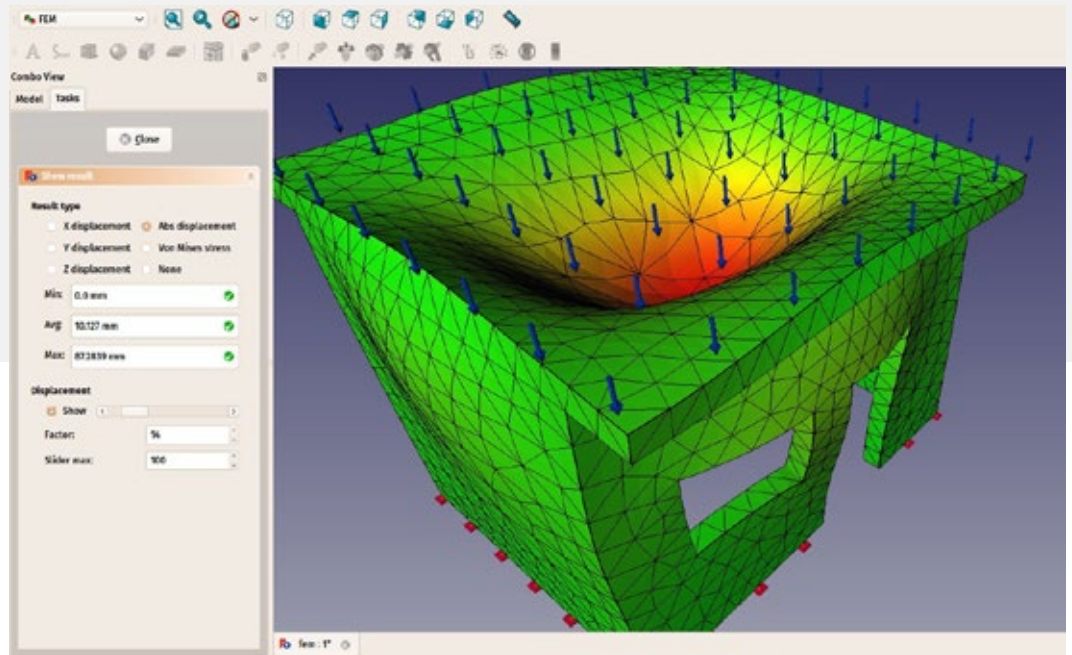
- 0) Libertà di eseguire il programma, qualsiasi sia lo scopo;
- 1) Libertà di studiare il funzionamento del programma e quindi riadattarlo in base alle proprie esigenze;
- 2) Libertà di distribuire copie del *software* a chiunque ne abbia bisogno;
- 3) Libertà di migliorare il programma, e quindi di rilasciare i propri miglioramenti al pubblico, condividendone i benefici con l'intera comunità.

Libertà che non si limitano esclusivamente all'utilizzo e alla distribuzione, ma prevedono la possibilità di modificare il programma in ogni sua parte, come indicato nelle libertà numero uno e tre, che rendono la condivisione del codice sorgente necessaria nel caso di software open-source.

Il più famoso e riconosciuto programma open-source è senza alcun dubbio Linux: sistema operativo ideato nel 1991 da Linus Torvalds, figura 4.6.2, allora studente universitario, che è entrato nella storia dell'informatica per aver avviato il progetto di quello che diventerà una potente alternativa ai sistemi operativi non liberi come Microsoft Windows, MacOS. Il sistema operativo è oggi alla base degli applicativi realizzati tanto dalle multinazionali dell'informatica, quanto da enti di ricerca, e centri di calcolo, presente all'interno dei sistemi adottati dalle pubbliche amministrazioni così come ne cuore dei nostri cellulari Android: sistema operativo sviluppato da Google a partire da un *kernel* Linux. Se il successo di Linux, oggi sotto gli occhi di tutti, è evidente dal punto di vista tecnico e commerciale, tanto che multinazionali come Microsoft, Amazon, Facebook e Google investono ogni anno milioni di dollari per lo sviluppo del progetto (Asay, 2017), l'evoluzione epocale che lo sviluppo di questo sistema operativo ha portato con se risiede innanzitutto nel grado apertura e condivisione che il progetto ha mantenuto sin dai primi istanti e che conserva tutt'ora a trent'anni dalla sua nascita.

All'interno del celebre testo *La cattedrale e il bazaar*, Eric Raymond (1997), già parte del gruppo informale a cui dobbiamo la dicitura *open-source*, recupera l'immagine proposta da Fred Brooks per descrivere il progetto di un *software*, inizialmente paragonato da Brooks alla costruzione della cattedrale di Reims, affermando al contrario come, nel caso di Linux, sia più adatta l'immagine di un grande e confusionario bazar, pullulante di progetti e approcci anche discordati tra loro, e a partire dal quale, apparentemente, solo un miracolo avrebbe permesso di sviluppare un sistema operativo stabile e coerente. Al contrario, Raymond ammette come il metodo bazar abbia funzionato molto bene nel caso di Linux, rafforzandone il processo invece di precipitarlo nel caos, procedendo a velocità difficilmente raggiungibili da chi al contrario provava a costruire cattedrali. Il merito di Torvalds, è secondo Raymond, quello di aver trovato un modo per ottenere il massimo da una comunità virtuale senza confini geografici, ampliando un'attività solitaria come la programmazione grazie all'intelligenza e alla potenza di una comunità, in un'epoca antecedente a quella del web 2.0. L'avvio del progetto Linux rappresenta il punto di svolta per i programmi *open-source*, che dagli anni novanta, hanno proliferato in ogni settore, contribuendo al successo di iniziative di portata epocale come Wikipedia, anch'essa basata su un motore *open-source*, Mediawiki, che anima la celebre enciclopedia libera, ma anche Libre Office, alternativa gratuita al popolare pacchetto Microsoft office, sviluppata coralmemente da una *community* mondiale che raccoglie oggi migliaia di autori (Gamalielsson e Lundell, 2018). Queste ed altre iniziative hanno confermato la potenza e scalabilità di progetti *open-source*, che oggi si sono moltiplicati in ogni ambito, dalla medicina all'astrofisica, aprendo la strada a nuovi approcci progettuali applicati oggi in ogni campo del sapere. Una diffusione che è

Figura 4.6.3: Un esempio delle funzionalità di analisi agli elementi finiti disponibili all'interno del software FreeCAD. (immagine FreeCaD)



apparentemente più contenuta nel settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni, dove, come abbiamo letto, i principali strumenti digitali adottati tanto dai campioni digitali quanto dai ritardatari digitali sono software proprietari, realizzati da un numero limitato di grandi aziende specializzate nella progettazione e nello sviluppo di pacchetti specifici per il nostro settore. Ciò è particolarmente vero se si guarda ai programmi BIM e ai pacchetti di modellazione digitale adottati sin dalle prime fasi del progetto, che sono coperti da segreto industriale e protetti da licenze proprietarie, meno se estendiamo il nostro sguardo a strumenti computazionali avanzati, anche integrati all'interno di applicativi commerciali, e che sempre più frequentemente sono il frutto di iniziative open-source condivise tra gruppi di utenti eterogenei.

Osservando il panorama di strumenti digitali per l'architettura è sempre più facile trovare *software open-source*, a partire da BRL-CAD, uno dei precursori nella famiglia CAD che dagli inizi del duemila è disponibile gratuitamente sia in forma di eseguibile che in quella di codice sorgente, e consente pratiche di modellazione bidimensionale e tridimensionale, integrando strumenti per la renderizzazione: senza alcun dubbio il più longevo tra i programmi CAD attualmente disponibili in formato *open-source* (Castro et al., 2019). Un ulteriore strumento, particolarmente potente è FreeCAD, rilasciato inizialmente nel 2002 per essere utilizzato nell'ambito dell'ingegneria meccanica, integra, non solo funzioni di modellazione bidimensionale e tridimensionale, ma anche metodi avanzati per la FEA, *Finite Element Analysis*, figura 4.6.3, che raramente sono disponibili all'interno di programmi CAD commerciali, e soprattutto, rientra nella categoria BIM, poiché consente un'adeguata descrizione parametrica dei modelli architettonici, che possono essere importati ed esportati tramite il formato IFC (Logothetis et al., 2017). Tra i campioni della modellazione digitale *open-source* è quindi necessario citare Blender, figura 4.6.4, un programma nato nel 1994, che è stato sviluppato per l'animazione digitale, come il più famoso

Autodesk Maya, ma al contrario del pacchetto utilizzato da protagonisti della prima svolta digitale come Lynn e Zaha Hadid Architects, non è un *software* proprietario, ed è totalmente gratuito. Nell'arco di quasi trent'anni dal suo primo rilascio Blender si è arricchito di funzionalità avanzate peculiari di altri programmi commerciali, che includono le NURBS, diversi algoritmi per l'uso di metodi di *subdivision surfaces*, sistemi per la simulazione fisica, pacchetti per la renderizzazione, motori per lo sviluppo di applicazioni di realtà virtuale e un numero indefinito di utilità che la comunità di utenti ha sviluppato e distribuito gratuitamente (Tan, 2017).

Nonostante questi programmi, che di fatto rappresentano valide alternative ai software proprietari, siano ancora poco utilizzati all'interno degli studi di architettura anche dai campioni digitali, la logica e gli strumenti *open-source*, sono già diffusi nel nostro settore. Diversi strumenti commerciali integrano librerie *open-source* come OpenSubdiv, metodo di *subdivision surfaces* sviluppato da Pixar e che è oggi utilizzabile all'interno di Autodesk Maya. Abbiamo già visto, come l'esigenza di un formato neutrale per la trasmissione e l'interoperabilità di modelli BIM abbia portato anche le grandi aziende di applicativi per l'architettura a unirsi nell'iniziativa condivisa che ha definito lo standard IFC, superando il rischio di replicare i problemi che hanno caratterizzato la definizione del DWG. Formato di proprietà di Autodesk, in merito al quale l'azienda non ha mai rilasciato specifiche tecniche, ma che è stato ricostruito tramite pratiche di reverse engineering: sforzo collettivo dei volontari di Open Design Alliance (2020), autori di una libreria *open-source* utilizzata per la scrittura di file DWG all'interno di applicativi non Autodesk. Tra le aziende che sviluppano programmi per la progettazione architettonica, quella che ha dimostrato sin ora una maggiore attenzione nei confronti delle pratiche open-source è sicuramente la McNeel Associates, che distribuisce Rhinoceros 3D (2019) con licenza proprietaria ma ha mantenuto aperto il formato 3DM, condividendone il codice sorgente tramite il progetto Open Nurbs: un'iniziativa rivolta agli sviluppatori di programmi CAD, che possono adoperare le librerie dell'azienda per la creazione e gestione di un ampio numero di geometrie tra le quali NURBS, *B-rep*, *mesh*, nuvole di punti e oggetti SubD, archiviare dati e gestirli tramite linguaggi di programmazione come Python, Javascript e C#. L'iniziativa della Mc Neel Associates è stata accolta da diversi sviluppatori e progettisti, impegnati nello sviluppo e nella distribuzione di applicativi specifici che sono poi stati pubblicati con licenze *open-source*. Questa apertura verso altri attori è stata determinante nello diffusione di Grasshopper 3D, distribuito con licenza proprietaria, e che come testimoniano Pablo Zamorano e Xavier de Kestelier, si è imposto tra i *visual programming languages* adottati in architettura e design soprattutto grazie alla community oggi riunita su Food4Rhino (2020): un gruppo di centinaia di migliaia di utenti, che nell'arco di circa dieci anni hanno collaborato alla creazione di più di ottocento *plug-in* e componenti sviluppati *ad hoc* per la risoluzione di problemi specifici per campi che spaziano dalla progettazione architettonica, a ingegneria, design del prodotto, robotica, fabbricazione digitale e tanto altro ancora, figura 4.6.5.

All'interno della folta lista di *plug-in*, sviluppati sia da aziende che da sviluppatori indipendenti, è possibile trovare prodotti di diversa qualità e ampiezza, da componenti

Figura 4.6.4: Il programma open-source di modellazione tridimensionale Blender.

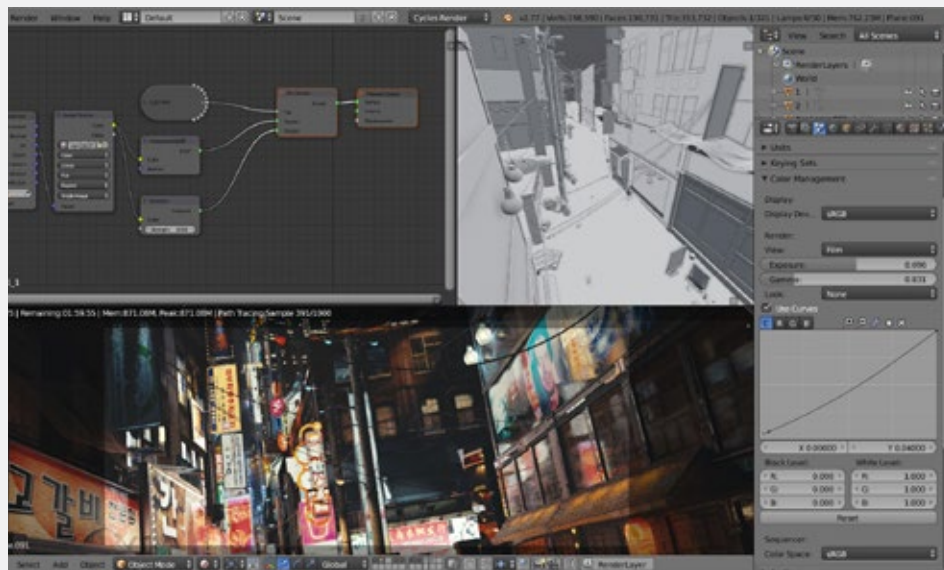


Figura 4.6.5: Il sito web Food4Rhino, perno centrale della comunità globale di sviluppatori e utenti Grasshopper, dove è possibile reperire molti pacchetti open-source.

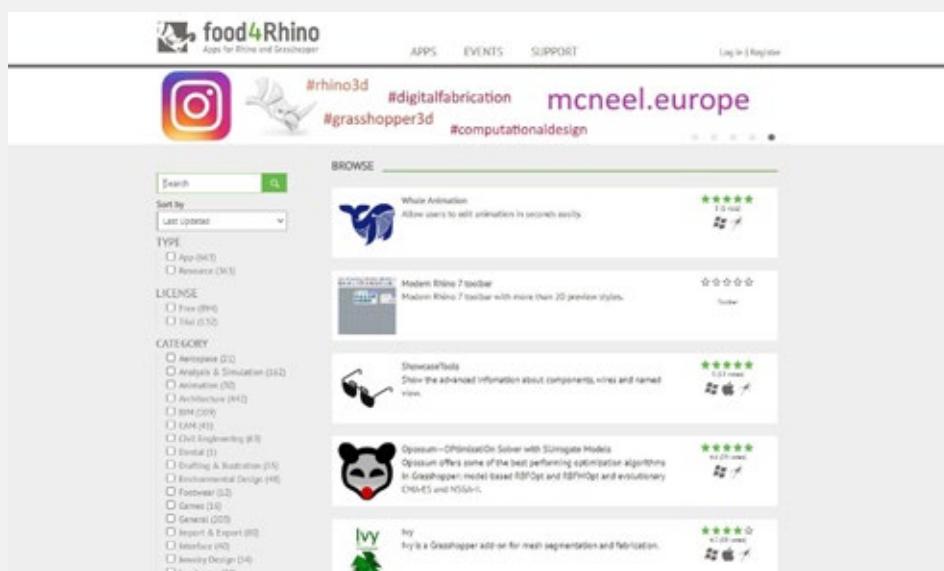
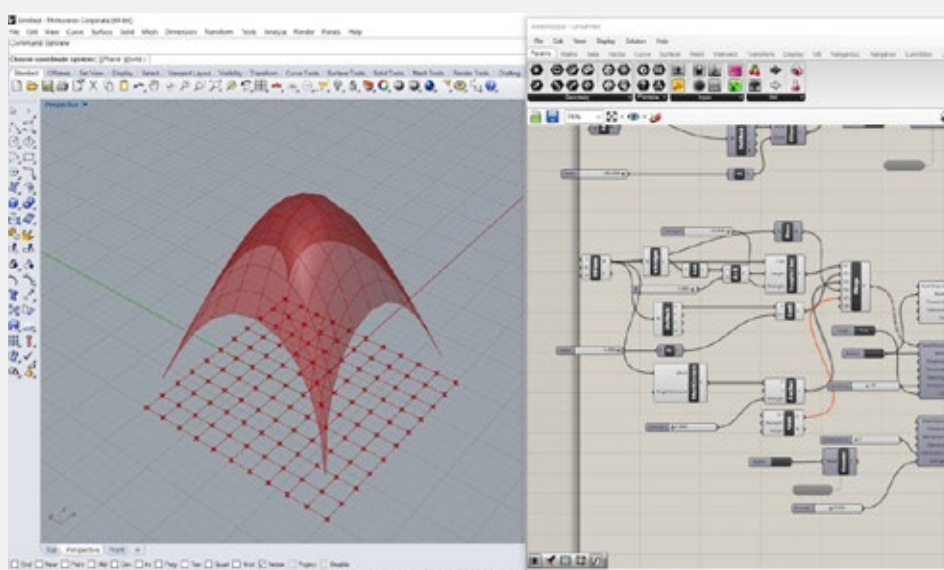


Figura 4.6.6: Il plug-in Kangaroo physics all'interno di Grasshopper 3D, a sinistra una volta definita tramite un processo di form-finding, a destra il codice che la genera.



che svolgono una sola funzione, sino a veri e propri pacchetti che includono decine di utilità diverse. È importante notare come quasi il 90% degli applicativi disponibili sia utilizzabile gratuitamente, e come molti siano inoltre distribuiti con licenza open-source. Il più popolare tra i *plug-in* disponibili, con oltre 400.000 download è Kangaroo physics, figura 4.6.6 un applicativo sviluppato da Daniel Piker (2013), e che i progettisti di diversi studi di architettura contemporanea utilizzano per la simulazione interattiva del comportamento fisico delle strutture. Un programma totalmente *open-source*, che ha permesso ad un grande numero di utenti di adottare strategie di *form-finding* analoghe a quelle sperimentate da Frei Otto, e che ha consentito lo sviluppo e la diffusione di nuovi approcci progettuali non sempre praticabili tramite pacchetti commerciali (Senatore e Piker, 2015).

Un altro popolare *plug-in* disponibile in formato *open-source* è Lunchbox, una vera e propria collezione di strumenti computazionali che include funzioni per la gestione dei dati e della geometria dei modelli, ma anche per la razionalizzazione delle forme architettoniche, per favorire l'interoperabilità, e adottare metodi generativi nella definizione delle architetture. Uno strumento realizzato e distribuito dall'azienda Proving Ground, che è stato scaricato da più di 300.000 utenti in tutto il mondo e che i progettisti utilizzano largamente, all'interno di Grasshopper 3D, come principale mezzo per definire le facciate e dividerle in pannelli regolari secondo griglie con moduli quadrati, romboidali e triangolari (Cubukcuoglu et al., 2019).

Tra gli strumenti *open-source* disponibili gratuitamente per tutti gli utenti Grasshopper 3D è opportuno citare Ladybug tools, figura 4.6.7, un applicativo creato da Mostapha Sadeghipour Roudsari (2013), progettista architettonico e sviluppatore informatico che nel 2012 si cimenta nella realizzazione di un *plug-in* utile a semplificare le attività di modellazione del progetto di architettura, velocizzare il flusso di lavoro, allora rallentato da pratiche ripetitive e problemi di interoperabilità tra strumenti diversi, e integrare strategie per la sostenibilità ambientale degli edifici. Il 2013 è l'anno di rilascio della prima versione del programma che da allora include trenta diversi componenti per l'integrazione di dati ambientali, modelli di radiazione solare e livelli di luminosità degli ambienti: temi che come abbiamo letto sono centrali nel progetto di architettura contemporanea, e che i progettisti possono oggi affrontare tramite questo potente strumento, vicino a diventare uno standard all'interno del flusso di lavoro architettonico contemporaneo. Un applicativo che dal primo rilascio si è evoluto, integrando Honeybee, pacchetto finalizzato alla connessione dei modelli architettonici con strumenti per la simulazione e validazione energetica degli edifici come Radiance, Energy Plus e altri. Il pacchetto Ladybug è un ottimo esempio di come l'apertura verso l'*open-source* contribuisca al miglioramento e alla diffusione di nuovi approcci progettuali condivisi, se infatti prima dell'avvento di questi strumenti, strategie analoghe erano conducibili esclusivamente tramite strumenti commerciali acquistabili a costi elevati, talvolta proibitivi, soprattutto per piccoli studi, dalla sua prima distribuzione il pacchetto è stato scaricato da oltre 300.000 utenti, che hanno reso il pacchetto uno dei più utilizzati strumenti nella progettazione energetica degli edifici, collaborando allo sviluppo di nuove funzionalità, come nel caso di

Figura 4.6.7: I plug-ins Ladybug e Honeybee, strumenti open-source utilizzati dagli studi di architettura per simulazioni solari e termiche.

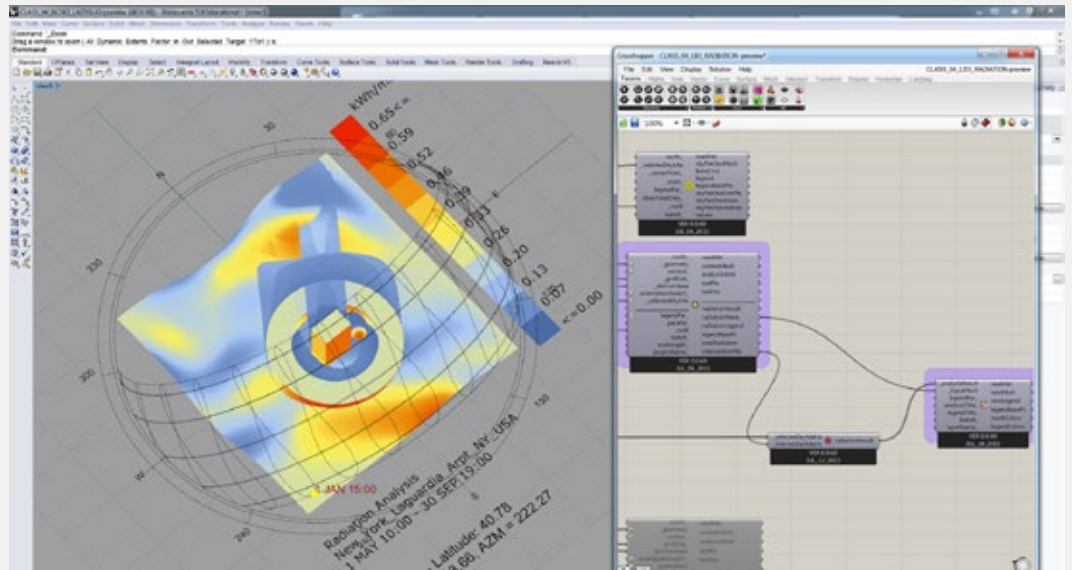
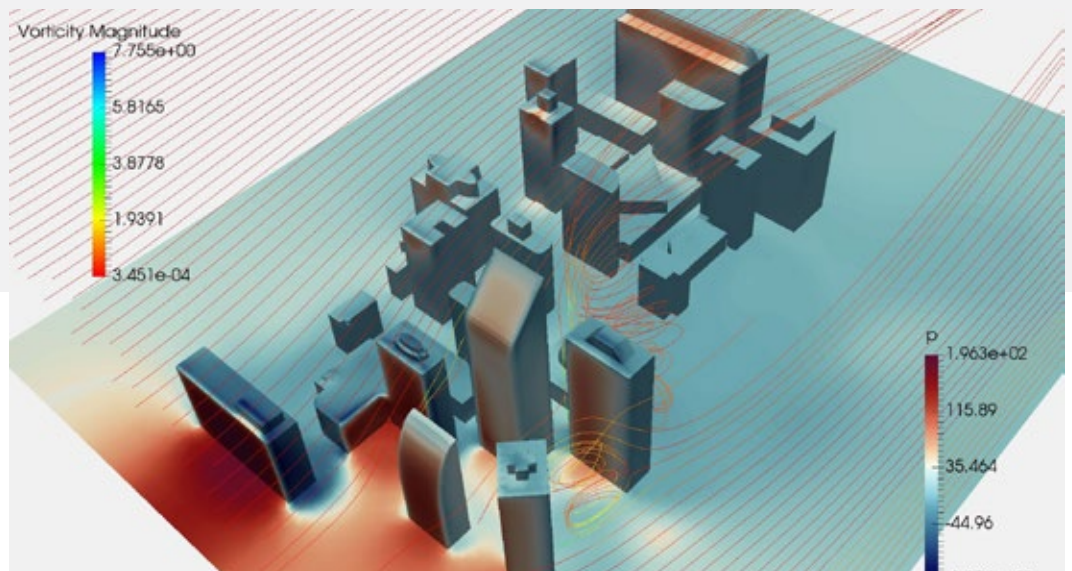


Figura 4.6.8: L'applicativo a sorgente aperta Open FOAM, utilizzato in architettura per la simulazione fluidodinamica.



strumenti di analisi di comfort termico, sviluppati da Chris Mackey (2015) all'interno della sua tesi dottorale in architettura al Massachusetts Institute of Technology, ma anche facilitando la connessione con altri strumenti avanzati per la simulazione ambientale estesa ad intere porzioni di città, possibile oggi anche grazie al lavoro di volontari che hanno deciso di contribuire attivamente al progetto. Se il successo di Grasshopper 3D è certamente dovuto alla sua *community* e all'incredibile numero di strumenti open-source sviluppati autonomamente dagli utenti a partire dalle esigenze riscontrate in fase di progettazione, il programma è comunque rilasciato con una licenza proprietaria, ciò permette all'azienda un relativo controllo sullo sviluppo dell'applicativo centrale a cui è possibile collegare nuovi componenti. Un limite superato da Dynamo, concorrente diretto di Grasshopper 3D nella categoria dei *visual programming languages* che è stato sviluppato da Ian Keough in per Autodesk e rilasciato con licenza *open-source* sin dal 2015. Il pacchetto, oggi anche integrato all'interno di Autodesk Revit, consente ai progettisti di adottare strategie algoritmiche

secondo una logica analoga a quella di Grasshopper 3D, e si sta arricchendo velocemente di nuovi componenti che gli utenti possono realizzare e condividere direttamente attraverso l'interfaccia del programma: una caratteristica che facilita il fiorire di nuove strategie computazionali all'interno della comunità di progettisti. Già nel 2015 il numero di pacchetti realizzati e condivisi dagli utenti aveva superato le 500 unità (Kensek, 2015), e osserviamo inoltre come diversi sviluppatori già interessati a Grasshopper 3D abbiano tradotto i loro componenti per essere utilizzati su Dynamo: *plug-in* come i già descritti Lunchbox e Ladybug tools, che grazie all'interesse della comunità e il supporto di Autodesk i progettisti possono oggi utilizzare anche su Dynamo all'interno di Autodesk Revit.

Come abbiamo già detto, la necessità di una diversa comprensione del manufatto architettonico tramite pratiche di simulazione ha portato i progettisti ad avvicinarsi sempre di più alla fisica, disciplina che come l'architettura ha sviluppato metodi e strumenti computazionali specifici, che gli architetti hanno iniziato ad utilizzare con sempre maggiore frequenza. È interessante notare come molti di questi strumenti, spesso realizzati all'interno di importanti università internazionali e aziende specializzate siano anch'essi distribuiti con licenza *open-source*. È il caso di Open FOAM, *Open-source Field Operation And Manipulation*, figura 4.6.8, uno strumento per la simulazione numerica utilizzato per la soluzione di problemi della meccanica del continuo e la fluido dinamica adottato dai campioni digitali del progetto architettonico: pacchetto rilasciato per la prima volta nel 2004 da Henry Weller and Hrvoje Jasak (Chen et al., 2014), e che dalla prima distribuzione si è arricchito di nuove funzionalità sviluppate in collaborazione con una community sempre più ampia.

Nel nostro iter che raccoglie i principali strumenti *open-source* adottati o comunque a disposizione dei progettisti architettonici contemporanei abbiamo seguito un percorso che parte da strumenti CAD generalisti, sino ad arrivare a programmi creati per la risoluzione di problemi specifici e all'approfondimento del manufatto architettonico in termini ambientali, produttivi ed economici. Un vasto ed eterogeneo ecosistema popolato tanto da programmi gratuiti sviluppati da gruppi più o meno variegati di professionisti quanto da grandi società specializzate nella realizzazione di programmi per l'architettura, aziende che a diversi livelli hanno adottato strategie *open-source* per lo sviluppo di strumenti condivisi ed espandibili. Il rapporto fra *open-source* e architettura, non si ferma però a programmi realizzati da aziende o gruppi informali, anzi diventa ancora più saldo quando sono direttamente gli studi di architettura ad affrontare lo sviluppo di strumenti sulla base di esigenze interne. Una eventualità sempre più frequente, come confermato da Aurelie de Boissieu, che nel descrivere la pratica interna al suo studio racconta quanto frequentemente progettisti architettonici, tecnici BIM e sviluppatori lavorino insieme nel definire nuovi strumenti cuciti intorno al flusso di lavoro caratteristico dello studio. Programmi nati di sovente nella forma di *script*, *software* composti da poche di linee di codice informatico, che i progettisti strutturano per automatizzare processi, collegare diversi programmi tra loro, o svolgere correttamente prassi interne allo studio. Codici che, come testimoniato dall'intervistata, si evolvono con frequenza sino a diventare veri e propri programmi

densi di funzioni utilizzabili tramite interfaccia grafica anche a chi non è in grado di comprendere i linguaggi informatici. Come abbiamo letto nei capitoli precedenti tra i linguaggi di programmazione utilizzati con sempre maggior frequenza all'interno degli studi è presente Python, un linguaggio *open-source*, creato nel 1991 da Guido Van Rossum, oggi integrato all'interno dei principali programmi di modellazione per l'architettura, da Grasshopper 3D a Autodesk Revit e che è quindi diventato fondamentale per l'istituzione di strategie avanzate.

Osserviamo però, come nonostante l'evidente apertura del settore dell'informatica verso l'*open-source*, e nonostante il fatto che molti dei campioni digitali adottino oggi con frequenza pressoché quotidiana strumenti a codice sorgente aperto per la progettazione e l'analisi dei modelli architettonici, esista nel nostro settore ancora una sostanziale diffidenza verso i programmi *open-source*, e in certi casi addirittura scarsa consapevolezza nei confronti del significato della locuzione *open-source*. Se da un lato è vero che molti degli intervistati riconoscono l'importanza degli strumenti *open-source*, e ne testimoniano l'utilizzo, augurandosi un maggiore sforzo condiviso nella loro adozione, alcuni non leggono, o non sono in grado di leggere il contributo reso dalla disponibilità di questi strumenti. Secondo Aurelie de Boissieu la limitata adozione di strumenti *open-source* sarà superata nei prossimi anni, ed è dovuta alla relativa novità che il digitale rappresenta in architettura, caratteristica del nostro settore che vincola i progettisti all'utilizzo di strumenti commerciali.

Nell'aprile del 2019 ho partecipato ad un *talk* sulla digitalizzazione dell'architettura organizzato a Londra dalla rivista Dezeen, un dibattito tra tre importanti esperti di progettazione architettonica e strumenti digitali: la già citata Aurelie de Boissieu, a capo del reparto BIM londinese di Grimshaw Architects, Mauro Sabiu di Zaha Hadid Architects e Benedict Wallbank della Viewpoint Construction Software, una multinazionale specializzata nello sviluppo di applicazioni per la gestione della commessa architettonica e della costruzione di manufatti architettonici (Jordahn, 2019). In occasione dell'incontro ho avuto l'opportunità di chiedere ai tre quale fosse a loro avviso il ruolo degli strumenti *open-source* nel settore dell'architettura dell'ingegneria e delle costruzioni, ed è interessante notare come l'opinione di questi esperti vari da quella della de Boissieu, che vede l'*open-source* come unica soluzione per liberare i progettisti dai vincoli posti dalle case di sviluppo, sino a quella di Wallbank, che ammettendo il contributo come il paradigma *open-source* possa portare alla risoluzione di problemi specifici, sostiene come i problemi più ampi, condivisi nel panorama globale degli strumenti digitali per l'architettura, saranno più facilmente risolti dalle grandi aziende piuttosto che da singoli sviluppatori o gruppi informali, in particolare riferendosi alla condivisione di dati e alla digitalizzazione dell'ambiente costruito. Se quindi da un lato l'opinione condivisa è che i programmi a codice sorgente aperto abbiano un ruolo da giocare, e addirittura siano fondamentali per uno sviluppo sostenibile dell'intero settore, nonostante diversi strumenti *open-source* siano già utilizzati in architettura, la percezione di alcuni è che si tratti di progetti portati avanti da un numero ristretto di individui, che nonostante gli sforzi non raggiungeranno mai l'affidabilità propria di una grande azienda specializzata.

Un'opinione condivisa da Harry Ibbs, che forte della sua esperienza come capo del BIM e dell'*Information Technology* presso lo studio Zaha Hadid Architects, all'interno delle interviste legge i limiti delle iniziative *open-source* nella modesta dimensione di questi gruppi, caratteristica che li rende meno solidi, incapaci di fornire un supporto continuato, e garanzie che al contrario gli architetti ricevono dalle multinazionali a fronte del pagamento di licenze commerciali. L'intervistato cita ad esempio Autodesk Maya, strumento commerciale che comunque integra diverse librerie *open-source*, paragonandolo a Blender, una perfetta alternativa al programma sviluppato da Autodesk, in grado di svolgere tutte le funzioni proprie del concorrente commerciale, in certi casi addirittura più completo, ma che, nonostante ciò, è scarsamente usato dai progettisti architettonici contemporanei. Per adottare Blender, continua Ibbs, sarebbe necessario avere all'interno dello studio uno specialista in grado non soltanto di adoperare al meglio il programma, ma di modificarne almeno parzialmente la struttura e le funzionalità, in modo da supplire all'assistenza che la Autodesk fornisce per Maya a chiunque ne abbia comprato una licenza di utilizzo. Non avere questo tipo di supporto, né qualcuno con competenze specifiche all'interno dello studio rischia di mettere alle strette i progettisti, che sarebbero obbligati a costosi rallentamenti e abbandonati a se stessi.

Ciò è valido tanto per Blender, quanto per decine di altri strumenti *open-source*, che svolgono perfettamente funzioni proprie di pacchetti commerciali, ma non offrono supporto. In questo senso, dichiara l'intervistato, è necessario che chiunque voglia promuovere l'utilizzo di uno strumento a codice sorgente aperto si strutturi per garantire agli utenti un'assistenza affidabile, che potrebbe essere comunque fornita direttamente dalla comunità di sviluppatori, creando un vero e proprio ecosistema, rivolto tanto allo sviluppo di funzionalità, elemento già caratteristico della cultura *open-source*, quanto al supporto degli utenti, spesso sottovalutato, ma che sicuramente contribuirebbe ad avvicinare l'*open-source* al settore dell'architettura. Ibbs vede nel mercato un'ulteriore difficoltà legata alla diffusione di prodotti a codice sorgente aperto in architettura: se fino alla fine degli anni novanta le aziende specializzate nella produzione di strumenti digitali erano poche, oggi queste stesse società sono diventati veri e propri colossi, e sono state raggiunte da un numero indefinito di concorrenti, che in un modo o nell'altro propongono soluzioni informatiche all'interno di un mercato sempre più denso e stratificato. Se proporre un'applicazione in grado di risolvere un problema specifico è relativamente facile anche per un gruppo piccolo, per realizzare un programma come Autodesk Revit, che nell'arco di anni si è strutturato aggiungendo nuove funzioni specifiche per il progetto di architettura, sarebbe necessario un investimento di decine di milioni di euro: investimento a cui comunque sarebbe fondamentale affiancare ulteriori fondi da dedicare alla commercializzazione e alla sponsorizzazione dei prodotti. Cifre che saranno difficilmente alla portata di piccoli gruppi informali, che anche quando realizzano prodotti innovativi, vengono acquisiti da grandi aziende, alternativamente capaci di sviluppare funzioni analoghe così da integrarle all'interno di strumenti commerciali.

- Afsari, K., Eastman, C.M., Shelden, D.R., 2016. Cloud-based BIM data transmission: current status and challenges, in Salah, M., Abu Samra, S., Hosny, S. a cura di, *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, ISARC, Auburn, pp. 213-235.
- Aish, R., 1986. Building modelling: the key to integrated construction CAD, in Arnold, D. a cura di, *5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings*, CIBSE, Bath, pp. 356-383.
- Alatalo, T., 2011. An entity-component model for extensible virtual worlds, *IEEE Internet Computing*, vol. 15, n.5, pp.30-37.
- Amann, J., Borrmann, A., 2016. Embedding procedural knowledge into building information models: the IFC procedural language and its application for flexible transition curve representation, *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 30, n. 5, pp. 243-251.
- American Institute of Architects, 2013. "Guide, Instructions, and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents" visitato il 26 giugno 2020, <https://www.aiacontracts.org/resources/69541-guide-instructions-and-commentary-to-the-2013-aia-digital-practice-documents>.
- Asay, M. 2017. "Why Microsoft and Google are now leading the open source revolution" visitato il 16 luglio 2020 <https://www.techrepublic.com/article/why-microsoft-and-google-are-now-leading-the-open-source-revolution/>.
- Autodesk, 2020. "RealDWG Developer Center" visitato il 9 Luglio 2020 <https://www.autodesk.com/developer-network/platform-technologies/realdwg>.
- Baker, S., Fradkin, A., 2011. What drives job search? Evidence from Google search data, *Discussion Papers from Stanford Institute for Economic Policy Research*, vol. 10, n. 20, pp. 10-20.
- Barthes, R. 1957. *Mythologies*, Seuil, Paris.
- Bazjanac, V., Crawley, D.B., 1997. The implementation of industry foundation classes in simulation tools for the building industry, in Spittler J.D., Hensen, J.L.M. a cura di, *Building Simulation proceedings*, IBPSA, Prague, pp. 49-60.
- Bhom, 2020. "The Buildings and Habitats object Model" visitato il 14 luglio 2020 <https://bhom.xyz>.
- Bimobject, 2020. "Download free BIM objects" visitato il 24 giugno 2020 <https://www.bimobject.com/en/product>.
- Bolton, R.N., McColl-Kennedy, J.R., Cheung, L., Gallan, A., Orsingher, C., Witell, L., Zaki, M., 2018. Customer experience challenges: bringing together digital, physical and social realms, *Journal of Service Management*, vol. 29, n. 5, pp. 776, 808.
- Brauner, K., Bodnar, I., Fournier, E., Kelly, J.C., Kennicott, P., Liewald, M., Moore, D., Wellington, J., 1981. Digital Representation for Communication of Product Definition Data, Proposed American National Standards, Engineering Drawing and Related Documentation Practices, Approved ANSI Standards. ANSI.
- Burry, M., 2011. *Scripting cultures: Architectural design and programming*, John Wiley & Sons, London.
- Campbell, D.A., 2006. "Modeling Rules" visitato il 24 giugno 2020 www.architectureweek.com/2006/1011/tools_1-1.html.
- Castro, H., Putnik, G., Castro, A., Fontana, R.D.B., 2019. Open Design initiatives: an evaluation of CAD Open Source Software, *CIRP*, n. 84, pp.1116-1119.
- Catmull, E., Clark, J., 1978. Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes, *Computer-aided design*, vol. 10, n. 6, pp. 350-355.
- CDBB, 2020. "An Approach to Delivery a National Digital Twin for the United Kingdom" visitato il 26 giugno 2020 <https://www.cdbb.cam.ac.uk/news/approach-delivery-national-digital-twin-united-kingdom>.
- Ceccato, C., 2001. Integration: Master, Planner, Programmer, Builder, in Soddu, C. a cura di, *Proceedings of Generative Art conference*, Generative Art, Milano, pp. 142-154.
- Charef, R., Alaka, H., Emmitt, S., 2018. Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views, *Journal of Building Engineering*, n. 19, pp. 242-257.
- Chen, G., Xiong, Q., Morris, P.J., Paterson, E.G., Sergeev, A., Wang, Y., 2014. OpenFOAM for computational fluid dynamics, *Not. AMS*, vol. 61, n.4, pp.354-363.
- Chikofsky, E.J., Cross, J.H., 1990. Reverse engineering and design recovery: A taxonomy, *IEEE software*, vol. 7, n.1, pp.13-17.
- Christopoulou, E., Xinogalos, S., 2017. Overview and comparative analysis of game engines for desktop and mobile devices, *International Journal of Serious Games*, n. 4, pp. 127-135.
- Choi, H., Varian, H., 2012. Predicting the Present with Google Trends, *Economic Record*, n. 88, pp. 2-9.
- Clayton, M.J., 2015. *Modeling architectural meaning, Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*, John Wiley & Sons, London.
- Cousins, S., 2020. "Rhino plug-in to convert 3D models for Revit gains widespread use" visitato il 14 luglio 2020 <https://www.bimplus.co.uk/technology/rhino-plug-convert-3d-models-revit-gains-widespread/>.
- Cubukcuoglu, C., Ekici, B., Tasgetiren, M.F., Sariyildiz, S., 2019. OP-TIMUS: Self-Adaptive Differential Evolution with Ensemble of Mutation Strategies for Grasshopper Algorithmic Modeling, *Algorithms*, vol. 12, n. 7, pp. 141.
- De Boor, C., 1978. *A practical guide to splines*, Springer, New York.
- De Casteljau, P. 1963. *Courbes et Surfaces à Pôles*, *Technical Report*, Citröen, Paris.
- DeRose, T., Kass, M., Truong, T., 1998. Subdivision surfaces in character animation. in Cunningham, S., Bransford, W., Cohen, M. F. a cura di, *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, SIGGRAPH, New York, pp. 85-94.
- Demchak, G., Dzambazova, T., Krygiel, E., 2009. *Introducing Revit architecture 2009: BIM for beginners*, John Wiley and Sons, London.
- Dijkstra, E.W., 1960. Recursive programming, *Numerische Mathematik*. vol. 2, n.1, pp. 312-318.
- Doroudi, S., 2007. *On Leibniz and the I Ching*, California Institute of Technology, Pasadena.
- Eastman, C.M., 1975. The use of computers instead of drawings in building design, *AIA journal*, vol 63, n. 3, pp.46-60.
- Eastman, C.M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K., 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, John Wiley & Sons, London.
- Farin, G.E., Farin, G., 2002. *Curves and surfaces for CAGD: a practical guide*, Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Farin, G., Hoschek, J., Kim, M.S., a cura di, 2002. *Handbook of computer aided geometric design*, Elsevier, Amsterdam.
- Farsi, M., Daneshkhah, A., Hosseinian-Far, A., Jahankhani, H., 2020. *Digital Twin Technologies and Smart Cities*, Springer, Berlin.
- Food4Rhino, 2020. "List of Apps" visitato il 7 luglio 2020 <https://www.food4rhino.com/browse?>.
- Forbes, L.H., Ahmed, S.M., 2010. *Modern construction: lean project delivery and integrated practices*, CRC Press, Cleveland.
- Gallo, G., Pellitteri, G., 2018, Luigi Moretti, from History to Parametric Architecture, in Huang, W., Williams, M., Luo, D., Yi-Sin, W., Yuming, L. a cura di, *Learning, Prototyping, and Adapting, Short Paper Proceedings of the 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, CAADRIA, Beijing, pp. 209-214.
- Gamalielsson, J., Lundell, B., 2014. Sustainability of Open Source software communities beyond a fork: How and why has the LibreOffice project evolved?, *Journal of Systems and Software*, n. 89, pp. 128-145.

- Ginsberg, J., Mohebbi, M.H., Patel, R.S., Brammer, L., Smolinski, M.S., Brilliant, L., 2009. Detecting influenza epidemics using search engine query data. *Nature*, vol. 457, n.7232, pp. 100-112.
- Glaser, A., 1971. *History of binary and other nondecimal numeration*, Tomash publishers, State College.
- Google, 2017. "About Google." Visitato il 21 gennaio 2019 <https://about.google/intl/en-GB/>.
- Grigoli, F., Cesca, S., Priolo, E., Rinaldi, A.P., Clinton, J.F., Stabile, T.A., Dost, B., Fernandez, M.G., Wiemer, S., Dahm, T., 2017. Current challenges in monitoring, discrimination, and management of induced seismicity related to underground industrial activities: A European perspective, *Reviews of Geophysics*, vol. 55, n. 2, pp.310-340.
- Hardin, B., McCool, D., 2015. *BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows*, John Wiley & Sons, London.
- Heffan, I.V., 1997. Copyleft: licensing collaborative works in the digital age, *Stanford Law Review*, Stanford University, pp. 147-155.
- Hénin, S., 2007. Perché i calcolatori sono binari?, *Mondo Digitale*, n.2, pp.50-57.
- Henne, M., Hickel, H., 1996. The Making of Toy Story, *Compton*, IEEE, Santa Clara, pp. 463-468.
- Jacobsen, N.G., Fuhrman, D.R., Fredsøe, J., 2012. A wave generation toolbox for the open-source CFD library: OpenFoam®, *International Journal for numerical methods in fluids*, vol.70, n.9, pp.1063-1088.
- Jencks, C., 1973. *Modern movements in architecture vol. 5*, Editions Mardaga, Bruxelles.
- Jordahn, S., 2019. "Watch our talk on the digitalisation of architecture with Zaha Hadid Architects Grimshaw and Viewpoint" visitato il 20 luglio 2020 <https://www.dezeen.com/2019/04/25/knauf-digitalisation-architecture-talk-livestream/>.
- Kamardeen, I., 2010, September. 8D BIM modelling tool for accident prevention through design, in Egbu, C. a cura di, *26th annual Association of Researchers in Construction Management conference*, ARCOM, Leeds, pp. 281-289.
- Kensek, K., 2015. Visual programming for building information modeling: energy and shading analysis case studies. *Journal of Green Building*, vol. 10, n.4, pp. 28-43.
- Kotnik, T., 2010. Digital architectural design as exploration of computable functions, *International journal of architectural computing*, vol. 8, n. 1, pp. 1-16.
- Lee, Y.C., Eastman, C.M., Lee, J.K., 2015. Validations for ensuring the interoperability of data exchange of a building information model, *Automation in Construction*, n. 58, pp. 176-195.
- Liu, C.L. Lu, J.D., 2004. Analysis on AutoCAD DXF file format and the 2nd development graphics software programming, *Micro-computer Development*, vol. 9, pp.101-104.
- Logothetis, S., Valari, E., Karachaliou, E., Stylianidis, E., 2017. Spatial DMBS architecture for a free and open source, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, n. 42, pp. 72-88.
- López Pardo, F., Arruda, A.M., Escribano Cobo, G., Guerrero Ayuso, V.M., Medas, S., Mederos Martín, A., Ruiz Cabrero, L.A., Wagner, C.G., 2010. Il progetto HUM2006-05196:Nautica mediterranea e navigazioni oceaniche nell'antichità. Fondamenti interdisciplinari per lo studio (storici, archeologici, iconografici ed etnografici). Il problema del versante atlantico, *Navis. Archeologia, Storia, Etnologia Navale*, n. 4, pp. 305-310.
- Lunden, I., 2014. "Flux Emerges From Google X And Nabs \$8M To Help Build Eco-Friendly Buildings" visitato il 13 luglio 2020 <https://techcrunch.com/2014/05/06/flux-the-first-startup-to-spin-out-of-google-x-nabs-8m-for-its-eco-home-building-platform/>.
- Lynn, G., Kelly, T., 1999. *Animate form*, Princeton Architectural Press, Princeton.
- Mackey, C.C.W., 2015. *Pan climatic humans: shaping thermal habits in an unconditioned society*, tesi dottorale, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Makki, M., Showkatbakhsh, M., 2018. Control of Morphological Variation Through Population Based Fitness Criteria, in Fukuda, T., Weizin, H., Janssen, P., Crolla, K., Alhadidi, S. a cura di, *Proceedings of the 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, CAADRIA, Beijing, pp. 153-161.
- Meadati, P., Irizarry, J., 2010. BIM—a knowledge repository, in Sulbaran, T. a cura di, *Proceedings of the 46th Annual International Conference of the Associated Schools of Construction, ASC*, Boston, pp. 48-63.
- Menges, A., Ahlquist, S., 2011. *Computational design thinking: computation design thinking*, John Wiley & Sons, London.
- Miller, N., Stasiuk, D., 2017. A novel mesh-based workflow for complex geometry in BIM, in Nagakura, T., Tibbits, S., Mueller, C. a cura di, *Proceedings of the 37th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, ACADIA, Cambridge, pp. 157-177.
- Mings J., 2016. "Yes, Autodesk is Finally Ending T-Splines" visitato il 3 aprile 2019 <https://www.solidsmack.com/cad/yes-autodesk-finally-ending-t-splines/>.
- Mirtschin, J., 2011. Engaging generative BIM workflows, in Nethercot, D., Pellegrino, S. a cura di, *IABSE-IASS Symposium proceedings*, IABSE-IASS, London, pp. 107-120.
- Muller, M.F., Garbers, A., Esmanioto, F., Huber, N., Loures, E.R., Canciglieri, O., 2017. Data interoperability assessment through IFC for BIM in structural design—a five-year gap analysis, *Journal of Civil engineering and management*, vol. 23, n. 7, pp.943-954.
- Nießner, M., Loop, C., Meyer, M., Deroose, T., 2012. Feature-adaptive GPU rendering of Catmull-Clark subdivision surfaces, *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 31, n.1, pp. 16-37.
- Noura, M., Atiquzzaman, M., Gaedke, M., 2019. Interoperability in internet of things: Taxonomies and open challenges, *Mobile Networks and Applications*, vol. 24, n. 3, pp. 796-809.
- Nowacki, H. 2006. *Developments in Fluid Mechanics Theory and Ship Design before Trafalgar*, Max Planck Institute for the History of Science, Berlin, pp. 8-17.
- Open Design Alliance, 2020. ".dwg Toolset" visitato il 10 Luglio 2020 <https://www.opendesign.com/solutions#dwg-toolset>.
- Oxman, R., 2006. Theory and design in the first digital age, *Design studies*, n.27, pp. 229-265.
- Peters, B., 2018a. Designing Environments and Simulating Experience: Foster+ Partners Specialist Modelling Group, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley & Sons, London, pp.94-105.
- Peters, T., 2018e. New dialogues about energy, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley & Sons, London, pp. 14-19.
- Piascik, R., Vickers, J., Lowry, D., Scotti, S., Stewart, J., Calomino, A., 2010. *Technology area 12: Materials, structures, mechanical systems, and manufacturing road map*, NASA Office of Chief Technologist, Washington.
- Piker, D., 2013. Kangaroo: form finding with computational physics. *Architectural Design*, vol. 83, n. 2, pp.136-137.
- Piegl, L., Tiller W., 1995. *The NURBS Book. Monographs in Visual Communications*, Springer, Berlin.
- Poinet, P., Stefanescu, D., Papadonikolaki, E., 2020. May. SpeckleViz: A Web-based Interactive Activity Network Diagram for AEC, in Chronis, A., Wurzer, G., Lorenz, W. E., Herr, C. M., Pont, U., Cupkova, D., Wainer, G. a cura di, *SimAUD 2020: Proceedings of the 11th annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, SimAUD, pp. 419-420.
- Pratt, M.J., 2004. A new ISO 10303 (STEP) resource for modeling parameterization and constraints, *Journal of Computing and*

- Information Science in Engineering*, vol. 4, n. 4, pp. 339-351.
- Randell, B., 1982. *The Origins of Digital Computers*, Springer, Berlin.
- Ratti, C., Claudel M., 2015. *Open source architecture*, Thames & Hudson, London
- Raymond, E. S., 1997. *The cathedral and the bazaar*, O'Reilly Media, Sebastopol.
- Raymond, E. S., 1998. "Goodbye, free software; hello, open source" visitato il 16 luglio 2020 <http://www.catb.org/~esr/open-source.html>.
- Rech, J., 2007. Discovering trends in software engineering with google trends, *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, vol. 32, n. 2, pp. 120-134.
- Rhinoceros, 2020. "Rhino.Inside" visitato il 15 luglio 2020 <https://www.rhino3d.com/inside>.
- Rhinoceros, 2019. "open Nurbs initiative" visitato il 6 luglio 2020 <https://www.rhino3d.com/opennurbs>.
- Riccobono, A., 2014. *Architectural design in the Digital Era. Identifying computer influences and new expressive trends in current architecture*, tesi dottorale, Università degli studi di Palermo, Palermo.
- Roudsari, M.S., Pak, M., Smith, A., 2013. Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design, in Wurtz, E., Roux, J. J. a cura di, *Proceedings of the 13th international IBPSA conference*, Chambery, pp. 3128-3135.
- Schoenberg, I.J., 1946. Contributions to the problem of approximation of equidistant data by analytic functions. Part B. On the problem of osculatory interpolation. A second class of analytic approximation formulae, *Quarterly of Applied Mathematics*, vol. 4, n.2, pp. 112-141.
- Schumacher, P., 2011. *The Autopoiesis of Architecture, Volume I: A New Framework for Architecture*, John Wiley & Sons, London.
- Schumacher, P., 2015. Design Parameters to Parametric Design, in Kanaani, M., Kopec, D., a cura di, *The routledge companion for Architecture Design and Practice: Established and Emerging Trends*, Routledge, London, pp.3-20.
- Sederberg, T.W., Zheng, J., Bakenov, A., Nasri, A., 2003. T-splines and T-NURCCs, *ACM transactions on graphics (TOG)*, vol. 22, n. 3, pp.477-484.
- Senatore, G., Piker, D., 2015. Interactive real-time physics: an intuitive approach to form-finding and structural analysis for design and education, *Computer-Aided Design*, n. 61, pp.32-41.
- Seo, J.H., Lee, B.R., Kim, J.H., Kim, J.J., 2012. Collaborative process to facilitate BIM-based clash detection tasks for enhancing constructability, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, vol. 12, n. 3, pp. 299-314.
- Shalabi, F., Turkan, Y., 2017. IFC BIM-based facility management approach to optimize data collection for corrective maintenance, *Journal of performance of constructed facilities*, vol. 31, n.1, pp. 40-51.
- Sims, M., 2019. "R&D workflow with 3dexperience - Michael Sims, Zaha Hadid Architects" visitato il 29 giugno 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=SEpaX5sjwsU>.
- Stallman, R.M., 2002. *Free Society: Selected Essays of*, Gnu Press, Boston.
- Steel, J., Drogemuller, R., Toth, B., 2012. Model interoperability in building information modelling, *Software & Systems Modelling*, vol. 11, n. 1, pp. 99-109.
- Stefanescu, D., 2020. "Speckle 2.0: Vision & FAQ" visitato il 2 luglio 2020 <https://speckle.systems/blog/speckle2-vision-and-faq/>.
- Stiny, G., 1980. Introduction to shape and shape grammars, Environment and planning B, *Planning and design*, n.7, pp.343-351.
- Sullivan, D., 2016. "Google now handles at least 2 trillion searches per year." visitato il 21 gennaio 2019 <https://searchengineland.com/google-now-handles-2-999-trillion-searches-per-year-250247>.
- Sutherland, I., 1963. *Sketchpad, a man-machine graphical interface*, tesi dottorale, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Tang, M., 2014. *Parametric building design using Autodesk Maya*, Routledge, London.
- Tan, G., Zhu, X., Liu, X., 2017. A free shape 3d modeling system for creative design based on modified catmull-clark subdivision, *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, n.5, pp.6429-6446.
- Tedeschi, A., 2014. *AAD, Algorithms-aided design: parametric strategies using Grasshopper*, Le Pensur Publisher, Napoli.
- Tedeschi, A., 2018. "Oyster, first VR designed furniture with Mindesk" visitato il 18 giugno 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=kQYKZBwwEX4>.
- Tibuzzi, E., 2016. Interweaving Practice, in Kara, H., Bosia, D., a cura di, *Design Engineering Refocused*, John Wiley & Sons, London, pp. 214-233.
- Tommasi, C., Achille, C., 2017. Interoperability matter: Levels of data sharing, starting from a 3D information modelling, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42, pp. 323-346.
- Townsend, A., 2017. "On the Spline: A Brief History of the Computational Curve" visitato il 6 maggio 2019 <http://www.alatown.com/spline-historyarchitecture>.
- Ushakov, D., 2011. NURBS and CAD: 30 years together, *Isicad-From Russia with CAD*, n.82, pp. 16-23.
- Van Nederveen, G.A., Tolman, F.P., 1992. Modelling multiple views on buildings, *Automation in Construction*, vol. 1, pp.115-124.
- Versprille, K.J., 1975. *Computer-aided design applications of the rational B-spline approximation form*, tesi dottorale, University of Syracuse, Syracuse.
- Wang, J., Wang, X., Shou, W., Chong, H.Y., Guo, J., 2016. Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability, *Automation in Construction*, n. 61, pp.134-146.
- Welbourn, D.B., 1983. *The design of mechanical components and the development of DUCT: 17 years of CAD/CAM*, Universität Erlangen-Nürnberg. Institut für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung. Erlangen.
- Weinstock, M., 2010. *The architecture of emergence - the evolution of form in nature and civilization*, Wiley & Sons, London.
- Wirz, F., 2008. *Composizione architettonica e rappresentazione digitale*, Tesi dottorale, Università degli studi di Napoli Federico II, Napoli.





5. I METODI DI MACHINE LEARNING E L'ARCHITETTURA

- 5.1 IL MACHINE LEARNING**
- 5.2 IL RAPPORTO TRA MACHINE LEARNING E ARCHITETTURA**
- 5.3 LA RICERCA SUL PROGETTO DI ARCHITETTURA E QUESTIONI APERTE**

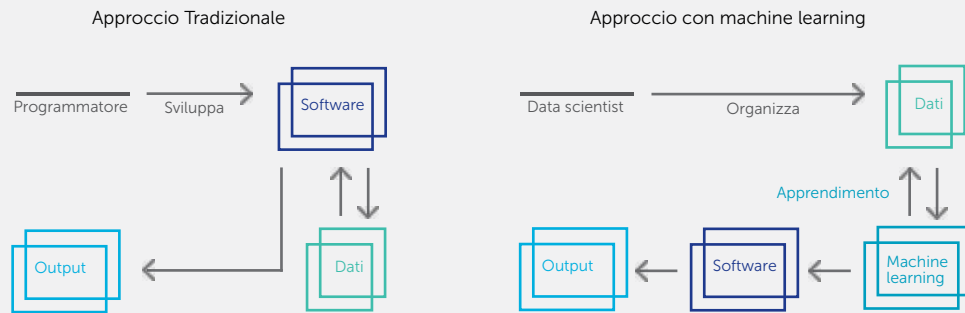
Figura 5.1: Lee Sedol, il 18 volte campione del mondo di Go, battuto dal software AlphaGo, sviluppato da Google DeepMind. (foto Lee Jinman)

5. I METODI DI MACHINE LEARNING E L'ARCHITETTURA

5.1 IL MACHINE LEARNING

La trasformazione digitale che nell'arco di trent'anni ha investito a diverse velocità la nostra società, e la diffusione di infrastrutture informatiche che con sempre maggiore frequenza valutano quantitativamente le nostre esistenze e gli spazi che abitiamo, hanno portato alla ribalta un tema, quello dei dati, estesosi sino a trovare ulteriore spazio nella nostra disciplina, ma che ha già pervaso ogni ambito del sapere e influenza la nostra vita all'interno della società. Un fenomeno che abbiamo toccato con mano durante il periodo di quarantena che diversi governi in tutto il mondo hanno imposto ai cittadini come unica soluzione per contrastare la diffusione del covid-19: il blocco totale degli spostamenti decretato per salvaguardare vite umane e sistemi sanitari al limite del tracollo, che ci ha relegato nelle nostre abitazioni, impegnandoci nell'interpretazione di concetti come la curva del contagio, rappresentazione di difficile comprensione per chiunque non abbia competenze di medicina e statistica (Dong et al., 2020). A prescindere da eventi estremi, cigni neri (Taleb, 2007) che generano crisi inaspettate e impongono l'adozione di nuove soluzioni, quello che viviamo è un periodo caratterizzato dai dati, informazioni che vengono raccolte costantemente da governi, ricercatori e aziende, a partire dalla finanza fino al commercio, dalla mobilità sino alla produzione industriale. Ciò è maggiormente vero per diversi ambiti della scienze, dall'astronomia alla medicina, ma è incredibilmente radicato nella nostra quotidianità, ogni nostra azione può essere infatti rappresentata nella forma di dati, dal numero di passi che percorriamo ogni giorno, sino ai nostri acquisti on line, le geo-localizzazioni dei nostri post sui *social network*: informazioni che contribuiscono a generare un gemello digitale che ci rappresenta singolarmente e collettivamente. Se fino a circa venti anni fa la raccolta di dati era considerata una possibilità per aziende e organizzazioni, oggi è diventata un obbligo imposto dal mercato globale, che spinge verso una maggiore efficienza nella gestione dei processi. Guardiamo ad esempio il commercio al dettaglio, ambito dove le grandi aziende hanno da sempre raccolto dati, e lo fanno tuttora, in una mole che con la maturità del digitale si è estesa oltre ogni aspettativa, popolando *database* che rappresentano ogni prodotto disponibile all'acquisto, che registrano ogni singola transazione, traslando le nostre abitudini di acquisto in informazioni dettagliate aggiornate in tempo reale: risorse diventate strategiche per le aziende. Il cambiamento, apparentemente invisibile, è al contrario radicale: se inizialmente ci si chiedeva cosa fare con tutti questi dati, e il dato rivestiva un ruolo passivo, veicolato

Figura 5.1.1: La differenza tra un approccio di programmazione tradizionale, e il processo seguito con i metodi di machine learning.



tramite processi informatici definiti dagli sviluppatori, oggi al contrario i dati hanno iniziato a rivestire un ruolo attivo, non è più il programmatore a decidere come gestire i dati, ma sono questi ultimi a orientarne le scelte. Tornando all'esempio del commercio al dettaglio, uno dei sogni dei commercianti è sempre stato quello di conoscere in anticipo i desideri dei consumatori: la probabilità che un prodotto venga acquistato da un determinato acquirente dipende da un numero infinito di variabili, e conoscerla con precisione permetterebbe non solo di aumentare i profitti, ma addirittura di minimizzare il rischio d'impresa. Una eventualità tuttora remota: nessuno è in grado di prevedere esattamente quanto gelato comprerà un avventore. È anche vero però, che la vendita di gelati è più frequente in estate e diminuisce nelle stagioni fredde, una considerazione banale, che dimostra come il nostro comportamento da consumatori non sia assolutamente casuale, ma sempre motivato, e si svolga secondo dei *pattern* comportamentali. Raccogliere dati consente le aziende di svelare questi *pattern*, e assumendo che il comportamento dei consumatori ne seguirà lo schema, permette di fare previsioni sull'immediato futuro. Quella ricavata a partire dai dati non è quindi un'esatta identificazione del processo, semmai un'approssimazione statistica dei comportamenti: un modello che non spiega le motivazioni d'acquisto, ma è utile per fare delle previsioni. Questa pratica, sempre più frequentemente adottata da grandi gruppi e ricercatori, si è strutturata in una vera e propria disciplina, quella del *data mining*, istituitasi tra informatica e statistica, e che analogamente all'estrazione di metalli preziosi in una massa indefinita di materiale indifferenziato, processa grandi moli di dati grezzi, anche non strutturati, ricavandone *pattern* e correlazioni (Alpaydin, 2016).

La diffusione delle pratiche di *data mining* ha trovato nuovi sviluppi grazie all'avvento delle GPU, *Graphical Processing Units*, processori nati per l'utilizzo all'interno delle schede video, che consentono una efficiente parallelizzazione dei calcoli, distribuendoli su una serie di processori, e garantendo una diversa velocità nell'elaborazione di grandi moli di dati (Bini, 2018). Nuove possibilità informatiche che hanno innescato un rinnovato interesse per i metodi di intelligenza artificiale, tecniche già conosciute, come molte afferenti al *machine learning*, figura 5.1.1, ma anche inedite, come nel caso del *deep learning*: una serie di metodi computazionali ispirati alla struttura topologica delle reti neuronali del cervello umano, che sono diventati onnipresenti nel dibattito scientifico e nella comunicazione commerciale e non sarebbero possibili senza la parallelizzazione del codice. La principale differenza fra questi metodi e i precedenti paradigmi di progettazione informatica risiede nella

capacità dall'algoritmo di apprendere e quindi modificarsi a partire dai dati che ha a disposizione: se tradizionalmente un algoritmo è ordinato secondo un processo rigoroso, sommatoria di un numero di istruzioni e strutture logiche che procedono da un *input* fino ad un *output*, con il *machine learning* si parte dai dati e dal risultato desiderato per definire l'algoritmo che li collega. Questi algoritmi di apprendimento, rinominati *learner*, sono programmi che creano altri programmi: non è quindi più necessario per un programmatore comprendere la complessità di un problema, dividerlo in una moltitudine di sotto problemi e strutturare una logica rigorosa che ne permetta l'esatta risoluzione, è sufficiente lasciare al *learner* la facoltà di strutturare autonomamente gli algoritmi a partire dai dati che ha acquisito. Un sistema tanto rivoluzionario quanto inquietante, che ci pone di fronte a problemi etici in termini di responsabilità, affidabilità e controllo: se le macchine sono in grado di programmarsi da sole, scegliendo in autonomia i loro comportamenti, come faremo ad essere sicuri che gli effetti delle loro scelte applicate alla nostra esistenza non trasformino l'utopia tecnica in distopia? Una domanda senza risposta, che non ha però impedito l'applicazione di queste tecniche a problemi che gli informatici non erano mai stati in grado di affrontare tramite altre tipologie di algoritmi. Guidare un'automobile o decifrare un testo scritto a mano sono attività che umanamente siamo in grado di svolgere senza problemi, ma si tratta di capacità subcoscienti: processi che tuttora non siamo in grado di descrivere secondo le logiche algoritmiche necessarie alla macchina per operare, ma che un *learner* può apprendere grazie ad un numero sufficiente ampio di esempi. In questo modo la probabilità di risolvere un problema tramite un algoritmo informatico diventa direttamente proporzionale al numero di dati che siamo in grado di raccogliere, eliminando di fatto la necessità per i programmatori di riconoscere, affrontare e risolvere la complessità, che si riduce in maniera drastica, e può essere gestita attraverso un *learner* di poche centinaia di righe di codice, lanciato su un'adeguata infrastruttura informatica.

La nuova capacità di gestione della complessità ha favorito la propagazione di questi metodi in ogni settore, a partire dai servizi digitali. Quando interroghiamo Google alla ricerca di una qualsiasi informazione, o indicazione utile a navigare nella quantità sconvolgente di scelte possibili sul web, ci stiamo affidando al *machine learning*, che costruisce istantaneamente i risultati del motore di ricerca sulla base di centinaia di fattori diversi, a partire dall'affidabilità di un contenuto, sino ai nostri interessi personali, la nostra posizione geografica, e tanto altro ancora. Un'operazione che assimila la complessità del web, la digerisce e ce la restituisce in un'ordine che nessun essere umano sarebbe in grado di organizzare, né descrivere nel processo algoritmico necessario a generarlo. In maniera analoga, quando navighiamo su un *social network* come Facebook, i post che visualizziamo vengono selezionati e organizzati da un algoritmo di *machine learning*, così come quando Amazon ci suggerisce un acquisto, o Netflix ci consiglia il prossimo film da vedere. Per qualsiasi di queste aziende, il modo migliore per conquistare fette sempre più ampie di mercato è possedere gli algoritmi migliori e la maggior quantità di dati. In questo senso, il *machine learning* rappresenta un importante avvicinamento verso gli scenari previsti da Galimberti (2009), che ci ha già avvertito della possibilità che la tecnica diventi tanto dominante nelle nostre vite,

fino a superare persino l'economia che attualmente ne vincola gli sviluppi. L'ampia adozione di queste tecniche ha già portato governi e istituzioni internazionali a confrontarsi con il tema in modo anche discordante. Nel 2019 l'Unione Europea ha istituito la *High-Level Expert Group on Artificial Intelligence*, una *task force* finalizzata alla creazione di regole per promuovere lo sviluppo di intelligenze artificiali antropocentriche, sicure e benefiche (Negri della Torre, 2019). Al contrario, il governo cinese si è mosso con maggiore disinvoltura, promuovendo l'utilizzo di intelligenze artificiali per velocizzare le attività giudiziarie secondo un sistema che, forte di una importante digitalizzazione dello storico di processi e sentenze, permetterà alle intelligenze artificiali di leggere i materiali di un caso specifico, estrarre gli aspetti principali così da generare giudizi espressi sulla base di precedenti (Yu e Du, 2019).

Ad oggi, le intelligenze artificiali si sono rivelate efficaci in numerosi campi, dal riconoscimento dei tumori della pelle, alla traduzione di testi o al riconoscimento facciale, riuscendo persino a battere i campioni umani in giochi complessi come Go (Silver et al., 2017). Le reazioni nei confronti dell'avvento di queste tecnologie sono state tanto positive quanto negative, se da un lato alcuni hanno letto il loro enorme potenziale e hanno mostrato fiducia nella loro ampia adozione, altri come il celebre fisico Stephen Hawking (Cellan-Jones, 2014) ci hanno avvertito che l'intelligenza artificiale potrebbe persino decretare la fine della razza umana. Chiunque, forte di una conoscenza di un linguaggio di programmazione, voglia avvicinarsi a questi innovativi strumenti, può oggi sfruttare una vasta collezione di librerie informatiche che permettono di strutturare una rete neurale a partire da diverse tipologie di dati. Come vedremo, il mondo dell'architettura non è rimasto estraneo a questo fenomeno: molti ricercatori stanno lavorando ad applicazioni di metodi di intelligenza artificiale per la progettazione architettonica, sviluppati con l'intenzione di velocizzare i processi o addirittura definire le forme dei manufatti architettonici. Se da un lato queste tecniche promettono grandi risultati, dall'altro quella che stiamo vivendo è ancora una fase fortemente esplorativa. Date le finalità di questa tesi, la lontananza e la complessità degli argomenti rispetto alla nostra disciplina, e il rumore mediatico che inquina la nostra percezione è quindi necessario puntualizzare il significato di locuzioni come intelligenza artificiale, *machine learning* e *deep learning*, figura 5.2.1.

Se già nel 1950 Alan Turing, celebre matematico informatico inglese, si interrogava sulla possibilità per una macchina di imitare l'intelligenza umana, dobbiamo la locuzione intelligenza artificiale con il significato che le attribuiamo oggi a John Mc Carthy, informatico e ricercatore di scienze cognitive che nel 1955 conia l'espressione per descrivere un campo di ricerca finalizzato a "esplorare modi per creare una macchina che possa ragionare come un essere umano, capace di pensiero astratto, risoluzione di problemi e auto-miglioramento" (Mc Carthy et al., 2006). In oltre 60 anni dalla sua nascita, la branca dell'intelligenza artificiale si arricchita di sotto campi e metodi che variano dai più semplici *ruled-based systems*, sistemi basati su regole, all'apprendimento automatico, ma anche metodi per l'elaborazione del linguaggio naturale, sistemi di riconoscimento del parlato, riconoscimento delle immagini e molto altro ancora, figura 5.1.3.

Nonostante l'interesse nei confronti del *machine learning* nell'arco della sua evoluzione sia stato discontinuo, e questi metodi siano tornati alla ribalta nell'ultimo decennio, la storia che ne descrive l'evoluzione è ricca e articolata. Oggi possibile differenziare i diversi algoritmi di machine learning in centinaia se non migliaia di metodi e approcci diversi, che nell'arco del tempo si sono dimostrati particolarmente efficaci nella risoluzione di determinati problemi e meno in altri. Pedro Domingos (2015), un importante ricercatore e docente, distingue gli approcci principali in cinque grandi famiglie, le cinque tribù del *machine learning*: simbolisti, connessionisti, evolucionisti, bayesiani e analogisti. Ogni tribù ha le sue credenze fondamentali, alcuni problemi a cui tiene particolarmente e che ha affrontato partendo da discipline diverse, e possiede una diversa visione delle possibilità e dei vincoli propri del *machine learning*.

Per i simbolisti il processo di apprendimento può essere ridotto integralmente alla manipolazione di simboli, così come i matematici risolvono sistemi di equazioni sostituendo i valori secondo processi logici. Allo stesso modo, raccogliendo dati a partire da una serie di osservazioni è possibile strutturare delle regole utili a sintetizzare i fenomeni: un processo di tipo induttivo. Se nel caso della deduzione si fanno derivare delle conclusioni a partire da delle premesse generiche o principi, e si va quindi dal generale verso il particolare, nel caso dell'induzione si parte dai fenomeni, che nel caso degli algoritmi di *machine learning* sono esempi, per costruire delle regole, utili a descrivere nel modo più generale possibile la collezione di dati analizzati, si procede quindi dal particolare verso il generale. L'induzione è una caratteristica del metodo scientifico, che i simbolisti traslano facilmente in informatica, trasformandola in una strategia che permette alla macchina di apprendere a partire dai dati. Una logica che già Newton (1687) descriverà all'interno dei *Principia*, dove oltre alle leggi del moto esprimerà le quattro regole del metodo induttivo. La terza in particolare, dichiara come, data l'omogeneità della natura, si può affermare che se una regola è valida per tutto quello che osserviamo, vale in tutto l'universo: un principio che rappresenta la chiave di volta del *machine learning* simbolista. L'induzione consente la formulazione di regole applicabili all'intero dominio dei nostri dati, valide sino a quando non avremmo trovato dati che le contraddicono: un processo logico apparentemente elementare, che nel caso del *machine learning* si sviluppa secondo un criterio associativo, ovvero secondo quelli che informatici e psicologi chiamano concetti congiuntivi. Ad esempio, per far sì che una macchina impari a distinguere un gatto in un'immagine, utilizzeremo una collezione di immagini di gatti e di cani, etichetteremo le immagini di gatti come esempi positivi, quelle di cani come esempi negativi. A partire da questi dati la macchina inizierà a costruire delle assunzioni restrittive, ad esempio: i gatti hanno le orecchie a punta. Un concetto valido finché l'algoritmo non incontrerà tra gli esempi negativi dei cani con le orecchie a punta, eventualità che lo costringerà a rivedere la sua assunzione attenuandola progressivamente, spostandosi dai singoli fattori, verso le combinazioni di fattori diversi: le orecchie a punta insieme alla proporzione degli occhi e così via, sino a quando non sarà in grado di descrivere un concetto valido per la totalità dei dati. I concetti congiuntivi rappresentano solo un primo passo verso la definizione di un algoritmo in grado di apprendere, questo perché, se è vero che i concetti congiuntivi sono in grado di affrontare determinati

Figura 5.1.2: La relazione tra Intelligenza artificiale, machine learning, deep learning e diverse tipologie di metodi di apprendimento.

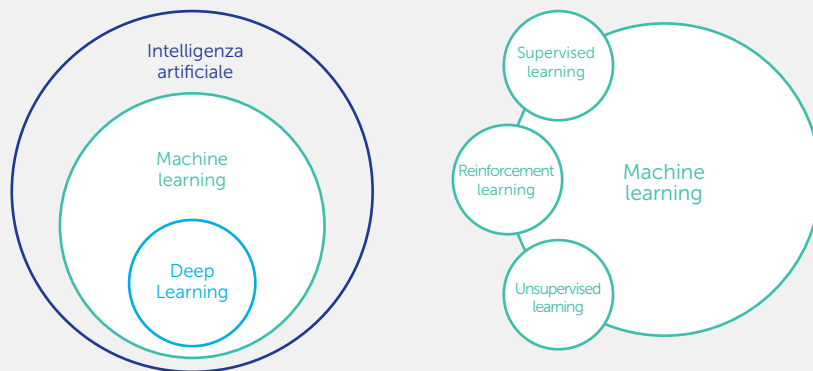
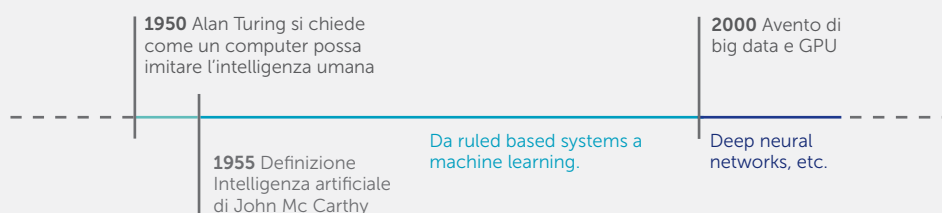


Figura 5.1.3: L'evoluzione dei metodi di intelligenza artificiale dagli anni 50 ad oggi.



problemi, la realtà è molto più spesso descrivibile attraverso concetti disgiuntivi: l'affermazione "gli uccelli volano", è corretta, a meno che non si parli di struzzi, di pinguini o di kiwi, ma anche di alcuni volatili nati in cattività o addirittura di esemplari con un'ala rotta. L'unione di concetti congiuntivi e disgiuntivi viene quindi raggiunta con i ruled based systems, i sistemi basati su regole (Carbonell et al., 1983), il principale metodo di machine learning simbolista, ideato nel secondo dopoguerra dall'informatico polacco Ryszard Michalski. Gli insiemi di regole sono estremamente più potenti dei semplici concetti congiuntivi, perché possiamo utilizzarli per descrivere qualsiasi concetto, ma non sono esenti da uno dei problemi più comuni del *machine learning*: l'*overfitting*, un sovradattamento, che si verifica quando un learner trova all'interno dei dati una regolarità che non ha effettivo riscontro nella realtà. Un problema spesso causato dalla qualità dei dati, che possono nascondere informazioni erronee, a partire dalle quali l'algoritmo costruirà delle regole apparentemente utili alla classificazione degli esempi, ma che sono in realtà fuorvianti. Tornando al caso dei gatti, potremmo aver fornito all'algoritmo come esempi positivi delle immagini più chiare di quelle dei cani, fattore che determinerà una regola errata, e renderà inservibile il *learner*. Per superare questo problema gli esperti sono soliti muoversi in due direzioni, innanzitutto raccogliendo un ampio *dataset* composto da migliaia se non milioni di esempi, e controllando il numero di regole che definiscono il modello, privilegiando quelle più semplici ed evitando che descrivano perfettamente i dati disponibili, limitandosi a percentuali che possono anche essere del 75% del totale. Una volta addestrato il *learner* è quindi importante verificarne l'efficacia nella classificazione di nuovi dati, un processo che permette di giudicare la validità delle regole scoperte dall'algoritmo e i suoi risultati secondo i valori di *bias* e varianza, il primo indica la distanza tra la soluzione identificata e quella effettiva, il secondo il livello di irregolarità. Se ad esempio il nostro algoritmo dovrebbe trovare una soluzione numerica sempre pari a 5, e al contrario, restituisce per diversi esempi il valore 10, ha un *bias* di 5 unità

e una varianza bassa, se al contrario restituisce valori che variano dal 3 al 7, c'è una varianza più alta e un *bias* di 2 unità.

Nell'arco di anni dal loro avvento i metodi basati su regole hanno trovato applicazione in numerosi campi, a partire dalla biologia sino alla diagnosi del cancro (Nguyen, 2010), eppure il costo computazionale di questi approcci è tuttora elevato, e ne rende problematica l'applicazione a moli di dati molto ampi. Un problema che i simbolisti hanno affrontato sviluppando il metodo degli alberi di decisione, *decision tree*, utili a descrivere in un'unica struttura regole che corrispondono a più concetti. Questi algoritmi, permettono infatti di strutturare un albero logico che si arricchisce di nuovi rami sino ad includere tutti gli esempi del *dataset* e assimilare le diverse regole in un unico albero, dove ogni esempio è una foglia e il ramo comune a più foglie rappresenta una classe. Ad esempio, Domingos cita un sistema quattro regole:

- Se siete a favore dei tagli alle tasse e contro l'aborto siete repubblicani.
- Se siete contro i tagli alle tasse siete democratici.
- Se siete per i tagli alle tasse a favore dell'aborto e contro il controllo sulle armi siete indipendenti.
- Se siete per i tagli alle tasse, a favore dell'aborto e per il controllo sulle armi siete democratici.

Regole che possiamo descrivere in un albero decisionale che le sintetizza in un'unica struttura e permette una più facile gestione da parte della macchina, figura 5.1.4.

Oggi gli alberi di decisione vengono utilizzati nei campi più disparati, dalla sicurezza delle reti informatiche (Sinclair et al., 1999) alla sanità. Il celebre sistema Kinect di Microsoft, figura 5.1.5, utilizza gli alberi di decisione per analizzare le immagini acquisite tramite una telecamera e dei sensori di profondità per comprendere l'esatta posizione delle parti del corpo e permettere agli utenti il controllo della *console* Xbox tramite movimenti (Patsadu et al., 2016).

La tribù dei connessionisti è sicuramente una tra le più quotate dell'ultimo decennio, se come per gli evolucionisti, che vedremo in seguito, il loro approccio si basa sull'imitazione della natura, ciò che interessa davvero ai connessionisti è il nostro cervello, che le macchine possono imitare per diventare capaci di apprendere. Lo studio del cervello umano è una pratica relativamente recente, ma nonostante gli studiosi non siano ancora in grado di comprenderne appieno il funzionamento, siamo in grado di schematizzarne alcuni punti salienti, in particolare la struttura topologica che collega i neuroni, e il loro comportamento in fase di apprendimento. Dobbiamo la nascita del connessionismo a Donald Hebb (1949), uno psicologo famoso per la teoria dell'apprendimento Hebbiano, che descrive l'interconnessione tra neuroni e la loro interazioni attraverso le sinapsi, attività che permette un apprendimento di tipo associativo. Quando un agglomerato di neuroni si eccita contemporaneamente forma quelli che Hebb chiama raggruppamenti cellulari, gruppi di neuroni che insieme rappresentano pensieri e memorie all'interno del nostro cervello. Analogamente a quanto accade all'interno del nostro cervello, i connessionisti del *machine learning*

Figura 5.1.4: L'albero decisionale ricostruito dal sistema di regole proposto come esempio da Domingos. (2015, 114)

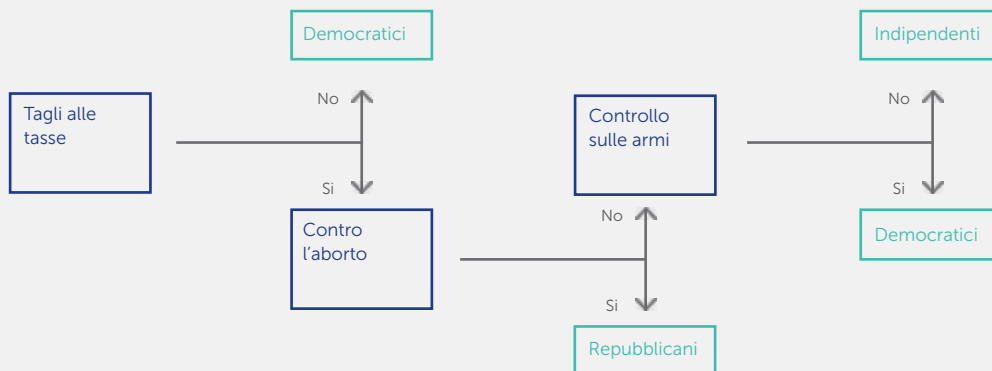
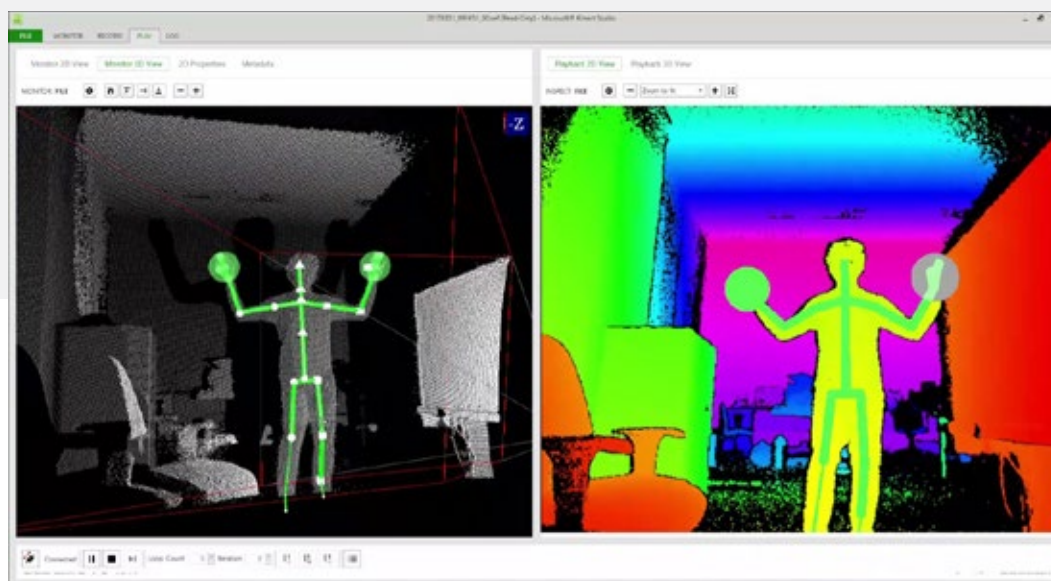


Figura 5.1.5: Le immagini analizzate dal sistema Microsoft Kinect tramite alberi di decisione. (Immagine Microsoft)



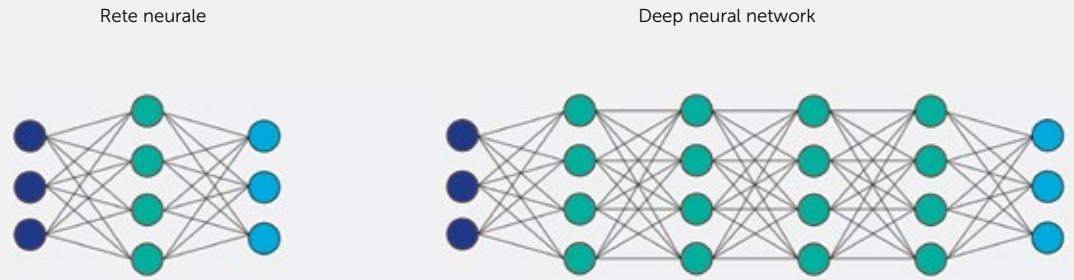
hanno sviluppato dei metodi che distribuiscono i dati processati dall'algoritmo secondo un insieme di neuroni, gruppi che rappresentano determinate istanze, e che possono comunque sovrapporsi tra loro nel collaborare alla rappresentazione di altri oggetti. Una differenza sostanziale rispetto alla visione simbolista, che prescrive una esatta corrispondenza biunivoca tra simboli e concetti che li rappresentano: se in un sistema simbolista il concetto di gamba sarà associato ad un unico simbolo, in un algoritmo connessionista sarà l'unione di simboli diversi, come quella di ginocchio o piede, che a sua volta includerà quelli di dita e tallone. Un'ulteriore differenza tra i due approcci è data dal processo di apprendimento, se con i simbolisti questo sarà sempre sequenziale, più vicino al funzionamento di un calcolatore tradizionale, nel caso del machine learning connessionista sarà un processo parallelo, partecipato da tutti i neuroni appartenenti al sistema, che apprendono simultaneamente, così come avviene all'interno del cervello. Se i computer nell'arco della loro evoluzione hanno raggiunto un numero di transistor vicino a quello dei neuroni nel cervello umano, ciò non è ancora vero per il numero di connessioni, che nel cervello sono garantite da assoni, conduttori di impulsi elettrici che li collegano anche in parti diametralmente opposte della testa e li fanno accendere e spegnere a seconda delle diverse attività che vogliamo compiere. Oggi abbiamo maggiori informazioni su come funziona l'apprendimento da parte dei neuroni, sappiamo come misurare

la forza delle sinapsi, e che la diversa concentrazione di ioni all'esterno e all'interno delle membrane cellulari genera una differenza di potenziale, differenza che se il numero di neuroni presinaptici contemporaneamente attivati è sufficientemente ampio può provocare la comparsa di nuovi canali: ulteriori collegamenti tra concetti all'interno del nostro cervello. Il primo modello informatico del neurone è quello inventato da McCulloch e Pitts (1943), che crearono un sistema analogo a quello del cervello, capace di svolgere attività computazionali di un comune computer: un importante passo per i neuroni informatici, che tuttavia non erano ancora in grado di apprendere. Perché i sistemi basati su neuroni possano apprendere dobbiamo attendere la fine degli anni cinquanta, quando lo psicologo Frank Rosenblatt (1958) inventerà i perceptron: neuroni elettronici che consentono di associare pesi variabili alle loro connessioni. In un perceptrone i pesi possono essere sia negativi che positivi, nel primo caso rappresenteranno connessioni di tipo inibitorio, nel secondo di tipo eccitatorio: l'*output* del perceptrone di Rosenblatt vale uno quando la somma dei suoi input supera la soglia stabilita, e zero in caso contrario. Un'innovazione che permise al perceptrone di apprendere e riconoscere lettere stampate e svolgere adeguatamente un certo numero di funzioni. Tuttavia, il sistema mostrò dei limiti nell'apprendimento di funzioni complesse e sistemi non rappresentabili tramite schemi lineari, limiti dovuti all'incapacità del perceptrone di descrivere l'apprendimento di più neuroni contemporaneamente. Un problema rimasto irrisolto per oltre un decennio, sino a quando il fisico John Hopfield (1982) non inventò la prima rete neurale associativa, composta da perceptron che analogamente al comportamento di un particolare tipo di magnete, il vetro di spin, si evolve a partire da un bacino di attrazione composto da un intorno di neuroni limitrofi. Da allora l'apprendimento neuronale sintetico si arricchì di nuove caratteristiche che lo hanno avvicinato sempre di più all'analogo biologico, a partire dalle macchine di Boltzmann, inventate da David Ackley, Geoff Hinton e Terry Sejnowski (1985): sistemi che introducono il comportamento probabilistico dei neuroni, e sono composte sia da neuroni sensoriali che da neuroni nascosti, analoghi rispettivamente alla retina e al cervello. Un modello che consente alla rete di apprendere alternando stati di veglia e di sonno, e segna un importante evoluzione verso le *deep neural networks*.

Fino a quel momento l'algoritmo del perceptrone si basava comunque su un sistema di *feedback* binario, secondo una funzione a scalino, che definiva l'*output* del neurone esclusivamente come giusto o sbagliato, senza restituire informazioni sul livello di discordanza tra la risposta effettiva e quella desiderata, limite superato grazie la sostituzione della funzione a scalino con quella di una curva ad S, utile a rappresentare l'errore secondo valori compresi tra zero e uno. Un cambiamento tanto semplice quanto rivoluzionario, che introduce nuove possibilità di comunicazione tra neuroni: ogni volta che i neuroni sensoriali vedono una nuova immagine, il segnale si propaga all'interno della rete e produce un *output*, il confronto tra questo e la risposta desiderata genera un segnale di errore, descritto adesso secondo un quoziente. L'errore si propaga all'indietro uno strato dopo l'altro, attraverso i diversi livelli della rete, portando una ricalibrazione dei pesi di ogni neurone. Questo algoritmo, conosciuto con il nome di *backpropagation*, retropropagazione e inventato da

Figura 5.1.6: La differenza tra rete neurale semplice e deep neural networks.

- Leggenda:
- Layer di input
 - Layer di output
 - Layer nascosti



David Rumelhart insieme al già citato Geoff Hinton e a Ronald Williams (1984), consente un continuo miglioramento della performance della rete sulla base degli esempi, riducendo la differenza tra output effettivo e risultati desiderati, e si basa su una strategia nota come ascesa, o discesa, del gradiente. Così come muoversi su di un piano inclinato per raggiungerne la sommità nel modo più veloce possibile prevede l'identificazione di una retta di massima pendenza, allo stesso modo il sistema di neuroni può aggiornarsi misurando ad ogni passo quanto si è avvicinato o allontanato dal valore desiderato. La retropropagazione, rende inoltre finalmente capaci le reti neurali di gestire la non linearità dei fenomeni, estendendone con successo l'applicazione ad ambiti come la previsione dell'andamento dei mercati azionari e la biologia molecolare. Dall'invenzione della retropropagazione ad oggi le reti neurali si sono dovute confrontare con difficoltà riscontrate nell'apprendimento al crescere degli strati di neuroni, un problema che è stato risolto grazie ai progressi nelle capacità di calcolo parallelo e all'introduzione dell'*autoencoder*. Questo è un particolare tipo di perceptrone multistrato, che di base restituisce un output identico all'input, un'operazione apparentemente inutile, che in realtà obbliga la rete ad una compressione dell'informazione attraverso uno strato nascosto più piccolo, ciò fa sì che la rete codifichi i dati in un numero di bit, interpretandolo secondo logiche che riconosce autonomamente. L'utilizzo degli *autoencoder* porterà quindi alla nascita delle *deep neural networks*, figura 5.1.6, reti neurali composte da diversi livelli di neuroni tradizionali e *autoencoder*, che assimilano i dati imparando a codificare caratteristiche diverse, sino a sintetizzarle autonomamente in regole che permettono alla rete di apprendere concetti impossibili da rappresentare nella forma di un algoritmo. Negli ultimi anni il deep learning si è articolato ulteriormente in implementazioni come le reti neurali convoluzionali e le generative adversarial networks (Goodfellow et al., 2014), che sono state applicate con successo ad innumerevoli settori, permettendo la guida autonoma di automobili (Ramos et al., 2017), la traduzione di testi o il riconoscimento facciale, raggiungendo nello svolgere determinati compiti un'efficacia paragonabile a quella umana e una velocità incredibilmente superiore.

Il gruppo degli evolvuzionisti, così come quello dei connessionisti si rifà alla natura per sviluppare algoritmi di apprendimento, e in particolare alla selezione naturale di Darwin, che descrive la competizione tra individui di una popolazione all'interno di un ambiente naturale. Con il processo di selezione naturale gli individui più deboli

vengono eliminati, e soltanto quelli più adatti all'ambiente sono in grado di procreare e trasmettere i loro geni alla prole, che nell'arco di generazioni si evolveranno adattandosi sempre più all'ambiente che li ospita. Il capostipite degli evoluzionisti è John Henry Holland, psicologo e informatico statunitense, che sviluppando le tesi di Ronald Fisher (1930) sviluppò una teoria matematica che non considera i geni come indipendenti, ma capaci di interazione, descrivendo l'evoluzione come un processo di adattamento alla funzione di fitness, che misura il livello di adeguatezza degli individui all'ambiente, e di conseguenza la probabilità che gli individui si riproducano.

A partire da queste considerazioni Holland sviluppa quelli poi battezzati come algoritmi genetici, metodi che dato un programma candidato e l'obiettivo che si prefigge, definisce numericamente sua capacità di raggiungere lo scopo secondo la funzione di fitness. Così come in natura tutto è frutto di selezione e accoppiamenti, allo stesso modo gli algoritmi genetici simulano la competizione naturale tra programmi, che si avvicinano nell'arco di pochi secondi da una generazione all'altra per evolversi gradualmente verso risultati ottimali. Gli elementi chiave degli algoritmi genetici di Holland (1975) sono la mutazione puntiforme, che si ottiene invertendo bit a caso all'interno del codice, analogamente a quanto succede nel DNA, e la riproduzione sessuata, che consiste nel *crossover*: lo scambio di materiale tra i cromosomi dei genitori per definire i nuovi cromosomi della prole. Imitando la riproduzione sessuata un algoritmo genetico fa accoppiare gli individui con i valori di fitness più alti, figura 5.1.7, originando due figli per ogni coppia di genitori attraverso il *crossover* delle loro sequenze informatiche in un punto casuale. In seguito al *crossover* e a una o più mutazioni puntuali l'algoritmo mette alla prova la nuova generazione, misurandone i livelli di *fitness* per reiterare il processo sino a quando non venga raggiunto l'obiettivo desiderato. Analogamente a quanto è stato ipotizzato in merito all'evoluzione naturale, gli algoritmi genetici procedono verso l'ottimizzazione degli individui secondo equilibri punteggiati: se ne osserviamo il grafico della funzione di fitness in funzione del tempo nell'arco di migliaia di generazioni, vedremo una forma che ricorda una scalinata, con lunghi periodi piatti e improvvisi miglioramenti, che diventano sempre più rari nell'arco del tempo. Questo perché quando l'algoritmo raggiungerà un massimo locale vi resterà sino a che un *crossover* o una mutazione non faranno emergere nuovi geni, capaci di avvicinarsi ancora di più all'obiettivo. Nell'arco dei primi venti anni di vita gli algoritmi genetici riscuoteranno un graduale successo e troveranno applicazione nella gestione di gasdotti. Per osservare una svolta dobbiamo attendere però la seconda metà degli anni 80, quando uno dei più promettenti studenti di Holland, l'informatico John Koza, sviluppa un nuovo metodo, quello della programmazione genetica. Koza (1990) intuisce la possibilità di applicare gli algoritmi genetici non soltanto alle sequenze di bit, ma ad interi programmi, che è possibile rappresentare nella forma di alberi di funzioni collegate tra loro, a partire dal quale si possono applicare strategie di *crossover*, generando nuovi programmi che sono combinazioni dei genitori.

Ciò regala una nuova flessibilità nell'approccio e consente ai programmatori una nuova capacità di gestione della complessità, che è adesso demandata all'algoritmo. Nel 1995 la programmazione genetica venne utilizzata con successo per la

Figura 5.1.7: Lo schema di un tipico algoritmo evolutivista.

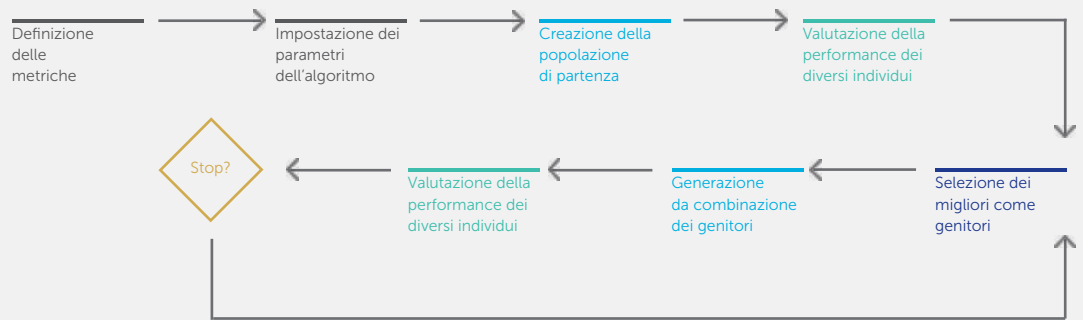
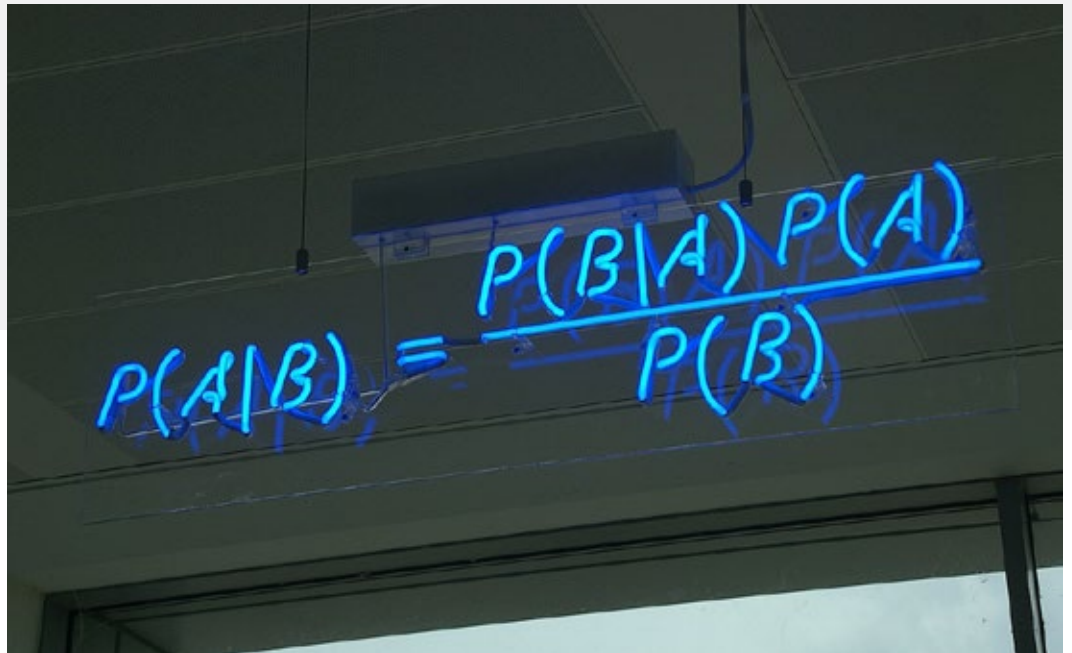


Figura 5.1.8: Il teorema di Bayes realizzato tramite luci al neon all'interno di un'azienda informatica statunitense. (foto Matt Buck)



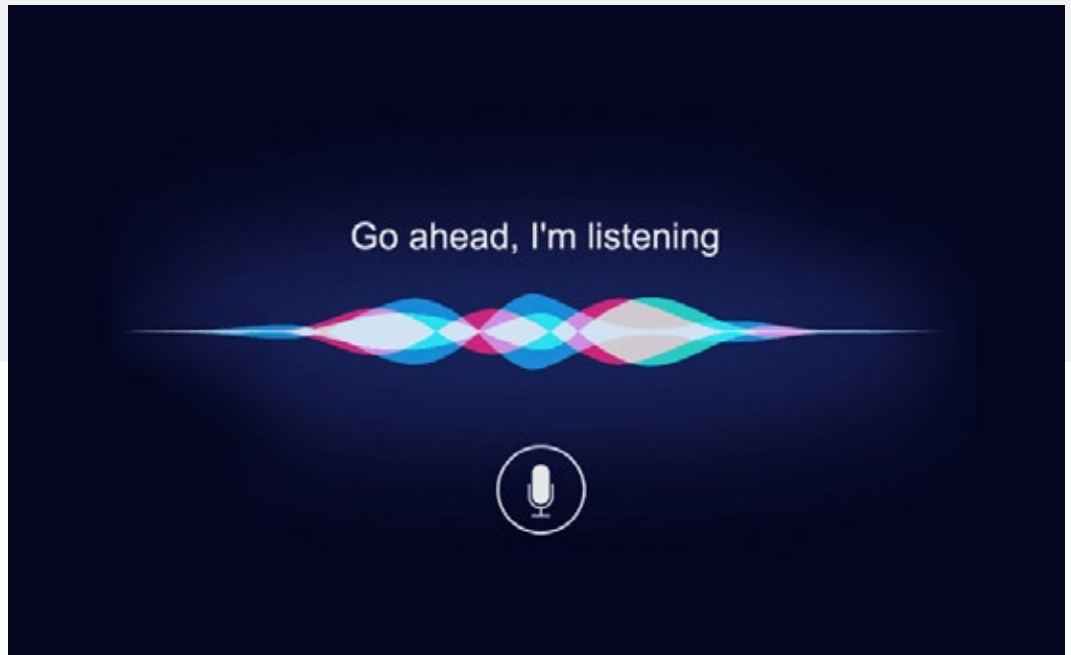
progettazione di circuiti partendo da un insieme casuale di elementi elettronici, e da allora è stata adoperata in svariati campi, dalla geotecnica, all'idrologia, alla chimica, permettendo l'invenzione di robot in grado di evolversi autonomamente di generazione in generazione grazie alle stampanti 3D (Zykov et al., 2005), e animando il fiorire del *generative design*, progettazione generativa, in ingegneria e architettura.

La quarta corrente del *machine learning* è quella dei bayesiani, così nominati da Thomas Bayes, un sacerdote e statistico inglese del diciottesimo secolo, che per primo intuì un diverso modo di affrontare la probabilità e l'incertezza. Le sue idee verranno poi formalizzate da Pierre-Simon Laplace il matematico francese autore del teorema di Bayes. Il teorema di Bayes, figura 5.1.8, permette di calcolare la probabilità di una causa che ha determinato un evento, aggiornando il livello di confidenza statistica di un'ipotesi all'introduzione di nuovi dati. Per i bayesiani ogni forma di conoscenza è affetta da un livello di incertezza, allo stesso modo l'apprendimento è un'inferenza associata ad un'incertezza, che può essere calcolata partendo da modelli ipotizzati da conoscenze pregresse che vengono aggiornati con l'arrivo di nuovi dati, determinanti nel verificare le ipotesi del modello e stabilirne l'affidabilità probabilistica. Il teorema di Bayes è di grande utilità, perché ciò che di solito conosciamo è la

probabilità che un effetto si verifichi a partire dalla causa, molti dei problemi che affrontiamo quotidianamente al contrario, e tra questi l'apprendimento induttivo, riguardano il determinare la probabilità che una causa abbia effettivamente generato un determinato effetto. Ad esempio, un medico sa che una specifica percentuale di pazienti affetti da influenza può avere la febbre, ne conosce la probabilità sulla base di studi statistici, ma quando si confronta con la pratica clinica ciò che vorrebbe sapere è la percentuale di pazienti con la febbre che in realtà è affetto da influenza. Nonostante l'approccio bayesiano rappresenti un'importante opportunità nell'affrontare i problemi statistici, la sua implementazione informatica non è esente da difficoltà, inoltre, è criticato dagli statistici frequentisti, che misurano la probabilità contando il numero di volte in cui si verifica un determinato caso. Al contrario i bayesiani assumono a priori la probabilità di un fenomeno, definendo la probabilità non come una frequenza, ma come un grado soggettivo di credenza. Il valore della probabilità è quindi soggettivo, e l'inferenza bayesiana prevede l'aggiornamento delle ipotesi personali all'arrivo di nuovi dati, così da determinare un nuovo valore: conoscenza a posteriori.

Uno dei primi learner che adottano l'approccio bayesiano è il *naïve Bayes*, definito ingenuo perché assume che, data una causa, gli effetti siano sempre indipendenti tra loro, una semplificazione che facilita i calcoli e permette comunque di ottenere dei buoni risultati. Non conosciamo l'inventore di questo approccio, se ne conoscono applicazioni sin dalla prima metà degli anni settanta, ma dobbiamo aspettare gli anni novanta per una più ampia diffusione di questi metodi, quando i ricercatori si accorsero che nonostante la semplicità il *naïve Bayes* è più accurato di altri metodi anche più complessi. Oggi questo algoritmo è molto diffuso, viene adottato per la classificazione all'interno di molti filtri anti spam, misurando la probabilità che un email sia spam sulla base delle parole contenute all'interno del messaggio, e all'interno di motori di ricerca elementari, che calcolano la probabilità che una pagina web sia pertinente ad una chiave di ricerca sulla base dei link che reindirizzano al sito. Un successivo algoritmo Bayesiano è quello delle catene di Markov, un sistema di calcolo delle probabilità teorizzato dal matematico russo Andrej Markov nel 1914, che lo applicò per la prima volta al romanzo Eugene Onegin, utilizzandolo per calcolare la probabilità di ogni lettera in relazione a quella immediatamente precedente. Un algoritmo che potrebbe sembrare apparentemente poco utile, ma supera l'indipendenza delle variabili caratteristica dei *naïve Bayes*, ed è oggi utilizzato da sistemi di traduzione automatica come Google Translate e persino all'interno del PageRank di Google, l'algoritmo di ricerca che utilizziamo per effettuare le nostre ricerche sul web. Quando uno dei fondatori di Google, Larry Page, ideò il sistema del PageRank, partì dall'idea di misurare l'importanza di una pagina web sulla base dei link che puntano ad essa: un'operazione che poteva essere reiterata a cascata sulle pagine successive, sino a perdersi in una regressione infinita, problema che è stato risolto con successo grazie alle catene di Markov. Nonostante la loro grande efficacia, le catene di Markov rappresentano tuttora un modello probabilistico limitato, e a partire da queste sono stati sviluppati ulteriori metodi, uno di questi è l'*Hidden Markov model*: un modello che ricalca le precedenti catene di Markov, ma permette di distinguere tra stato e osservazione. Guardiamo

Figura 5.1.9: Il software Siri, assistente vocale di Apple, basato sul metodo degli Hidden Markov model. (Immagine Apple)

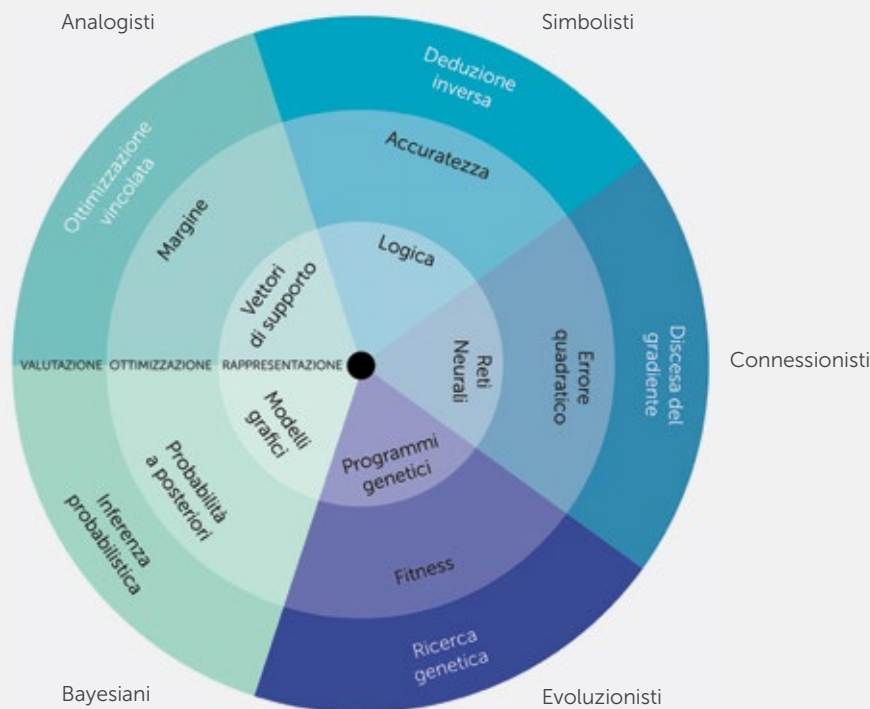


ad esempio Siri, figura 5.1.9, il sistema di riconoscimento vocale creato da Apple, che come altri è basato sulle HMM, utilizzate qui per collegare i suoni registrati dal microfono alle parole: in questo caso le osservazioni del modello sono le parole pronunciate dall'utente, gli stati da inferire le parole scritte. Il modello è composto da due componenti, la probabilità che una parola sia immediatamente successiva ad un'altra, e la probabilità di udire suoni diversi per la stessa parola (Bellegarda, 2014). Gli HMM si sono rivelati un'eccellente soluzione per elaborare sistemi di sequenze, tuttavia sono incapaci di gestire reti complesse con interdipendenze analoghe a quelle coordinate dai metodi di machine learning simbolista, e che nel caso di approcci bayesiani fanno aumentare esponenzialmente il numero di probabilità da apprendere. Un problema risolto grazie a Judea Pearl, informatico e filosofo israelo-statunitense a cui dobbiamo una innovativa metodologia di rappresentazione, quella delle reti bayesiane. Pearl (2014) riesce a strutturare reti complesse che prevedono dipendenza tra variabili causali, a condizione che ogni variabile sia dipendente da un numero limitato di altre variabili. Una semplificazione che ha permesso l'applicazione delle reti bayesiane a sfide di grande complessità, come la modellizzazione delle reti di regolazione genica delle cellule, un problema su cui si sono investiti miliardi di dollari e che le reti Bayesiane stanno contribuendo a risolvere, anche grazie alle nuovi dati provenienti dallo studio del DNA. Nel frattempo le reti bayesiane sono state riconosciute come una generalizzazione delle catene di Markov e delle HMM, e gestiscono processi articolati come la selezione degli annunci di Google AdSense, la principale fonte di introiti del gigante di Mountain View. All'interno del sistema pubblicitario le reti di bayesiane governano più di un milione di variabili, correlando oltre 12 milioni di parole e locuzioni che la rete ha appreso da circa cento miliardi di frammenti di testo utilizzati all'interno del motore di ricerca: una complessità che nessun essere umano sarebbe in grado di affrontare né analogicamente, né programmando un'applicazione di tipo tradizionale.

La quinta ed ultima tribù del *machine learning* identificata da Domingos (2015) è quella degli analogisti, che considerano l'apprendimento come il riconoscimento di situazioni simili ad altre già conosciute, così da poter inferire somiglianze utili ad affrontare problemi diversi tra loro. L'analogia è da sempre un'importante motore per la conoscenza: Aristotele la formalizza nel principio di somiglianza, viene citata come strumento di conoscenza da empiristi come Locke e Hume, ma anche da Nietzsche e Kant. Ci si affida all'analogia per comprendere e spiegare concetti complessi come la corrente elettrica, paragonata ad un fiume, ma anche l'espansione dell'universo, che viene spesso descritta tramite l'immagine di un palloncino che gradualmente si gonfia aumentando la distanza tra i punti che ne compongono la superficie. L'analogia è in senso più ampio una caratteristica comune a tutte le famiglie del *machine learning*, ma la nascita di metodi che utilizzano l'analogia come strumento per apprendere e costruire una rappresentazione di modelli segue una strada autonoma rispetto alle precedenti famiglie, e si avvia grazie a Evelyn Fix e Joe Hodges (1951), due statistici dell'università di Berkeley che nel primo dopoguerra inventarono l'algoritmo *nearest neighbor*, letteralmente vicino più prossimo. Si tratta del più veloce e più semplice degli algoritmi di apprendimento, che a partire da un *database* di esempi svolge essenzialmente una ricerca nel tentativo di identificare l'esempio più vicino al caso in esame. Un tipico algoritmo di *nearest neighbor*, e quello utilizzato da Facebook per l'identificazione di volti all'interno delle foto caricate dagli utenti: il sistema, forte delle oltre 300.000 foto che vengono caricate ogni giorno, non necessita di un complesso algoritmo che riconosca la posizione dei volti autonomamente, gli basta utilizzare delle foto dove gli utenti hanno inserito correttamente i *tag* volto, cercare tra questa mole di esempi l'immagine più simile alla nuova così da replicare ciecamente il comportamento del vicino più prossimo.

Una strategia che altre tipologie di *machine learning* non potrebbero affrontare con uguale facilità, o che comunque non sarebbero mai in grado di gestire se non tramite un complesso sistema di identificazione degli elementi che caratterizzano il volto umano. Un'evoluzione del *nearest neighbor* è il *k-nearest neighbor*, che ricalca l'algoritmo di prossimità scegliendo non un singolo vicino ma un numero *k* di vicini: in questo caso se l'immagine più vicina a quella caricata da un utente è quella di un volto umano, ma non lo sono le altre tre scelte da un algoritmo 4-*nearest neighbor*, questa verrà classificata come non-volto. Una differenza che rende più solido un algoritmo *k-nearest neighbor* rispetto al precedente, minimizzano la probabilità di propagazione di un errore, ma complicando l'attività di classificazione, che sarà meno affidabile e comunque necessiterà di un maggior numero di esempi. Il passo successivo nell'evoluzione del *machine learning* analogista è il *k-nearest neighbor* pesato, che assegna un valore maggiore agli esempi più vicini al dato da analizzare, ed ha trovata larga applicazione nei sistemi di suggerimenti per gli acquisti di siti *e-commerce* come Amazon, capaci da soli di generare un terzo del fatturato della multinazionale delle vendite *on-line*. Se da un lato è vero che gli algoritmi *k-nearest neighbor* pesati hanno dimostrato una grande efficacia in svariati campi, come e più di altri algoritmi sono affetti da problemi di dimensionalità: quando gli attributi utili a descrivere e riconoscere le istanze crescono, il sistema può scendere facilmente nell'*overfitting*,

Figura 5.1.10: La città del machine learning, immaginata da Domingos (2015, 278), dove ogni settore appartiene a una tribù diversa.



vedendo similitudini dove non ce ne sono. Inoltre l'aumentare l'aumento di complessità di un problema rende necessario un incremento esponenziale nella collezione di esempi necessari per il corretto addestramento della macchina. Problemi affrontati da Vladimir Vapnik (1963), lo statistico frequentista che inventerà le *support vector machines*, macchine a vettori di supporto. Il metodo di apprendimento di una macchina a vettori di supporto parte dalla definizione dei vettori e dei loro pesi, esiste inoltre una misura di somiglianza, comunemente definita *kernel*, nucleo, che viene scelto a monte del processo di apprendimento. La proprietà più importante di questi algoritmi è quella di riuscire a gestire la complessità non lineare di frontiere sinuose, mappando i dati in uno spazio di dimensione superiore. Le applicazioni delle SVM includono il riconoscimento di testi scritti a mano, funzione che algoritmi riuscirono a svolgere facilmente ottenendo risultati paragonabili a reti neurali multi strato, inoltre, la classificazione dei testi, che le SVM realizzano agilmente senza incappare in problemi di overfitting frequenti per altri metodi già descritti come naive Bayes, ma anche l'identificazione di proteine o il riconoscimento di tumori tramite tecniche di diagnostica per immagini (Ma e Guo, 2014). Se, come abbiamo visto, ogni corrente del *machine learning* ha definito nell'arco di anni approcci e metodi diversi che si sono dimostrati particolarmente efficaci nella risoluzione di problemi specifici, figura 5.1.10, osserviamo una tendenza dichiarata dallo stesso Domingos verso la creazione di metodi ibridi, che a detta dell'autore potranno migliorare ulteriormente l'apprendimento delle macchine e la loro capacità di affrontare e risolvere problemi.

A prescindere dalla divisione nelle cinque grandi famiglie è comunque possibile differenziare i diversi metodi di intelligenza artificiale sulla base del livello di interazione

umana necessaria perché l'algoritmo svolga un processo di apprendimento a partire dai dati. Nel caso del *supervised learning*, apprendimento supervisionato, è richiesta la presenza di un programmatore, o meglio quella di un *data scientist*, una nuova figura nata nell'ultimo decennio, che a partire da competenze di informatica e statistica è in grado di organizzare le informazioni fornite alla macchina per consentirle di creare e quindi riconoscere le correlazioni desiderate tra *input*, dati in ingresso e *output*, elaborati del processo. Con l'*active learning*, apprendimento attivo, l'interazione richiesta dall'algoritmo per orientare le sue scelte è minima e la maggior parte dei dati è *unlabelled*, senza etichetta. Esistono quindi approcci di *reinforced learning*, apprendimento rinforzato, processi in cui i dati vengono raccolti anche in tempo reale, senza strutturazione da parte del *data scientist* e l'algoritmo è in grado di apprendere gradualmente in base alle proprie esperienze. Infine, ci sono dei metodi più recenti, di *unsupervised learning* che prevedono un apprendimento senza supervisione da parte di umani, il che implica una totale autonomia dell'algoritmo nella generazione di regole utilizzate per analizzare le informazioni raccolte e cercare in modo indipendente le correlazioni che la macchina utilizzerà per elaborare i dati (Carta, 2019). Tra questi metodi, quelli che hanno visto il più grande sviluppo negli ultimi anni sono gli algoritmi di *clustering*, che misurano le somiglianze tra dati non categorizzati, organizzandoli autonomamente in *cluster*, letteralmente gruppi, attraverso i quali gli algoritmi distinguono i nuovi dati acquisiti, anche senza la necessità di interazione umana.

Quello del *machine learning* e in genere delle intelligenze artificiali è un tema che ha sollevato e solleva problemi etici di portata storica, problemi che data la loro complessità non sono di facile comprensione e che nascono nella definizione stessa di intelligenza artificiale. Come osserva Luciano Floridi, la stessa locuzione intelligenza artificiale è di fatto un ossimoro, ovvero una contraddizione in termini: per definizione ciò che è artificiale non è intelligente, e un'entità intelligente non è artificiale. L'intelligenza artificiale ci viene raccontata come un matrimonio, ma è di fatto un divorzio: la separazione tra la capacità di agire con successo in vista di un fine, e la necessità di essere intelligenti nel farlo. Da questo divorzio nascono innumerevoli problemi, perché per la prima volta nella storia dell'uomo, esiste una forma di capacità di agire che non è effettivamente dotata di intelligenza. Riporto ad esempio un fatto accaduto durante il periodo di quarantena che nel 2020 ha unito milioni di persone in tutto il mondo, un periodo durante il quale, per necessità, ci siamo dovuti confrontare con il distanziamento fisico e abbiamo dirottato sul digitale ogni attività umana apparentemente traslabile sulla rete, dal lavoro all'insegnamento. Anche Facebook si è dovuta confrontare con la quarantena, è stata obbligata a mandare a casa moderatori che ogni giorno controllano migliaia di post alla ricerca di *fake news*, e per motivi legali possono svolgere il lavoro solo in sede, così ha dovuto affidarsi esclusivamente a metodi di *machine learning* per la moderazione automatica dei post pubblicati dagli utenti della piattaforma. Questo, a detta di alcuni, ha causato problemi nella classificazione di informazioni attendibili sul Covid-19, notizie che gli algoritmi di *machine learning* hanno erroneamente classificato come corrette e quindi rimosso dal *social network* (Price, 2020).

Il divorzio tra intelligenza e capacità di agire ha quindi un'importante ripercussione sul nostro ambiente, un'eventualità da cui già Galimberti ci ha messo in guardia. Floridi (2014) osserva come l'adattamento dell'ambiente alla stupidità degli agenti che lo popolano sia già in atto: una cassa automatica all'interno di un supermercato funziona perché riconosce un prodotto grazie ad un codice a barre, un segno che il sistema collega ad informazioni presenti all'interno di un database. Il codice a barre non è fatto per gli occhi dell'uomo, ma per quelli della macchina, e senza quel segno l'intero apparato non è in grado di funzionare. Nell'applicare il sistema, abbiamo adattato l'oggetto alla macchina, lo abbiamo trasformato in qualcosa che l'apparato tecnico è in grado di gestire con efficacia, modificando di fatto il nostro ambiente. Questa modificazione dell'ambiente in cui viviamo, condiviso con agenti puramente digitali innesca una trasformazione ontologica, che cambia l'essenza del mondo, e quindi l'uomo. Una vera e propria rivoluzione, la quarta per Floridi, che guardando alle tre precedenti rivoluzioni scientifiche osserva come ognuna di esse abbia cambiato la nostra comprensione del mondo esterno e quindi di noi stessi. Se già Copernico con la prima rivoluzione aveva spostato la terra e quindi gli uomini dal centro dell'universo, con la seconda Darwin ha spostato l'uomo dal centro della natura, così come con la terza Freud ci ha spostato dal centro del mondo mentale, superando Cartesio. Oggi e sin dagli anni 50, con la rivoluzione informatica, rappresentata per Floridi da Alan Turing, le tecnologie dell'informazione hanno esercitato un'influenza cambiando non soltanto la nostra interazione con il mondo, ma anche la comprensione di chi siamo. L'uomo non è più un'entità assestante, ma un organismo informazionale interconnesso: è avvenuta una decentralizzazione della nostra identità, che è oggi distribuita all'interno di un ambiente che condividiamo con entità puramente informatiche, capaci di agire a prescindere dall'essere intelligenti o meno. Quando mi chiedo chi sono, ho due modalità per rispondere: chi sono nella qualità della mia sostanza, di ciò che mi costituisce, oppure chi sono nel senso di quello che so fare, ovvero nelle azioni che sono in grado di compiere. In questo secondo senso, non è tanto importante ciò che facciamo con il mondo, ma ciò che fare con il mondo ci dice su di noi.

La quarta rivoluzione incide su ciò che costituisce la nostra identità in entrambe le modalità: siamo diventati organismi informazionali, tanto che da un qualche anno anche il diritto europeo definisce l'individuo come *data subject*, ovvero quella collezione di informazioni che ci rappresentano. Quando nell'infosfera coabitiamo con agenti digitali che si nutrono di informazioni, il rischio di uno squilibrio in favore della macchina è altissimo, tanto è vero che temi come quello dei dati e della *privacy* sono diventati di pressante attualità. Siamo inoltre costretti a competere con queste nuove entità digitali, agenti incredibilmente abili, come i metodi di *machine learning* che abbiamo appena esplorato, hanno raggiunto o addirittura superato l'efficacia, la velocità e la precisione umana nel compiere determinate azioni, mettendo in discussione ciò che siamo in termini di ciò che sappiamo fare. Guardiamo ad esempio la finanza, un settore oramai dominato dal *fin-tech*, ovvero dalla produzione e gestione di algoritmi di *machine learning*, che sono diventati gli unici in grado di gestire l'incredibile velocità di variazione del mercato, relegando l'uomo al ruolo di pastore, e allontanando ulteriormente l'economia dalla realtà sociale.

5.2 IL RAPPORTO TRA MACHINE LEARNING E ARCHITETTURA

Abbiamo visto nel precedente capitolo come la branca dell'intelligenza artificiale si sia sviluppata nell'arco di quasi settant'anni sino ai più recenti metodi di *machine learning*, approfondendo i principali approcci che hanno permesso il fiorire di queste nuove tecniche e le loro applicazioni attuali in campi diversi dalla progettazione architettonica, leggendo inoltre quanto le capacità di questi nuovi agenti informatici rischiano di influenzare la nostra stessa identità. Nonostante la distanza tra le due discipline, il mondo dell'architettura è sempre più interessato ad applicazioni di tecniche di *machine learning* alle diverse fasi di progettazione e costruzione dei manufatti architettonici, così diversi ricercatori e accademici si sono già confrontati con il tema. Le reazioni nei confronti dell'applicazione di questi metodi al progetto di architettura sono tanto estreme quanto discordanti: se da un lato alcuni criticano l'applicazione del machine learning al progetto, ricordando la complessità fondante della nostra disciplina, altri ne esaltano le potenzialità, dichiarando che l'avvento dei nuovi metodi di intelligenza artificiale modificherà radicalmente il progetto di architettura (Morel, 2019).

Quello del *machine learning* non è comunque un tema assolutamente nuovo neanche per l'architettura, il rapporto tra progetto e calcolatori quale strumenti per la progettazione è già stato indagato nelle oscillazioni del pensiero architettonico da svariati progettisti e studiosi, tra cui i già citati Moretti e Alexander, Otto, ma anche altri, che in momenti diversi hanno immaginato un diverso approccio al progetto architettonico da sviluppare tramite le logiche matematiche proprie dei calcolatori. In modo analogo, già nelle ultime decadi del 900, in un periodo anche antecedente alla prima svolta digitale, diversi gruppi di ricercatori si sono lanciati verso le applicazioni delle prime intelligenze artificiali in architettura, (Gero e Sudweeks, 1989), realizzando algoritmi finalizzati al supporto dell'attività di progettazione, e lavorando sullo sviluppo di intelligenze artificiali in grado di integrare la definizione di obiettivi, la produzione di modelli progettuali alternativi, la misurazione delle performance, la comparazione dei risultati e quindi la selezione su basi quantitative del modello più efficace (Carrara et al., 1994). Un approccio che ricorda i metodi di *machine learning* di tipo genetico, basati analogamente sulla variazione e sulla scelta di esemplari più performanti, e che come vedremo troverà ulteriori sviluppi all'interno degli studi di architettura contemporanea.

Già negli anni novanta, i ricercatori distinguono due principali linee tramite cui si dirama la ricerca sulle applicazioni delle intelligenze artificiali all'interno del processo progettuale architettonico: la simulazione intelligente e l'apprendimento. La prima linea, quella della simulazione intelligente, parte dall'osservazione che i problemi progettuali sono incredibilmente complessi, e vengono affrontati su domini tanto vasti quanto lontani dal linguaggio adottato dai calcolatori. In questo senso, i ricercatori prevedono la possibilità di implementare la complessità di modelli architettonici tramite reti semantiche, su agenti e oggetti virtuali, che permettano ai progettisti di affrontare la complessità del progetto con maggiore consapevolezza. Realizzando

sistemi di rappresentazione e simulazione in grado di reagire autonomamente alle modifiche approntate dai progettisti, aggiornando la simulazione del comportamento del manufatto architettonico, così da incrementare le possibilità predittive del progetto. La seconda linea, è quello dell'apprendimento, già allora i ricercatori osservano come una delle più importanti barriere all'applicazione degli algoritmi di *machine learning* a settori come quello dell'architettura sia la scarsa formalizzazione delle informazioni. È qui necessaria una puntualizzazione: nonostante l'architettura sia una disciplina fortemente caratterizzata e formalizzata, è stata sviluppata dagli uomini per comunicare con uomini, in questo senso un calcolatore necessita di una vera e propria traduzione di informazioni secondo dei criteri necessari per la macchina ad assimilarle e quindi processarle. Un problema che le intelligenze artificiali possono affrontare tramite processi di apprendimento "per tentativi", sviluppando esperienze nella forma di simulazioni. Per questa finalità, è necessario definire e implementare algoritmi e processi deduttivi utili al sistema di simulazione per apprendere da esempi esistenti, o analogie con progetti simili. Così come nel progetto di architettura le soluzioni adottate posseggono una validità dovuta ai contesti in cui sono implementate, e possono essere comprese e considerate in contesti simili, allo stesso modo un sistema di apprendimento può essere in grado di determinare casi simili a quello analizzato e proporre al progettista una serie di esempi, che l'architetto è in grado di criticare e modificare, generando nuove soluzioni e fornendo alla macchina nuove simulazioni da apprendere. Un vero e proprio consulente digitale, in grado di supportare l'attività del progettista, forte della capacità potenzialmente infinita di ricordare ogni informazione.

Nonostante gli obiettivi descritti dai ricercatori più di venti anni fa non siano ancora stati raggiunti, e siano a mio avviso ancora lontani dal conseguimento, guardando alla ricerca contemporanea si può affermare come tuttora ci si muova verso gli stessi orizzonti. La ricerca di un sistema intelligente capace di simulare il comportamento di un manufatto architettonico e le interazioni con i contesti è sicuramente viva, e come già descritto nel capitolo relativo alla simulazione, ricercatori e progettisti fanno sempre più affidamento alle simulazioni fisiche per predire la *performance* degli edifici. Simulazioni a cui è sempre più facile integrare algoritmi di *machine learning* per l'ottimizzazione di elementi o della forma globale del modello architettonico. Tutte queste operazioni sono adesso possibili grazie a degli algoritmi definiti *solvers*, letteralmente risolutori, programmi o librerie informatiche finalizzate alla risoluzione di problemi matematici, che spesso utilizzano metodi di *machine learning* per svolgere il loro compito. Un'importante passo verso il corrente fiorire dell'intelligenza artificiale è sicuramente segnato dalla creazione e distribuzione di Galapagos, figura 5.2.1, un solver generico realizzato da David Rutten (2013). Il programma, presentato nel 2013, è integrato all'interno di Grasshopper 3D per Rhinoceros 3D, un applicativo, che come abbiamo visto è ampiamente utilizzato dai campioni digitali dell'architettura, e permette a qualsiasi progettista dotato di una potenza di calcolo relativamente bassa di sfruttare la potenza degli algoritmi genetici per sviluppare pratiche di ottimizzazione. Gli algoritmi genetici, che appartengono alla grande famiglia dei metodi evuzionisti già descritta nello scorso capitolo, consentono ai progettisti di risolvere problemi

numerici semplicemente fornendo un dominio di possibili soluzioni. Immaginiamo ad esempio di progettare un teatro, e voler orientare dei pannelli fono assorbenti o riflettenti in modo da ottimizzare l'acustica di un'ampia sala. Una parte del progetto che richiede competenze di acustica, di fisica dei materiali, così come di architettura. Se una simile operazione era precedentemente realizzata attraverso un processo analitico, condotto secondo le leggi della fisica, oggi questa operazione può essere facilmente supportata da un *solver*. Basterà al progettista fornire un dominio di possibilità, come una serie di angoli di rotazione, così che il *solver* collegato ad un programma per la simulazione acustica, produca un numero indefinito di alternative. Ogni configurazione prodotta diventa quindi un esemplare, membro di una popolazione di alternative tra le quali verrà replicata una versione informatica della selezione naturale, combinando tra loro le caratteristiche degli esemplari più vicini all'obiettivo desiderato in termini di acustica. Il processo euristico, che può durare per ore al variare della complessità dei problemi deve comunque essere arrestato dall'utente al raggiungimento di un risultato soddisfacente, non è quindi finalizzato a ottenere la soluzione definitiva, ma un ottimo di Pareto. Il *solver* può essere collegato virtualmente ad ogni tipo di dato informatico, dai risultati di simulazioni fisiche alle informazioni raccolte tramite sensori (Mahmoud e Elghazi, 2016), e oggi viene utilizzato da diversi studi di architettura e ingegneria per ottimizzare energeticamente gli edifici, ma anche per finalità meno tecniche, come l'orientamento e la posizione di finestre e balconi per massimizzare la possibilità visiva dei futuri utenti.

L'utilità dimostrata dai solvers all'interno degli studi di architettura ha aperto la strada a nuovi approcci al progetto, questi algoritmi si sono dimostrati molto efficaci nella risoluzione di problemi specifici, ma l'architettura è il tentativo di dare contemporaneamente risposta da un numero indefinito di questioni, è quindi necessario lavorare simultaneamente su più fronti, attività che anche quando i progettisti riescono a tradurre matematicamente i temi, i solvers non sono in grado di affrontare con facilità. Un problema indagato da diversi dottorandi e ricercatori della Architectural Association di Londra, che nel 2018 hanno presentato Wallacei, figura 5.2.2, un *solver* genetico basato sul *non dominated sorting genetic algorithm* (Deb et al., 2000), che permette quindi all'algoritmo di affrontare simultaneamente problemi diversi. Per testarne le capacità i ricercatori hanno condotto degli esperimenti sul progetto di un prototipo di seduta in barre di metallo piegato, da realizzare grazie a tecniche avanzate di *digital manufacturing*. Hanno quindi realizzato un unico algoritmo che include tanto metodi di *form-finding* geometrico, vincoli materiali, vincoli costruttivi, così come analisi agli elementi finiti: operazioni usualmente separate, che il *solver* permette di integrare con facilità. I progettisti hanno quindi sviluppato algoritmicamente un modello preliminare del progetto, stabilendo le caratteristiche principali dell'ambiente e gli obiettivi da raggiungere: la minimizzazione delle deformazioni della struttura globale, la planarità di alcune superfici, e la riduzione delle sezioni e del numero di elementi strutturali (Showkatbakhsh et al., 2020). Hanno poi fornito al contempo all'algoritmo un dominio di possibilità da testare: gli angoli di piegatura delle barre metalliche, che sono limitati dalla tecnica costruttiva utilizzata. L'esperimento, condotto in occasione della AA Visiting School di Istanbul del 2019,

Figura 5.2.1: Il solver Galapagos adoperato insieme a Honeybee per adottare strategie performative.

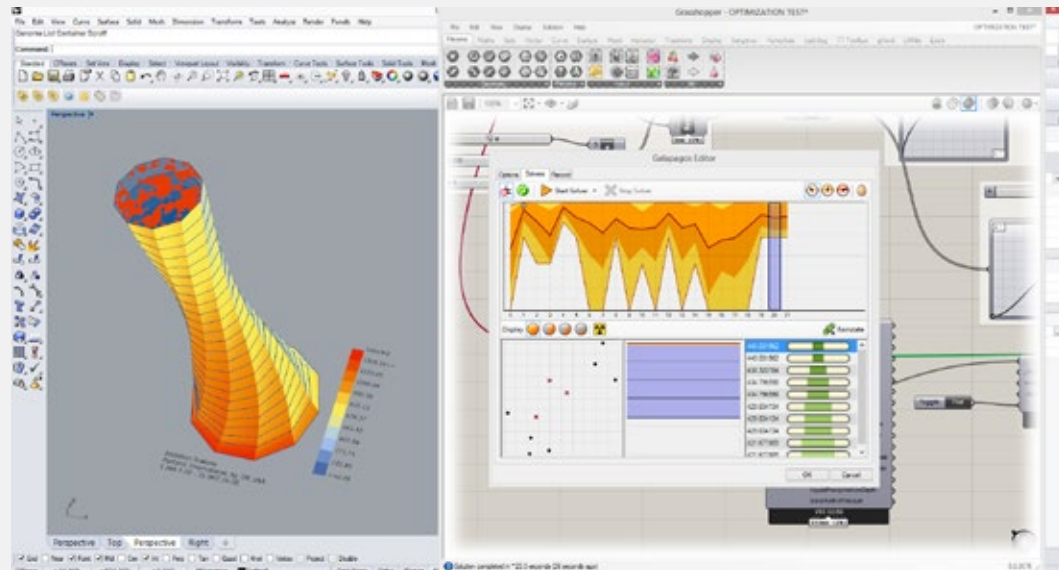


Figura 5.2.2: Il solver Wallacei adoperato all'interno di Grasshopper 3d per sviluppare una selezione tra ipotesi progettuali.

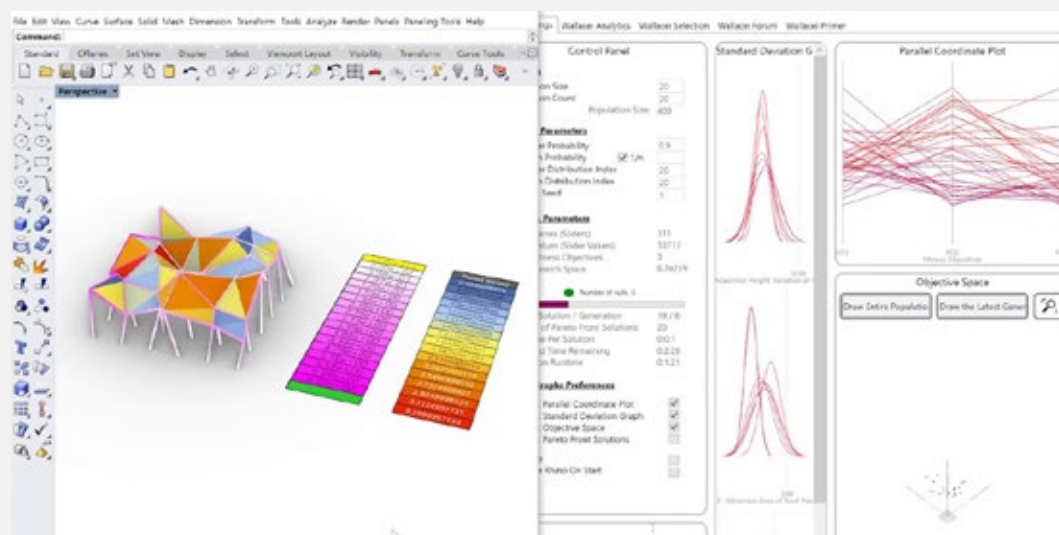
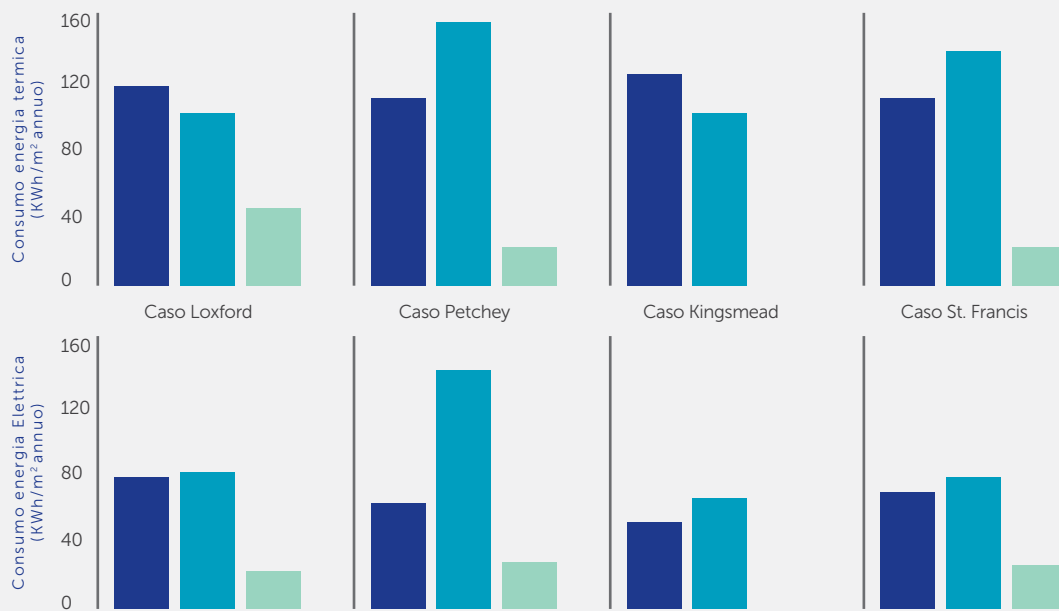


Figura 5.2.3: I risultati di previsione della Artificial Neural Network addestrata sulla base di dati reali sull'effettivo consumo energetico di edifici. (Patterson, 2017, 45)



- Leggenda:
- Previsione ANN
 - Effettivo consumo
 - Previsione progetto

ha quindi portato il programma a sviluppare oltre 3000 prototipi virtuali, definiti autonomamente dal *solver* in 100 generazioni. Da questi 3000 esemplari sono poi stati selezionati 86 individui che sono stati ulteriormente confrontati, selezionando una rosa di quattro modelli: i tre con i migliori risultato in ognuno dei singoli problemi assegnati, e quello con il miglior risultato globale. Tra questi, in base ad ulteriori considerazioni raggiunte tramite l'analisi e il confronto dei dati dei diversi modelli, è stato selezionato un esemplare dell'ottantanovesima generazione, che è stato quindi realizzato in occasione del workshop. Un risultato che prova la crescente capacità dei *solvers* oggi a disposizione degli architetti all'interno di programmi commerciali, consentendo ai progettisti un processo iterativo basato sulla variazione, affrontando contemporaneamente diverse tipologie di problemi numerici e ottimizzandone i risultati.

Un'importante considerazione da fare a questo punto riguarda il tema delle simulazioni, e ai dati prodotti dalle stesse. I dati rivestono un'importanza cruciale nell'addestramento e quindi nel funzionamento delle intelligenze artificiali più avanzate, che costruiscono le loro logiche a partire dalla qualità delle informazioni che gli forniamo. Nonostante le nuove capacità di apprendimento, gli algoritmi non conoscono il perché delle loro azioni, e fornire a un'intelligenza artificiale dati incorretti o falsati si traduce in errori di funzionamento non sempre facilmente identificabili. Ciò ha particolare peso quando i dati che diamo in pasto alle intelligenze artificiali sono frutto di simulazioni, modelli, astrazioni della realtà provenienti da un apparato tecnico informatico totalmente eterotopico. Guardiamo ad esempio uno degli ambiti di maggiore importanza per il progetto architettonico contemporaneo, quello energetico, dove come abbiamo già letto la simulazioni sono diventate uno dei principali mezzi per affrontare i temi architettonici. Uno studio condotto da un gruppo di ricerca inglese (Menezes et al., 2012) ha dimostrato come l'effettivo consumo energetico degli edifici costruiti, sia in fase di costruzione che durante il ciclo di vita del manufatto, superi regolarmente il consumo previsto in fase di progetto, con percentuali che raggiungono quasi il 50% nel caso di edifici più complessi. Risultati che sicuramente ci dovrebbero far riflettere coralmente sull'approccio che adottiamo per affrontare il progetto di architettura contemporaneo, e sul valore di materiali progettuali provenienti da altre discipline, come le simulazioni fisiche, che nonostante le nuove possibilità predittive, non sempre risultano accurate come ci aspettiamo. Un diverso modo di affrontare il problema è quello proposto da Greig Paterson (2017), e che non è basato sulla simulazione ma su dati reali: gli effettivi consumi energetici osservati e misurati in circa cinquecento scuole inglesi. Per ogni caso rilevato il ricercatore ha inoltre prodotto un ampio *dataset* che include il modello digitale dell'edificio, informazioni sui materiali, sui contesti e sull'utilizzo da parte degli utenti. Dati che dopo un importante lavoro di raccolta e critica, sono serviti al ricercatore per allenare una *Artificial Neural Network*, algoritmo afferente alla famiglia connessionista del *machine learning*, che ha appreso le caratteristiche delle architetture come *input* e i consumi effettivi come *output* desiderato. In seguito alla fase di apprendimento l'intelligenza artificiale è stata messa alla prova con una serie di nuovi esempi, ottenendo previsioni non sempre accurate, ma con un margine di errore medio di circa il 22% sull'effettivo consumo di energia elettrica e termica rilevato. Un risultato

nettamente più vicino al reale di quello calcolato tramite simulazioni, ma ancora lontano da poter essere dichiarato affidabile, figura 5.2.3. Ciò è probabilmente dovuto al limitato numero di dati utilizzato per allenare la rete neurale: nonostante i ricercatori abbiano svolto un importante lavoro nella raccolta e nell'organizzazione di casi, le reti neurali riescono ad ottenere i migliori risultati quando vengono addestrate sulla base di migliaia se non milioni di esempi. Per incrementare l'accuratezza della previsione sarebbe quindi utile incrementare il numero di casi raccolti, e aggiungere ulteriori informazioni ai dataset. Un'operazione complessa, che non sempre siamo in grado di rendere automatica, e in architettura necessita di un lungo lavoro umano, perché nella maggioranza dei casi i dati utilizzati all'interno del progetto, così come gli elaborati finali, non sono strutturati per essere compresi dalle macchine.

Dati i problemi riscontrati e la necessità di tradurre dati eterogenei e sviluppati secondo logiche non informatiche, diversi ricercatori si sono focalizzati sulla ricerca di metodi innovativi per il riconoscimento e la corretta implementazione di elaborati architettonici all'interno di algoritmi di intelligenza artificiale. Diversi gruppi di ricerca hanno affrontato il problema applicando le *Generative Adversarial Networks* (Goodfellow et al., 2014), uno dei più recenti algoritmi afferenti alla famiglia del *machine learning* connessionista. Le *Generative Adversarial Network*, o GAN, sono state progettate per apprendere autonomamente regolarità e pattern nei dati di input, così che il modello appreso possa essere utilizzato dall'algoritmo per generare nuovi esempi che presentano caratteristiche analoghe a quelle dei dati di *input*. Per portare avanti questo compito vengono addestrate simultaneamente due reti neurali diverse, che svolgono rispettivamente il ruolo di generatore, la rete che crea nuovi esempi, e discriminatore, la rete che giudica i nuovi esempi sulla base dei dati di input. Una modalità che ricorda incredibilmente il test di Turing, ideato dal celebre informatico per comprendere se una macchina sia in grado di esibire un comportamento intelligente, se nel caso del test di Alan Turing (1950) è l'uomo a stabilire la validità della risposta della macchina, in questo caso anche il secondo ruolo è interpretato da un algoritmo. Oggi le GAN sono largamente utilizzate per affrontare una vasta serie di problemi, hanno trovato ampia applicazione nella generazione di immagini realistiche realizzate a partire da fotografie di esseri umani, ottenendo risultati che non sempre siamo in grado di riconoscere. Questa tecnologia è alla base del fenomeno dei *deep fake*, video sintetici all'interno dei quali è possibile animare qualsiasi essere umano, in una simulazione video sonora assolutamente realistica (Güera e Delp, 2018), un perfetto esempio di come la tecnologia possa influenzare pericolosamente le nostre esistenze. Un gruppo di ricercatori (Huang e Zheng, 2018) ha le potenzialità delle GAN al disegno architettonico, partendo da una collezione di centinaia di piante di appartamenti completi di arredi, che sono state ridisegnate servendosi di diversi colori per descrivere i differenti ambienti di un abitazione in modo schematico, utilizzando la versione semplificata della pianta come input e l'elaborato architettonico come output desiderato o viceversa, figura 5.2.4. Come dimostrato dai ricercatori l'algoritmo correttamente addestrato è in grado di apprendere le correlazioni che definiscono le piante architettoniche, riconoscere i diversi ambienti e rappresentarli in modo semplificato secondo una palette di colori che ne indica gli utilizzi. Al contempo,

partendo da un disegno schematico è in grado di produrre una pianta architettonica completa di una possibile configurazione dell'arredo.

Risultati che hanno creato notevole interesse intorno alla applicazione delle GAN al progetto di architettura. Tra i successivi studi citiamo il lavoro di Stanislas Chaillou (2019), uno studente della Harvard Graduate School of Design, che nella prima metà del 2019 ha presentato la sua ricerca sulla applicazione delle GAN al progetto di architettura. Il metodo ricalca in parte quello già descritto da Huang e Zheng, ereditandone la rappresentazione schematica per colori di piante di appartamenti. A fungere da *input* per l'ottenimento di un ipotesi di divisione degli spazi, questa volta è un'immagine che descrive con colore nero l'ingombro totale dell'appartamento, in rosso le finestre, in verde l'ingresso e in giallo i balconi. L'immagine schematizzata viene fornita all'algoritmo insieme ad informazioni come l'orientamento e lo spessore delle pareti, il programma architettonico, quindi la connessione tra gli ambienti e la circolazione, figure 5.2.5 e 5.2.6. L'orientamento delle pareti è uno dei fattori che influenza maggiormente i risultati dell'algoritmo, la disposizione delle pareti può essere concentrica, regolata secondo rette parallele e ortogonali, o secondo linee curve, le pareti inoltre verranno prodotte secondo una serie di spessori selezionati a monte. Il programma architettonico è fornito all'algoritmo nella forma di grafi, diagrammi di connessioni tra punti che possono essere descritti come matrici. I diagrammi descrivono la prossimità di un ambiente rispetto ad altri: se nella pianta di un appartamento la stanza da letto è situata all'angolo nord-est dell'edificio, e confina a sud con il corridoio e a ovest con il bagno, all'interno della matrice che descrive lo schema dell'appartamento, la riga "stanza da letto" avrà un valore uno in corrispondenza delle colonne "corridoio" e "bagno" e zero in tutte le altre. Analogamente a quanto fatto per la distribuzione per gli ambienti, si utilizzerà un grafo per descrivere la circolazione tra le camere, ovvero l'effettiva possibilità di muoversi tra una stanza e l'altra, attraverso una porta. Questi dati, insieme alle immagini schematizzate dell'ingombro e delle aperture esterne, sono le informazioni che la GAN utilizzerà per ricercare correlazioni e stabilire regole che legano gli input all'output desiderato, così da riuscire a generare distribuzioni interne che si aggiornano al variare delle forme e delle caratteristiche desiderate dai ricercatori.

Nonostante non sia possibile giudicare un progetto esclusivamente da una pianta, guardando i risultati della ricerca si può osservare come le distribuzioni architettoniche prodotte dall'algoritmo siano quantomeno verosimili, soprattutto se ci si limita a piccole unità residenziali, caratterizzate da una certa regolarità e linearità. Al contrario, quando l'area proposta è molto ampia e il perimetro irregolare, l'algoritmo genera elaborati poco coerenti, che ricalcano le forme caratteristiche della rappresentazione architettonica, ma sono assolutamente scoordinate. Anche in questo caso la *performance* dell'algoritmo è il frutto dei dati forniti all'intelligenza artificiale, in questo caso gli esempi forniti alle GAN sono quelli di piccoli appartamenti, tipologia che il sistema riesce a riprodurre con maggiore efficacia. È importante considerare come questi risultati siano stati raggiunti con un numero relativamente basso di esempi, ciò è stato possibile grazie ad un'ulteriore descrizione dei requisiti progettuali in forme descrivibili matematicamente.

Figura 5.2.4: Riconoscimento e generazione di piante di appartamento tramite generative adversarial network. (Huang e Zheng, 2018, 184)



Figura 5.2.5: Input, sopra e output, sotto della generative adversarial network addestrata su piante di appartamento. (Chaillou, 2019)

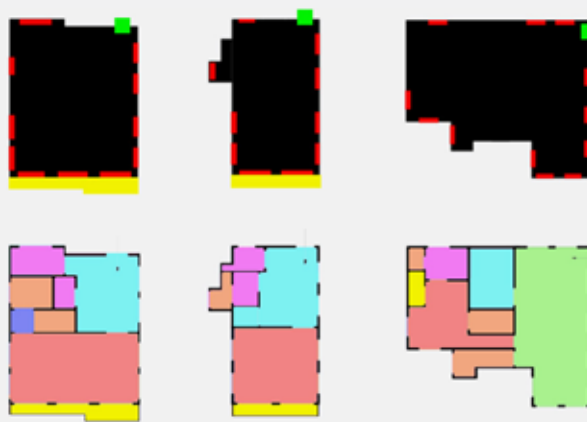
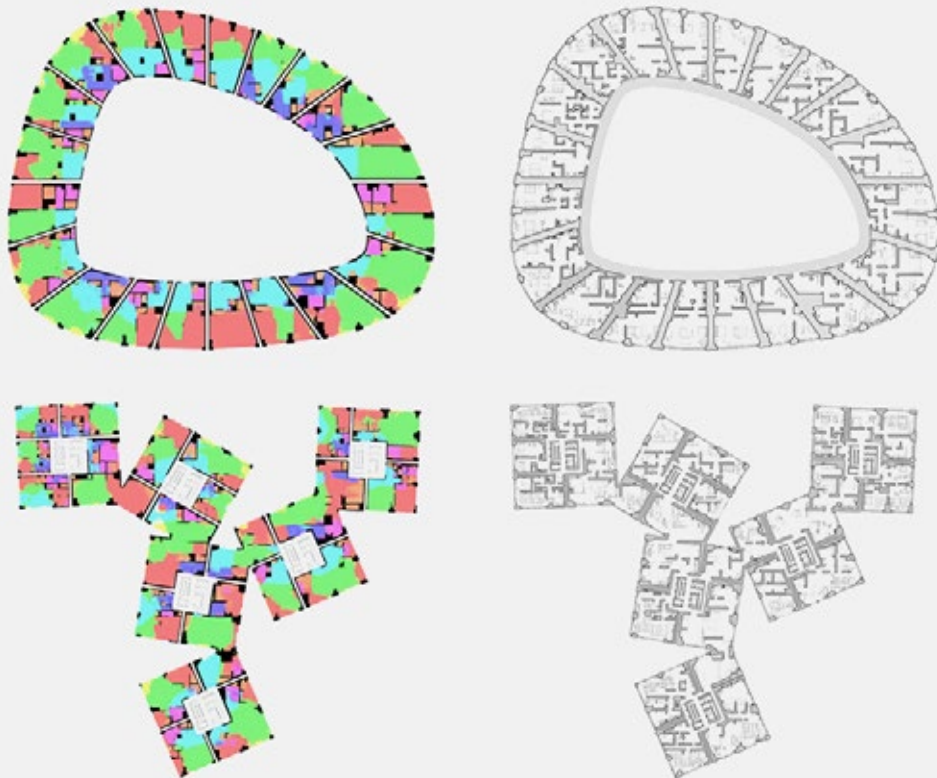


Figura 5.2.6: L'applicazione delle generative adversarial network applicata a forme più complesse. (Chaillou, 2019)



L'utilizzo di coefficienti e grafi per la descrizione del programma architettonico non è di certo una novità all'interno della nostra disciplina (Bafna, 2003), questi e altri metodi hanno ottenuto un relativo successo nella seconda metà del novecento, e trovano oggi nuovo spazio grazie alle intelligenze artificiali, che si nutrono di dati per espandersi verso nuove applicazioni. Una di queste è rappresentata dal progetto *Evolving floorplans*, ideato Joel Simon (2019), un ricercatore e biofisico della Rockefeller University di New York, che ha sfruttato delle intelligenze artificiali per confrontarsi con la pianta di una scuola elementare statunitense, figura 5.2.7. Il progetto, dichiaratamente speculativo non tiene conto di convenzioni, tecniche costruttive e criteri spaziali, ma è esclusivamente finalizzato alla minimizzazione dei percorsi interni. Il ricercatore ha prima descritto l'elaborato architettonico tramite dei grafi, in un vero e proprio genoma che contiene informazioni sulle aree dei diversi ambienti e i collegamenti tra loro. Partendo da questa traduzione schematica ha poi riprodotto un processo di crescita, sviluppato secondo due simulazioni informatiche: la *graph-contraction*, contrazione di grafi, e la *ant-colony pathing*, figura 5.2.8 un metodo probabilistico utilizzato per ottimizzare le distanze e che ricalca i processi osservati in natura tra le colonie di formiche (Dorigo et al., 1991). Il genoma dell'algoritmo è di fatto un grafo, composto da elementi interconnessi, i nodi, che rappresentano ogni singolo ambiente. La codifica genetica, tipica del *machine learning* evoluzionista è animata da una rete neurale, afferente alla famiglia connessionista, ciò è possibile tramite l'adozione delle NEAT, *Neuro Evolution of Augmenting Topologies*, un metodo ibrido che consente l'evoluzione di reti neurali in grafi (Stanley e Miikkulainen, 2002).

Il processo di mappatura che porta dal genoma al fenotipo viene eseguito in quattro fasi differenti. All'inizio ogni nodo nel grafico viene disposto in coordinate intermedie all'interno di un dominio di possibili posizioni. In un secondo momento viene lanciata la simulazione genetica, che porta alla definizione dei nuovi punti intermedi ottimizzati: il centro delle stanze. Tramite questi nuovi punti viene realizzata una maglia poligonale che rappresenta i muri. La maglia poligonale serve da base per la creazione dei corridoi, che vengono definiti attraverso l'algoritmo di *ant-colony pathing* e convertiti nella geometria finale. Il ricercatore presenta quindi diversi risultati consecutivi, il primo in cui viene minimizzato esclusivamente il traffico tra le classi, il secondo in cui viene aggiunta la minimizzazione delle distanze tra stanze e uscite di sicurezza, il terzo in cui viene inserito come requisito del problema che ogni stanza abbia almeno una finestra, e il quarto in cui viene aggiunta una gerarchia tra le diverse tipologie di ambienti. È interessante osservare come la forma complessiva della pianta richiami vivamente la sezione di un albero o di una colonia di insetti, figura 5.2.9. Ciò è chiaramente dovuto ai metodi utilizzati nella definizione della distribuzione, una considerazione che ci porta nuovamente a riflettere sui significati e le gerarchie che metodi provenienti da altre discipline possono portare all'interno del progetto, carichi come sono di strutture che sono comunque il frutto di eterotopie.

Una considerazione che è ugualmente valida se guardiamo al rapporto tra intelligenze artificiali e progettazione urbana, abbiamo già visto come molti governi abbiano iniziato a promuovere l'adozione di modelli digitali e in particolare di quelli BIM. Nello

sguardo di diversi ricercatori questa collezione si tradurrà in modelli complessi di intere città, modelli CIM, *City information Modelling*, (Al Sayed et al., 2015) integrabili con informazioni in tempo reale: Gemelli digitali utili alla gestione della città e alla progettazione di nuovi edifici. Un futuro che alcuni hanno già iniziato a percorrere, come fatto dalla Sidewalk Labs, un'azienda di proprietà della multinazionale Alphabet, ex Google, e che è stata creata nel 2015 con la missione di applicare processi innovativi all'ambiente urbano. L'azienda, che ha già all'attivo la partecipazione diversi progetti di masterplan urbano, ha sviluppato un programma per supportare la progettazione urbana di interi quartieri, sfruttando diversi metodi di *machine learning* per analizzare le performance ambientali di interi pezzi di città. A partire dal traffico automobilistico, sino al dispendio energetico dei singoli edifici, i costi di costruzione e manutenzione, i livelli di luce solare all'interno degli ambienti, ed altro ancora (Whitney e Ho, 2019). Un metodo di ottimizzazione simultanea, figura 5.2.10, possibile soltanto grazie alla quantità e varietà di dati oggi a disposizione, informazioni di tipo ambientale, legale, ma anche dati sul traffico raccolti tramite l'ausilio di nuove tipologie di sensori. Anche in questo caso il sistema si basa sulla simulazione del manufatto architettonico, che viene riprodotto in una collezione di centinaia se non migliaia di esemplari, evolvendosi verso configurazioni che nelle previsioni dell'intelligenza artificiale massimizzano l'efficacia dell'architettura secondo i diversi aspetti presi in considerazione.

Nonostante anche in questo caso l'azienda le presenti come strumenti a supporto dei progettisti, mezzi per facilitare il dialogo tra i diversi *stakeholders* che partecipano al progetto urbano, l'avvento di queste tecniche e la rinnovata capacità di acquisire dati a cui le intelligenze artificiali possono attingere, suggeriscono nuovamente l'idea della città come apparato tecnico in grado di gestirsi autonomamente. Il pensiero che la città possa diventare un gigantesco apparato informatico ha radici profonde nella storia, ed è tornato alla ribalta agli inizi del duemila con il fenomeno delle *smart cities*, mettendo in luce i limiti del rapporto tra città e macchina, tra previsioni progettuali e benessere dei cittadini. Abbiamo visto come le intelligenze artificiali lascino un profondo segno su ciò che toccano, una influenza dovuta alle caratteristiche intrinseche della tecnica adottata, e con sempre maggiore peso ai dati che usiamo per addestrarle. Ciò è sicuramente vero nel caso di dati sintetici, ottenuti tramite simulazioni o qualsiasi altro tipo di attività computazionale, ma forse ancora di più quando adoperiamo dati raccolti tramite apparati dotati di intelligenza artificiale, che sempre più spesso vengono utilizzati per la loro capacità di estrarre informazioni da dati grezzi, effettuando delle scelte di tipo probabilistico su quale parte dell'informazione raccogliere e quale scartare.

Nel 2018 la Sidewalk Labs ha presentato il progetto, cofinanziato da Alphabet, di un masterplan urbano per l'area di Quayside nei Docks di Toronto, figure 5.2.11 e 5.2.12, un quartiere progettato e presentato come esempio di un futuro possibile per la città contemporanea. Una nuova visione di ambiente urbano che grazie alla combinazione di tecniche digitali, quindi ad una connettività onnipresente, a *social network*, sensori, intelligenza artificiale e tecniche di progettazione e fabbricazione digitale, rivoluzionerà il nostro modo di vivere la città. Il progetto, ampiamente partecipato

Figura 5.2.10: Un'applicazione del software di ottimizzazione urbana sviluppato da Sidewalk Labs. (immagini Sidewalk Labs)

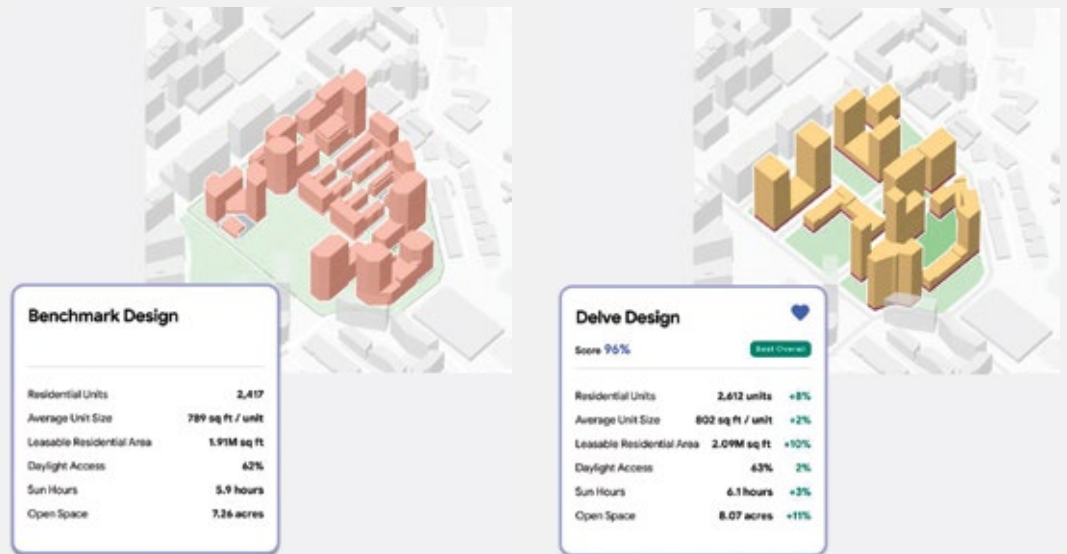


Figura 5.2.11: Il progetto per il quartiere dei Quay-side Docks di Toronto sviluppato da Sidewalk Labs. (immagine Sidewalk Labs)



Figura 5.2.12: Un render del progetto dove è evidente la scelta del legno come materiale principale per l'intervento. (immagine Sidewalk Labs)



da parte dei cittadini di Toronto mira a un nuovo modello di città intelligente, non prescrittiva come negli esempi già descritti da Richard Sennett, ma coordinativa, capace di far emergere nuovi problemi tramite la massiccia raccolta di dati: elementi su cui fondare un dialogo interno alla comunità degli abitanti.

A prescindere dagli ampi obiettivi progettuali, guardando i progetti e le immagini sviluppate nell'arco di due anni è possibile osservare come molti dei tradizionali elementi urbani siano differenti, le griglie che caratterizzano diversi masterplan contemporanei sono assenti, sostituiti da strutture più fluide: le strade principali non seguono un andamento rettilineo, ma ondulatorio. Per la realizzazione degli edifici si è deciso un ampio utilizzo del legno, materiale neutrale in termini di emissioni di anidride carbonica e che ha sostituito il calcestruzzo e l'acciaio ovunque possibile. Le facciate sono formate da superfici curve e irregolari, studiate per incrementare l'utilizzo dello spazio pubblico e a migliorare l'interazione tra cittadini (Carta, 2019). Secondo l'obiettivo progettuale di creare un forte senso di comunità tra i residenti si è scelto di distribuire la funzioni di residenza, uffici, attività commerciali e aree per il tempo libero all'interno di ogni edificio, ciò permetterà ai residenti di trovare una più facile risposta ai loro bisogni entro tempi ragionevoli e distanze percorribili a piedi. Le infrastrutture tecniche sono principalmente posizionate sotto terra: dagli impianti ordinari sino al sistema di smaltimento di rifiuti, che è largamente automatizzato e gestibile autonomamente dai residenti tramite un sistema ad interfaccia grafica. La tecnologia, che ha rappresentato anche in architettura un valore da esprimere formalmente, è diventata adesso invisibile, questo nonostante l'apparato informatico su cui si sviluppa il progetto urbano sia onnipresente in tutto l'insediamento. Ogni elemento architettonico che costituisce l'ambiente urbano è amplificato di nuove capacità sensoriali, possibili grazie a una rete distribuita di sensori IOT che connette l'intero quartiere, e raccoglie in tempo reale informazioni sull'ambiente e sull'utilizzo che i residenti fanno degli spazi, permettendo una continua misurazione, comprensione e miglioramento della vita cittadina.

Dati vengono continuamente prodotti da individui che sono sempre connessi ad un sistema cloud, invisibile e capace di registrare autonomamente diverse tipologie di informazioni, figura 5.2.13. Le persone, così come gli oggetti che partecipano alla definizione dell'ambiente urbano sono tracciati, un'operazione possibile grazie a *beacon*, dispositivi che registrano la prossimità tra entità diverse, sensori LIDAR e camere che permettono di ottenere modelli volumetrici dell'ambiente urbano, ma anche altri tipi di sensori che registrano informazioni sulla temperatura degli ambienti, il consumo di energia e tanto altro ancora. L'utilizzo di tecniche di *machine learning* è già presente in fase di raccolta di informazioni, e raggiunge nuovi livelli di applicazione all'interno del server centrale, che si occupa di dialogare con gli elementi terminali della rete e mettere tutte le informazioni a sistema, così da riconoscere ogni singola entità e categorizzarla sulla base di posizione, velocità, interazioni, etc. Questi dati sono quindi collezionati secondo un accordo legale definito data trust, in due diversi *database*, uno da utilizzare in tempo reale per calcoli istantanei sull'insieme del quartiere, un altro di tipo storico, che servirà a sviluppare future analisi e diventerà una

Figura 5.2.13: La segnaletica progettata da Sidewalk Labs per il quartiere di Quayside: I cartelli blu indicano dove la raccolta dati è trattata in modo anonimo, quelli gialli dove non è anonima. (immagine Sidewalk Labs)



vera e propria miniera d'oro per le successive attività di progettazione. Nelle parole dei responsabili di Sidewalk Labs, la città del futuro prossimo, "from the internet up" (Doctoroff, 2016), è immaginata come un laboratorio vivente, dove raccogliere informazioni, analizzare l'ambiente urbano, e sviluppare *software* che pongano i cittadini al centro dei processi, permettendo loro di proporre nuove configurazioni e utilizzi dello spazio urbano. Una finalità coordinativa senza dubbio desiderabile, ma che avrà un costo non indifferente per i futuri residenti, un costo quantificabile in *gigabyte* di dati. Oltre all'applicazione di tecniche di *machine learning* avanzato sulla città, alle forme dell'ambiente urbano e alle tecniche di intelligenza artificiale utilizzate in fase di progetto, ciò che caratterizza il masterplan di questa Nuova Atlantide contemporanea è una raccolta di dati senza precedenti, che obbligherà di fatto i residenti ad accettare di essere filmati, scansionati e di fornire informazioni in tempo reale al sistema, un apparato che è amministrato da Alphabet. Ciò renderà il quartiere una delle più dense reti di IOT gestite da un'entità privata su suolo pubblico al mondo, un'eventualità che ha causato non pochi problemi all'iniziativa. Diversi studiosi hanno criticato la capacità controllo che l'azienda avrebbe sullo spazio fisico, ciò porrebbe la Sidewalk Labs in una situazione analoga a quella esercitata dai giganti dell'informatica sullo spazio digitale: sarebbe l'entità che controlla il mercato, i dati, e la tecnologia, autorizzata a generare profitti dalle informazioni registrate e concederne gli utilizzi a terzi (Artyushina, 2020). Nell'arco dei primi due anni dall'inizio del progetto, questa e altre critiche (Valverde, 2018) hanno reso necessario un'ulteriore confronto pubblico, quindi l'intervento dell'ente regolatore canadese, che nel 2019 ha bocciato il sistema di raccolta e gestione dei dati, chiedendone la rimozione dall'accordo pubblico. Pochi mesi dopo, nel maggio del 2020, in seguito alle incertezze economiche causate dalla pandemia globale, il mercato immobiliare di Toronto ha subito un forte calo, ciò ha reso l'investimento economico per realizzare l'apparato tecnico necessario al funzionamento della città troppo alto rispetto ai potenziali ricavi del progetto immobiliare. Il definitivo colpo di grazia per il progetto di Quayside, che si aggiunge alle *smart cities* fantasma, mai terminate in tutto il mondo: un esperimento che non è giunto al termine, ma da cui possiamo apprendere molto.

5.3 LA RICERCA SUL PROGETTO DI ARCHITETTURA E QUESTIONI APERTE

Il fiorire di ricerche e lo sviluppo di nuovi programmi informatici fondati sull'applicazione di metodi di *machine learning* in architettura ci obbliga a riflettere sui significati che questi mezzi portano all'interno del progetto architettonico, sull'influenza che producono durante tutto l'iter progettuale e quindi sul ruolo dei progettisti di architettura. Nella visione di molti ricercatori il compito dell'architetto verrà coadiuvato dalle intelligenze artificiali, altri sostengono addirittura che, come sta già accadendo in campi diversi dall'architettura, le intelligenze artificiali potrebbero arrivare a sostituire l'uomo, un'eventualità estrema che altri considerano irrealizzabile. Nel frattempo, a prescindere dall'utilizzo di tecniche di intelligenza artificiale, l'automatizzazione di processi ha già intaccato il progetto di architettura, e gli architetti sono diventati, come altre figure professionali, gestori di un apparato tecnico e informatico sempre più corposo e oramai necessario, avvicinandosi gradualmente al ruolo di pastore delle macchine anticipato da Anders.

Con l'intenzione di acquisire una prospettiva il più possibile neutrale e concreta sul ruolo che queste tecniche potranno acquisire all'interno degli studi di architettura contemporanei, sui valori e le criticità che investiranno il progetto nella prossima decade, ho chiesto ai professionisti intervistati all'interno di questa tesi di ordinare le tecnologie abilitanti dell'industria 4.0 insieme alle tecniche digitali caratteristiche del nostro settore, in base all'utilità che dimostreranno in architettura. Ogni intervistato, ha ordinato con un voto da uno a sette le tecnologie di *Internet Of Things*, realtà aumentata, realtà virtuale, fabbricazione digitale, *machine learning*, BIM e "Altri metodi computazionali" voce che comprende altri possibili metodi non citati nel gruppo. È importante sottolineare che agli intervistati è stato chiesto di fare previsioni per i prossimi 10 anni in base alle loro impressioni, dando per scontati i benefici già dimostrati da queste tecnologie nella pratica contemporanea all'interno delle loro esperienze, con ovvio riferimento al *Building Information Modelling*.

Come è evidente dalla figura 5.3.1, il *machine learning* è tra le tecnologie proposte quella che ha ottenuto il punteggio più alto con un totale di 53 su 70 punti ottenibili, seguita da "altri metodi computazionali" con 50, fabbricazione digitale con 49, quindi BIM e *Augmented Reality* con 38, *Internet Of Things* con 35, ultima la realtà virtuale con 27. È interessante notare come il *machine learning* e "altri metodi computazionali" abbiano entrambi ottenuto quattro volte il primo posto nella classifica personale di diversi progettisti, così come è successo due volte per il BIM e una volta per il *digital manufacturing*. È quindi chiaro che sulla base delle esperienze e delle aspettative dei progettisti intervistati, il *machine learning* e le sue derivazioni giocheranno un ruolo all'interno del progetto di architettura, ruolo che, per molti degli intervistati, si dimostrerà determinante nell'arco dei prossimi dieci anni.

Nonostante le aspettative, tutti i progettisti intervistati riconoscono come il rapporto tra le più avanzate tecniche di *machine learning* e le pratiche di architettura sia ancora

| | BIM | Other comp. methods | IOT | AR | VR | Machine learning | Digital manufacturing |
|-----------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------------------|
| Steven Chilton | 3 | 6 | 2 | 5 | 1 | 7 | 4 |
| Daniel Davis | 7 | 7 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Aurelie de Boissieu | 1 | 2 | 5 | 4 | 3 | 7 | 6 |
| Xavier de Kestelier | 3 | 4 | 6 | 1 | 2 | 7 | 4 |
| Al Fisher | 6 | 7 | 2 | 4 | 1 | 3 | 5 |
| Harry Ibbs | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | 7 | 6 |
| Arthur Mamou-Mani | 5 | 6 | 2 | 3 | 1 | 4 | 7 |
| Andreas Klok Pedersen | 7 | 1 | 2 | 4 | 3 | 6 | 5 |
| Edoardo Tibuzzi | 2 | 7 | 5 | 3 | 3 | 4 | 6 |
| Pablo Zamorano | 3 | 7 | 4 | 5 | 6 | 6 | 5 |
| Totale | 38 | 50 | 35 | 38 | 27 | 53 | 49 |

Figura 5.3.1: Risposte alla domanda: Ordina le seguenti tecnologie sulla base dell'utilità che dimostreranno in architettura nell'arco dei prossimi dieci anni. In blu i primi posti identificati da ogni intervistato, in grigio gli ultimi.

in una fase embrionale. Diversi intervistati, e in particolare Eduardo Tibuzzi, descrivono questo momento come di forte sperimentazione, caratterizzato da un approccio pionieristico ed empirico, un'esplorazione che prevede l'applicazione di queste tecniche al progetto con la principale finalità di misurarne le potenzialità. Questo, ricorda l'intervistato, è già avvenuto con tutte le tecniche digitali precedentemente applicate in architettura, dall'uso della curva digitale al design parametrico, fino agli algoritmi evolutivi e alla *swarm intelligence*, metodi anche basati sull'adozione di intelligenze artificiali, che sono oggi ben conosciuti nella comunità architettonica. Tecniche che, al di fuori della nostra professione, vengono sfruttate anche grazie all'integrazione di metodi di *machine learning* avanzato (Cudzik e Radziszewski, 2018).

Come dichiara Harry Ibbs, ci sono differenze sostanziali tra questi nuovi metodi e le precedenti tecniche digitali già adottate nella pratica professionale in in architettura. È necessario, prima di applicarli al progetto, capirne le logiche e il funzionamento, così come in questo momento storico è indispensabile padroneggiare almeno un linguaggio di programmazione per adoperarle con successo. Si può inoltre affermare con certezza che per adottare queste tecniche più avanzate abbiamo bisogno di una potenza di calcolo notevolmente maggiore rispetto ai comuni computer e workstation usualmente adoperate all'interno di uno studio di architettura. Se, ad esempio, decidiamo di creare una *deep neural network* da sfruttare per una qualsiasi finalità, la strategia più veloce probabilmente includerebbe l'uso di Tensorflow o Pythorch, librerie informatiche open-source sviluppate rispettivamente da Google e Facebook: collezioni pre organizzate di algoritmi che consentono, come diverse altre, di sviluppare metodi basati su *machine learning* e in particolare *deep learning*. Chi volesse provare questi metodi, può ovviamente contare su un'ampia documentazione, lezioni pratiche e teoriche, *tutorial*, guide e supporto *on-line* basato su grandi

comunità di utenti. Per funzionare al meglio, queste librerie utilizzano il *parallel computing*, letteralmente calcolo in parallelo: una diversa architettura del *software* e dell'*hardware* informatico che consente di eseguire contemporaneamente migliaia di operazioni, ciò è possibile grazie a schede video ad alto parallelismo, senza le quali il *deep learning* non sarebbe conducibile in un tempo accessibile. È inoltre sempre più frequente la pratica del calcolo parallelo remoto, disponibile nella forma di servizi cloud offerti da alcuni dei colossi del *web*, che affittano le loro potenti infrastrutture IT con tariffe basate sull'effettivo utilizzo delle macchine. Per sfruttare la potenza del machine learning più avanzato sono quindi necessarie competenze specifiche e una potenza di calcolo notevolmente superiore a quella oggi disponibile all'interno di un comune studio di architettura. Inoltre, il *deep learning*, a differenza dei più comuni algoritmi di machine learning, richiede tempi di *CPU time* nell'ordine di ore o addirittura settimane per l'addestramento della rete neurale, proporzionalmente al tempo necessario per l'acquisizione e l'elaborazione dell'enorme mole di dati necessaria al suo funzionamento, dopodiché le reti neurali possono essere interrogate velocemente.

Come sottolineato da quasi tutti gli intervistati, anche in architettura il tema dei dati è centrale in qualsiasi applicazione di *machine learning*. Questo perché, come diversi progettisti ricordano, i dati e la loro struttura influenzeranno fortemente i risultati finali dell'algoritmo: una rete neurale, ad esempio, diventerà capace di distinguere un gatto, solo dopo aver visto migliaia di foto di gatti, esempi dai quali estrapolerà autonomamente le caratteristiche con cui costruirà la sua idea dell'oggetto gatto. Tralasciando le considerazioni etiche legate all'intelligenza artificiale in generale, è necessario riflettere sui dati che iniettiamo in questi processi. Abbiamo già visto nei capitoli precedenti quanto i modi in cui raccogliamo e organizziamo i dati possono portare a risultati distorti, ed è ormai provato che in più di un'occasione l'intelligenza artificiale ha mostrato risultati discriminatori riguardo all'etnia o al genere (Holmes, 2019).

Un ottimo esempio applicato all'architettura è fornito da Xavier de Kestelier, il quale afferma: "se mostri loro solo l'architettura del movimento moderno, le intelligenze artificiali saranno in grado di riprodurre solamente quel tipo di architettura" questa affermazione si riferisce in particolare ad alcune applicazioni del deep learning, e testimonia come, anche in architettura il funzionamento di questi metodi possa essere influenzato dai dati che abbiamo usato per popolare gli algoritmi. È quindi importante chiedersi quali siano i dati che oggi uno studio di architettura può utilizzare, idonei per quantità e qualità, per sviluppare metodi di intelligenza artificiale? E soprattutto: quali sono gli obiettivi che vogliamo raggiungere utilizzandoli?

Nonostante il ruolo crescente dei dati nella società contemporanea, nel frammentato mondo dell'architettura, popolato da entità dalla diversa familiarità con il digitale solo poche pratiche hanno abbracciato pienamente l'uso di dati informatici all'interno del processo di progettazione (Gallo et al., 2019). Nel caso di quegli studi annoverabili tra campioni digitali è sicuramente disponibile una collezione di dati raccolti in fase di progettazione, costruzione o durante il ciclo di vita di architetture che gli studi hanno progettato e realizzato. Una miniera da cui, come sottolineano Aurelie de Boissieu e Pablo Zamorano, è potenzialmente possibile estrarre dati utili

al progetto di nuove architettura, collezioni di informazioni accumulate in anni di esperienza, che rappresentano un'importante eredità su cui è virtualmente possibile applicare di machine learning avanzato. Non è comunque necessario avere uno storico di progetti per applicare questi metodi, dati possono essere creati anche sulla base di considerazioni puramente geometriche, così come accade quando si vuole ottimizzare il numero di posti auto all'interno di un parcheggio, oppure il numero di scrivanie in una stanza (Phelan et al., 2020). Con queste finalità diversi studi di architettura e aziende hanno già applicato metodi di *machine learning* che forniscono come output una o più configurazioni geometriche ottimizzate secondo criteri funzionali preventivamente stabiliti dai progettisti. Potenzialmente tutte le simulazioni, a partire dai modelli fisici e ambientali (Hong et al., 2020), fino a quelle forse meno affidabili relative ai comportamenti umani, rappresentano una fonte di dati virtualmente infinita. Ciò è particolarmente importante per l'applicazione di metodi di *deep learning*: i dati frutto di simulazioni possono essere ottenuti con una relativa semplicità in una mole coerente con la quantità di informazioni necessarie ad una rete neurale profonda per apprendere.

A testimoniare il crescente interesse da parte degli studi nei confronti dei metodi di machine learning e l'applicazione a dati sintetici frutto di simulazioni, citiamo una ricerca svolta dallo studio Foster and Partners, e in particolare dallo Specialist Modelling Group, che nel 2019 ha portato avanti delle sperimentazioni sull'applicazione delle CNN *Convolutional Neural Networks* a dati generati tramite CFD, simulazioni fluido dinamiche computazionali. Le CNN sono un particolare tipo di rete neurale appartenente alla famiglia connessionista del *machine learning*, un metodo ispirato processi biologici tipici dell'organizzazione della corteccia visiva di animali, caratteristica che permette all'algoritmo un più facile riconoscimento di immagini, minimizzando i tempi di calcolo. In questo particolare caso i progettisti ne applicano le potenzialità ad un ampio dataset di esempi, miliardi di simulazioni diverse realizzate al variare delle condizioni al contorno e ai volumi delle architetture. Come dimostrato dalle ricerche, le previsioni delle CNN si dimostrano coerenti con i risultati dalle simulazioni fluido dinamiche, ciò ne permetterà secondo gli autori una più facile e veloce applicazione nelle fasi iniziali del progetto di architettura, velocizzando ulteriormente il lavoro dei progettisti (Musil et al., 2019).

Le ricerche sull'applicazione delle intelligenze artificiali all'interno degli studi di architettura non si limitano però alle simulazioni, diversi studi hanno già iniziato a raccogliere dati su come lo spazio architettonico è abitato, una collezione realizzabile oggi grazie a nuovi sistemi di tracciabilità e *feedback* da parte degli utenti. Con queste informazioni è possibile, ad esempio, ottenere un riscontro sull'effettivo utilizzo degli spazi all'interno di un *co-working*, e rimodellare gli ambienti interni tenendo conto del loro effettivo utilizzo da parte dell'utenza. Una possibilità di indagine che può essere estesa verso architetture più complesse e articolate, dove le informazioni sugli effettivi flussi e comportamenti umani permettono una diversa comprensione dei temi. Architetture progettate per accogliere migliaia di persone simultaneamente, come gli stadi, una tipologia già indagata nella prima architettura parametrica di

Moretti, che gli studi di architettura e ingegneria hanno iniziato ad affrontare tramite l'applicazione dei metodi di *machine learning*. Al Fisher, ad esempio, testimonia come per la progettazione di una nuova struttura sportiva, il suo studio abbia utilizzato dei dati raccolti all'interno di uno stadio durante una partita di calcio. Informazioni sul comportamento collettivo dei tifosi dalle fasi di ingresso sino a quelle di uscita dalla struttura, dati che sono stati analizzati tramite metodi di apprendimento automatico sviluppati dai progettisti. In questo caso specifico lo studio ha avuto l'opportunità di utilizzare dati raccolti in una particolare occasione, un evento sportivo sponsorizzato da una multinazionale della tecnologia informatica. Una raccolta di dati realizzata *una tantum*, che però anticipa una tendenza attualmente in atto: l'incremento della raccolta di dati, informazioni raccolte da governi e istituzioni a diversi livelli e distribuiti al pubblico tramite siti *web* accessibili anche gratuitamente.

Citiamo, a conferma dell'orientamento verso la massiccia raccolta di dati, un'iniziativa dell'agenzia Transport for London, l'istituzione che gestisce la metropolitana di Londra: vero e proprio apparato circolatorio della città, attraverso il quale ogni giorno milioni di utenti si sposta all'interno della capitale britannica, alimentandone i ritmi.

La raccolta di dati non è una novità per l'ente, che gestisce ogni giorno migliaia di convogli, e da anni colleziona informazioni sui tragitti degli utenti tramite il sistema informatico di ingresso e uscita ai tornelli: dati che hanno permesso negli anni di ottimizzare il funzionamento globale della rete, ma restano comunque parziali, non contenendo nulla sull'effettivo tragitto seguito da un utente all'interno della capillare rete di stazione, ma esclusivamente ingresso e uscita. Ciò è vero sino al luglio del 2019, quando l'istituzione è riuscita a ottenere un prospetto dettagliato degli spostamenti individuali, sfruttando la rete *wi-fi* a disposizione degli utenti all'interno dei veicoli e delle stazioni: il sistema assegna ad ogni dispositivo connesso un valore univoco, utile a stabilire l'esatto tragitto di ogni utente all'interno della rete. Anche in questo caso l'annuncio di una continua e massiccia raccolta di dati ha creato scontento e critiche nella multiforme comunità cittadina, e se da un lato l'azienda ha dichiarato come i dati vengano sempre raccolti in forma anonima, per essere poi gestiti secondo protocolli informatici che garantiscono la massima sicurezza, dall'altro lato non è ben chiaro se questi dati possano in futuro essere utilizzati da terzi, per finalità commerciali, portando all'azienda ulteriori introiti (Coutler, 2019). Quello della metropolitana di Londra è un perfetto esempio, non l'unico, di come la massiccia raccolta di dati si stia diffondendo nella nostra società, allargando le possibili applicazioni dei metodi di intelligenza artificiale oltre gli orizzonti già raggiunti.

Limitando il nostro sguardo sui dati al mondo dell'architettura, è facile osservare come, nonostante la grande enfasi sul digitale, gli studi di architettura non siano tradizionalmente il posto dove dati informatici vengono gestiti con maggior frequenza ed efficacia. Al contrario, chi ha sicuramente un legame più forte con i dati, anche più solido di quello instaurato dai campioni digitali, sono le *software houses*, aziende che producono applicativi per l'architettura, e che in alcuni casi hanno già iniziato a raccogliere dati sull'effettivo utilizzo dei programmi commerciali da parte degli architetti, ottimizzandone la fluidità e la velocità grazie all'ausilio di metodi di

Figura 5.3.2: I modelli di simulazione fluidodinamica adottati dallo Specialist Modelling Group di Foster and Partners per allenare una Convolutional Neural Network, in alto, e le previsioni dell'algorithm, sotto. (Musil et al., 2019, 3)

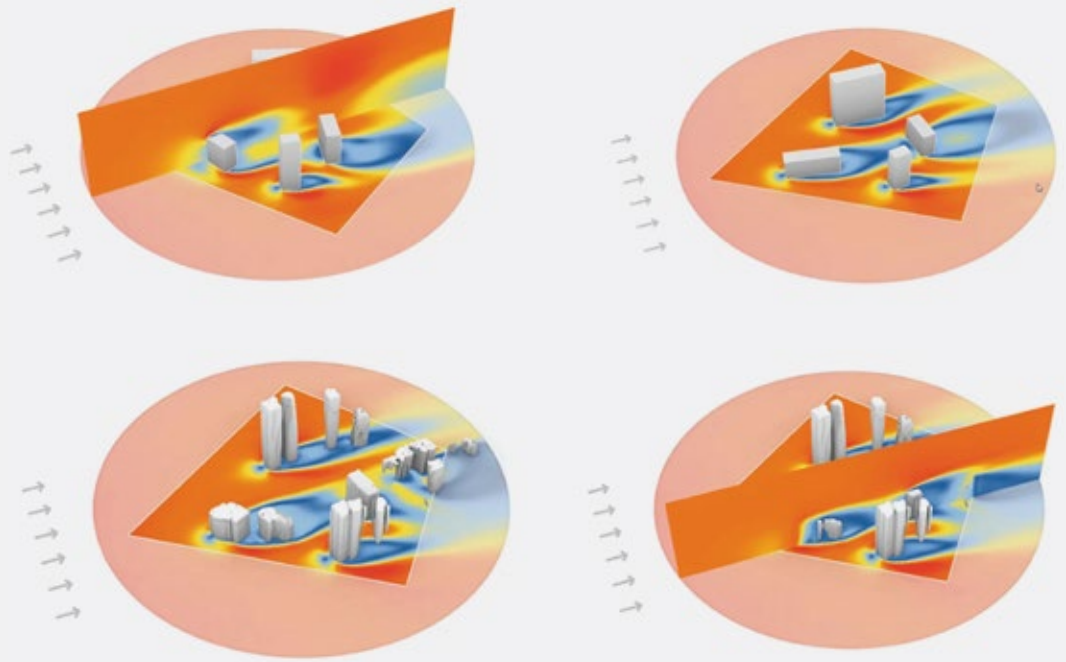
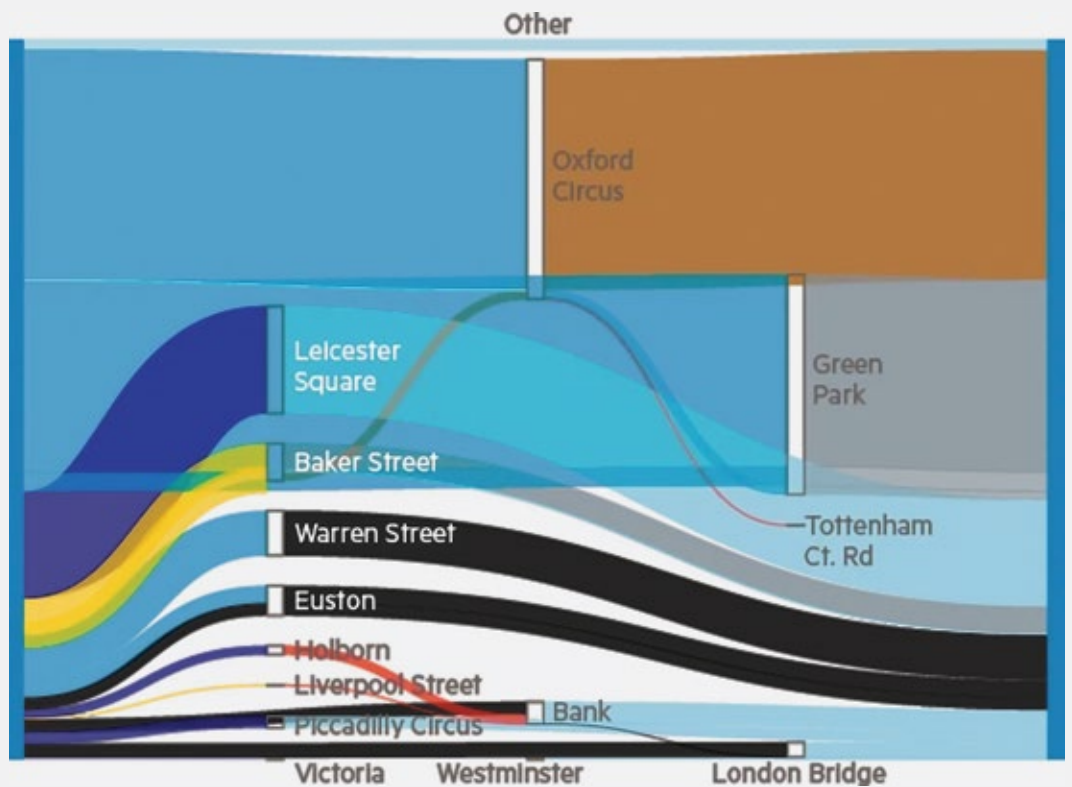


Figura 5.3.3: I diversi percorsi adottati dagli utenti per effettuare il tragitto dalla stazione metropolitana di King's Cross a quella di Waterloo. (Transport for London, 2019)



apprendimento autonomo. Così testimonia Harry Ibbs, che al contempo osserva quanto la sete di dati informatici da applicare al progetto di architettura stia spingendo i maggiori studi di architettura a sviluppare partnership e collaborazioni con i grandi gruppi informatici, multinazionali che hanno fatto della raccolta e gestione di dati uno dei principali mezzi per il raggiungimento di obiettivi aziendali.

Ho già parlato negli scorsi capitoli di come l'indeterminazione dello spazio fisico favorita dalla larga adozione degli strumenti digitali stia provocando un maggiore interesse da parte di grandi committenze e progettisti verso l'architettura responsiva, capace di cambiare configurazione nell'arco del tempo al variare dell'utilizzo degli ambienti o di condizioni ambientali. Una tendenza che trova ulteriore spazio grazie alle nuove possibilità di raccolta dati rappresentata dall'IOT, al *digital manufacturing* e quindi all'intelligenza artificiale. Se da un lato il tema dell'architettura interattiva o cinetica non è nuovo, si sta diffondendo tra ricercatori e professionisti, il pensiero che l'architettura possa diventare un organismo digitale in grado di reagire a cambiamenti in tempo reale, una macchina capace di muoversi grazie a sistemi prodotti ad hoc attraverso tecniche di fabbricazione digitale e robotica, sensibile, perché dotata di una collezione di dispositivi per la raccolta di informazioni, e autonoma, perché governata da intelligenze artificiali che ne regolano i comportamenti entro i vincoli prefissati dal sistema (Fox, 2016). Guardiamo ad esempio un progetto di cui parla Steven Chilton all'interno delle interviste, un'architettura presentata nel 2018 al concorso per il padiglione inglese alla EXPO 2020 di Dubai. Il progetto, nominato *Satellites*, celebra lo sciame di satelliti che popola i nostri cieli, una rete, invisibile ad occhio nudo, che ha raggiunto nel 2020 le 6000 unità. La forma che maggiormente caratterizza il progetto è un toroide composto da una maglia di elementi strutturali e portati che nel loro andamento inclinato rappresentano il movimento dei satelliti intorno alla terra. La superficie esterna del toroide è costellata di 6000 ombrelli cinetici bianchi, elementi di dimensione variabile che rappresentano i satelliti, e possono cambiare configurazione tramite un sistema elettronico, aprendosi fino ad occupare il massimo dello spazio in una forma circolare, o ripiegandosi su se stessi, fino a chiudersi. Il sistema che governa il comportamento degli ombrelli è progettato per agire autonomamente sulla base del comportamento degli utenti: l'architettura è dotata di un apparato di sensori che permette al sistema di riconoscere la posizione dei visitatori, i dati vengono autonomamente processati da un'intelligenza artificiale, che al variare del comportamento umano modifica l'apertura degli ombrelli, creando coreografie che seguono gli utenti nello spazio. Il progetto non è stato selezionato per la realizzazione, quindi non avremo modo di osservarne il funzionamento nella realtà fisica, né di scoprire se le soluzioni tecniche progettate siano effettivamente in grado di superare i problemi sino ad ora riscontrati nell'adozione di meccanismi cinetici su larga scala all'interno del progetto di architettura. Ci è però utile, perché testimonia, insieme ad altre sperimentazioni di architettura interattiva realizzate su scala minore, possibili applicazioni di intelligenze artificiali come anima del manufatto architettonico. Un organismo che dall'avvento del digitale, secondo suggestioni biologiche sembra potersi evolvere, grazie a sensi e a capacità di movimento, verso una maggiore complessità. Un'eventualità che se effettivamente si realizzerà, porterà i progettisti a

Figura 5.3.4: Il padiglione Satellites progettato da Steven Chilton Architecture per l'Expo 2020 di Dubai. (immagine SCA)



Figura 5.3.5: Gli ombrelli cinetici bianchi che popolano la facciata e si animano in relazione all'utenza grazie ad algoritmi di machine learning. (immagine SCA)



confrontarsi con problemi etici di incredibile complessità, problemi analoghi a quelli che oggi toccano le automobili a guida autonoma, e che sono attualmente al centro di un dibattito globale (Awad et al., 2018).

Guardando al possibile contributo e al ruolo che l'intelligenza artificiale giocherà all'interno della definizione del progetto architettonico, l'impressione degli intervistati è che, almeno inizialmente, il loro apporto sarà limitato a quelle aree in cui c'è un insieme di regole ben definito. Così suggerisce Xavier de Kestelier, che cita, ad esempio, la progettazione di edifici residenziali in Asia, pratica dove ci sono regole specifiche da rispettare e obiettivi quantificabili, un tema su cui, secondo l'intervistato, l'AI potrà dare un grande contributo in futuro. Daniel Davis, già autore di ricerche e sperimentazioni sulle applicazioni di *machine learning* all'architettura (Phelan et al.,

2017), dichiara all'interno delle interviste come, sebbene sia certamente vero che il machine learning avrà un ruolo da svolgere in architettura, non ci si possa aspettare una rivoluzione: « Non credo che il *machine learning* debba essere visto come una bacchetta magica, è una tecnologia difficile e complessa da usare, e funziona davvero solo in determinate situazioni ».

Riferendosi in particolare all'applicazione di metodi di *deep learning* al progetto di architettura, Andreas Klok Pedersen conferma il momento fortemente esplorativo, affermando come l'utilizzo di queste tecniche avanzate in architettura sia ancora in una fase germinale, e di come quindi lo sguardo dei progettisti in questo momento sia rivolto ancora principalmente all'esterno della nostra disciplina, dove questi metodi hanno dimostrato grande efficacia per la risoluzione di alcuni problemi. Un attento sguardo rivolto a queste applicazioni, continua l'intervistato, ci permette di osservare già da ora come questi nuovi strumenti mostrino grandi capacità quando vengono utilizzati in modo coordinativo anziché prescrittivo: evitando di insegnare alle macchine ciò che dovrebbero rigorosamente fare, ma definendo invece regole di gioco e criteri di successo e lasciando quindi che l'intelligenza artificiale trovi le sue risposte in modo indipendente.

Se qualcuno si aspetta che l'Intelligenza Artificiale generi sull'architettura l'influenza dirompente che sta dimostrando in ambiti come la guida autonoma, il riconoscimento delle immagini o altri campi, è chiaro che nessuno dei progettisti intervistati vede attualmente la possibilità di uno sconvolgimento tale in architettura. Questo perché, come sottolinea Andreas Klok Pedersen, l'architettura è sicuramente tra le pratiche professionali più complesse e articolate, ogni scelta architettonica coinvolge contemporaneamente innumerevoli aspetti. Non si tratta di eseguire correttamente una singola operazione, ma di trovare in una sola mossa una soluzione in grado di risolvere un vasto insieme di problemi. Vincoli ingegneristici, parametri umani, ambientali, politici, ma anche considerazioni di tipo sociale, artistico, espressivo, sono solo alcuni dei parametri da cui nascono le scelte progettuali. Se l'architettura è una pratica complessa, al contrario, i settori in cui le intelligenze artificiali stanno mostrando un impatto importante, hanno una natura più lineare rispetto a quella della nostra professione. L'intervistato continua immaginando che, suddividendo il lavoro dell'architetto in compiti separati, descrivendo il processo in modo rigoroso, sia teoricamente possibile pensare a delle intelligenze artificiali in grado di risolvere queste singole operazioni individualmente. È a questo punto importante porsi alcune domande: siamo in grado di gestire queste enormi potenzialità per generare nuovi concetti e idee? È possibile descrivere questa enorme complessità eterogenea, di modo che una macchina possa comprenderla ed elaborarla? Sicuramente non in questo momento, forse in futuro.

Parlando di intelligenza artificiale e responsabilità del progettista architettonico, Arthur Mamou-Mani ricorda come, anche utilizzando questi metodi, gli architetti conservino il diritto e il dovere di controllare il processo di progettazione in qualsiasi momento, custodendolo, facendo scelte e mettendo in discussione le risposte

fornite dall'intelligenza artificiale. Inoltre, la responsabilità dell'architetto in relazione alle tecniche applicate sul progetto di architettura si estende, rendendo necessaria un'ulteriore comprensione dei metodi e delle informazioni che il progettista utilizza durante tutto il processo. Una conoscenza necessaria al progettista per allargare la sua visione ad un orizzonte che includa i potenziali effetti che le sue scelte produrranno quando verranno tradotte da una dimensione eterotopica digitale alla realtà fisica.

Leggendo le risposte e le riflessioni dei progettisti intervistati, è evidente come ci sia un accordo condiviso nella previsione che l'applicazione di metodi di *machine learning* avanzato possa dimostrare un'importante utilità all'interno dell'iter progettuale nell'arco dei prossimi dieci anni. È importante notare come non sempre il *machine learning* raggiunga il primo posto all'interno delle classifiche personali degli intervistati, che vedono importanti contributi provenire in particolare dal *digital manufacturing*, dal BIM e dalla applicazione di altri metodi computazionali, di cui, tra le altre cose, l'intelligenza artificiale potrebbe diventare un motore.

Nonostante gli annunci e le pratiche di marketing dichiarino il contrario, il rapporto tra intelligenza artificiale e pratica professionale è effettivamente a uno stato pionieristico riconosciuto: pochi studi e aziende con competenze specifiche, in particolare competenze informatiche, familiarità con dati, esperienza e capacità di calcolo parallelo, stanno esplorando le applicazioni dell'intelligenza artificiale avanzata all'interno dell'architettura pratica. In questo limitato gruppo di campioni digitali dell'architettura contemporanea, alcune delle più avanzate metodologie di *machine learning* e *deep learning* hanno già dato ottimi risultati in aree limitate, in termini di analisi e ottimizzazione, proponendo anche configurazioni spaziali efficaci quando le condizioni al contorno sono debitamente definite.

I dati, che giocano un ruolo centrale all'interno di ogni strategia di *machine learning* e *deep learning*, devono essere strutturati in modo coerente ed essere tanti. Questi algoritmi utilizzano infatti migliaia o addirittura miliardi di esempi per apprendere in autonomia, e la quantità di dati è determinante per la qualità del risultato. Tra i primi dati utilizzati con queste strategie, possiamo facilmente trovare quelli prodotti in anni di esperienza professionale, coerentemente con le finalità progettuali nuovi dati possono essere raccolti, creati o acquisiti. Quello dei dati è sicuramente uno dei temi più delicati: questi vengono raccolti sempre più spesso e da un numero sempre più ampio di attori, dai colossi della tecnologia ai governi. È di fondamentale importanza che i progettisti ne mettano in discussione la validità a monte di qualsiasi processo, comprendendone il reale valore per il progetto di architettura. Così la responsabilità dell'architetto aumenta esponenzialmente: un architetto deve riuscire criticare e mettere in discussione i risultati della macchina in qualsiasi momento, ma deve anche essere in grado di comprendere la qualità degli input con cui addestra le intelligenze artificiali. L'utilizzo di dati implica inoltre l'estensione di responsabilità legali, ma soprattutto etiche: accettare di utilizzare dei dati significa essere certi che questi siano stati ottenuti rispettando i diritti di terzi, e che il loro utilizzo non generi pratiche discriminatorie.

L'idea che un calcolatore possa sviluppare autonomamente scelte progettuali, abbiamo già visto non è nuova in architettura, ma è sempre stata articolata in approcci prescrittivi e non coordinativi, che spesso miravano ad automatizzare l'intero processo, sostituendo gli architetti in toto: un'eventualità tuttora remota, più vicina alla fantascienza che alla realtà. Molto più realisticamente è probabile che metodi di intelligenza artificiale riescano gradualmente a eseguire una gamma ristretta di compiti, ottenendo risultati simili a quelli di un essere umano, ma in tempi ridotti. Data la complessità dell'architettura, i progettisti intervistati escludono però che l'intelligenza artificiale possa avere effetti dirompenti in architettura nel breve periodo, il ruolo che l'AI assumerà probabilmente nell'immediato futuro sarà quello di un assistente, estremamente specializzato e capace per risolvere problemi molto specifici.

Possiamo presumere che l'applicazione delle intelligenze artificiali avvicini ulteriormente la professione dell'architettura all'informatica, alla statistica e alle scienze in generale. Competenze già oggi necessarie per poter ottenere informazioni e soluzioni in grado di velocizzare il progetto e migliorare le architetture finali. L'avvicinamento dell'architettura verso la tecnica in concomitanza con le evoluzioni di un mercato assolutamente liquido rappresentano a mio avviso il rischio di una perdita di valore per la nostra professione. Se storicamente il profilo dell'architetto è sempre stato quello di un generalista, portatore di un dominio di competenze diverse, necessarie durante tutto il percorso che dal desiderio trasforma un'idea progettuale in realtà materiale, secondo alcuni autori (Susskind e Susskind, 2015) le professioni stanno vivendo un processo di disgregazione, di divisione in parti e competenze diverse, una diversificazione dovuta innanzitutto all'incremento di complessità tecnica, che favorisce l'iperspecializzazione, e quindi al mercato, che è sempre più orientato verso servizi piuttosto che prodotti, dividendo le professioni in gruppi di operazioni che le costituiscono. Due fattori che stanno già contribuendo alla disgregazione del ruolo di architetto: se un progettista in precedenza si occupava di realizzare prospettive, fotoritocchi e materiale grafico utile alla relazione con il cliente e alla narrazione del progetto al pubblico, oggi la narrazione è diventata un aspetto dominante, che si è arricchito di nuove possibilità di rappresentazione digitale, modelli immersivi e fotorealistici realizzati da terzi. Elaborati frutto di competenze specifiche, che si stanno strutturando in nuovi profili professionali diversi da quelli dell'architetto, tanto è vero che oggi anche i campioni digitali dell'architettura contemporanea si rivolgono ad agenzie esterne specializzate in quel determinato ambito del progetto. Un fenomeno che tocca competenze anche più recenti, come quello del BIM, se da un lato tutti gli intervistati sono concordi nell'affermare che non può esserci divisione tra il ruolo di architetto e quello del tecnico BIM, come abbiamo osservato una diversificazione in questo senso è già in atto, ed esistono già aziende che si occupano esclusivamente di definizione di modelli BIM e consulenza.

È ancora difficile identificare l'effettiva influenza che l'avvento di una massiccia applicazione delle intelligenze digitali infonderà su questo scenario, e quanto il *machine learning* eroderà dalla pratica professionale. Sappiamo per certo che la

tecnica mangia se stessa, nella continua ricerca di maggiore efficacia e velocità, accentrando il potere tecnico nelle mani di sempre meno individui, ma non è ancora osservabile una massiccia applicazione di questi metodi all'interno del nostro settore. Al contrario questi temi vengono ancora affrontati da un numero limitato di ricercatori e grandi studi, pratiche professionali che lavorano a stretto contatto con le aziende che producono i programmi informatici a cui la pratica professionale è oramai vincolata. È probabile, che in caso di provata utilità e diffusione dell'AI all'interno degli studi di architettura più innovativi, le *software houses* ne traslino sul mercato le potenzialità, producendo strumenti commerciali che ne facilitano l'applicazione, una eventualità che rischia di produrre ulteriori squilibri nel progetto di architettura, così come nel valore e nella percezione del nostro ruolo all'interno della società e nelle qualità architettoniche dell'ambiente costruito.

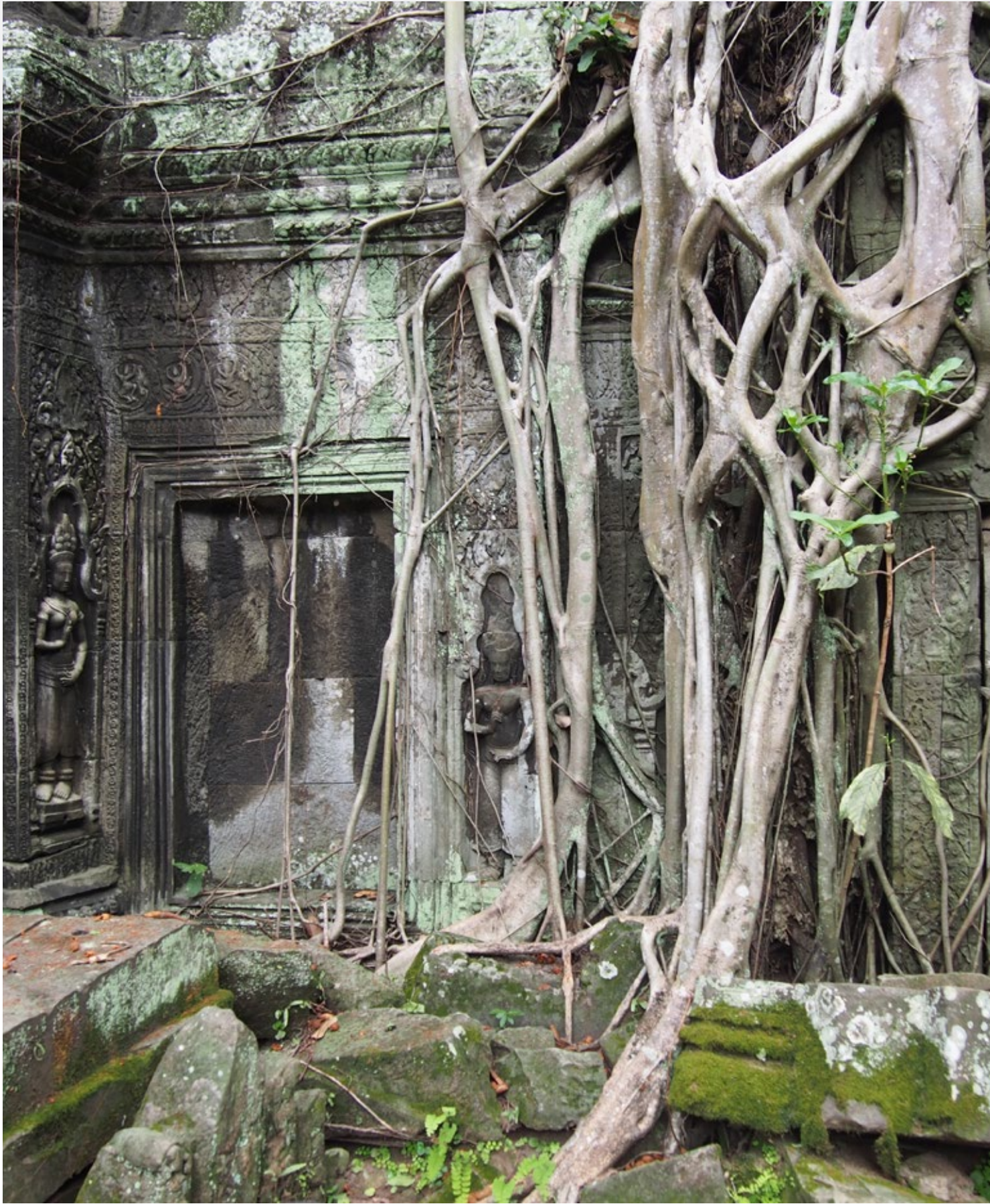
Se per Floridi (2014) la grande efficacia dimostrata dal *machine learning*, nella capacità di agire con successo in vista di un fine contribuisce alla modifica della nostra identità caratteristica della quarta rivoluzione, è evidente come il digitale abbia già cambiato il nostro modo di abitare il mondo, ibridandolo in dimensioni eterotopiche, e creando un nuovo habitat, popolato da quegli agenti che già Novak riconosce come entità, e che non solo abitano con noi l'infosfera, ma sono per loro natura capaci di modificarla con efficacia e velocità maggiore di quella umana.

I dati necessari al funzionamento di questi agenti, abbiamo visto, vengono raccolti con sempre maggiore frequenza, con l'obiettivo di creare modelli interattivi dell'ambiente costruito e dei nostri comportamenti che si vorrebbero estendere anche alla scala regionale. Una complessità che nessun essere umano è in grado di gestire, e per cui abbiamo già iniziato ad utilizzare metodi di *machine learning*, che autonomamente raccolgono e gestiscono informazioni e le utilizzano per modificare l'ambiente, come abbiamo visto nel progetto per il quartiere Quayside a Toronto.

La complessità della contemporaneità, già letta anche nell'incremento delle dimensioni del progetto di architettura, è una delle motivazioni determinanti nell'adozione dei metodi di *machine learning*, che grazie alla loro potenza muscolare ci consentono di affrontare ciò che è complesso come non siamo mai stati in grado di fare precedentemente, ampliando il nostro sguardo e la portata delle azioni che compiamo tramite questi potentissimi strumenti. L'incremento di portata del nostro operato è proporzionale a quello della nostra responsabilità in merito agli effetti che queste causano (Jonas, 1979), è chiaro quindi che la parola responsabilità, dovrà essere al centro di ogni progetto che vorremo sviluppare in seno all'infosfera. Nell'intravedere quali percorsi seguire per affrontare le sfide globali poste in essere dalla rivoluzione che ci ha investito Floridi parla di un progetto, e della *governance* necessaria per portarlo a compimento. Due ambiti che da sempre caratterizzano l'architettura, e che continueremo a perseguire con maggiore consapevolezza se riusciremo comprendere le sfide storiche che la nostra disciplina deve affrontare, ponendo la responsabilità verso l'uomo e il suo habitat naturale al centro del nostro procedere.

- Ackley, D.H., Hinton, G.E., Sejnowski, T.J., 1985. A learning algorithm for Boltzmann machines, *Cognitive science*, vol. 9, n. 1, pp. 147-169.
- Al Sayed, K., Bew, M., Penn, A., Palmer, D., Broyd, T., 2015. Modelling dependency networks to inform data structures in BIM and smart cities, in Penn, A. a cura di, *10th International Space Syntax Symposium*, Space Syntax Laboratory, London, pp. 9-17.
- Alpaydin, E., 2016. *Machine learning: the new AI*, MIT press, Cambridge.
- Artyushina, A., 2020. Is civic data governance the key to democratic smart cities? The role of the urban data trust in Sidewalk Toronto, *Telematics and Informatics*, vol. 55, p.110-114.
- Awad, E., Dsouza, S., Kim, R., Schulz, J., Henrich, J., Shariff, A., Bonnefon, J.F., Rahwan, I., 2018. The moral machine experiment, *Nature*, vol. 563, n. 7729, pp.59-64.
- Bafna, S., 2003. Space syntax: A brief introduction to its logic and analytical techniques, *Environment and behavior*, vol. 35, n. 1, pp. 17-29.
- Baldwin, E. 2020, "Sidewalk Labs Cancels Quayside Smart City Project in Toronto" visitato il 16 Settembre 2020 <https://www.archdaily.com/939152/sidewalk-labs-cancels-quayside-smart-city-project-in-toronto>.
- Bellegarda, J.R., 2014. Spoken language understanding for natural interaction: The siri experience, In *Natural interaction with robots, knowbots and smartphones*, Springer, New York, pp. 3-14.
- Bini, S.A., 2018. Artificial intelligence, machine learning, deep learning, and cognitive computing: what do these terms mean and how will they impact health care?. *The Journal of arthroplasty*, vol. 33, n. 8, pp. 358-361.
- Carbonell, J.G., Mitchell, T.M., Michalski, R.S., 1983. *Machine learning: An artificial intelligence approach*. Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Carrara, G., Kalay, Y. E., Novembri, G., 1994. *Knowledge-Based Computational Support for Architectural Design*. Elsevier, Amsterdam.
- Carta, S., 2019. *Big data, code and the discrete city: Shaping public realms*. Routledge, London.
- Cellan-Jones, R., 2014. "Stephen Hawking warns artificial intelligence could end mankind" visitato il 3 marzo 2020 <https://www.bbc.com/news/technology-30290540>.
- Chaillou, S., 2019. "AI & Architecture" visitato il 14 settembre 2020 <https://towardsdatascience.com/ai-architecture-f9d78c6958e0>.
- Coutler, M., 2019. "London Underground to track passengers using WiFi" visitato il 22 settembre 2020 <https://www.ft.com/content/858cdc32-a17f-11e9-974c-ad1c6ab5efd1>.
- Cudzik, J., Radziszewski, K., 2018. Artificial Intelligence Aided Architectural Design, in Kepczynska-Walczak, A, Bialkowski, S a cura di, *Computing for a better tomorrow, proceedings of eCAADe Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe conference*, eCAADe, Lodz, pp. 77-84.
- Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., Meyarivan, T., 2000, A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II, in Schoenauer, M., Deb, K., Rudolph, G., Yao, X., Lutton, E., Merelo, J. J., Schwefel, H. a cura di, *International conference on parallel problem solving from nature*, Springer, pp. 849-858.
- Doctoroff, D. L., 2016, "Reimagining cities from the internet up", visitato il 16 settembre 2020 <https://medium.com/sidewalk-talk/reimagining-cities-from-the-internet-up-5923d6be63ba>.
- Domingos, P., 2015. *The master algorithm: How the quest for the ultimate learning machine will remake our world*, Basic Books, New York.
- Dong, E., Du, H., Gardner, L., 2020. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time, *The Lancet infectious diseases*, vol. 20, n. 5, pp.533-534.
- Dorigo, M., Coloni, A., Maniezzo, V., 1991. Distributed optimization by ant colonies, in Varela, F. J., Bourgine, P. a cura di, *Proceedings ECAL91 European conference on artificial life*, Elsevier, Amsterdam, pp. 134-142.
- Fisher, R.A., 1930. *The genetical theory of natural selection*, Clarendon Press, Oxford.
- Fix, E., Hodges, J.L., 1951. *Discriminatory analysis: nonparametric discrimination, consistency properties*, University of California, Oakland.
- Floridi, L., 2014. *The fourth revolution: How the infosphere is reshaping human reality*, Oxford University Press, Oxford.
- Fox, M., 2016. *Interactive architecture*, Princeton Architectural Press, Princeton.
- Galimberti, U., 2009. *I miti del nostro tempo*, Feltrinelli Editore, Milano.
- Gallo, G., Wirz, F., Tuzzolino, G., 2019. Architects as tool consumers: discovering trends in software and programming languages for architecture with google trends, in Öztürk, O. a cura di, Archtheo 19, *Proceedings of Dakam Archtheo conference*, Archtheo, Istanbul, pp. 197-206.
- Gero, J.S., Sudweeks, F., 1989. *Artificial Intelligence in design*, Springer, Berlin.
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., Bengio, Y., 2014. Generative adversarial nets, in Ghahramani, Z., Welling, M., Cortes, C., Lawrence, N., Weinberger, K.Q. a cura di, *Advances in neural information processing systems*, NeurIPS, pp. 2672-2680.
- Güera, D., Delp, E.J., 2018, Deepfake video detection using recurrent neural networks, in Kankanhalli, M., Klette, R. a cura di, *15th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, AVSS, Washington, pp. 12-26.
- Hebb, D.O., 1949. *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. Wiley & Sons, London.
- Holland, J.H., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, MIT press, Cambridge.
- Holmes, A., 2019. "AI could be the key to ending discrimination in hiring, but experts warn it can be just as biased as humans" visitato il 21 settembre 2020 <https://www.businessinsider.com/ai-hiring-tools-biased-as-humans-experts-warn-2019-10?IR=T>.
- Hong, T., Wang, Z., Luo, X., Zhang, W., 2020. State-of-the-art on research and applications of machine learning in the building life cycle, *Energy and Buildings*, n. 212, pp. 35-53.
- Hopfield, J.J., 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, vol. 79, n.8, pp. 2554-2558.
- Huang, W., Zheng, H., 2018. Architectural drawings recognition and generation through machine learning, in Anzalone, P., Del Signore, M., Wit, A, J. a cura di, *RECALIBRATION: on imprecision and infidelity, Proceedings from the 2018 ACADIA Conference*, ACADIA, Mexico City, pp. 184-201.
- Jonas, H., 1979. *Das Prinzip Verantwortung*, tr. It., Portinaro, P. P. a cura di, 2009, *Il principio responsabilità*, Giulio Einaudi Editore, Milano.
- Koza, J.R., 1990. *Genetic programming: A paradigm for genetically breeding populations of computer programs to solve problems*, Stanford University, Department of Computer Science, Stanford.
- Lu, J., 2019. "How can we bring transparency to urban tech? These icons are a first step." visitato il 9 ottobre 2020 <https://medium.com/sidewalk-talk/how-can-we-make-urban-tech-transparent-these-icons-are-a-first-step-f03f237f8ff0>.
- Ma, Y., Guo, G., 2014. *Support vector machines applications*, Springer, Berlin.
- Mahmoud, A.H.A., Elghazi, Y., 2016. Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing

- rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns, *Solar Energy*, n. 126, pp. 111-127.
- McCarthy, J., Minsky, M.L., Rochester, N., Shannon, C.E., 2006. A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955, *AI magazine*, vol.27, n. 4, pp. 12-23.
- McCulloch, W.S., Pitts, W., 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *The bulletin of mathematical biophysics*, vol. 5, n. 4, pp. 115-133.
- Menezes, A.C., Cripps, A., Bouchlaghem, D., Buswell, R., 2012. Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap, *Applied energy*, n. 97, pp. 355-364.
- Morel, P., 2019. The Origins of Discretism: Thinking Unthinkable Architecture, *Architectural Design*, vol. 89, n. 2, pp. 14-21.
- Musil, J., Knir, J., Vitsas, A., Gallou, I., 2019. Towards Sustainable Architecture: 3D Convolutional Neural Networks for Computational Fluid Dynamics Simulation and Reverse Design Workflow, arXiv preprint, arXiv:1912.02125.
- Negri della Torre, A. 2019. "Trustworthy AI – Un contributo europeo sullo sviluppo dell'intelligenza artificiale (IA)" visitato il 24 Luglio 2020 www.diritto24.ilsole24ore.com/art/avvocatoAffari/mercatoImpresa/2019-04-12/trustworthy-contributo-europeo-sviluppo-intelligenza-artificiale-ia-105426.php.
- Newton, I., 1687. *Philosophiae naturalis principia mathematica*, tr. Eng., Cohen, B., Whitman, A., Budenz, J., 2016. *The Principia: The Authoritative Translation: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, University of California Press, Oakland.
- Nguyen, A.N., Lawley, M.J., Hansen, D.P., Bowman, R.V., Clarke, B.E., Duhig, E.E., Colquist, S., 2010. Symbolic rule-based classification of lung cancer stages from free-text pathology reports, *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 17, n. 4, pp. 440-445.
- Paterson, G., 2017. *Real-time energy use predictions at the early architectural design stages with machine learning*, Tesi dottorale, University College London, London.
- Patsadu, O., Nukoolkit, C., Watanapa, B., 2016, May. Human gesture recognition using Kinect camera, in Desai, E., Desai, B. C., Almeida, A., Bernardino, J. a cura di, *Ninth international conference on computer science and software engineering*, JCSSE, Porto, pp. 28-32.
- Pearl, J., 2014. *Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference*. Elsevier, Amsterdam.
- Phelan, N., Davis, D., Anderson, C., 2017, May. Evaluating architectural layouts with neural networks, in Turrin, M., Peters, B., O'Brien, W., Stouffs, R., Dogan, T. a cura di, *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, SimAUD, Toronto, pp. 138-157.
- Price, R., 2020. "Facebook is wrongly blocking news articles about the coronavirus pandemic" Visitato il 7 Luglio 2020 <https://www.businessinsider.com/facebook-blocking-coronavirus-articles-bug-2020-3?IR=T>.
- Ramos, S., Gehrig, S., Pinggera, P., Franke, U., Rother, C., 2017, June. Detecting unexpected obstacles for self-driving cars: Fusing deep learning and geometric modeling, in Zhang, W., Acarman, T., de La Fortelle, A., Yang, M. a cura di, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, IEEE, Redondo Beach, pp. 1025-1032.
- Rosenblatt, F., 1958. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain, *Psychological review*, vol. 65, n.6, pp. 386-407.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J., 1986. Learning representations by back-propagating errors, *Nature*, vol. 323, n.6088, pp. 533-536.
- Rutten, D., 2013. Galapagos: On the logic and limitations of generic solvers, *Architectural Design*, vol. 83, n. 2, pp. 132-135.
- Showkatbakhsh, M., Erdine, E., Rodriguez, A.L., 2020. Multi-Objective Optimization of Robotically Bent In-Situ Reinforcement System, in Chronis, A., Wurzer, G., Lorenz, W. E., Herr, C. M., Pont, U., Cupkova, D., Wainer, G. a cura di, *SimAUD 2020: Proceedings of the 11th annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, SimAUD, pp. 263-275.
- Sidewalk Labs, 2017. "the Master Innovation and Development plan" visitato il 6 ottobre 2020 https://sidewalk-toronto-ca.storage.googleapis.com/wp-content/uploads/2019/06/23135500/MIDP_Volume0.pdf.
- Silver, D., Schrittwieser, J., Simonyan, K., Antonoglou, I., Huang, A., Guez, A., Hubert, T., Baker, L., Lai, M., Bolton, A., Chen, Y., 2017. Mastering the game of go without human knowledge, *Nature*, vol. 550, n. 7676, pp.354-359.
- Simon, J., 2019. "Evolving Floorplans" visitato il 15 Settembre 2020 https://www.joelsimon.net/evo_floorplans.html.
- Sinclair, C., Pierce, L., Matzner, S., 1999, December. An application of machine learning to network intrusion detection, in Akers, D., Haeney, J., Sledge, F. a cura di, *Proceedings 15th Annual Computer Security Applications Conference*, ACSAC, Washington, pp. 371-377.
- Stanley, K.O., Miikkulainen, R., 2002. Evolving neural networks through augmenting topologies, *Evolutionary computation*, vol. 10, n.2, pp. 99-127.
- Taleb, N.N., 2007. *The black swan: The impact of the highly improbable*, Vol. 2, Random House, New York.
- Turing, A.M., 1950. Computing machinery and intelligence, *Mind*, vol. 59, pp. 433-64.
- Vapnik, V., 1963. Pattern recognition using generalized portrait method. *Automation and remote control*, n. 24, pp. 774-780.
- Valverde, M., Flynn, A., 2018. "More buzzwords than answers"- to Sidewalk Labs in Toronto, *Landscape Architecture Frontiers*, vol. 6, n. 2, pp. 115-124.
- Whitney, V., Ho, B., 2019. "Introducing our generative design tool, which can help generate millions of planning scenarios — and identify options that best reflect local priorities." visitato il 16 settembre 2020 <https://www.sidewalklabs.com/blog/a-first-step-toward-the-future-of-neighborhood-design/>.
- Yu, M., Du, G., 2019. "Why Are Chinese Courts Turning to AI?" visitato il 24 luglio 2020 <https://thediplomat.com/2019/01/why-are-chinese-courts-turning-to-ai/>.
- Zykov, V., Mytilinaios, E., Adams, B., Lipson, H., 2005. Self-reproducing machines, *Nature*, n. 7039, pp. 163-167.



6. CONCLUSIONI

EN CONCLUSIONS



Figura 6.1: Le rovine del tempio di Ta Prohm in Cambogia. (foto Deb Dowd)

6. CONCLUSIONI

Il percorso tracciato all'interno di questo lavoro di ricerca ha voluto evidenziare come l'influenza degli strumenti digitali intacchi non soltanto il progetto di architettura nelle sue qualità strumentali e metodologiche, ma anche e soprattutto la nostra società: considerando la contemporaneità con cui il progetto di architettura deve non soltanto confrontarsi, ma da cui germina, nella sua natura di attività umana rivolta all'uomo. Le nuove capacità digitali che hanno impregnato la *sur-modernità* in seguito alla caduta del muro, con la nascita dell'internet globale, hanno favorito una fluidificazione della società già in atto dal secondo dopoguerra. La progressiva liquefazione della nostra esistenza e quindi della nostra cultura già evidente nell'architettura postmoderna, raggiunge nuovi apici in quelle che Novak descrive come architetture liquide nel ciberspazio, germogliate da una contemporaneità in cui le griglie si sono spezzate formando delle reti di complessità multidimensionale. Le architetture liquide rappresentano perfettamente un momento storico in cui le classi sociali si sono disciolte, rendendo complesso il riconoscimento delle strutture che animano il pianeta e influenzano il nostro ruolo nella società. Una nuova velocità di movimento di persone, merci e di informazioni ha reso globale il mondo, producendo un cambio di scala, che incide sul nostro rapporto con il tempo, sulla nostra capacità di comprenderne il valore, e sulle relazioni che instauriamo con il territorio, inteso sia come geografia che come sistema di relazioni che costruiamo tra noi. Abbiamo osservato quanto progetti infrastrutturali come l'Hyperloop accelerino ulteriormente la velocità degli spostamenti, restringendo il mondo, e di contro l'ICT favorisca un ulteriore distanziamento fisico evidente in fenomeni come la mixofobia e il diffondersi di *gated communities* nei paesi più industrializzati.

Se già Novak nel parlare delle architetture liquide afferma come i dati si possano trasformare in architetture in modo totalmente diverso da ciò che l'architettura rappresenta, generando spazi popolati da anime o entità, oggi il nostro rapporto con dati e informazione è di permeante attualità: il digitale sta effettivamente modificando il nostro ambiente, rubando funzioni allo spazio fisico, rendendolo indeterminato. Oggi, nonostante internet abbia una fisicità anche geografica nella sua rete infrastrutturale e nei *data-centre* dislocati per il mondo, l'informazione è istantaneamente disponibile ovunque, e ognuno di noi è in grado di produrla, anche involontariamente. Questa nuova capacità è alla base di fenomeni come il *web 2.0*, che ci ha resi tutti personaggi pubblici, svuotando della sua componente fisica il significato della parola condivisione e incrementando esponenzialmente la

6. CONCLUSIONS

The path taken, which is at the base of this research work, aims to highlight how the influence of digital tools affects not only architectural design in its instrumental and methodological qualities, but also, and above all, in how it does our society. All this while taking into consideration the contemporaneity that architectural design must not only measure itself up to but which it actually germinates from in its nature of human activity geared towards human beings. New digital capabilities that permeated sur-modernity following the fall of the wall, with the birth of the global internet, have fostered in our society a fluidity already underway since World War II. The progressive melding of our existence and therefore of our culture, already evident in postmodern architecture, reaches new heights in what Novak describes as liquid architecture in cyberspace, sprouting from a contemporaneity in which the grids have broken apart, forming networks of multidimensional complexity. Liquid architectures perfectly represent a historical moment in which social classes have dissolved, making it difficult to recognize the structures that give life to our planet and influence our role in society. A new speed in movement of people, goods, and information has made the world global, producing a change of scale, which affects our relationship with time, our ability to understand its value, and the bonds we establish with our surrounding territory understood in terms of both geography and as a system of relationships that we build between us. We have observed how infrastructure projects such as Hyperloop further accelerate the speed of travel, thus shrinking the world, whereas on the contrary ICT fosters further physical distancing evident in phenomena such as mixophobia and the spread of gated communities in the most industrialized countries.

If Novak already, in speaking of liquid architecture states how data can be transformed into architecture in a totally different way from what architecture represents, generating spaces populated by souls or entities, today our relationship with data and information is one of pervasive topicality: digital is actually changing our environment, depriving functions of their physical space, making it indeterminate. Today, despite the fact that the internet has a physicality, even geographic, in its infrastructural network and in data-centres around the world, information is instantly available everywhere and each of us is able to produce it, even involuntarily. This new capability is the basis of phenomena such as web 2.0, which has made public figures of all of us, removing the physical component from the meaning of the word 'sharing', and exponentially increasing the complexity of the world in our eyes. Grid categories, a human tool used for understanding the world, have given way to the network of folksonomies, chaotic

complessità del mondo ai nostri occhi. Le griglie delle categorie, strumento umano adoperato per la comprensione del mondo, hanno lasciato spazio alla rete delle folksonomie, strutture di topologia caotica prodotte dalle moltitudini di utenti che popolano il web. Il diverso approccio alla strutturazione del sapere influisce sulla fruizione dell'informazione, che è diventata una pratica trasversale, e anima fenomeni come *cross-fertilization*, o ibridazione del sapere, divenuta caratteristica della cultura contemporanea. Il desiderio di organizzare e collegare saperi afferenti a discipline diverse non è una novità, e il progetto del teatro di Camillo Delminio ne costituisce un esempio di grande attualità, anticipando di cinque secoli il database contemporaneo e la missione di Google, che per confrontarsi con la complessità dell'organizzazione del sapere umano si affida largamente all'automazione.

Ciò che è cambiato, non soltanto dai tempi di Delminio, ma anche limitando il nostro sguardo a quel periodo che va dagli anni 90 alla contemporaneità è il numero di informazioni a nostra disposizione. Una moltitudine di dati che è stata prodotta almeno per il 95% negli ultimi dieci anni, e segna non soltanto una diversa maturità del digitale, ma addirittura l'avvento dell'iper-storia, intesa da Floridi come quella fase in cui il numero di informazioni registrate e quindi disponibili ad interpretazione e utilizzo è cresciuto quantitativamente in modo esponenziale rispetto al passato.

L'incredibile capacità di produzione, reperimento, fruizione di informazione in tempo reale determina un cambiamento nel nostro ambiente, trasformato in un'infosfera, che ibrida le nostre esistenze su dimensioni che sono tanto analogiche quanto digitali, in un *habitat* che condividiamo con entità digitali, analoghe alle anime già anticipate da Novak, e che per loro natura hanno una maggiore capacità di modificare l'ambiente, secondo orizzonti anche trasversali rispetto a quelli umani.

La modifica dell'ambiente umano da parte della tecnica rappresenta il momento in cui questa arriva a produrre un cambiamento addirittura ontologico per Floridi e Galimberti, quest'ultimo descrive il rapporto tra tecnica e natura in società dalla nascita della cultura greca sino alla contemporaneità. Un percorso che ho seguito in architettura, e in particolare nella forma della città, a partire dai primi insediamenti del medioevo ellenico: nuclei di architetture realizzati sugli altipiani, secondo un approccio pragmatico, che denuncia una capacità tecnica limitata e la superiorità della natura. Osserviamo un primo capovolgimento dei ruoli con il rinascimento e l'avvento della scienza moderna, quando l'uomo diventa giudice e la natura imputata, obbligata a rispondere agli interrogatori dell'uomo. E' questo il momento in cui Bacone immagina la *smart city ante litteram*, la Nuova Atlantide, vero e proprio apparato tecnico, che pone la scienza al centro della vita cittadina, ma è anche il periodo delle città di nuova fondazione, frutto della nuova capacità tecnica di modifica del territorio: progetti che seguono un approccio cosmico, in cui la geometria si impone sulla natura. Anche la società si pone a servizio della tecnica, così come accaduto a Palmanova, fortezza della Serenissima: apparato tecnico militare che ospita al suo interno una città per rendere la fortezza capace di resistere a lunghi assedi. Oggi, in una fase in cui la tecnica è diventata la condizione per raggiungere qualsiasi risultato, trasformandosi in fine, surclassando non solo la natura, ma persino

topology structures produced by the multitudes of users who populate the web. This different approach to the structuring of knowledge affects how information is used; a transversal practice that breathes life into phenomena through cross-fertilization, or hybridization of knowledge, by now a feature of contemporary culture. The desire to organize and connect knowledge related to different disciplines is not new, and Camillo Delminio's theatre project is an example of great relevance, a precursor by five centuries of the contemporary database and mission of Google which, in order to measure itself with the complexity of the organization of human knowledge largely relies on automation.

What has changed, not only since the time of Delminio, not to mention how our gaze is narrowed to that period from the 90s to the present day, is the amount of information available to us. This multitude of data has been produced at least 95% in the last ten years and marks not only a different maturity regarding digital but even the advent of hyper-history, understood by Floridi as that phase in which the amount of information recorded and therefore available for interpretation and its use has grown in quantity exponentially compared to the past.

This incredible capability for the production of, retrieval, and use of information in real-time determines a change in our environment, which transforms into an info-sphere. It then hybridizes our existences on dimensions that are both analogical and digital, in a habitat inhabited by digital entities, similar to souls as Novak already asserted previously, and which by their nature have a greater ability to modify the environment, according to perspectives that are even transversal compared to human ones.

A technical modification of the human environment represents a moment that goes as far as to produce change that is even ontological in Floridi and Galimberti's opinion, the latter describes the relationship between technology and nature in society from the birth of Greek culture to the contemporary. A path that I followed in architecture, and in particular in viewing city forms, starting from the first settlements of the Hellenic middle ages: architectural groupings built on plateaus, according to a pragmatic approach, which exposes limited technical capability and the superiority of nature. We can observe this first reversal of roles with the Renaissance and the advent of modern science, when man became judge and nature the accused, forced to respond to man's inquiring. This represents the moment in which Bacon envisions the ante litteram smart city, the New Atlantis, a technological apparatus, which places science at the centre of city life. It is also the period of newly founded cities, thanks to new technical capability for land-use changes: projects that follow a cosmic approach, in which geometry imposes itself on nature. Society places itself at the service of technology as well, as happened in Palmanova, the Venetian fortress: a military technology system housing a city within the fortress so that it be better equipped for resisting long sieges. In today's phase where technology has become the means for achieving any result, transforming into the end itself, not only outshining nature but even man, now transformed into a shepherd of machines, we are forced into a calculated way of thinking: the only way for us to allow the technological

l'uomo, trasformato in pastore delle macchine, siamo forzati al pensiero calcolante: l'unico che ci permette l'assimilazione all'apparato tecnico che è diventato il nostro ambiente. Sogniamo di realizzare città-eden animate dalla tecnica: *smart cities* che ci promettono di alleggerire le nostre esistenze, ma nei pochi casi in cui sono state realizzate si sono dimostrati sobborghi tecnologici.

La tecnica impone alle nostre esistenze analogiche strutture innaturali, necessarie per il suo funzionamento: logica binaria che appiattisce i significati della nostra esistenza in numeri, ma anche database, che schiacciano il tempo in un sistema di coordinate spaziali, favorendo le narrazioni alterate caratteristiche dei social media. Per limitare questa deriva, è necessario da parte nostra un diverso orientamento nell'applicazione della tecnica: un approccio che non sia prescrittivo, ma coordinativo, quindi costantemente orientato all'inclusione di nuovi problemi. Così da affrontare le sfide poste dalla contemporaneità secondo il principio responsabilità dichiarato da Jonas, che ci vuole non come stupidi ingranaggi di un apparato, limitati ad un mansionario da svolgere, ma al contrario intelligenti: rivolti ad una più ampia comprensione dei temi e una diversa previsione degli effetti delle nostre azioni.

La modifica dell'ambiente è già visibile in quella che già Foucault definisce l'epoca dello spazio, una fase di sperimentazione, segnata dal passaggio da sistemi di luoghi contrapposti verso un'apertura Galileiana. Una condizione accentuata dall'ICT che ibrida la nostra fisicità in un eterotopia digitale, dimensione diversa dalla realtà come l'utopia, ma che si impone sul mondo fisico, esercitando una trasvalutazione dei significati caratteristica già attribuita da McLuhan ai media. Mentre la tecnica digitale procede nella traduzione di oggetti funzioni fisiche in *bit*, dissocia lo spazio fisico da quello affettivo, economico, lavorativo, politico. Una dissociazione che abbiamo sperimentato vivamente durante la quarantena del 2020, quando le nostre case hanno raggiunto un nuovo grado di indeterminazione, trasformandosi in uffici, palestre, celle. Il digitale favorisce l'indeterminazione dello spazio amplificando il diffondersi dei non luoghi, limitando addirittura la nascita di nuovi luoghi, come i centri commerciali, che appena assurti allo stato di luoghi potenziali, si stanno dissolvendo nel colossale successo degli *e-commerce*. Questo disgregarsi delle strutture precedenti è evidente nello spazio della città contemporanea, dove le gerarchie precedentemente istituite in architettura lasciano spazio a nuove polarità eterotopiche, come il numero di recensioni positive di un hotel, di un ristorante o un monumento nel centro storico di Roma, o come succede a Londra, dove la frequentazione dello spazio urbano è influenzata dalla presenza di reti wifi disponibili gratuitamente ai turisti. Così come osservabile da alcune prime applicazioni commerciali della realtà aumentata, o dalle performance artistica di Simon Weckter, che nel 2019 ha creato un ingorgo virtuale nel centro di Berlino, ingannando Google Maps con 99 *smartphones*. E' cambiato il modo in cui ci interfacciamo con il mondo, un ambiente che guardiamo attraverso gli occhi della macchina, di un apparato tecnico incredibilmente potente, ma comunque limitato che ci rende sempre più stupidi e distanti dal qui e dall'ora. Questa condizione, acuitasi nell'arco dell'ultimo decennio e probabilmente non ancora riconosciuta da molti, è il prezzo da pagare per poter sfruttare la capacità della tecnica di gestire la complessità contemporanea, una facoltà animata dai dati: il combustibile necessario

apparatus, which has become our environment, to assimilate it. We dream of creating Eden-cities animated by technology: smart cities that promise to make our lives less burdensome, but in the few cases once built proved to be technological suburbs. Technology imposes its unnatural structures on our analogical existences, necessary for its functioning: binary logic that reduces the meaning of our existence into numbers, but also databases, which crush time in a system of spatial coordinates, fostering the altered narratives so typical of social media networks. To limit this breach, it is necessary for us to adopt a different orientation towards how technology is applied: an approach that is not prescriptive, but coordinative, therefore constantly oriented towards the inclusion of new problems. In this way, we may face the challenges posed by contemporaneity based on a principle of responsibility declared by Jonas. This contemporaneity that wants us not just to be stupid gears in an apparatus, limited to a job description to be carried out, but to be, on the contrary, intelligent: aimed at a broader understanding of themes and a different prediction of the effects of our actions.

The modification of our environment is something that is already visible in what Foucault defines as the space age, a phase of experimentation, marked by the transition from systems of opposing places towards a Galilean openness. A condition accentuated by ICT, that hybridizes our physicality into a digital heterotopia, a dimension different from reality in a way that utopia is, but one that eventually imposes itself on the physical world, thereby causing a transliteration of meanings: a characteristic already attributed to the media by McLuhan. Whereas digital technology proceeds in the translation of objects and physical functions into bits, it dissociates the physical space from the emotional, economic, social, and political one. A dissociation that we experienced vividly during the 2020 lockdown, when our homes reached a new degree of indeterminacy, turning themselves into offices, gyms, and prison cells. Digital fosters the indeterminacy of space by amplifying the spread of non-places, even limiting the emergence of new places, such as shopping centres, which just as they had reached the status of potential places, they got swallowed up by the colossal success of e-commerce. This disintegration of structures previously in place is evident now when observing spaces of the contemporary city. The hierarchies previously established in architecture have given way to new heterotopic polarities, such as in the case of the number of positive reviews a hotel, restaurant, or monument in the historic centre of Rome receives, or in that of London, where the use of urban space depends on the presence of Wi-Fi networks available free to tourists.

A similar scenario took place with some of the first commercial applications of augmented reality, or during the artistic "performance and installation" of Simon Weckter, who in 2019 created a virtual traffic jam in the centre of Berlin, hacking Google maps with 99 smartphones. The way in which we interface with the world has changed; we now look at our environment through the eyes of a machine: an incredibly powerful yet limited technical apparatus that increasingly dumbs us down and keeps us far from the here and now. This condition, which has worsened over the last decade, with many people probably not even recognizing it yet, is the price to pay in order to exploit the ability of technology to manage contemporary complexity. This is a capacity driven by data: a necessary fuel for boosting the application of a new

all'applicazione di un nuovo paradigma scientifico, che anche in architettura ha provocato una nuova svolta digitale.

Nel ricostruire il tragitto che anche in architettura ha visto un graduale incremento della complessità sino alla nostra contemporaneità è necessario riallacciare i legami con i significati essenziali del nostro processo progettuale. Riconoscendo nel progetto quella fase distinta dalla produzione, che ci ha sempre portato a misurarci con le possibilità tecniche a noi contemporanee, e che per sua natura, in architettura più che in altri ambiti progettuali è da sempre intriso di complessità. Una caratteristica che il progettista affronta nella qualità di custode, interprete idealmente capace di comprendere la multi dimensionalità dei temi, ma anche e soprattutto come mediatore, abile nel calare l'utopia nella realtà attraverso una manipolazione di simboli, secondo la natura eterotopica del progetto di architettura. Per affrontare questo percorso inevitabilmente tortuoso l'architetto ha a disposizione le modalità di pensiero di fantasia e invenzione, unite per Munari nella creatività in un uso finalizzato, che insieme a una quarta facoltà, quella dell'immaginazione determina il formarsi del progetto.

Il tema degli strumenti, lo abbiamo visto è di incredibile attualità in architettura, ed è un argomento che non dobbiamo limitare all'adozione di calcolatori, ma dobbiamo estendere ai metodi, che non sono mai indifferenti nei obiettivi rispetto alle finalità che l'architettura si pone. La condizione contemporanea di ibridazione dei saperi conduce al progetto di architettura nuovi materiali provenienti da altre discipline, materiali che all'interno del progetto rischiano di inclinare il progetto verso la tecnica, che da un lato ci fornisce nuovi modelli per indagare la realtà secondo le direzioni della scienza, ma dall'altro rischia di assimilare il progetto ad un'equazione, appiattendolo in un programma. Una strada già percorsa da Alexander, il cui pensiero radicale si è già scontrato con le necessità creative del progetto, sviluppate attraverso un processo che, anche quando forte della potenza scientifica, conserva la sua caratteristica di tentativo, così come professato anche da De Carlo. Il progetto è basato secondo Munari su una continua acquisizione di informazioni e rimodulazioni, quindi sempre inclusivo. Un approccio euristico è necessario non solo perché la creatività non può essere perseguita tramite un processo deterministico, ma anche perché il progetto di architettura è sempre un problema mal definito, ovvero un problema che non fornisce tutta l'informazione necessaria per la sua risoluzione, per il quale non esiste uno strumento definitivo o un criterio tramite cui decidere se e quando il problema è risolto.

Ne sicuramente è consapevole Luigi Moretti, uno dei tre precursori da me trattati: progettisti che hanno anticipato alcuni degli aspetti caratteristici del secondo periodo digitale. Moretti desume la sua architettura parametrica dalla ricerca operativa conosciuta negli ambienti dei gerarchi fascisti e dallo studio delle opere di grandi architetti e artisti Italiani: sviluppa studi sulle opere di Giotto, Michelangelo, Bernini e Borromini, e si concentra su temi come lo spazio e la percezione umana, argomenti che non ha paura di affrontare anche attraverso la complessità matematica dei gruppi

scientific paradigm, which has also caused a new digital turn in architecture.

In reconstructing this path, which in the case of architecture can be seen in a gradual increase in complexity all the way up to our contemporaneity, it is necessary to reconnect with the essential meaning of the architectural design process. Recognizing architectural design as that phase separated from the actual production which has always led us to measure ourselves with the technological possibilities of our time, and which by its nature has always been imbued with complexity, in architecture more than in other design fields. This characteristic is one architect must face in his role as a custodian, and as an interpreter who is ideally capable of understanding the multi-dimensionality of architectural subjects, but also, and above all as a mediator, skilled in making utopias reality through manipulation of symbols, according to the heterotopic nature of architectural design. To face this inevitably tortuous path, the architect has at his or her disposal fantasy and inventiveness, which for Munari are merged in the finalized use of creativity, together with a fourth faculty, that of imagination.

The subject of tools, as we have seen, is incredibly topical in architecture, and is one that we must not limit to the adoption of computers, but must extend to methods, which are never indifferent or objective with respect to the purposes that architecture poses. New materials coming from other disciplines filter into architectural design thanks to the contemporary condition of hybridization of knowledge. With these materials inserted into architectural design comes the risk of a tilt towards the technics, which on the one hand provides us with new models to investigate reality with according to what science indicates, but on the other brings the risk of thinking that architectural design can be resolved like an equation by flattening it in a program. This is a path Alexander already travelled down, of whose radical thinking has already clashed with the creative needs of architectural design, developed through a process that, even when strongly backed by scientific power, retains this trait of attempt, as also professed by De Carlo. According to Munari, design is based on a continuous acquisition of information and remodulation, is therefore always inclusive. A heuristic approach is necessary not only because creativity cannot be pursued through a deterministic process, but also because architectural design is always an ill-defined problem: a problem that does not provide all the information necessary for its resolution, for which there is no definitive tool or criterion by which to decide if and when the problem is solved.

An architect who is certainly aware of this is Luigi Moretti, one of the three forerunners I have analysed: architects who ushered in some of the characteristic aspects of the second digital turn. Moretti's parametric architecture, intuited from operational research, wellknown within fascist hierarchs circles of fascist hierarchs, is also derived from his study of the works of great Italian architects and artists: he developed studies on the works of Giotto, Michelangelo, Bernini, and Borromini, deepening his focus to themes such as space, and human perception. Topics that he was not afraid to tackle also through the mathematical complexity of the Galois groups. The architect pre-empted the "form follows force" principle, wishing for a return to a design process

di Galois. L'architetto anticipa il principio "*form follow forces*", augurandosi un ritorno ad un processo progettuale che segua la direzione generativa Struttura → Forma, ed è impegnato tanto nella sua attività di progettista quanto in quella di ricercatore, che culminerà nella mostra del 1960 alla Triennale di Milano, occasione in cui presenterà i suoi stadi, modelli di progetti realizzati secondo la sua architettura parametrica, capace di sfruttare l'approccio scientifico per domare le complessità quantificabile, dichiarando la forma finale impossibile da raggiungere esclusivamente tramite l'applicazione di un processo deterministico.

Il superamento del razionalismo è uno dei desideri che lega tanto i tre anticipatori del secondo digitale quanto diversi progettisti e teorici contemporanei. Se già Moretti in un'intervista del 1930, rilasciata nel suo studio di Via Panisperna, dichiara il razionalismo morto, perché incapace di superare le due dimensioni del disegno cartaceo, definendolo primitivo nell'approccio alla complessità dell'architettura, anche Buckminster Fuller forte della sua esperienza in marina criticherà il modernismo, definito "malattia di moda", lamentando l'inefficienza del confusionario e arretrato settore delle costruzioni ancora troppo vicino all'artigianato. Fuller dedicherà la sua intera esistenza alla ricerca e produzione di soluzioni innovative che si estendono oltre l'architettura, ampliando il significato della parola abitare all'intero pianeta: una navicella spaziale descritta come un sistema da tutelare e governare. In architettura anticipa la contemporaneità delle ricerche su forma materiali e struttura, promuovendo l'utilizzo di strutture ottimizzate geometricamente non solo per il comportamento fisico ma anche per produzione, trasporto, comfort termico e risparmio energetico. Le sue *tensegrity structures* e cupole geodetiche rappresentano una rottura con sistemi costruttivi tradizionali e scaturiscono da riflessioni puramente energetiche, che Fuller estende ai limiti della sua instancabile attività di ricerca. Alcuni giudicano Fuller un tecnocrate, egli è innanzitutto un inventore affascinato dai sistemi complessi, a ciò corrisponde una sensibilità che gli permetterà di leggere prima di altri la complessità del nostro pianeta, della società umana e dei processi che la regolano, mettendoci in guardia dall'iperspecializzazione, una condizione che impedisce una comunicazione efficace e avvantaggia pochi. A guardia della nostra cultura e della nostra esistenza egli pone la figura dei pianificatori mondiali, architetti-inventori capaci di estendere le loro conoscenze da ogni ambito del sapere, dalla chimica alla psicologia, coesi nell'affrontare coralmemente problemi globali.

Come Buckminster Fuller anche Frei Otto, il terzo dei precursori del digitale esplorati, parteciperà all'expo di Montreal del '67, nella stessa decade in cui Moretti presenterà la mostra sull'architettura parametrica. Un progettista arrivato all'ingegneria e all'architettura in seguito a esperienze in aviazione, che come Moretti è interessato al tema del processo di definizione della forma, e come Fuller guarda la natura come modello per l'architettura. Nel corso della sua lunga attività di ricerca, portata avanti all'interno degli istituti da lui gestiti, Otto orienta la tecnica verso la natura, un "tutto" che affrontiamo nonostante una conoscenza frammentaria, e che include tanto l'uomo, quanto la tecnica nella sua qualità di attività umana. Il progettista definisce le forme sulla base della loro genesi, a partire dalle forme proprie dell'ambiente costruito,

following the generative direction of Structure → Form. He dedicated himself both to his activity as an architect and as a researcher, which would culminate in the 1960 exhibition at the Milan Triennale Design Museum: the occasion on which he presented his stadiums, models created according to his parametric architecture, capable of exploiting the scientific approach to tame quantifiable complexities, while declaring the final form impossible to reach exclusively through the application of a deterministic process.

The strong desire to overcome Rationalism is something that truly bound the three forerunners of the second digital turn, along with several other contemporary designers and theorists. Already Moretti, in a 1930 interview given in his studio in Via Panisperna, declared Rationalism dead, for its inability to move beyond the two dimensions of paper drawing, defining it a primitive approach to the complexity of architecture. On a similar note Buckminster Fuller, fortified by his experience in the navy, would go on to criticize Modernism, defining it as a "fashion disease", complaining about the inefficiency of the confusing and backward construction sector, still too close to crafts. Fuller would dedicate his entire existence to research and production of innovative solutions that extend way beyond architecture, expanding over the entire planet the meaning of the word 'to inhabit': a spaceship described as a system to protect and govern. In architecture, he pre-empted the contemporaneity of research on the concept of form, materials, and structure, promoting the use of geometrically optimized structures not only for physical behaviour but also for production, transport, thermal comfort, and in the conservation of energy. His tensegrity structures and geodesic domes represent a break with traditional construction systems and spring forth out of purely energetic reflections, which Fuller extended to the limits of his tireless research activity. Some consider Fuller a technocrat, he is above all an inventor fascinated by complex systems, and highly sensitive, something that would allow him to interpret before others the complexity of our planet, of human society, and of the processes that regulate it, putting us on guard against hyper-specialization, a condition that prevents effective communication and benefits few. He places world planners in the forefront as figures to safeguard our culture and our existence, such as architects-inventors capable of expanding their view from all areas of knowledge, be it from chemistry to psychology, cohesive in facing global problems together.

Like Buckminster Fuller, Frei Otto, the third of the precursors explored, would participate in the Montreal Expo in '67, during the same decade in which Moretti would present his exhibition on parametric architecture. Otto arrived at engineering and architecture following his experiences in aviation, like Moretti he is interested in the subject of architectural design as a process, and like Fuller, he looked at nature as a model for architecture. During his long research activity, carried out within the institutes he managed, Otto steered technology towards nature: a "whole" which includes both man and technology in its quality as a human activity, a process that we face despite a fragmentary knowledge. The architect defines forms on the basis of their genesis, starting from the forms of the built environment, produced with

prodotte sulla base di metodi standardizzati e che non instaurano una vera efficienza fisica, a cui è preferibile un secondo gruppo, quello le forme naturali, generate sulla base di leggi fisiche intrinseche come pressione e gravitazione. Otto dichiara inoltre un terzo gruppo di forme, quelle artistiche, che non sono di interesse del progettista tedesco, al contrario di quanto accadrà successivamente col decostruttivismo e in concomitanza con la prima svolta digitale. A lui dobbiamo lo sviluppo dei metodi di *form-finding*, e di modelli *Occupying and Connecting* desunti dal comportamento biologico. I suoi progetti dichiarano la forma come una condizione naturale che è indagata tramite sperimentazione: modelli in scala che Otto sfrutta analogamente a quanto fatto oggi tramite simulazioni, costruendo una logica parametrica basata sul loro effettivo comportamento. In questo senso i modelli di Otto sono calcolatori naturali, basati su fisica chimica e biologia. Così come gli altri due precursori digitali, Otto traslerà a un certo punto i suoi processi sui calcolatori, preferiti per la loro precisione e capacità di gestione della complessità: in tutti e tre i casi si tratta di una fase successiva, che non è il vero punto di legame con la contemporaneità, riscontrabile più nell'approccio e nel metodo, e nella ricerca di una nuova sincerità per l'architettura.

L'incremento di complessità che viviamo ha, per noi architetti, radici consolidate nel movimento postmoderno, quale diverso sguardo verso società, cultura e progetto. La nuova prospettiva posta da Venturi si apre per accogliere le complessità e le contraddizioni della collettività, sottolineando il rapporto tra architettura e comunicazione, evidente in quella Las Vegas degli anni 70, archetipo della città contemporanea, che ha sviluppato le sue velleità sulle dimensioni eterotopiche del digitale. Il decostruttivismo, che da un lato segna una prima familiarità del progetto con gli strumenti digitali, nella sua qualità di corrente non strutturata, animata da voci anche discordanti, è ancora fondato sull'emersione delle contraddizioni, evidenti nella decostruzione Derridiana. Il suo carattere sperimentale è animato dalla tecnica globale, che permette ai progettisti una libertà espressiva senza precedenti, e garantisce ad alcuni dei suoi protagonisti il titolo di Archistar, un neologismo che si caricherà presto di significati come autoreferenzialità, eccezione sganciata dalle necessità dell'architettura e della società: una caratteristica che rileggeremo nell'influenza che la comunicazione digitale produce sul dibattito architettonico contemporaneo.

La prima svolta digitale ha tra i protagonisti diversi architetti del decostruttivismo, come Gehry, che grazie alle spline costruirà nuovi processi di definizione e rappresentazione delle forme, Zaha Hadid, che troverà nella matematica lo strumento per sviluppare le invenzioni formali che si svilupperanno nelle architetture progettate dal suo studio, e soprattutto Eisenman, architetto e teorico che radica il progetto nel pensiero contemporaneo, sviluppando un iter che dalle prime analogie vettoriali lo porterà su un percorso segnato da nuove metodologie come *scaling*, *folding* e *morphing*. Dove i temi di continuità e variazione, identificati da Carpo come caratteristiche della prima svolta digitale, trovano un accordo, è sicuramente nel pensiero e negli esperimenti di Lynn. Progettista statunitense già allievo di Eisenman, da cui si distaccherà nella ricerca di una *smoothness* che comprenda la complessità, integrandone le contraddizioni in forme fluide quindi maggiormente abili nel

standardized methods, and which do not instil a true physical efficiency, form to which a second group is preferable, that of natural forms, generated based on intrinsic physical laws such as pressure and gravitation. Otto also declared a third group of forms, the artistic ones, which were not of interest to the German architect, contrary to what would happen later with Deconstructivism and during the first digital turn. We owe to him the development of form-finding methods, and Occupying and Connecting models derived from biological behaviour. His projects state that form is a natural condition, one that undergoes examination through experimentation: working likewise we do with simulations, but through scale models, and building a parametric logic based on their actual behaviour. In this sense, Otto's models are natural computers, based on physics, chemistry and biology. Like the other two precursors, Otto would at some point transfer his processes to computers, which were favoured for accuracy and capability in managing complexity. This would occur in all three cases in a later phase, which is not the true point of connection with contemporaneity, found more in the approach and method, and in the search for a new truthfulness in architecture.

The increase in complexity we are experiencing has, for us architects, deep roots in Postmodernism, in its different way of looking at society, culture, and design. The new perspective posed by Venturi opened up to accommodating the complexities and contradictions of our society, underlining the relationship between architecture and communication, evident in the Las Vegas of the 70s: the archetype of the contemporary city, which has now developed its whims alongside heterotopic digital dimensions. Deconstructivism, which on the one hand marks a first familiarity of the project with digital tools, in its quality of an unstructured current, animated by even discordant voices, on the other hand, is still based on the emergence of contradictions, evident in the Derridian deconstruction. Its experimental character is animated by the global technics, which allows the designers an unprecedented freedom of expression, and guarantees to some of its protagonists the title of Archistar, a neologism that will soon be loaded with meanings such as self-reference, and exception detached from the needs of society: a characteristic that we will re-read in the influence that digital communication produces on the contemporary architectural debate.

The first digital turn has among its protagonists several architects of the deconstructivism, such as Gehry, who thanks to splines will build new processes of definition and representation of forms, Zaha Hadid, who will find in mathematics the tool to develop the formal inventions that will develop in the architectures designed by her studio, and above all Eisenman, architect and theorist who roots the project in contemporary thought, developing a process that from the first vector analogies will lead him on a path marked by new methodologies such as scaling, folding and morphing. Where the themes of continuity and variation, identified by Carpo as characteristics of the first digital turn find an agreement, is certainly in Lynn's thought and experiments. The American architect, former follower of Eisenman, from whom he will detach himself in the search for a smoothness that includes

confrontarsi con la contemporaneità. Nuove possibilità garantite da una tecnica digitale che sta iniziando a pervadere ogni ambito del sapere, e che vede l'architetto aprirsi verso modelli propri di altre discipline, e in particolare verso l'informatica, come nel caso dell'avvento della *subdivision surfaces*: metodo che Lynn ruba al cinema e grazie al quale è capace di modellare i suoi Blob.

L'apertura del progetto verso l'indeterminazione è viva tanto nel pensiero di Lynn quanto in quello di numerosi teorici della prima svolta digitale, come nel caso di Stan Allen, che con le sue *field conditions* disgrega le reti nei campi, indagando la possibilità di operare il progetto di architettura per mezzo di quegli agenti digitali che oggi proliferano nell'infosfera. Un tema, quello della molteplicità, insieme alla variazione, che anticipa le pratiche *bottom-up* del web 2.0, preannunciando una condizione di autorialità condivisa. Come nel caso dell'Objectile, l'oggetto-file teorizzato da Deleuze, definito e applicato da Bernard Cache sino alla produzione di oggetti fisici, ma anche nelle architetture evoluzionarie di John Frazer, nelle ricerche su *emergence*, auto organizzazione, materiali, e *form-finding*: percorsi progettuali già anticipati da Otto, e che si spingono oltre la nostra disciplina alla ricerca di nuovi materiali da adoperare per la definizione del progetto di architettura, iniziando a delineare l'orizzonte della seconda svolta digitale. Una svolta possibile anche grazie a una nuova attenzione rivolta agli strumenti, che i progettisti possono ora strutturare sulla base di esigenze singolari grazie all'adozione di linguaggi di programmazione e in particolare di linguaggi di programmazione visuale come Grasshopper 3D. Nonostante la prima svolta digitale sia segnata da similitudini e anche convergenze di pensiero tra diversi esponenti, non è possibile parlare di un movimento capace di raccogliere la complessità della rete che la anima sotto un'unica bandiera. Nemmeno il parametricismo promosso da Schumacher sembra essere riuscito a raccogliere intorno a se molti esponenti dell'architettura contemporanea diversi da quelli vicini allo studio di Zaha Hadid Architects. Questo malgrado l'impegno, l'ampiezza della produzione teorica sviluppata dall'autore, e nonostante il fatto che la maggior parte dei principali studi di architettura contemporanea adottino ampiamente approcci progettuali di architettura parametrica.

La seconda svolta digitale riconosciuta da Carpo in architettura è il risultato di un incremento nella produzione e disponibilità di dati che caratterizza la nostra contemporaneità e coinvolge ogni ambito del sapere. Un cambiamento quantitativo talmente ampio da produrre una variazione qualitativa nell'approccio alla risoluzione di problemi scientifici, che in un mondo ideale di big data, nel quale è possibile registrare una mole di informazione praticamente infinita e conservarla non necessiterebbe più di leggi teoriche estrapolate dall'esperienza: condensazioni del sapere frutto di interpretazione, notazione e ricerca umana. Un cambiamento radicale idealmente volto a conservare integralmente i dati di eventi passati, così da anticipare cosa accadrà in futuro, e che Carpo legge in architettura nel processo progettuale del padiglione ICD/ITKE del 2012. Progetto in occasione del quale i ricercatori si sono comportati come gli artigiani dell'era preindustriale, simulando modelli di configurazione dell'architettura, realizzando e rompendo digitalmente migliaia di

complexity, integrating its contradictions in fluid forms: more capable of dealing with contemporaneity. New possibilities guaranteed by digital tools that are beginning to pervade every area of knowledge, and which sees the architect opening up to models belonging to other disciplines, and in particular to information technology, as in the case of the advent of subdivision surfaces, method that Lynn steals from animation and thanks to which he is able to model his blobs.

The openness of the project towards indetermination is alive both in Lynn's thinking and in that of numerous theorists of the first digital turn, as in the case of Stan Allen, who disrupts networks in fields, investigating the possibility of operating the architectural project by means of those digital agents that today proliferate in the infosphere. A theme, that of multiplicity, together with variation, which anticipates the bottom-up practices of web 2.0, heralding a condition of shared authorship. As in the case of Objectile, the object-file theorized by Deleuze, defined and applied by Bernard Cache up to the production of physical objects, but also in the evolutionary architectures of John Frazer, in the research on emergence, self-organization, materials, and form finding. Design paths already anticipated by Otto, and which go beyond our discipline in search of new materials to be used for the definition of the architectural project, starting to outline the horizon of the second digital turn. A new evolution also possible thanks to a new focus on tools, which designers can now structure on the basis of singular needs thanks to the adoption of programming languages, and in particular visual programming languages such as Grasshopper 3D. Although the first digital turn is marked by similarities and also convergence of thought between different exponents, it is not possible to speak of a movement capable of gathering the complexity of the network that animates it under a single flag. Not even the parametricism promoted by Schumacher seems to have managed to gather around itself many exponents of contemporary architecture other than those close to Zaha Hadid's studio. This despite the commitment, the breadth of the theoretical production developed by the author, and despite the fact that most of the major contemporary architectural firms widely adopt the approaches of parametric architecture.

The second digital turn recognized by Carpo in architecture is the result of an increase in the production and availability of data that characterizes our contemporaneity and involves every area of knowledge. A quantitative change, so large as to produce a qualitative variation in the approach to solving scientific problems, which in an ideal world of big data, in which it is possible to record a practically infinite amount of information and preserve it, would no longer require theoretical laws extrapolated from experience: condensations of knowledge resulting from interpretation, notation and human research. A radical change ideally aimed at fully preserving the data of past events, so as to anticipate what will happen in the future, and that Carpo reads in architecture in the design process of the ICD / ITKE pavilion in 2012. A project in which the researchers behaved as the craftsmen of the pre-industrial era, simulating architectural configuration models, creating and digitally breaking thousands of objects to obtain one consistent with the design conditions. A new heuristic possible

oggetti sino ad ottenerne uno coerente con le condizioni progettuali.

Una nuova euristica possibile grazie a nuovi strumenti che hanno raggiunto l'architettura nella qualità di mezzi digitali per la produzione, come braccia robotiche o droni, ma anche e soprattutto come metodi: processi che raccolgono in una logica algoritmica i percorsi necessari allo sviluppo di determinati aspetti progettuali, e vengono distribuiti nella forma di pacchetti o librerie informatiche, disponibili all'utilizzo da parte di chiunque a prescindere dalla cultura e consapevolezza di chi li adopera. La natura digitale di questi metodi, inoltre, li rende facilmente sviluppabili attraverso tecniche di *machine learning*, che grazie a sensoristica sempre più avanzata sono diventate l'anima di architetture interattive sperimentali, autonomamente capaci di cambiare configurazione in funzione del loro effettivo utilizzo. Sperimentazioni che nell'arco di anni sono cresciute in scala e complessità, anticipando per alcuni la capacità delle architetture di animarsi ampiamente e autonomamente. Un'eventualità attualmente remota, che ci permette però di intravedere le nuove responsabilità che investono il ruolo del progettista contemporaneo.

L'architettura abbiamo visto non è mai un fatto tecnico-artistico slegato dalla società, ciò ci obbliga a guardare al suo rapporto con l'economia, quindi alla crisi di fine anni duemila, che ha messo in ginocchio globalmente il mondo dell'architettura e delle costruzioni. Una fase che ha avuto importanti ricadute sul settore professionale in almeno due modi. Abbiamo osservato una sostanziale differenza nello sviluppo delle forme architettoniche, che vengono ottimizzate nella geometria secondo processi di razionalizzazione avanzata finalizzati ad una maggiore efficacia ed economia produttiva. Il diverso orientamento verso forme dell'architettura tecnicamente più sincere non è l'unica condizione incentivata dalla crisi economica, che in modo ancora più ampio ha favorito la diffusione del *Building Information Modelling*. Dopo la sua timida comparsa agli albori della prima svolta digitale, il BIM è gradualmente diventato la *koinè* del mondo delle costruzioni dell'ingegneria e dell'architettura, imponendone i modelli come elaborati finali del progetto, idealmente adatti a comprendere la complessità del processo e del manufatto architettonico con la massima precisione. Quella del BIM, è a detta della maggior parte dei progettisti intervistati la più diffusa tra le innovazioni che stanno modificando la pratica professionale e il progetto di architettura, un diverso paradigma esclusivamente digitale, che stiamo iniziando a utilizzare come base per la produzione di gemelli digitali: modelli interattivi dell'architettura collegati in tempo reale al manufatto architettonico, che vorremmo poter estendere a intere città. Nel frattempo il BIM viene sviluppato e promosso da giganti del *software*, ma anche da costruttori e grandi committenze: attori che hanno oggi acquisito una maggiore capacità di influire sul processo progettuale. A ciò corrisponde un'influenza, sicuramente negativa che il BIM istituisce sul progetto, orientandolo sempre più verso consegna finale, efficienza e velocità, e meno verso un miglioramento delle architetture in termini strettamente progettuali. Il rischio tutt'altro che remoto è inoltre quello di un inscatolamento del progetto di architettura all'interno dell'apparato, fossilizzato in un'idea troppo definita di architettura. Nel frattempo è cambiato il modo in cui i progettisti raccolgono informazioni a monte

thanks to new tools that have reached architecture in the quality of digital means for production, such as robotic arms or drones, but also and above all as methods: processes that collect the paths necessary for the development of certain design aspects in an algorithmic logic, and are distributed in the form of software packages or computer libraries, available for use by anyone regardless of the culture and awareness of those who use them. Furthermore, the digital nature of these methods makes them easily developable through machine learning, which thanks to increasingly advanced sensors have become the soul of experimental interactive architectures, independently capable of changing configuration according to their actual use. Experiments that over the years have grown in scale and complexity, anticipating for some the ability of architectures to animate themselves widely and independently. An eventuality currently remote, which however allows us to glimpse the new responsibilities that invest the role of the contemporary designer.

We have seen how architecture is never a technical-artistic fact disconnected from society, this forces us to look at its relationship with the economy, therefore at the crisis of the end of the 2000s, which brought the world of architecture and construction to their knees globally. This phase had important repercussions on the professional sector in at least two ways: we have observed a substantial difference in the development of architectural forms, which are optimized in geometry according to advanced rationalization processes aimed at greater efficiency and production economy. The different orientation towards technically more sincere forms of architecture is not the only condition encouraged by the economic crisis, which has favoured the wide spread of building information modelling.

After its timid appearance at the dawn of the first digital turn, BIM has gradually become the common language of AEC, imposing its models as the final delivery of the project, ideally suited to inscribe the complexity of the process and of the architectural artefact definition with the utmost precision. According to most of the architects interviewed, BIM is the most widespread among the innovations that are changing professional practice and architectural design. This different paradigm, exclusively digital, is now used as a basis for the production of digital twins: interactive models of architecture connected in real time to the architectural artefact, models which we would like to extend to entire cities. In the meantime, BIM is being developed and promoted by software giants, but also by contractors and large clients: actors who have now acquired a greater ability to influence the design process. This corresponds to an influence, certainly negative, that BIM establishes on the project, orienting it more and more towards final delivery, efficiency and speed, and less towards an improvement of the architectures in strictly design terms. The risk that is far from remote is also that of a boxing up of the architectural project within the apparatus, fossilized in an overly defined idea of architecture. In the meantime, the way in which architects collect information upstream of the project has changed, starting from threedimensional scanning tools and photogrammetry that guarantee unprecedented levels of precision to the architectural survey, up to web platforms such as Google maps, which architects use to virtually visit the context in which the architectural artefact will settle.

del progetto, a partire da strumenti di scansione volumetrici e fotogrammetria che garantiscono al rilievo livelli di precisione senza precedenti, sino alle piattaforme web come Google Maps, che gli architetti sfruttano per visitare virtualmente il contesto in cui il manufatto architettonico dovrà insediarsi.

La nuova capacità anticipatrice del progetto di architettura si estende proporzionalmente alla mole di dati che pervengono al progetto da discipline anche lontane dall'architettura, e comunque secondo una struttura matematica che richiede al progettista di definire logiche algoritmiche, necessarie per l'adozione di strategie digitali. E' evidente come negli ultimi dieci anni il livello di alfabetizzazione informatica sia cresciuto tra gli architetti, professionisti e impiegati per i quali la conoscenza di determinati programmi informatici è diventato un requisito per svolgere la propria funzione con efficienza e velocità. Ciò è vero soprattutto per i grandi studi internazionali, dove è al contempo visibile un avvicinamento della cultura progettuale verso altri ambiti del sapere come biologia e psicologia, e in particolare verso la fisica. Una nuova consapevolezza delle leggi fisiche è necessaria al progettista contemporaneo, che indaga le possibilità progettuali come sempre attraverso un percorso di simulazione, ma che grazie ai calcolatori si può oggi estendere con sempre maggiore dettaglio verso il comportamento termico, la fluidodinamica, il consumo di energia, di anidride carbonica, l'acustica. Discipline con cui la professione architettonica ha già instaurato nuove relazioni, e che se affrontate con leggerezza rischiano di produrre una inclinazione della pratica progettuale verso una scienza-tecnica che abbiamo appena iniziato a conoscere.

Nonostante l'enfasi crescente nei confronti di certificazioni basate su simulazioni energetiche, le aspettative progettuali non sempre trovano riscontro nella realtà; ricerche del 2012 dimostrano come le previsioni di consumo energetico possano essere sbagliate per difetto anche del 50% rispetto alle effettive misurazioni raccolte durante la costruzione e il ciclo di vita dei manufatti architettonici, segno che qualcosa ancora non funziona. E' importante ricordare che per sviluppare le pratiche di simulazione è sempre necessario adoperare un modello, che nonostante le nostre capacità di comprensione resta una rappresentazione della realtà, quindi per definizione incompleta. Siamo noi, nella nostra qualità di progettisti, a dover comprendere il livello di affidabilità di un modello prima di adoperarlo. Un livello di affidabilità che è possibile mettere in dubbio quando si vuole spingere la simulazione del comportamento umano oltre le *crowdsimulations* già utilizzate in architettura da almeno una decade per minimizzare le distanze di sicurezza, verso il comportamento di individui, impossibile replicare secondo logiche algoritmiche. Dove al contrario il progetto contemporaneo si sta gradualmente arricchendo è nelle possibilità esplorative di realtà virtuale e realtà aumentata, che consentono ai progettisti di perlustrare con successo l'ipotesi progettuale alla ricerca di incongruenze, vestendo anche il ruolo di persone con disabilità o con una diversa percezione dello spazio fisico: tecniche digitali che se utilizzate con consapevolezza aiuteranno i progettisti a produrre qualità architettonica, facilitando il dialogo con committenza e utenti finali, insieme alle attività di costruzione e manutenzione.

The new anticipatory capacity of architectural design extends itself proportionally to the amount of data that comes to the project from disciplines even far from architecture, and in any case according to a mathematical structure that requires the designer to define algorithmic logics: necessary for the adoption of digital strategies. It is clear how, in the last ten years, the level of computer literacy has grown among architects, these are now office workers for whom the knowledge of certain software has become a requirement to perform their function efficiently and quickly. A condition especially true for large international practices, where it is also visible a move towards other areas of knowledge such as biology and psychology, and in particular towards physics.

A new awareness of the physical laws is necessary for the contemporary architect, who investigates the design possibilities as always through a simulation path, but which, thanks to computers, can now extend themselves with ever greater detail towards thermal behaviour, energy consumption, carbon emissions, fluid dynamics, acoustics. Disciplines with which the architectural profession has already established new relationships, and which, if approached lightly, risk producing a drift of architectural design towards a science-technics that we have just begun to know. Despite the growing emphasis on certifications based on energy simulations, design expectations are not always reflected in reality: a 2012 research shows how energy consumption forecasts can be up to 50% wrong with respect to actual measurements collected during construction and the life cycle of architectural artefacts, a sign that something is still not working.

It is important to remember that to develop simulations it is always necessary to use a model, which despite our understanding remains a representation of reality, therefore by definition incomplete. It is us, in our capacity as designers, who must understand the reliability level of a model before using it. A level of reliability that can be questioned when one wants to push the simulation of human behaviour beyond the crowdsimulations already used in architecture for at least a decade to minimize safety distances, towards the behaviour of individuals, impossible to replicate according to algorithmic logic. Where, on the contrary, the contemporary project is gradually being enriched is in the exploratory possibilities of virtual reality and augmented reality, which allow designers to successfully scan the design hypothesis in search of inconsistencies, also taking on the role of people with disabilities or with a different perception of physical space. In this sense, digital techniques, if used with awareness, will help designers to produce architectural quality, facilitating dialogue with clients and end users, along within construction and maintenance activities.

Looking at the most recent projects completed or under construction in some of the global cities, is also evident the effect of space indetermination, which favours the emergence of architectures capable of adapting to different uses over the days or weeks: responsive architectures, with flexible configurations, also promoted by a different possibility of collecting data on the use of spaces, and which however do not currently provide for automation. There are several obstacles that separate the

Guardando ai più recenti progetti realizzati o in fase di realizzazione in alcune delle capitali globali è inoltre evidente l'effetto dell'indeterminazione dello spazio architettonico, che favorisce l'emergere architetture in grado di adattarsi a differenti usi previsti per gli ambienti nell'arco di giorni o settimane: architetture di tipo responsivo, dalle configurazioni flessibili, promosse anche da una diversa possibilità di raccolta dati sull'utilizzo degli spazi, e che tuttavia attualmente non prevedono un'automazione dei processi. Esistono diversi ostacoli che separano il progetto di architettura da un'effettiva e ampia interattività, a prescindere dalle questioni etiche legate al demandare ad automatismi la capacità di agire, si tratta di limitazioni legate alla produzione e manutenzione di meccanismi che fino ad ora non hanno dimostrato grande affidabilità. A porre dei limiti è inoltre la durata del progetto e della produzione dell'architettura, che nonostante le nuove velocità acquisite, mantengono ancora il primato di durata tra i principali ambiti progettuali. Una caratteristica che incide sulla effettiva applicazione di tecniche digitali come anima e muscoli dell'architettura, poiché come successo in diverse occasioni, la tecnica diventa obsoleta ben prima della sua effettiva applicazione, causando costosissimi problemi.

Dove in senso più ampio, il digitale influisce sul progetto di architettura è nell'organizzazione nella strutturazione degli studi, che insieme definiscono un ecosistema frastagliato popolato da entità diverse per numero di impiegati, ma anche per scala progettuale affrontata e competenze specialistiche interne. Un panorama in cui è evidente la presenza di macro-studi, giganti internazionali che hanno sedi in tutto il mondo e anche migliaia di dipendenti. La crescita nel numero di persone impiegate è necessaria tanto per questioni tecniche, ovvero per le diverse specializzazioni che confluiscono nel progetto contemporaneo, ma anche per il mercato, che tende ad abbassare i margini di guadagno di ogni progetto. Superando la narrazione ancorata alla figura eroica del singolo progettista incredibilmente capace di comprendere le infinite variabili in gioco, il progetto contemporaneo è diventato un'attività sempre più corale, svolta per un marchio, che a volte corrisponde al nome del fondatore dello studio, portavoce di un gruppo che viene gestito economicamente da un CEO, e comunque da un numero sempre più ampio di persone che ne governano l'apparato.

La progressiva differenziazione dei ruoli all'interno di questi studi è evidente nel fiorire di gruppi di specialisti che curano aspetti specifici dell'iter progettuale, tra questi spiccano i gruppi di ricerca e sviluppo, che si occupano di creare nuove soluzioni da applicare all'attività di progettazione globale: soluzioni che nella maggior parte dei casi corrispondono all'applicazione di tecniche digitali che hanno dimostrato un'utilità in altri campi. Specialisti sono coloro che si occupano della modellazione BIM, così come chi sviluppa strategie computazionali, mettendo in gioco competenze che diventeranno probabilmente basilari così come accaduto al CAD nell'arco di una decade, ma che attualmente vengono custodite da ruoli diversi. Un tema dove è possibile misurare gli effetti di un'evoluzione tecnica senza precedenti è quella della rappresentazione: uno dei primi ambiti progettuali toccati dal digitale, che oggi consente la produzione istantanea di elaborati tecnici a partire da modelli 3D realizzati con coerenza, e la confezione di *render* fotorealistici con un livello di

architectural project from an effective and broad interactivity, regardless of the ethical issues related to delegating the ability to act to automatism, these are limitations related to the production and maintenance of mechanisms, that until now have not demonstrated great reliability. Limits are also set by the duration of the project and the production of architecture, which despite the new speeds acquired, still maintain the primacy of duration among the main design areas. A feature that affects the application of digital techniques as the soul and muscles of architecture, since as has happened on several occasions, the technics becomes obsolete well before its actual application, causing very expensive problems. Where in a broader sense, digital influences architecture is in the organization in the structuring of the practices, which together define a fragmented ecosystem populated by entities different in number of employees, architectural scale addressed and internal skills.

A panorama in which is evident the presence of macro-studios, international giants with offices all over the world and thousands of employees. The growth in the number of people employed is necessary both for technical reasons, or for the different specializations that converge in the contemporary project, but also for the market, which tends to lower the profit margins of each project. Overcoming the narrative anchored to the heroic figure of the single architect incredibly capable of understanding the infinite variables involved in a project, contemporary architectural design has become an increasingly choral activity, carried out for a brand, which sometimes corresponds to the name of the founder of the the studio: spokesperson for a group that can be economically managed by a CEO, together with an increasingly large number of people who govern the apparatus.

The progressive differentiation of roles within these offices is evident in the flourishing of groups of specialists who take care of specific aspects of the design process. Among these, research and development groups stand out: units dealing with creating new solutions to be applied to the global design activity. Their solutions in most cases correspond to the application of digital techniques that have proved useful in other fields. Specialists are also those who deal with BIM modelling, as well as those who develop computational strategies, putting into play skills that will probably become basic as happened to CAD over a decade, but which are currently held by specific roles. A theme where it is possible to measure the effects of an unprecedented technical evolution is that of representation: one of the first design areas touched by digital, which today allows the instantaneous production of technical drawings starting from 3D models created with consistency, and packaging photorealistic renders with a level of fidelity that can even be certified. If traditionally creating perspectives and drawings suitable for communication with clients and the public, has always been one of the tasks of the architect, today the images used to communicate the projects of the major architectural practices are often created by digital artists, external specialists who are involved in designing images, videos and immersive models for architects.

A very special place among the architectural design formation and representation techniques of is however maintained by freehand drawing, which despite the

fedeltà che può essere persino certificato. Se tradizionalmente realizzare prospettive e disegni atti alla comunicazione con committenza e pubblico è sempre stato uno dei compiti dell'architetto, oggi le immagini che accompagnano i progetti dei grandi studi internazionali vengono realizzate da *digital artists*, che si occupano di progettare immagini, video e modelli immersivi esternamente allo studio di architettura.

Un posto del tutto particolare tra le tecniche di formazione e rappresentazione del progetto di architettura è comunque mantenuto dal disegno a mano libera, che nonostante la condizione digitale imposta alla nostra pratica, conserva per i progettisti intervistati un'efficacia comunicativa e una neutralità difficilmente raggiungibile da altri strumenti. Nonostante sia possibile affermare che il progetto si sia, nell'arco dell'ultima decade arricchito della capacità anticipatrice delle nuove tecniche digitali, non è possibile definire un iter standardizzato comune a tutti gli studi di architettura, se da un lato è vero che le soluzioni progettuali vengono verificate tramite simulazioni fisiche sin dalle prime fasi, gli strumenti e le metriche con cui le ipotesi vengono giudicate sono parte di una cultura e filosofia interna. Anche il *Building Information Modelling*, l'innovazione maggiormente diffusa in architettura nell'ultima decade, viene sviluppata dai diversi studi in modo diverso, se alcuni studi lavorano in ottica BIM sin dai primi istanti, altri convogliano il progetto sul BIM soltanto in un secondo momento.

Dove è evidente l'emergere di una nuova consapevolezza è nel rapporto con i dati, che pervengono al progetto in strutture che lentamente si stanno muovendo verso la standardizzazione e per i quali, data l'importanza che rivestono per il progetto digitale, i progettisti iniziano a sentire l'esigenza di una certificazione atta a garantirne l'affidabilità. Esiste inoltre un aspetto di fondamentale importanza per il progetto di architettura che è cambiato a causa dell'avvento del digitale e dell'influenza del mercato, ed è la velocità con la quale il progetto viene definito. Se quando si parla di innovazioni tecniche che erodono le attività e competenze umane è frequente sentire di come la tecnica ci alleggerisca da tutte quelle operazioni monotone e ripetitive che nessuno vuole fare, e di come ci lasci più tempo per approfondire altri aspetti progettuali di maggiore importanza, guardando la pratica progettuale contemporanea sembra al contrario che il tempo risparmiato al progetto venga semplicemente eliminato dall'equazione, tanto che nonostante la nuova profondità raggiungibile dal progetto, è evidente come il tempo necessario allo sviluppo di progetti architettonici e ingegneristici dall'affidamento alla consegna degli elaborati si sia diminuito notevolmente negli ultimi venti anni, riducendosi anche dell'80% nel caso del progetto di infrastrutture viarie.

L'ibridazione tra discipline diverse, caratteristica della contemporaneità digitale, è particolarmente viva in architettura, tanto che nonostante le differenze intrinseche che separano il progetto di architettura da altri ambiti progettuali, gli architetti dimostrano notevole interesse la progettazione automobilistica, aerospaziale, il design del prodotto, ma anche di interfacce grafiche e *software*. Un interesse evidente nel raffronto che Ceccato fa tra l'evoluzione della progettazione di aeromobili condotta da Boeing negli ultimi 50 anni, e la progettazione e produzione di architetture

digital condition imposed on our practice, retains, for the architects interviewed, a communicative effectiveness and a neutrality that is difficult to reach with other tools. Although it is possible to say that the project has been enriched over the last decade by the anticipatory capacity of new digital techniques, it is not possible to define a standardized process common to all architectural firms. If on the one hand it is true that the solutions are verified through physical simulations from the early stages, on the other hand, the tools and metrics with which the hypotheses are judged are part of the office internal culture and philosophy. Even Building Information Modelling, the most widespread innovation in architecture in the last decade, is developed by different studios in a different way, if some studios work in a BIM perspective from the very beginning, others convey the project on BIM only at a later time.

Where the emergence of a new awareness is evident is in the relationship with data, which arrive at the project in structures that are slowly moving towards standardization, and for which, given the importance they hold for the digital architectural design, the architects begin to feel the need for a certification capable of guaranteeing its reliability. There is also an aspect of fundamental importance for the architectural project that has changed due to the advent of digital and the influence of the market, this is the speed with which the project is defined. When it comes to technical innovations that erode human activities and skills, it is common to hear how new technics relieves us from all those monotonous and repetitive operations that nobody wants to do, and how they leave us more time to deepen other design aspects of greater importance. On the contrary, looking at contemporary design practice, it seems that the time saved on the project is simply eliminated from the equation. So much so that despite the new depth reachable by the project, it is evident how the time required for the development of architectural and engineering projects from assignment to delivery of the works has decreased significantly in the last twenty years, even reducing by 80% in the case of some infrastructural project.

The hybridization between different disciplines, characteristic of digital contemporaneity, is particularly alive in architecture, so much so that despite the intrinsic differences that separate the architectural project from other design fields, architects show considerable interest in automotive, aerospace and product design, but also in graphical interfaces and software. An interest clear in the comparison that Ceccato makes between the evolution of aircraft design conducted by Boeing in the last 50 years, and the design and production of curvilinear architectures in the same time frame. The comparison makes it clear how the technical complexity of aerospace industry has anticipated the abandonment of paper in favor of digital, a necessary condition for minimizing the risk, relocating production, reaching to share the design activity and therefore responsibility with a growing number of specialized groups. A path that architecture is following too, albeit partially, not only in the total reliance on digital means, but also and above all, in its new choral nature, which also in architecture involves groups of external specialists, and requires a different attention to the complexity represented by the apparatus that animates the project. As the individual biographies vary, architects are also interested in product design,

curvilineari nello stesso arco temporale. Il paragone rende evidente come la complessità tecnica abbia anticipato nell'industria aerospaziale l'abbandono della carta in favore del digitale, condizione necessaria per minimizzare il rischio, dislocare la produzione, arrivando nell'arco di anni a condividere l'attività di progettazione e quindi la responsabilità con un numero sempre più ampio di gruppi specializzati. Un percorso che l'architettura ricalca, seppur parzialmente, non solo nell'affidamento totale alle infrastrutture digitali, ma anche e soprattutto nella coralità, che anche in architettura coinvolge gruppi di specialisti anche esterni e richiede una diversa attenzione nei confronti della complessità rappresentata dall'apparato che anima il progetto. Al variare delle biografie individuali gli architetti sono anche interessati al design del prodotto, che guardano come esempio per l'attenzione nei confronti degli utenti finali e il diverso rapporto con i mezzi di produzione. Non è raro che un designer industriale si cimenti a un certo punto della sua carriera con il cambio di scala e di complessità dell'architettura, analogamente gli architetti contemporanei considerano loro dominio ciò che è compreso dal cucchiaino alla città. Una condizione maggiormente viva in quegli studi diventati marchi globali, che tendono oggi a espandere l'attività di progettazione a tutto ciò che rappresenta un potenziale guadagno in termini di immagine ed economia: dagli abiti alle interfacce digitali. Le piattaforme *web*, che sono diventati i luoghi più frequentati al mondo e si stanno imponendo come modello ideale rappresentano una vera e propria miniera anche per gli architetti. Siamo affascinati dall'immaterialità, facilità ed elasticità delle architetture liquide digitali: proprietà che immaginiamo di poter applicare alla fisicità dello spazio, e che oggi sono prodotte dai giganti dell'informatica attraverso una imponente automazione dei processi. Di questi imponenti aziende informatiche invidiamo la familiarità con i dati, la consapevolezza nell'applicazione di metodi di machine learning che in molti casi hanno contribuito a sviluppare, e una capacità di gestire la complessità dell'apparato di cui il paradigma del BIM rappresenta sotto tanti aspetti una primitiva applicazione all'architettura.

Architettura e informatica, abbiamo visto hanno tra loro dei ponti che li collegano ben oltre l'applicazione strumentale delle tecniche digitali, personaggi del calibro di Alexander, da cui gli ingegneri del *software* hanno desunto il paradigma di progettazione dei *design patterns*. Possiamo far risalire la nascita dell'ingegneria del *software* alla fine degli anni 60, quando la NATO organizza un incontro internazionale per risolvere la decennale crisi del *software*, arenato in problemi sistematici che lo rendevano largamente inservibile. Da ciò la definizione quale disciplina tecnica e manageriale, orientata innanzitutto ad una gestione del processo progettuale e di sviluppo. Uno dei pionieri e principali teorici della disciplina è Fred Brooks, che forte della sua esperienza riconosce lo sviluppo di un *software* come un esercizio di interrelazioni complesse, pratica di gruppo per cui è necessario un'importante sforzo di comunicazione. Il pensiero di Brooks è ricco di assonanze architettoniche: descrive il processo dello sviluppo dei programmi informatici in due fasi distinte, *essenza* e *accidente*, identificando nell'essenza la sua parte fondante, quale percorso di costruzione della struttura concettuale del sistema, e nell'accidente il momento di implementazione del *software*. La prima fase progettuale è influenzata da quattro proprietà dei sistemi *software*: complessità che li rende difficili da ideare, conformità

which they look to as an example for the attention paid to end users, and the different relationship with the means of production. It is not uncommon for an industrial designer to try at a certain point in his career with the change in scale and complexity of architecture, similarly contemporary architects consider their domain what is included from the spoon to the city. A condition more alive in those studios that have become global brands, which today tend to expand their design activity to everything that represents a potential gain in terms of image and economy: from clothes to digital interfaces. Web platforms, which have become the most popular places in the world, and are establishing themselves as an ideal model, represent a real mine for architects. We are fascinated by the immateriality, ease, and elasticity of digital liquid architectures: properties that we imagine we can apply to the physicality of space, and which today are produced by the IT giants through massive process automation. Of these impressive IT companies we envy their familiarity with data, the awareness in application of machine learning methods that in many cases they have helped to develop, and the ability to manage the complexity of the apparatus of which BIM represents in so many ways a primitive application to architecture.

We have seen how architecture and information technology have bridges that connect them far beyond the instrumental application of digital techniques, characters of the caliber of Alexander, from whom software engineers have derived the design paradigm of design patterns. Tracing the birth of software engineering we went back to the late 1960s, when NATO organized an international meeting to resolve the ten-year software crisis, stranded in systematic problems that made it largely useless. Hence the definition as a technical and managerial discipline, oriented above all to a management of the design and development process. One of the pioneers and leading theorists of the discipline is Fred Brooks, who, thanks to his experience, recognizes software development as an exercise in complex interrelationships, a group practice for which an important communication effort is required. Brooks's thought is rich in architectural assonances: it describes the process of software development in two distinct phases, essence and accident, identifying its fundamental part in the essence, as the path of construction of the conceptual structure of the system, and in the accident the time of software implementation. The first design phase is influenced by four properties of software systems: complexity that makes them difficult to conceive, conformity necessary to adapt to human structures, changeability because software survives hardware, and invisibility that makes them impossible to visualize. Conditions, which Brooks affirms, can only be overcome if the approach is oriented towards unity, therefore towards a consistency similar to that demonstrated in the construction of the cathedral of Reims, where several generations of workers have faithfully followed the original project. One of the areas where the influence produced by digital on architecture is most evident is in its communication.

Communicating effectively has become a priority both internally, given the complexity that distinguishes the contemporary architectural design, as well as externally. The architects interviewed are aware of this, enumerating the ability to narrate among the qualities necessary for the contemporary architect. A different narration of the

necessaria per adattarsi alle strutture umane, trasformabilità perché il programma sopravvive all'*hardware*, e invisibilità che li rende impossibili da visualizzare. Condizioni, che afferma Brooks, possono essere superate soltanto se l'approccio di chi progetta è orientato all'unità, quindi ad una coerenza analoga a quella dimostrata nella costruzione della cattedrale di Reims, dove diverse generazioni di maestranze hanno seguito con fedeltà il progetto originale.

Uno degli ambiti dove è più evidente l'influenza prodotta dal digitale sull'architettura è nella sua comunicazione. Comunicare efficacemente è diventata una priorità tanto internamente al progetto, data la complessità che lo contraddistingue, quanto esternamente, ne sono consapevoli i progettisti intervistati, che enumerano la capacità di narrazione tra le qualità necessarie all'architetto contemporaneo. Una diversa narrazione del progetto di architettura è oggi possibile grazie gli strumenti digitali, che permettono oggi di ottenere immagini realistiche di progetti mai realizzati, così come modelli navigabili, ma anche schemi tridimensionali e fumetti, che avvicinano l'architettura al pubblico e all'intrattenimento. Il dibattito architettonico globale non è esente da cambiamenti, alle voci di ricercatori, docenti, progettisti e docenti si sono unite quelle di siti *web* specializzati che sono diventati i più popolari palcoscenici per l'architettura e il design contemporaneo. A ciò si aggiunga la pluralità di voci che parlano di architettura a prescindere dal livello di competenza sui *social network*, luoghi governati da algoritmi che decretano il successo di un contenuto sulla base della popolarità raggiunta. Tutto ciò appiattisce l'architettura all'immagine, favorisce lo spettacolo e rischia di scadere nella moda, una condizione evidente nella apparente scomparsa dei disegni tecnici, supporti immaginativi ben più utili dei render per comprendere la complessità del progetto di architettura, ma che sono praticamente inesistenti sui social e comunque difficilmente reperibili anche all'interno dei siti web più affidabili. La deriva verso la moda è evidente nella rinascita dell'interesse verso il brutalismo, diventato un fenomeno di costume su gruppi Facebook dove gli utenti dichiarano brutalista qualsiasi architettura o oggetto realizzato in cemento. Una moda sfruttata dagli autori di Casa Brutale, il progetto di una residenza di lusso, modellata e renderizzata con l'intenzione di "rompere internet" e che dopo essere stata celebrata dal pubblico del web ha trovato un miliardario come committente. In linea con quanto appena descritto osserviamo l'emergere nuove figure, quelle dei *Very Important Designers*: attori, musicisti, *influencer*, che si cimentano nella progettazione di oggetti di design, proponendoli come vettori di un nuovo stile di vita, e che hanno già iniziato a "firmare" progetti di architettura.

Guardando con un maggior dettaglio agli strumenti digitali e ai modelli adoperati dai progettisti è evidente un fiorire di possibilità rappresentato non soltanto dai metodi di progettazione parametrica, animati oggi da un numero di programmi, *plug-in*, librerie informatiche e linguaggi potenzialmente infinito, e in particolare dall'avvento di motori grafici: strumenti nati in seno all'industria video-ludica, e che gli architetti utilizzano con sempre maggior frequenza per visitare modelli in realtà virtuale e realtà aumentata. Il rapporto tra gli sviluppatori di *software* e gli architetti è evidente

architectural project is now possible thanks to digital tools, which today allow us to obtain realistic images of projects that have never been created, as well as navigable models, but also three-dimensional diagrams and comics, which bring architecture closer to the public and entertainment. Also the global architectural debate is changed: the voices of researchers, professors, architects and teachers are now spread through specialized websites that have become the most popular stages for contemporary architecture and design. Add to this the plurality of voices that speak about architecture on social networks, regardless of the level of competence, in virtual places governed by algorithms that decree the success of a content on the basis of the popularity achieved. All this flattens architecture to the image, favours the spectacle, and risks falling into fashion: a condition evident in the disappearance of technical drawings, imaginative supports much more useful than renderings for understanding the complexity of an architectural project, but which are practically non-existent on social networks and in any case difficult to find even within the most reliable websites. The drift towards fashion is evident in the revival of interest in brutalism, which has become a social phenomenon on facebook groups where users declare any architecture or object made of concrete brutalist. A trend exploited by the authors of Casa Brutale, the project of a luxury residence, modelled and rendered with the intention of "breaking the internet" and which, after being celebrated by the web audience, found a billionaire as a client. In line with what has just been described, we observe the emergence of new figures, those of the Very Important Designers: actors, musicians, influencers, who try their hand at designing objects, proposing them as vectors of a new lifestyle, and who have already started to "sign" architectural projects.

Looking in greater detail at the digital tools and models used by architects, it is evident a flourishing of possibilities represented not only by the methods of parametric design, animated today by a potentially infinite number of software, plug-ins, computer libraries and languages, and in particular from the advent of graphic engines: tools born within the video-game industry, and which architects use with increasing frequency to visit models in virtual reality and augmented reality. The dense relationship between software developers and architects is evident in the most recent developments relating to the spline, a method of representation that is the protagonist of the curvilinear architecture of the first digital turn, and in its tortuous path reached our discipline only after the naval, automotive, aerospace and entertainment industries. An evolution that has come up to t-splines, an advanced tool, which despite having demonstrated an important utility, has been partially withdrawn from the market by the company that acquired their property, causing slowdowns in the practices that used it. This ability to influence the project as creators and controllers of the tools used within the design process reaches a greater breadth and weight in BIM, which in its long path towards standardization has seen contributions, not only from professionals and researchers, but also and above all large companies in the construction and software sectors. Outlining a path that, starting from the first Building Design Systems, has been cemented in an object-oriented parametric approach, useful for facilitating and speeding up processes, and which is gradually including aspects of the project such as environmental sustainability, facility management and

nei più recenti sviluppi relativi alla spline, metodo di rappresentazione protagonista dell'architettura curvilinea della prima svolta digitale, che nel suo tortuoso percorso ha raggiunto la nostra disciplina solo dopo l'industria navale, automobilistica, aerospaziale e dell'intrattenimento. Un'evoluzione giunta sino alle *t-splines*, strumento avanzato, che nonostante abbia dimostrato un'importante utilità è stato parzialmente ritirato dal mercato dall'azienda che l'ha acquistata, causando rallentamenti all'interno di diversi studi. Questa capacità di influenzare il progetto nella qualità di creatori e controllori degli strumenti utilizzati all'interno dell'iter progettuale raggiunge una maggiore ampiezza e peso nel BIM, che nel suo lungo cammino verso la standardizzazione ha visto contributi, non solo di professionisti e ricercatori, ma anche e soprattutto di grandi aziende del settore delle costruzioni e del software. Delineando un percorso che a partire dai primi *Building Design Systems*, si è cementificato in un approccio parametrico orientato agli oggetti, utile alla facilitazione e velocizzazione dei processi, e che sta gradualmente includendo aspetti del progetto come la sostenibilità ambientale, il *facility management* e il calcolo del rischio. Possibilità di cui, nonostante gli annunci e le attività promozionali delle aziende, non tutti i progettisti sono ancora consapevoli, e che attualmente, come nel caso delle simulazioni, vengono sviluppate grazie a programmi e librerie informatiche esterne ai pacchetti BIM. Questa mancanza di uniformità genera viscosità in un iter progettuale rivolto verso una collaborazione sempre più ampia e a una potenziale istituzione di gemelli digitali, portandoci a un tema che negli ultimi anni è diventato di grande attualità all'interno degli studi di architettura: quello dell'interoperabilità tra strumenti diversi.

Ma quanti e quali sono gli strumenti più diffusi nel mondo dell'architettura? Nel tentativo di comprendere l'effettivo utilizzo dell'incredibile mole di strumenti digitali oggi a disposizione dei progettisti ho raccolto dei dati relativi all'ultima decade tramite la piattaforma Google Trends, che mi ha permesso di ottenere una panoramica dell'interesse globale nei riguardi di pacchetti informatici e linguaggi di programmazione adottati in architettura: dati che ho quindi confrontato con le testimonianze dei progettisti intervistati. Un accostamento che mostra un panorama composto da un numero limitato di studi di grande familiarità con gli strumenti digitali più avanzati: campioni digitali che adoperano tanto pacchetti BIM come Autodesk Revit, ma anche e soprattutto applicativi per la modellazione avanzata come Rhinoceros 3D, VPL come Grasshopper 3D e Dynamo, e linguaggi di programmazione testuale tra i quali spiccano Python e C#. Al gruppo dei campioni digitali, parzialmente corrispondente a quei professionisti che operano all'interno delle grandi realtà globali, è possibile contrapporre quello ben più ampio dei ritardatari digitali. Architetti con una minore consapevolezza delle possibilità rappresentate dai più recenti strumenti digitali, che si stanno avvicinando al BIM in seguito agli obblighi normativi imposti dalle istituzioni e che dimostrano scarso interesse nei confronti di VPL, linguaggi di programmazione testuale: strumenti attualmente necessari per lo sviluppo di strategie capaci di affrontare la complessità del progetto contemporaneo. Questa diffusa scarsa propensione verso il digitale, evidente nonostante l'enfasi comunicativa che ha invaso il dibattito architettonico, rappresenta un rischio per l'architetto, non più creatore

risk calculation. Possibilities of which, despite the announcements and promotional activities of the software companies, not all designers are still aware, and which currently, as in the case of simulations, are developed thanks to software and computer libraries external to the BIM packages. This lack of uniformity generates viscosity in a design process aimed at an ever wider collaboration and a potential institution of digital twins, leading us to a topic that in recent years has become very topical within architectural firms: that of interoperability. between different tools.

But how many and which are the most popular tools used in the world of architecture? In an attempt to understand the effective use of the incredible amount of digital tools available to designers today, I collected data relating to the last decade through the Google trends platform, which allowed me to obtain an overview of the global interest in every software package and programming language adopted in architecture: data that I then compared with the testimonies of the architects interviewed. This comparison shows a panorama made up of a limited number of studios very familiar with the most advanced digital tools, digital champions that use both BIM packages such as Revit, but also and above all advanced modelling software such as Rhinoceros, VPL such as Grasshopper and Dynamo, and textual programming languages, among which Python and C # stand out as the most used. To the group of digital champions, partially corresponding to those professionals who work within large global realities, it is possible to oppose the much wider group of digital latecomers, architects with less awareness on the possibilities represented by the most recent digital tools, who are approaching to BIM following the regulatory obligations imposed by the institutions, and which show little interest in VPL, textual programming languages: tools currently necessary for the development of strategies capable of facing the complexity of contemporary architecture. This widespread lack of inclination towards digital, evident despite the communicative emphasis that has invaded the architectural debate, represents a risk for the architect, no longer a creator of tools, as was hoped a little over a decade ago, but a consumer of packages available on the market. An already evident drift in the rise of Revit, apparently one of the many BIM tools available to designers, which was able to impose itself on the competitors, and it is close to becoming a standard in AEC.

Regardless of the workflow and tools adopted by each studio, the architectural project maintains its tortuosity even when transposed to digital dimensions. A feature that is most alive in a process that has reached an unprecedented choral nature, and which therefore requires an exact communication and understanding of models and information between the different tools used by the different actors. An ideal condition from which we are still a long way away, for reasons due both to the complexity of the issues, and to the expectations and pressures of the various entities that affect the architecture software market. If, for example, in an era prior to BIM, the DWG format became a standard for sharing CAD drawing tools, this was possible not because the company that produces Autocad released the specifications of the format, kept as a business secret, but on the contrary, thanks to the Open Design Alliance, a non-profit consortium that reverse-engineered the format, making it

di strumenti, come ci si augurava poco più di una decade fa, ma consumatore di pacchetti disponibili sul mercato. Una deriva già palese nell'ascesa di Autodesk Revit, apparentemente uno dei tanti strumenti BIM a disposizione dei progettisti, che in realtà è stato in grado di imporsi sulla concorrenza, avvicinandosi a diventare uno standard nel panorama dell'architettura, delle costruzioni e dell'ingegneria contemporanei.

A prescindere dal flusso di lavoro e dagli strumenti adottati da ogni singolo studio, il progetto di architettura mantiene la sua tortuosità anche quando trasposto sulle dimensioni digitali. Una caratteristica maggiormente viva in un processo che ha raggiunto una corralità senza precedenti, e che necessita quindi di una esatta comunicazione e comprensione di modelli e informazioni tra i diversi strumenti adoperati dai diversi attori. Una condizione ideale da cui siamo ancora lontani, per motivazioni dovute tanto alla complessità dei temi quanto alle aspettative e alle pressioni delle diverse entità che influiscono sul mercato dei programmi informatici per l'architettura. Se ad esempio in un'epoca antecedente al BIM, il formato DWG è diventato uno standard di condivisione tra strumenti di disegno CAD, ciò è stato possibile non perché l'azienda che produce Autodesk Autocad ha rilasciato le specifiche del formato, custodite come segreto aziendale, ma al contrario grazie alla Open Design Alliance, un consorzio *no-profit* che ha realizzato il *reverse engineering* del formato, rendendolo disponibile a chiunque voglia utilizzarlo in formato *open-source*. Il formato DWG, nonostante la sua longevità è afflitto da pesanti limitazioni che non permettono di registrare le informazioni di cui sono ricchi i modelli contemporanei: così con l'avvento dei primi strumenti BIM ogni azienda ha specificato un suo formato, rendendo di fatto impossibile la comunicazione tra pacchetti diversi. Un problema affrontato dalla Alliance for interoperability: un'organizzazione promossa da diverse aziende del software per l'architettura, oggi diventata Building Smart, che convoglierà nell'adozione degli IFC, un formato idealmente adatto a rispondere ai problemi di interoperabilità che affliggono il processo progettuale digitale. Una soluzione che nonostante l'impegno condiviso e i buoni livelli di interoperabilità raggiunti a livello di file, sintassi e visualizzazione, non è ancora riuscita a risolvere problemi semantici, che rendono talvolta impossibile la comprensione reciproca tra pacchetti diversi, soprattutto in termini di descrizione degli elementi che compongono il modello, e analisi avanzata. Problemi che si ripercuotono sulla prossima applicazione dei modelli BIM al *facility management* e alla creazione di gemelli digitali.

Ciò che inoltre manca al formato IFC è la capacità di includere e trasmettere informazioni relative alla logica algoritmica che viene oggi adoperata nella definizione della forma architettonica: un limite che impone il trasferimento del modello in una forma che di fatto corrisponde a una fotografia delle molteplici possibilità insite nell'algoritmo, fissato in una determinata configurazione di parametri. Questo collo di bottiglia non ha ancora trovato una soluzione condivisa, nonostante l'interesse di una costola di Google, che con il programma Flux ha permesso una maggiore interoperabilità tra i principali pacchetti adottati dagli architetti. Una soluzione che si è dimostrata momentanea, perché nel 2018, nonostante diversi studi lo avessero oramai

available to anyone who wants to use it in an open-source format. The DWG format, despite its longevity, is plagued by heavy limitations that do not allow to record the information of which contemporary models are rich: so with the advent of the first BIM software each software company has specified its own format, making impossible the communication between different packages. A problem faced by the Alliance for Interoperability, an organization promoted by various software companies for architecture, which is today named Building Smart and lead the adoption of IFC, a format ideally suited to respond to the interoperability problems that afflict the digital design process. Despite the shared commitment, and the good levels of interoperability achieved at the file, syntax and visualization level, this solution has not yet managed to solve semantic problems, which sometimes make it impossible the mutual understanding between different software, especially in terms of model's description and advanced analysis. Problems affecting the forthcoming application of BIM models to facility management and the creation of digital twins.

What also lacks the IFC format is the ability to include and transmit information about the algorithmic logic that is used today in the definition of the architectural form. This huge limit imposes the transfer of the model in a form that in fact corresponds to a photograph of the multiple possibilities inherent in the algorithm, fixed in a certain configuration of parameters. This bottleneck has not yet found a shared solution, despite the interest of a Google rib, author of a software named Flux, which allowed greater interoperability between the main software adopted by architects. A momentary solutions, because in 2018, despite several practices having now taken it for granted and reliable, the Flux project was interrupted, bringing architects back to discuss problems that seemed solved. There are today several packages that offer better interoperability between software, one of these, Speckle, is based on an IFC format, while others use different formats, such as Beam structured on the ACIS kernel, or Conveyor, which takes advantage of the official Rhinoceros format file, kept open-source by the developers of Mc Neel and Associates. The same company that is currently working on a new Rhinoceros feature, released in WIP version, Work in progress, which allows you to launch the application within other software, and in any case is not based on IFC. At this point, I find it important to mention an initiative promoted by Buro Happold, who in 2018 presented The Bhom: an open-source application aimed at creating an elastic digital infrastructure that can be continuously integrated with new functionality, accessible free of charge to anyone who wants to develop or simply use it. The platform, in a phase of shared experimentation, owes its agility to the Entity Component System, an IT paradigm born in 2007 within the video game industry. This case highlights the new speed with which IT innovation reaches architecture, and the level of awareness shared at least by some professional firms, which feel the need to deal with greater commitment with the tools they use to structure and define the project. A different approach in the development and use of digital tools is the central feature of open-source, which since the 1980s has gradually proved its value in global scale projects such as Linux and Wikipedia, according to a non-prescriptive but coordinative model: that of the bazaar, which Eric Raymond opposes to the Brooks Reims cathedral. Despite the distrust of some,

dato per scontato e affidabile, il progetto Flux si è interrotto, riportando gli architetti a discutere di problemi che sembravano risolti. Oggi esistono diversi pacchetti che offrono una migliore interoperabilità tra software, uno di questi, Speckle, è basato su un formato IFC, altri al contrario utilizzano formati diversi, come Beam strutturato sul *kernel* ACIS, o Conveyor, che sfrutta il formato ufficiale di Rhinoceros 3D, mantenuto *open-source* dagli sviluppatori di Mc Neel and Associates. La stessa azienda che sta attualmente lavorando ad una nuova funzionalità di Rhinoceros 3D, rilasciata in versione WIP, *Work in progress*, che permette di lanciare l'applicazione all'interno di altri *software* e comunque non è basata su IFC. Trovo importante a questo punto citare un'iniziativa promossa da Buro Happold, che nel 2018 ha presentato The Bhom: un applicativo *open-source* finalizzato alla creazione un'infrastruttura digitale elastica continuamente integrabile in funzionalità, accessibile gratuitamente a chiunque voglia svilupparla o semplicemente usarla. La piattaforma, in fase di sperimentazione condivisa deve la sua agilità all' *Entity Component System*, un paradigma informatico più ampio del BIM, nato nel 2007 in seno all'industria dei videogiochi: ciò evidenzia la nuova velocità con cui l'innovazione informatica raggiunge l'architettura, e il livello di consapevolezza raggiunto almeno da una parte da gli studi professionali, che sentono la necessità di occuparsi con maggiore impegno degli strumenti che adoperano per strutturare e definire il progetto. Un diverso approccio nello sviluppo e utilizzo di strumenti digitali è la caratteristica centrale dell'*open-source*, che dagli anni ottanta del secolo scorso ha gradualmente dimostrato il suo valore in progetti di scala globale come Linux e Wikipedia, secondo un modello non prescrittivo ma coordinativo: quello del bazaar, che Eric Raymond contrappone alla cattedrale di Brooks. Nonostante la diffidenza di alcuni, la progettazione architettonica ha già instaurato un forte legame con l'*open-source*: se strumenti come FreeCAD e Blender, nonostante le dimostrate capacità, trovano difficoltà nell'affermarsi in architettura, l'apertura di Grasshopper 3D verso l'implementazione di nuovi *plug-in* ha permesso il fiorire di un ecosistema di pacchetti *open-source* che sono diventati determinanti nell'iter progettuale contemporaneo. Questo perché l'*open-source* porta con se, non soltanto la possibilità di includere costantemente nuovo materiale all'interno del progetto, ma anche un diversa disponibilità e controllo sugli strumenti utilizzati dai progettisti, eliminando problemi verificatisi all'interno degli studi con *t-splines* e Flux, pacchetti che avevano dimostrato grande utilità per il progetto, ma sono stati ritirati per questioni lontane dall'architettura.

Per Indagare i legami che i metodi di *machine learning* stanno instaurando con la nostra disciplina è stato necessario osservare il formarsi di questi mezzi nell'arco di oltre cinquant'anni, un percorso frastagliato che coinvolge tanto l'informatica quanto la statistica, ed è ricco di contributi provenienti da altre discipline come biologia, psicologia e filosofia. La grande efficacia nella gestione della complessità possibile grazie all'abbondanza di dati e alle nuove capacità di calcolo è determinante nella vasta adozione di questi metodi da parte di aziende globali, ciò richiede però un diverso approccio alla costruzione del *software*, che non si impone sul dato, ma viene generato da esso, secondo processi automatizzati, che richiedono sempre meno controllo umana, e in certi casi sono incomprensibili anche per i *data scientists* che

architectural design has already established a strong link with open-source: if tools such as FreeCAD and Blender, despite their proven capabilities, find it difficult to establish themselves in architecture, Grasshopper's openness towards implementation of new plug-ins has allowed the flourishing of an ecosystem of open-source packages that have become crucial in the contemporary design process. This is because open-source brings with it, not only the possibility of constantly including new material within the project, but also a different availability and control over the tools used by architects, eliminating problems that occurred within the practices with t-splines and Flux: packages that had proved very useful for the project, but were withdrawn for reasons far from architecture.

To investigate the links that machine learning is establishing with our discipline, it was necessary to observe the formation of these methods over the span of fifty years, a jagged path that involves both information technology and statistics, and is rich of contributions from other disciplines such as biology, psychology and philosophy. The great effectiveness in managing the complexity possible thanks to the abundance of data and the new computing capabilities are crucial in the wide adoption of these methods by global companies. These new methods require a different approach to software construction, which does not impose itself on the data, but is generated by it, according to automated processes, with less and less human control, becoming in some cases incomprehensible even for the data scientists who set them up. Despite the great successes sustained by these methods and the communicative impetus on artificial intelligence, which we dream of applying to every aspect of our life, what these tools represent is the separation between the ability to act successfully towards an end and intelligence. Countless problems arise from this divorce, because for the first time in human history, there is a form of ability to act that is not actually endowed with intelligence. Problems that reach a new density in the analogue-digital condition of the infosphere, the hybrid environment that we live as interconnected informational organisms together with digital agents infinitely more skilled than us, hungry for the data that constitute us. Looking at the contributions and experiments proposed by various researchers, it is evident an interest in the application of machine learning in architecture since the early nineties, an interest conveyed after years in the development of solvers such as Galapagos, presented in 2013 and already widely adopted in the contemporary design practice to implement performative strategies.

The first applications of the most advanced machine learning methods such as deep learning are limited to those technical areas where it is possible to exploit a large collection of synthetic data, such as dynamic fluid simulations. What the researchers have focused on in recent years is a different description of the architecture project through heterogeneous data and images, structured in such a way that they are understandable to the machine. These researches have therefore allowed certainly speculative experiments on the possibility of generating or evolving the architectural plan of a building or an apartment according to quantitative criteria, and which produce drawings where the sign of the means used to develop them is evident. The applications of these tools through data collected in the field are in my opinion

li istituiscono. Nonostante i grandi successi sostenuti da questi metodi e lo slancio comunicativo sull'intelligenza artificiale, che sogniamo di applicare ad ogni aspetto della nostra vita, ciò che questi strumenti rappresentano è la separazione tra capacità di agire con successo in vista di un fine e intelligenza. Da questo divorzio nascono innumerevoli problemi, perché per la prima volta nella storia dell'uomo esiste una forma di capacità di agire che non è effettivamente dotata di intelligenza. Problemi che raggiungono una nuova densità nella condizione analogico-digitale dell'infosfera, l'ambiente ibrido che viviamo come organismi informazionali interconnessi insieme ad agenti digitali infinitamente più abili di noi, affamati dei dati che ci costituiscono. Guardando ai contributi e alle sperimentazioni proposte da diversi ricercatori è evidente un interesse nell'applicazione del *machine learning* in architettura sin dai primi anni novanta, un interesse convogliato dopo anni nello sviluppo di *solvers* come Galapagos, presentato nel 2013 e già ampiamente adottato nella pratica progettuale contemporanea per attuare strategie di tipo performativo.

Le prime applicazioni dei metodi di *machine learning* più avanzato come il *deep learning*, sono limitate a quei ambiti tecnici dove è possibile sfruttare un'ampia collezione di dati sintetici, come le simulazioni fluido dinamiche. Ciò su cui i ricercatori si sono concentrati negli ultimi anni, è una diversa descrizione del progetto di architettura attraverso dati eterogenei e immagini, strutturati in modo che siano comprensibili per la macchina. Queste ricerche hanno quindi permesso sperimentazioni sicuramente speculative sulla possibilità di generare o far evolvere la pianta architettonica di un edificio o di un appartamento secondo criteri quantitativi, e che producono elaborati dove è evidente il segno del mezzo adoperato per svilupparli. Più interessanti a mio avviso sono le applicazioni di questi strumenti tramite dati raccolti sul campo, come nel caso delle ricerche di Greig Paterson, che a partire da misurazioni sulle reali performance energetiche degli edifici è riuscito a sviluppare un metodo di previsione energetica più affidabile di quelli basati su simulazioni. I dati rivestono un ruolo centrale in qualsiasi strategia di *machine learning* avanzato, ne sono consapevoli i progettisti intervistati. Tanto che gli studi di architettura più grandi guardano con interesse a collaborazioni con enti e aziende che collezionano dati potenzialmente utili al progetto. Non a caso, le prime applicazioni pratiche di metodi di *machine learning* avanzato sulla configurazione degli spazi sono avvenute in seno ad aziende come la WeWork, che raccoglie dati sull'utilizzo degli ambienti e li ottimizza a partire dall'effettivo uso degli utenti, o la Sidewalk Labs, azienda/studio sorella di Google, che ha sviluppato strumenti basati sul *machine learning* da applicare alla progettazione urbana. Il progetto dei Quayside di Toronto, sviluppato proprio da Sidewalk Labs, è un esempio di come il *machine learning* possa essere applicato, non soltanto al progetto nella sua qualità di fase separata dalla costruzione, ma a tutto il ciclo di vita dei manufatti, addirittura su scala urbana. Nonostante il progetto di questa Nuova Atlantide si sia arenato ufficialmente a causa della crisi immobiliare successiva alla prima ondata di Covid-19, la sua storia ci permette di toccare con mano i cambiamenti di pressione che l'adozione di *big data* e *machine learning* rappresentano per la società e per il progetto.

more interesting, as in the case of the research of Greig Paterson, who, starting from measurements on the real energy performance of buildings, managed to develop a method of energy forecasting more reliable than those based on simulations. Data plays a central role in any advanced machine learning strategy, and the architects interviewed are aware of this. So much so that the largest architectural firms look with interest at collaborations with organizations and companies that collect data potentially useful for the project. Not surprisingly, the first practical applications of advanced machine learning methods on the configuration of spaces occurred within companies such as WeWork, which collects data on the use of spaces and optimizes them starting from the actual use of users. Or the Sidewalk labs, a sister company of Google, which has developed software systems based on machine learning to be applied to urban design. The Toronto Quayside project, developed by Sidewalk labs, is an example of how machine learning can be applied, not only to the project as a separate phase from construction, but to the entire life cycle of the artefacts, even on urban scale. Although the project of this New Atlantis has officially stalled due to the real estate crisis following the first wave of Covid-19, its history allows us to experience first-hand the changes in pressure that the adoption of big data and machine learning represent for the company and for the project.

While on the one hand this new thirst for data could represent a new inclusive possibility, useful to move us towards that coordinative approach to the project that Sennett hopes for, on the other, what has aroused criticism from the public opinion, slowing down the project, it was precisely the massive and continuous collection of data foreseen for the functioning of the apparatus: data that would be collected independently from all sorts of sources, through the densest IOT network managed by a private entity on public land ever created. An absolutely new condition that would have placed the company and the urban space in a relationship similar to that established by the IT giants on their digital spaces: it would become the entity that controls the market, data and technology, authorized to generate profits from the information recorded and to grant its use to third parties.

Meanwhile, among the digital champions of contemporary architecture there is a substantial belief that advanced machine learning methods will demonstrate wide utility in architecture in the next decade, even more useful than that represented by other computational methods, digital manufacturing and BIM, from which an important contribution is however expected. The interviewees acknowledge the pioneering moment of the first machine learning applications to the architectural project, underlining how these complex and difficult to apply strategies require a new computer literacy, greater statistical awareness, and a computing capacity different from that usually available to an architectural practice. Conditions that currently make them feasible by a very limited number of agencies, engaged today in the production of data starting from materials and models relating to projects already carried out in the past, or in the collection of data in the field. Investigations that can go as far as collecting data on people's behaviour, but that we have seen must comply with users privacy.

Se da un lato questa nuova sete di dati potrebbe rappresentare una nuova possibilità inclusiva, utile a spostarci verso quell'approccio coordinativo al progetto che si augura Sennett, dall'altro, ciò che ha destato critiche da parte dell'opinione pubblica, rallentando l'iter del progetto, è stata proprio la massiccia e continua raccolta di dati prevista per il funzionamento dell'apparato: dati che sarebbero stati raccolti autonomamente da ogni sorta di fonte, attraverso la più densa rete IOT gestita da una entità privata su suolo pubblico mai realizzata. Una condizione assolutamente nuova che avrebbe posto l'azienda e lo spazio urbano in un rapporto analogo a quello istituito dai giganti dell'informatica sui loro spazi digitali: sarebbe diventata l'entità che controlla il mercato, i dati e la tecnologia, autorizzata a generare profitti dalle informazioni registrate e concederne l'utilizzo a terzi. Nel frattempo, tra i campioni digitali dell'architettura contemporanea c'è una sostanziale convinzione che i metodi di *machine learning* avanzato dimostreranno ampia utilità in architettura nella prossima decade, un'utilità anche maggiore di quella rappresentata da altri metodi computazionali, *digital manufacturing* e BIM, da cui ci si aspetta un importante contributo. Gli intervistati riconoscono il momento pionieristico delle prime applicazioni di *machine learning* al progetto di architettura, sottolineando come queste strategie complesse e difficili da applicare richiedano una nuova competenza informatica, maggiore consapevolezza statistica e una capacità di calcolo diversa da quella usualmente a disposizione di uno studio di architettura. Condizioni che le rendono attualmente perseguibili da un numero veramente limitato di studi, impegnati oggi nella produzione di dati a partire dai materiali e modelli relativi a progetti già realizzati in passato, o nella raccolta di dati sul campo. Indagini che si possono spingere fino alla raccolta di dati sul comportamento delle persone, ma che abbiamo visto devono attenersi al diritto in materia di privacy.

Ciò che ci si aspetta da queste tecniche nei prossimi anni è un contributo puntuale, limitato a determinati ambiti. Con buona probabilità eroderanno parte del nostro operare, levigando ulteriormente strumenti tecnici che l'industria della progettazione adoperava già adesso, favorendo la sostituzione delle simulazioni con dati raccolti anche in tempo reale, facilitando la verifica di modelli digitali, velocizzando ulteriormente il processo in singole parti, intaccando principalmente aspetti quantificabili del progetto. E' già adesso evidente un interesse delle aziende di sviluppo software per l'applicazione di questi metodi al *software* per l'architettura: aziende di diversa dimensione che, quando queste tecniche dimostreranno un'efficacia, ragionevolmente contribuiranno a diffonderle ad un pubblico di architetti consumatori di software, non sempre consapevoli delle implicazioni che l'utilizzo di determinati strumenti porta con sé. Anche in questo caso e a maggior ragione c'è da augurarsi che siano applicativi *open-source*, inclusivi e criticabili.

E' surreale il pensiero che nel prossimo futuro metodi di *machine learning* possano produrre nel progetto architettura stravolgimenti di portata analoga a quella con cui hanno modificato altre discipline, questo è dovuto alla complessità intrinseca del progetto di architettura, una multidimensionalità che né le nuove capacità tecniche

What is expected of these techniques in the coming years is a finite contribution, limited to certain areas. In all likelihood they will erode part of our work, further smoothing the technical tools that the design industry already uses, favouring the replacement of simulations with data also collected in real time, facilitating the verification of digital models, further speeding up the process in individual parts, mainly affecting quantifiable aspects of the project. The interest of software development companies in applying these methods to software for architecture is already evident. Companies of different sizes which, when these techniques prove effective, will reasonably contribute to spreading them to an audience of architects, software consumers, not always aware of the implications that the use of certain tools brings with it. Also in this case it is to be hoped that they are open-source, inclusive and criticizable applications.

It is surreal to think that in the near future machine learning methods can produce distortions in the architecture project of a similar magnitude to that with which they have modified other disciplines, this is due to the intrinsic complexity of the architectural project, a multidimensionality that neither the new technical skills nor the market have yet managed to undermine the architect's control. The advent of this new ability to act further extends the responsibilities of the designer, and requires an extension of our gaze towards the potential effects of our choices, in parallel and not transversely to the meanings that the word living has acquired in the contemporary world.

An awareness that Floridi extends to all of humanity, capable today more than ever of building a present that keeps man at the centre of his becoming, and includes the nature to which man belongs. Objectives achievable by means of a project and a coherent ability to manage the process necessary for its accomplishment: two characteristics that are in the soul and heart of architects and architecture. In outlining the contemporary architectural design process, even in its more technical parts, I have never intentionally represented the work flow in the quality of diagrams that describe the transition from one software to another: graphics certainly useful to represent the path that the project takes today through digital dimensions, but which are always and in any case a partial representation, which belittle the meanings and complexity with which architecture will always have to confront, instilling on the contrary the idea that the project can be in some way comparable to a purely instrumental fact.

On the contrary, I prefer to re-propose a much wider and certainly less prescriptive image that better represents in my opinion the elusive tortuosity of the architectural project: that of the root. A pulsating rhizomatic structure, which feeds itself on the sedimentations of our culture, and which has always been multiple, regardless of the number of hands that have manipulated it, even when they were those of a single architect. This root, of which we are custodians, is capable of reaching both the depths of history and the limits of contemporaneity, and has always moved in search of new nourishment: a necessity that is more alive today, but which must always flow into unity and consistency in the instant in which the project becomes architecture. This is more important in a contemporaneity that favours indeterminations

né il mercato sono ancora riusciti a scalzare dal controllo del progettista. L'avvento di questa nuova capacità di agire, estende ulteriormente le responsabilità del progettista, e richiede un'estensione del nostro sguardo verso i potenziali effetti delle nostre scelte, parallelamente e non trasversalmente ai significati che la parola abitare ha acquisito nella contemporaneità. Una presa di coscienza che Floridi amplia a tutta l'umanità, capace oggi più che mai di costruire un presente che mantenga l'uomo al centro del suo divenire e includa la natura a cui l'uomo appartiene. Obiettivi realizzabili per mezzo di un progetto e di una coerente capacità di gestione del processo necessaria al suo compimento: due caratteristiche che sono nell'anima e nel cuore degli architetti e dell'architettura.

Nel delineare l'iter progettuale architettonico contemporaneo anche nelle sue parti più tecniche non ho mai volutamente rappresentato il flusso di lavoro nella qualità di diagrammi che descrivono il passaggio da un programma all'altro: grafici sicuramente utili a rappresentare il percorso che il progetto oggi compie attraverso le dimensioni digitali, ma che sono sempre e comunque una rappresentazione parziale, che svilisce i significati e la complessità con cui l'architettura si dovrà sempre confrontare, instillando al contrario l'idea che il progetto possa essere in qualche modo assimilabile a un fatto tecnico puramente strumentale.

Preferisco al contrario riproporre un'immagine ben più ampia e sicuramente meno prescrittiva che meglio rappresenta a mio avviso l'inafferrabile tortuosità del progetto di architettura: quella della radice. Una struttura rizomatica pulsante, che si nutre tra le sedimentazioni della nostra cultura, e che è sempre stata molteplice, a prescindere dal numero di mani che l'hanno manipolata, anche quando sono state quelle di un solo progettista. Questa radice, di cui siamo custodi, è capace di spingersi tanto verso le profondità della storia, quanto ai limiti del presente, e si è sempre mossa alla ricerca di nuovo nutrimento: una necessità maggiormente viva oggi, ma che deve sempre confluire in unità e coerenza nell'istante in cui il progetto si fa architettura. Ciò è maggiormente importante in una contemporaneità che favorisce indeterminazione e sperimentazione e spinge le architetture verso il modello ideale di organismi digitali, che restano sempre e comunque macchine. E' la nostra principale responsabilità che la pianta germinata dalla radice sia in grado di confrontarsi con l'ambiente dove dovrà sempre produrre frutti atti a nutrire la condizione umana. Siamo noi a doverci assicurare che le radici siano al contempo libere, capaci di trarre la giusta dose di nutrimento perché la pianta prosperi, e a tutelarne una formazione coerente.

Perché questa nuova agricoltura si diffonda rubando spazio alla giungla è a mio avviso obbligatorio uno sforzo che è innanzitutto culturale, collettivo. E' necessario un confronto condiviso tanto interno quanto esterno alla nostra professione, che superi la narrazione dell'architettura contemporanea pericolosamente alleggerita dai media, ripartendo dalla definizione di metriche inclusive che permettano di misurare la validità dei nostri frutti, rendendo visibile la complessità della radice che coincide con il nostro ruolo all'interno della società.

Figura 6.2: Un'immagine di un albero e del suo apparato radicale. (Giuseppe Gallo)

Figure 6.2: An image of a tree and its root system. (Giuseppe Gallo)



and experimentation, and pushes architectures towards the ideal model of digital organisms, which in any case will always remain machines. It is our main responsibility that the plant germinated from the root is able to deal with the environment, where it will always produce fruits capable of nourishing the human condition. We must ensure that the roots are at the same time free, capable of obtaining the right amount of nourishment for the plant to thrive, and protect their coherent formation. In order for this new agriculture to spread by stealing space from the jungle, is mandatory an effort that is above all cultural and collective: a shared confrontation both internal and external to our profession, going beyond the narrative of contemporary architecture, dangerously lightened by the media, starting with the definition of inclusive metrics that allow us to measure the validity of our fruits, making visible the roots' complexity that coincides with our role in society.



APPARATI



INTERVISTE

CASI STUDIO

SCHEDE DEI SOFTWARE

BIBLIOGRAFIA

INDICE DEI NOMI

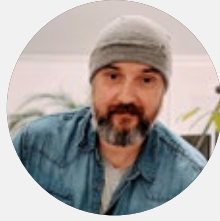
Una selezione di
immagini dei casi
studio

INTERVISTE

Nel mio percorso di ricerca, e in particolare durante il mio periodo come *visiting academic* presso la University of East London ho avuto il privilegio di visitare diversi studi di architettura internazionali che da anni curano la progettazione di architetture in tutto il mondo. Tra i tanti professionisti con cui mi sono confrontato, ho scelto di intervistare dieci progettisti di diverse competenze e ruoli, che hanno in comune un'ampia esperienza nell'uso di strumenti digitali per il progetto. I progettisti intervistati sono nell'ordine:

1. Steven Chilton, direttore dello studio SCA, progettista di ampia esperienza che ha fondato il suo studio pochi anni fa ed ha già realizzato diverse architetture in Cina;
2. Daniel Davis, dottore di ricerca in progettazione computazionale, già direttore della ricerca di WeWork dove ha sviluppato metodi e ricerche sull'applicazione di metodi di machine learning al progetto;
3. Aurelie de Boissieu, dottore di ricerca in progettazione parametrica e a capo del gruppo BIM londinese dello studio Grimshaw, autrice di ricerche sull'interoperabilità;
4. Xavier de Kestelier, attualmente direttore dello studio Hassell, già a capo dello Specialist Modelling Group dello studio Foster and Partners, responsabile di importanti progetti internazionali e ricerche realizzate negli ultimi anni;
5. Al Fisher, dottore di ricerca in architectural engineering, è il capo della progettazione computazionale dello studio Buro Happold;
6. Harry Ibbs, direttore della tecnologia di Gensler Europa, già capo di BIM e IT dello studio Zaha Hadid Architects;
7. Arthur Mamou-Mani, direttore dello studio Mamou Mani e docente presso l'università di Westminster;
8. Andreas Klok Pedersen, direttore della costola londinese di BIG Bjarke Ingels Group e responsabile per la progettazione per importanti progetti internazionali;
9. Edoardo Tibuzzi, ingegnere e architetto a capo della progettazione computazionale dello studio multidisciplinare AKTII;
10. Pablo Zamorano, progettista a capo del gruppo di progettazione computazionale dello Studio Heatherwick.

Le interviste sono di seguito riportate integralmente.



STEVEN CHILTON

Principal

Steven Chilton Architecture

Maggio 2019

How would you describe the architectural design process today? Did it change compared to that of ten years ago?

I would say, its core hasn't changed for me. When it comes to defining solutions we always try to immerse ourselves in the brief of whatever particular project, to carry out research, trying to get under the skin of the project, looking for some kind of conceptual bedrock, which is an informed direction of the actual architecture. And so, that in itself hasn't changed, because that is human research, looking at the history, whatever the artistic culture may be of any particular location, in terms of weather, people movement. For us, it is always an intuitive process, to get to that point where you think you got an idea. You will then start to explore, with a computer, with a pen, or however it is.

When working on a brand new project, do you start with sketches, or do you use 3d modelling since the beginning?

I firstly start with Google, and I try to find out more about the place or the brief, and try to read around it, and see what that could be, within the brief, what the buildings have to do, and perform. Looking for something that has a kind interesting vibe that start make or feel or think about a formal idea. I often use Pinterest, I go through that to collect reference materials, and it has quite a decent algorithm, you can look at something, and zoom in a part, it's interesting, and you will find similar images or information. Quite often, because of the algorithm, it will take you in an area that falls in the context you are looking at. That has let a couple of unusual branches of investigation which we wouldn't normally take, and it also is good for sharing, so if you are collaborating, it's a good way to show people where you are at in term of your thinking, and then they can introduce their idea into that, almost like a virtual pin-up board of ideas.

Digital changed the relationship between the project and Architectural representation. What are the other phases of the project on which it has influence?

How fast you can turn an idea into information, which you can then represent, firstly convincing yourself and then the client. It is now far easier to develop an idea at to the point where you decide within your team. When we have an idea, we will model it, and then we will add the environment and will render it, to then take a critical view, and decide. It helps us to very quickly decide if what we are doing feels right or no because we can get to what we have seen in our ideas and produce much faster.

Cross-fertilization is probably one of the most popular characteristics of contemporary culture, what are the disciplines with which architecture has woven new relationships?

We are interested in the gaming world, and we are interested in some of the technology that they are using, developing virtual environments up to a level where is quite realistic, that is pretty much instantaneous, and you can walk around it. For us, it is a fascinating design tool, because you can't judge scale from your monitors, and you really understand it on your own site, that is a shame because if it is not working at the scale that you have built it, it could be a potentially missed opportunity. I think it is going to hopefully help us, to be sure that the scale, the level of complexity that you are trying to bring into the project is appropriate. Another idea could be that of developing virtual worlds for clients that not necessarily see and need for a physical environment. so I guess something like trade conventions and arenas where a client wants to show a car or his products, and that is going to get more virtual, the environment will get more virtual, we can crossover with what they are doing with marketing, creating a unique realm.

What is the data you usually collect before starting to design a new building? With which tools?

We will receive data from the clients: site data, environmental data, traffic data. If there is an option we will go to the site and try to discover stuff that you can't really capture unless you are there, walking around to find out really about what is going on. This hasn't changed, I guess it is what people have always done. Now you have more access to other forms of data, more about the history, more about key parts of the city, the life that is going on there. Working in china is sometimes not even possible to go to the site, and a lot is about finding out what you can bring in. Images and platforms to find out about the landscape, the art scene, the feel of the city, everything you can get. It is obviously not good as going somewhere, but in that case, you can go and street view, to have a particular sight, you do what you can.

Simulation has proved to be an important resource for contemporary architecture, what are the phenomena that we are able to simulate today in terms of architectural performance?

Traffic or pedestrian, environmental simulation, CFD, and you don't always need to work with an engineer, you can use many plugins for grasshopper, useful to quickly have an idea. For us, I would say, the main environmental simulation we have been using is that of the sun, that's probably our primary drive, and it doesn't have to be that sophisticated, it is something that is very available and that is highly practical and useful. But, for example, when we do CFD analysis, and you really start to drill down in what you are trying to do, then it is important to work with a confident environmental engineer.

Talking about User Experience, is it possible to simulate human behaviour to improve the spatial configuration of a building?

You probably know Space syntax at UCL, they are doing a lot of work on this, I have

Un'immagine del Puzzle ball theatre, prima proposta di Chilton per un teatro a Guangzhou in Cina.



lost contact with that particular realm, it seems to be pretty accurate once it is tested, in terms of predictions, and I am sure it is very useful.

BIM is quickly becoming an obligation in Architecture, Can information produced through BIM models become an asset for Architectural Design?

I suppose that in the creation of a BIM model there is a certain process to really understand what you are proposing and to think about what you are doing logically because you have to effectively build your architecture. When you are developing definitions structures or whatever it may be, and you are thinking about geometry, and you are thinking about surfaces and tessellation and curvature, it is important to take into consideration what the capabilities are, the local building culture, and contractors, and you bring that into the design. You can propose a double curvature surface, but then who is going to build this? Is the client aware of what will probably be the extra time and costs? So, it can be useful to understand your project.

In other fields of design there is a possibility of acquiring user feedback to understand how to improve a product (Focus Group, A / B test, etc) this is impossible in architecture. Are there any data that can be used to create more effective architectures?

As you say, most of the time is going to be feedback after the fact, and, so, in that sense, it is important to learn from experience, and to be able to apply that, if you find yourself in a similar scenario. Is it possible to have that type of feedback, a client inclined to do can develop an app, to let the users provide certain information, data, what they like or don't like. We did a project for a Pavillion last year, which was going to use realtime feedback, in terms of people moving around the building, to augment the facade in a way that we would hopefully able to slow down or speed up their movement. With a kinetic facade which we were able to create vortexes, which could

speed up or slow down, entirely controlled and defined by how many people are in there, how many people want to move through this building, at a particular time, that would be realtime feedback. We kind of rely on a hypothesis that if you are in a space that is visually moving, creating a sense of vortex and movement, that will encourage people to move.

The wide use of computation in the major firms is again questioning the relationship between science and architecture, is it something that will characterize next architecture?

I think it probably will, in terms of being able to response sustainability and using material assets efficiently, but also creating environments that meet the users' needs from a comfort point of view. That can only get more efficient, more the optimization gets better, more data becomes available and there is more understanding of relationships between materials and space, and comfort. An environment has very subtle qualities, so any information that actually quantifies what is there now can be useful. Trying to build a dataset, about how the real environment works, what are the materials, what the current capabilities and use of a building. Maybe that will fit in a more accurate model, useful to produce architectures more efficiently.

According to your experience can Artificial intelligence be used to define the forms and spaces of architectures?

Part of this Pavillion I talked about, is designed to be controlled by an AI, which would learn in real-time what it is doing, comparing it with what is achieving, optimizing itself and becoming smart. And hopefully, at the end of the period, we would have learned how the most efficiently create this movement. Ai is going to have an enormous effect on quantitative elements of the building, and probably on architectural design as well. Which makes me a bit nervous, but it is just the reality, it will be extremely useful, allowing us to use anything more efficiently. Of course, that would be the best possible outcome. I think there is a certain trend about that in the gaming world, we are looking at it as an arena for original design such as what is needed in the real world. And it is going to come into architects to establish what the extra value will be compared to what is done traditionally. As a designer, I think it is probably important for us to understand that challenge and think about it, to justify our position and to prove to potential clients that what we do is still working

What are the most common software and programming languages used within the Architectural design process?

For Us is Rhino, 3dMax, Grasshopper, and if the client requires that, Autocad. About programming languages, guys we are working with, usually use C#, Python.

Are you able to Code? If yes, in which languages?

No

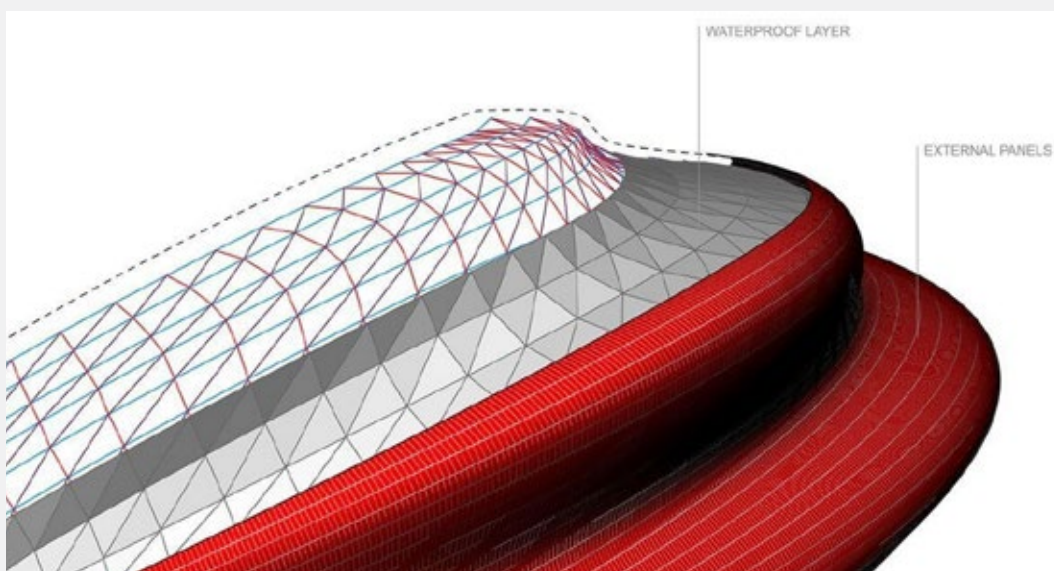
Does your agency develop software for peculiar needs?

We make algorithms for any particular project, at the end of the process, there will be a repository of grasshopper definitions, which will go into a library, with the potential

Il Guangzhou theatre, ultimato nel 2020 in Cina.



Il modello digitale adottato da SCA per la progettazione del teatro.



Il teatro di Wuxi in Cina, ultimato nel 2019.



to be used in other projects, that happened a couple of times.

The proliferation of software for architecture has given a huge weight to specialized software houses, is it influencing architecture?

Probably yes, for me, as a small business owner I would like to be able to employ a full-time software developer, I can't really afford to, and it is hard to justify. However, what I have noticed more and more is that people with this type of skills are becoming freelancers and just going from job to job where they are required, where people may need that type of skill on a temporary bases. I think more people are going to rely on this, especially smaller practices, I think larger possibilities to create a stand-alone business, servicing architecture who are necessarily inclined how to do their own AI, or develop their parametric tools.

What is the role of open-source software in contemporary architecture practice?

Where I have seen it the most is in the Grasshopper plugins ecosystem, and I find it remarkable, how generous people are with their work. Even grasshopper by David Rutten, which is now embedded to Rhino, and it is revolutionizing the industry. Before that there was GC, Generative Components, just a few architects were able to work with that, and it disappeared. It was Rutten who revolutionized that, creating that graphical interface, and since architects are more visual environment, it just took off. When you look back on previous ten years, Grasshopper can be seen as something defining software, developed in term of creating a new way to control complexities, in a system where you can plug in new tools, that is amazing,

Given the rise of B.I.M. in architectural agencies, is there a risk of differentiation between the role of the Architectural designer and that of the B.I.M. technician?

Looking at my experience, with people specialized in that, I think their mindset is more oriented to problem-solving, not really as designers: here is the problem, how am I going to develop it? how to address a problem, creating various solutions? So, I suppose, if you are a BIM person, maybe you are more inclined towards that, in opposite to someone who is, let's just call it, more oriented towards a creative side. But having never used BIM personally myself, I can't say what the creative potential could be in that.

What are the "external" skills required today in a contemporary architectural firm?

Again, this is always based on perception, not real experience. It seems to me, that a lot of universities now are teaching students how to generate interesting formal typologies, and responding to quantifiable inputs, creating interesting constructions and forms. I think that there is another layer to add, which deals more with realities of working today, take efficiency program, buildability, detailing. You know, I think a lot of people come out from universities and have no clue on how to detail. I think it is not just now, this may be true for UK where you learn on the job those things, but I know there are countries where this is different and student come up with skills in that. When I was a student, it was an all together talk, responding to contexts and culture, I think this is the most intelligent and appropriate way. Some of the things that come up

now, it's just silly, clearly, somebody there knows very good things about meshes and splines, but there are few connections to the real world.

Visualization has become a necessary requirement for large architectural firms, some already allows the client to visit future architectures in virtual reality, is this likely to decrease Architect authoritativeness?

It depends on how much you show, it is always about it. That conversation that I had some minutes ago was about giving a client enough to make an intelligent judgment on what we are doing, about the direction we are going to. But also not giving away too much, because you may show something open to interpretation, and might be misinterpreted. So, visualization and opening up that kind of perception about what is you are working on, at various stages, is clearly something where it is getting more powerful in terms of experience. But you got the control on what you are showing, because, If they see something they don't like, they may cut a chance to create what it will eventually become. You see a lot of people who present their work, perfectly capable to present it in a cutting edge visualization, make it very realistic, but I still do watercolours, I still do pen drawing, trying to take something back. It is more open to interpretation. Then, if you have a project in a final stage when the project really come alive, and you can walk your client around it: that's great, that's brilliant, but you got to know when to show. So it is good but it needs to be used wisely.

Given the evolution of the digital society and the different fields of design, is there a risk for architecture and for the architect to play a minor role in society?

A reduced role, as opposed to what it was 40 years ago, definitively. I think about architects who are interested in design outside pure creation of a utilitarian building or basic building. The pressure is on us, to prove that, and argue for the added value that we think we bring, more than ever. We have been losing ground in the last 25 years, our role has been steadily abraded. This erosion is true in project management, projects delivered by contractors, manoeuvred by contractors. The emphasis and priority of the project are about money, and more than ever, architects are losing ground, becoming a nice to have. Those structural issues, with the building industry, combined, with the pressure of technology, is going to make us harder to justify our place.

Order the following topics for the usefulness they will have in Architecture over the next 10 years (Max 7, Min 1):

- Machine Learning 7
- Other Computational Methods 6
- Augmented Reality 5
- Digital Manufacturing 4
- Building Information Modeling 3
- Internet of Things 2
- Virtual Reality 1



DANIEL DAVIS

Former director of research

WeWork

Marzo 2019

How would you describe the architectural design process today? Did it change compared to that of ten years ago?

I'd say in general that the architectural design process is pretty fractured, so there are a lot of changes happening in many different places. Compared to ten years ago, there have been some pretty significant developments around digital tools. In particular, there are significantly more firms using things like BIM, simulation, and parametric models to design buildings.

When working on a new project, do you start with sketch or do you use 3D modeling since the beginning?

My experience at WeWork is probably different than most of the other architectural firms. WeWork opens a lot of buildings, one after the other, and there is a similarity to all those buildings. Whereas most architectural firms almost start almost from scratch each time they design a building, so they have to go through a lot more of the design process. At WeWork, I personally didn't do any design work, so I don't have a preference for sketching or 3d modelling.

Digital changed the relationship between project and Architectural representation. What are the other phases of the project on which it has influence?

There are a number of upstream and downstream effects. Upstream of the architect, there is potential for a lot more consideration around things like building selection and reality capture. Downstream there is potential for the data that architects are gathering to be used in building operations, to become an asset for building managers.

Cross-fertilization is probably one of the most popular characteristics of contemporary culture, what are the disciplines with which architecture has woven new relationships?

I can say just from my experience at WeWork, we deliberate try to hire people outside of Architecture, and some of the people I really enjoyed working with were the people that came from psychology, data science, biology, and business. What I found interesting is that all these people have opinions about the built environment, and about what makes a good space humans, but their definition of a good space is very different than that of an architect. I think between all these different perspectives, we can find a more complete picture of what makes a successful place.

Una foto di uno dei co-working WeWork a Londra.



What are the data you usually collect before starting to design a new building? With which tools?

My experience is probably different than that of other architects. In my research I use a lot of spatial data in combination with things like performance data, usage data, and materials data.

Simulation has proved to be an important resource for contemporary architecture, what are the phenomena that we are able to simulate today in terms of architectural performance?

The industry's simulation abilities are very limited. Most of the simulation tools are geared towards building physics – things like daylight, acoustics, structural performances and stuff like that. And there is some basic analysis of how people might experience the space – things like egress simulation, simulation of sight lines and visibility. But as an industry we don't have a very good handle on how buildings are going to perform once are constructed, we can't simulate the deeper aspects of how people experience space.

Talking about User Experience, is it possible to simulate human behaviour to improve the spatial configuration of a building?

You are not going to be able 100% to simulate human behaviour, but you could do it better than the current simulations, which are basically nothing. Is it going to be a perfect tool? Absolutely not. Is going to be better than what we have? Absolutely.

BIM is quickly becoming an obligation in Architecture, Can informations produced through BIM models become an asset for Architectural Design?

Yes, for sure, recently architects have found ways to sell services around the information that BIM models produce. These models are essentially a big database

of knowledge. I think architects haven't been as successful in seeing the value in that data.

In other fields of design there is a possibility of acquiring user feedback to understand how to improve a product (Focus Group, A / B test, etc) is this possible in architecture?

Yes, stuff like that happens in a lot of retail spaces. They are essentially able to setup stores in different configurations and see how that affects things like sales. On the experience side, you have companies like Disney that gather a lot data about how people experience their parks. I think the main impediment to that sort of work, is really the business model for it, since you need to have a lot of similar spaces and to gather data from all of them.

Who are the Masters to whom we should be inspired for a better contemporary architecture?

I think within the field of architecture there is a bunch of really great people like Jane Jacobs and Frank Duffy. Outside of architecture, companies like AirBnB, WeWork, Apple, Tesla, have an intense focus on the user experience, and I think architects could learn a lot from how they structure their business, and how they listen to the users.

The wide use of computation in the major firms is again questioning the relationship between science and architecture, it is something that will characterize next architecture?

Yes, that also an interesting question, I think the question about the architecture being more art or science is still something that is related to our professional identity. I'd say that work that happened with computation have more a scientific bias, but sometimes this can become an aesthetic itself, an image of something scientific rather than actual science,

According to your experience can Artificial intelligence be used to define the forms and spaces of architectures?

Yes, so, I would make a distinction here with artificial intelligence and machine learning – artificial intelligence being some kind of intelligent machine, and machine learning being some kind of advanced regression. I think Machine Learning has a role to play in Architecture, we have written some papers on that in the past. But at the same time, I don't think machine learning should be seen as a magic bullet, it's a difficult and complex technology to use, and only really works in certain situations.

What are the most common softwares and programming languages used within the Architectural design process?

Probably Python, C#, and then like Visual programming languages, like Grasshopper and Dynamo. In terms of software, it varies from firm to firm. In America, most firms use Revit, some firms may use Rhino, Autocad as well.

Are you able to Code? If yes, in which languages?

Immaginiedi una presentazione sull'applicazione dei metodi di machine learning all'architettura tenuta da Davis nel 2017.



Python, C#, HTML, CSS, R, Sql.

Do agencies develop software for peculiar needs?

Yes, I think most major practices at the moment are developing some kind of software, whether it's a small script or a full application.

The proliferation of software for architecture has given a huge weight to specialized software houses, is it influencing architecture?

Absolutely! Even the default options in software influence architecture. For some buildings, you can look at them and see which software they used just from the form. That is not to say that a good architect can't avoid the bias of a software, but I think every software somehow influences your way of working and way of thinking about design.

What is the role of open-source software in contemporary architecture practice?

Open-source is one model of producing software. There are good examples of open source software like Dynamo, and there are good examples of things that are not open source but open in spirit, like Grasshopper. That said, most of the CAD software firms use is all commercial and closed-source.

Given the rise of B.I.M. in architectural agencies, is there a risk of differentiation between the role of the Architectural designer and that of the B.I.M. technician?

Yes, I think there is definitely a risk, I don't know if you read the essay called Keepers of the Geometry by Yanni Loukissas. He does this beautiful ethnographic study of people in an architectural firm adopting technologies. What he discovers is that there is some people that deliberately almost pretend not to know how to use software, because there is power in being the designers and telling others what to do, and then there are others that think using software is a way to advance their career. So there is this kind of interplay between who controls the software and who is in control of other people in the firm. Architectural firms are consolidating into larger organizations, and medium size firms are being aquired. So there is a polarization of either a lot of small individual firms doing work, or a couple large consulting firms doing lots of the work.

Is responsive/Kinetic architecture a growing trend? How can it be useful to people?

It depends what do you mean by responsive. There has been a lot of hype around architecture that moves, but I haven't really seen that much work that has been successful. On the other hand, if look at something like Amazon Alexa or Google home, it is an example of the built environment reacting in some ways, in this case, to your voice. It seems likely that there will be more of this type of reactivity in the built environment in the future

What should be the response of Architecture to the ecological needs of our planet in an era of global climate change?

Obviously the construction industry contributes a huge amount to Climate Change. I absolutely feel the industry has a responsibility to do more in this direction.

Will the programmer become the new architect?

I don't think so, There is a lot of skill to being an architect that is not designing a building. You have to negotiate, talk to a client, understand clients needs. There are really difficult soft skills that you can't just program into a script. Likewise, managing contracts, managing all the complexities of an architectural project, it's something that digital tools might help with, but it takes a lot of skills organizing individuals, so I think, programmers are going to have a role to play, but I don't think that will be the end of the architect.

Given the evolution of the digital society and the different fields of design, is there a risk for architecture and for the architect to play a minor role in society?

Yes, I'd say that it's a possibility. You already see architects losing some control to other disciplines inside the construction process. And it's something I think is continuing. The tech companies have been moving through the different industries. They have taken on retail, taxis, healthcare, hospitality. But architecture is one of the last industries not disrupted by them. The tech companies really want to make their mark here and we're seeing a lot of investment happening in construction industry. Much of that investment isn't from architects, but from people like Amazon, you know, they we book sellers online and now they sell almost everything.

Order the following topics for the usefulness they will have in Architecture over the next 10 years (Max 7, Min 1):

- Building Information Modeling 7
- Other Computational Methods 7
- Internet of Things 5
- Augmented Reality 4
- Virtual Reality 3
- Machine Learning 2
- Digital Manufacturing 1



AURELIE DE BOISSIEU

London BIM Director

Grimshaw Architects

Maggio 2019

How would you describe the architectural design process today? Did it change compared to that of ten years ago?

I wasn't in the architectural design process ten years ago, so what I can tell is only my hypothesis, about what happened and what changed. Also, I think is pretty hard to describe the architectural design process, which is different from one company to another, one project to another. They are different each time, but obviously, it changed. So first I think the time we spend on the project changed, for financial constraints, the client wants us to deliver quicker, more detailed projects in that time. We must be more efficient and more straight to the point, as well we detail more and earlier. Obviously digital is changing a lot the way we communicate, the way we get organized and the way we understand our designs, so yes, I guess, Digital turn has been something quite important.

When working on a brand new project, do you start with sketches, or do you use 3d modelling since the beginning?

Again, I'm not working as an Architect, And I would not say that we have just one way to proceed, there are multiple ways to proceed because the ideation time is quite complex and has to be various and going in different directions. It could be anything, maybe just not the sketch, maybe a photoshop work, maybe it's a diagram, maybe it's a sketched diagram, maybe it's a diagram in Revit, maybe you start to work with physical models: all of these different ways to proceed, to explore, to participate to the ideation and to start the design process. I'm part of the design technology department, we are a team who of people who supports the use of digital tools in the office, and even if we are technology guys we still believe the fact that we need to use the right tools for the right job, what has to be important is the way we communicate it, and share things that have to be useful for the others, so, yes we start with sketches and yes, we use 3d modelling since the beginning.

Digital changed the relationship between the project and Architectural representation. What are the other phases of the project on which it has influence?

All stages, all stages of the project, such I would say it changed everything, the way we interact with people, so I think is quite a bit everywhere on each phase it changed some aspect, I think what digital changed is the way we anticipate representation, it means that a model is not just a tool to communicate an idea, is a tool to understand it better. Now your model is about data, is about relationships, it's about a space of

solutions, not just one solution, so seems it completely changed, and this is right for early sketches, to facility management, it impacts all of that, it impacts our scopes as architects, our way to think the project, to run the ideation, it impacts the way we document a project, it impacts the way we communicate the project. All the expertise that is needed there are changed, it's very very large, I would say it impacts everything. My PhD was basically to understand what is happening in term of design when someone is designing a parametric model and designing a space. What is happening in term of design, works together, in term of needed expertise, in terms of cognitive operations, you can't say first this and then that, it doesn't work this way, they just come together, and what I can see now that my job is to train them and to set up a strategy, is that the maturity of people with digital is going to impact more and more, the more mature you are and the more impacted you are, digital is not going to be a tool to create joints, is going to be a tool to run your coordination meetings, for example, it's going to be a tool to schedule, to generate new options, to interpret which design option you want to run.

Cross-fertilization is probably one of the most popular characteristics of contemporary culture, what are the disciplines with which architecture has woven new relationships?

Obviously, computer science, data science, machine learning, these are some fields we try to learn from.

What is the data you usually collect before starting to design a new building? With which tools?

Mainly data about the context, the site, for us it is going to be mainly geographical data, so GIS, environmental data, especially solar information.

Simulation has proved to be an important resource for contemporary architecture, what are the phenomena that we are able to simulate today in terms of architectural performance?

Environmental simulations are the most important for us, solar.

Talking about User Experience, is it possible to simulate human behaviour to improve the spatial configuration of a building?

Definitively, for us, is more about the simulation of people flows, to evaluate the shortest path from one point to another and how people use the space of a rail station, or in aviation. We are using a lot of crowd simulation in terms of user experience, we are using VR and AR a lot, to make sure we have some early involvement of the users, so they can just wear the headset and understand better what's going on, maybe better than a single plan or better than a perspective, so it's quite useful.

In other fields of design there is a possibility of acquiring user feedback to understand how to improve a product (Focus Group, A / B test, etc) this is impossible in architecture. Are there any data that can be used to create more effective

architectures?

In one of our latest station projects we tried to simulate the space very very early, we got a university building on-site, where main feedback from the client was: how useful it was for users? They were not AEC professionals, able to understand how space would look like, so, VR helped to save a lot of money, just because communication was better, and created a common ground between users and architects.

Can information produced through BIM models become an asset for Architectural Design?

The 80% of our projects get produced in a BIM model, even if a BIM model is not delivered to the client, so is business as usual. what I call a BIM model is a "heavy" model, more or less collaborative, it depends on the project. It can be created from quite an early stage, it doesn't need to be super detailed, I have seen some project having a Revit model since stage one, it can be only masses, just to do diagrams, and it depends how the architect feels comfortable with Revit, and if he has an interest in it. For some projects, we had so many options to develop and we needed to be able to constantly compare them: how many meters square, shortest paths to the next escalators, and so on. We used Revit capabilities for documentation and scheduling for that, and we were very happy with that. So, when your team is data-oriented, then BIM models are perfect. Grimshaw has this kind of mindset, happy to be very data-oriented and use data to inform the design.

What are the advantages and risks of creating and using Digital Twins?

We have to be clear about digital twins mean, for me, a digital twin is going to be a model of a building that has real-time feedback, from sensors, and which can take decisions for the facility management. So, I'm not designing digital twins, I can make some hypothesis, to say what I think about that. I think it's an amazing way to build some knowledge about how the building is used, how we can best augment its performance and the way people enjoy it. In term of risk, it just means that we multiply the data, I think it's a great way to go

According to your experience can Artificial intelligence be used to define the forms and spaces of architectures?

Yes, I would say, it's not going to be a matter of a full building, but for specific elements, we might have some advice, like any option proposal from an AI. We have seen some studies going in this direction, we try to go in this direction as well, especially with machine learning, so the Idea is the AI could help us, using all the legacy knowledge that we have. Let's say as an example, as Grimshaw architects we have been working on train stations and airports for quite a while, so there is quite a lot of knowledge about this typologies, with different options and assessments we had from all these different airports designs. AI could use these data and help us gain some insight out of that, maybe for the next airport that we are going to design and give us some ideas

Is the use of predictive methods something that in your opinion will change our

profession?

I think it's going to disrupt our profession, yes, I'm sure, especially when you see some big very large companies stepping in the AEC field, companies that have access to a large amount of data. So I'm pretty sure automation and Artificial intelligence is going to try to attack our profession, it is going to be up to us to be smart, and see as architects if we can add some values, what we wanna fight for and how.

What are the other fields of design that architecture should take as an example to innovate processes and improve end products?

All the other fields, you were talking about cross-fertilization, there are so many fields we can learn from, we can learn a lot from aerospace research, research in general. It's a good question, as a design technology department, we are learning a lot from what computer scientist is developing, in term of working methods, organization, so we are learning a lot from that, we are learning from contract constructors, some of their methods, but it can come from anywhere.

What are the most common software and programming languages used within the Architectural design process today?

I can talk about Grimshaw, we are using Rhino, Revit, Grasshopper, Dynamo. Programming languages: Python, C#, packages like Navisworks, and we use data exchange platforms.

Are you able to Code? If yes, in which languages?

Yes, Python mainly, a bit of C# but I'm a beginner and of course Grasshopper and Dynamo a lot.

Do Architects develop software for peculiar needs? Which?

We develop software to manage the process we have internally, and where the software shows some limits we expand it, according to our specific needs, to follow Grimshaw best practices. Here at Grimshaw, we may have a way to do certain things, if it takes five clicks to do that, or if we can't do that at all, we will develop it. It can be software, it can be scripts. Usually first as scripts, and if it is really needed, if it needs to be used by people who can't script, we make it a plugin from that.

In your experience, what were the most difficult steps in integrating Bim and digital tools within architecture agencies?

It is very difficult, because it's basically managing change, and change management, in general, is difficult, because it's about bringing people in places where they are going to be less confident at first, and they have to accept that. So yes, it's about bringing them in these changes, making them truly believe is going to get better, and that we can help them get better. This is the first difficulty, having them embracing the change, the second difficulty is the misunderstanding of what BIM is. If someone thinks that BIM is Revit, then it's faint, you can't implement BIM in this team, because they are going to say: yes, well, whatever, then they are going to fake BIM and they won't have all the benefits out of that. So you won't be able to explain how interesting are some

data, how smart you have to be with your model, with all your processes, how you have to share information, so yes, misunderstanding in another big difficulty.

The proliferation of software for architecture has given a huge weight to specialized software houses, is it influencing architecture?

Of course, tools are shaping the way we work, tools are shaping the way we think. Something that I was saying at the Dezeen panel: it's not just the tool, is how you are going to use them, it's all the features you are going to create around it. Here at Grimshaw using Revit is not the same as using it at Zaha, so yes. Autodesk has a massive weight, and it's up to us, to be sure, do we really want Autodesk, do we wanna go to Archicad, Dassault Systemes, and Why? What for? What is our eco-system, what kind of standard, what kind of training, what kind of support I want for a team? And all of that is going to shape Architecture, the ways the team is going to work and the quality of the products they are going to build. So, yes I agree, the fact that we are so strongly committed to some software is a difficulty.

What is the role of open-source software in contemporary architecture practice?

For now is not that large and I think it's going to grow. It is a very important topic, I think we are not mature enough for open-source, we are too young as Industry, we just started to open about digital, to understand what we can make, and it's still in adoption, even here where 80% of the projects are BIM. All the office is trained, we have standards, a strong belief in the benefits we can have out of that. We don't have enough knowledge to be able to have a main tool which would be open-source, because, in that case, you have to be even more active in your software and we are not ready for that. You can see how Dynamo is open-source, and you can see how many evolutions in it. If we had a strong opensource authoring tool, maybe an Archicad or Catia open-source, it means that everybody could develop something that anybody else can use. It would be very beneficial as well, but I think we are not ready for that.

Is there a risk of differentiation between the role of the Architectural designer and that of the B.I.M. technician?

In our department, the BIM specialists are not BIM technicians, we are not Architects, we are trained as architects, we don't design anymore, we are full-time specialists that develop all the tools Architects are going to work with. It's different, it's expertise, so the idea for us is always to be on the edge of the innovation, so once we set up something, we train all the team and we go to the next topic. Our architects are specialists, they could be BIM specialists, maybe in some practices, you know, but we try to push the boundaries.

What are the "external" skills required today in a contemporary architectural firm?

It depends on the school. There was not grasshopper training in my school, not even Autocad training, a school should teach you how to learn, teach you how to be critical, and how to learn more, so I guess it's part of the deal.

Looking at contemporary architecture panorama, one has the impression that there is an increasing fragmentation, on the one hand, small practices with difficulty keeping up with innovation, on the other hand, large offices with much different expertise. Is there a risk that what already happened in retail and banks, also happens to Architecture? If yes, how much of this phenomenon is due to digital?

Maybe, yes, I don't know if it's a risk. Again, as I was saying, the client wants us to deliver more for less money, you need to keep up with that. I worked in an engineering company, with people with over 20 30 years of experience in motorways design, and they said that where they previously had 3 years to deliver a project, they have now 6 months. There is just different expectation, different tools, so it's hard to say, it's digital, it's market. With digital we need more expertise, also when you are a small company, you are as well a bit more agile, as a big office we push specific standards and so on. Let's say tomorrow our main software crashes, nothing is available, it's going to be super heavy for us. A two people company can just say, "ok, fine, let's take someone who is going to train us in two days. So, it's just a bit difficult to evaluate, I think it's more an economic question.

Visualization has become a necessary requirement for large architectural firms, some already allows the client to visit future architectures in virtual reality, is this likely to decrease Architect authoritativeness?

No, I think it's going to increase it, as an example, for one of our projects, there was a space, where the client wanted to save money, lowering the 4 meters height of a space. We wanted to keep that height, it was a large fight with the client. Until we gave him a headset and said: ok this is 4 meters, this is 3 meters, then the client said, ok, let's go for 4 meters as we wanted. He understood the point by seeing it. And it's not the first time I heard it, it helps the communication.

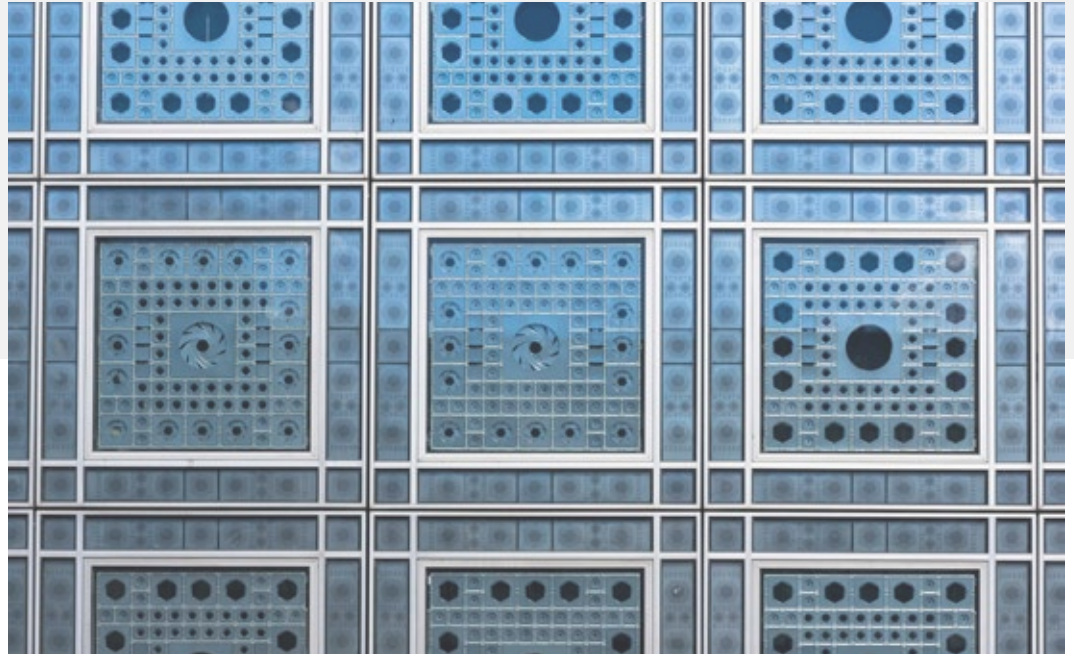
Is responsive/Kinetic architecture a growing trend? How can it be useful to people?

I don't know, I was quite passionate about that when I was at school. It's a tricky one, especially for a French person. I have seen the Jean Nouvel pavilion, it is a beautiful building with a beautiful kinetic facade supposed to open and close according to the sun, and you have some sensors, but it's also mechanical. Some of those mechanical elements got broken super quickly and it never worked. Maybe with new materials, that can be quite kinetic. Our Grimshaw way to work is quite straight to the point, let's see how it evolves and how could be useful to people.

What should be the response of Architecture to the ecological needs of our planet in an era of global climate change?

It's the priority we should have, at Grimshaw we try to focus a lot on that, and there is not an easy way to do that, to balance everything, it's really big highlights. One thing is to say it, one thing is to do it. All our products go through an evaluation of environmental performance. My idea is, as a BIM specialist: the more we give possibilities to the architects to anticipate their building, understand what's happening, the more optimized it can be, and most of the time the optimization is the environmental one in term of energy impact.

La facciata dell'istituto del mondo arabo di Parigi, citata dall'intervistata a testimonianza dei limiti meccanici all'applicazione dell'architettura responsiva.



Will the programmer become the new architect?

I think the architect profession did change all the time, and an architect today is not the same as 15 years ago, even one year ago. Software programming skillset is more involved in Architecture, we don't need all architects to be programmers, I think architects are going to need to understand digital and what it means for the way we are working.

Given the evolution of the digital society and the different fields of design, is there a risk for architecture and for the architect to play a minor role in society?

There is another Italian guy, Andrea Graziano, he is pushing the idea of architects as a design major. More is coming in the future because we are designing so many things, we are designing our new bodies, DNA of new plants, and architects should be part of that. Design is a very specific skill set that we have, and it's not because it's digital, so why shouldn't be part of it. I think architects could play a major part, a major role in this society because I think we are going to see so many changes in the coming years.

Order the following topics for the usefulness they will have in Architecture over the next 10 years (Max 7, Min 1):

- Machine Learning 7
- Digital Manufacturing 6
- Internet of Things 5
- Augmented Reality 4
- Virtual Reality 3
- Other Computational Methods 2
- Building Information Modeling 1



XAVIER DE KESTELIER

Director

Hassell

Aprile 2019

How would you describe the architectural design process today? Did it change compared to that of ten years ago?

I think there's a huge emphasis on Revit at the moment, emphasis on BIM, which I don't always think it's a drive for design, it's a drive for delivery, a drive for contractors, a drive for more efficiency, but I don't think it's a drive for a better design.

When working on a brand new project, do you start with sketches, or do you use 3d modelling since the beginning?

I think you need to start with sketching, there's a need for sketching, sketching is a basic thing, that's what we do, and I think it's super important to keep on doing that, but the way you start can be almost anything, sketching is always there, but the start could be a little forward model, could be a physical model or could be a quick 3D model, or something generated computationally, doesn't always matter what it is, but sketching is always there, I think it should always be there, that's the way the architects communicate, drawing is like talking for architects.

Digital changed the relationship between the project and Architectural representation. What are the other phases of the project on which it has influence?

Digital influences all phases of the project.

Cross-fertilization is probably one of the most popular characteristics of contemporary culture, what are the disciplines with which architecture has woven new relationships?

Anything, really any discipline, for the project we did to look for the Mars habitat, we worked with anthropologists, psychologists, bio-astrophysicists, with almost anybody and I think, as an Architect you are central in bringing a lot of knowledge from all different fields, so they can find out an architectural expression. I don't think there's a particular field, what I think we should do, we should connect much better with the tools that we use to make things, with 3D printers and laser cutters, with the people that run milling machines that go to an actual fabrication. I think the human process of tendering stops us from having that connection with the craftspeople, the craftwork could be a digital craft, it could be a person running a milling machine, but there's still a craft in that. We might think that since we have done it with a laser cutter, with a little physical model, our job is done, on the contrary, it is just started, and I think that we need to connect more, with fabricators, because at the moment we normally talk with

La proposta dello studio Hassell per il terminal turistico del porto di Palermo, progetto curato da de Kestelier.



contractors, we need to go to the fabricators, that's important for me.

What is the data you usually collect before starting to design a new building? With which tools?

It could be anything, some environmental tools, environmental analysis, weather data, but depends on the project. It really depends on the project, on what the brief is, it might be: if you are going to design an office building you can connect with data on how people actually used the previous building, it just depends what it is. There's not a particular tool.

Simulation has proved to be an important resource for contemporary architecture, what are the phenomena that we are able to simulate today in terms of architectural performance?

People movement, how people use space, also environmental, wind analysis, solar analysis, acoustical analysis, all these things are possible now, I think the tricky and interesting thing is to understand when to use them. You don't want to use them all the time, you just use them when you need them, and you need to use tools that are accurate enough, that give you lots of iteration, so you can actually go, change the design and test again, but it shouldn't be a long process. It's not just using engineering tools, because architecture doesn't really calculate at very far properly, what you wanna do is to iterate in the design process, that's what architects do with analysis tools. Afterwards, engineers are still very far with analysis, what you need to do is to get tools that are quick enough to keep up with the design process

Talking about User Experience, is it possible to simulate human behaviour to improve the spatial configuration of a building?

Simulate Human Behaviour, That's really hard to do, I think because people are very

different in the way they interact. You can do simulations, but I think you can only look for people movement in a kind of simplistic approach, we are really far off having a model that can simulate what we are really doing: we are definitely not there.

BIM is quickly becoming an obligation in architecture, can information produced through BIM models become an asset for architectural design?

I think it could be somehow, but often you need to share all your models with each other to get, this is kind of big data model. You have a lot of data, then you have more, then the five buildings that you have just built, so you need lots and lots of buildings, and I'm sure that software companies are actually kind of doing that, using everybody's model to learn, so I think it is possible, but only when you have lot of them.

In other fields of design there is a possibility of acquiring user feedback to understand how to improve a product (Focus Group, A / B test, etc) this is impossible in architecture. Are there any data that can be used to create more effective architectures?

We have a research group at Hassell, that goes to visit built projects and do surveys with our clients. We do it quite often, writing papers for clients, it often is qualitative research, but yes, it happens.

The wide use of computation in the major firms is again questioning the relationship between science and architecture, it is something that will characterize next architecture?

I think it's a way that computational tools link us up to other fields easier, so it's a way to get really more informed. Better informed design is an actually better design, it is just getting better data for design decisions, so I don't think it characterizes a particular type of architecture, I just think it characterizes more better-informed decisions, it's not about a particular style or a particular type, it's more about architecture that works better.

According to your experience can Artificial intelligence be used to define the forms and spaces of architectures?

Sure it can, but you have to see in AI, as just another architect, you need to train an AI, what you train the AI depends on what you show it, if you only give them modernist architecture, the AI will only be able to create modern architecture. So, I'm sure the AI can and will be used in a certain way, and I think it will be used where you have a very defined set of rules: think about residential buildings in Asia, they have a very specific set of rules on how it works, so I'm sure you can get an AI to do that job, in the future.

What are the most common software and programming languages used within the Architectural design process?

At the moment, Grasshopper, that's probably the most used one, then python, but mainly I think is Grasshopper in computational. For software in general, Rhino, Revit, and grasshopper if I have to name three. I think we are moving towards a lot of gaming engines, that's the next step, I think we are moving towards that as well, which is

interesting, because buildings are also being invested in that world, so I think is time for architecture to pick it back on that development. Look at all the things that have been done within graphic cards, GPU rendering: everything is moving towards that, so architectural building will move forward that.

Are you able to Code? If yes, in which languages?

I was able to code, a long time ago, with Rhino Script.

Does your agency develop software for peculiar needs?

We do, yeah, we do scripts for, just general tools for the design process, it's not something that we use outside, just pure internal tools.

The proliferation of software for architecture has given a huge weight to specialized software houses, is it influencing architecture?

It does unfortunately, I think Revit has a huge influence, not in a good way, I think: because it comes with pre-existing conditions of what architecture is, it's becoming a software that provides you with doors, windows, stairs, etc. And I think, it's very dangerous, because very much architecture becomes to get a sum of parts, like a lego construction, and you don't reinvent the lego block anymore. It seems efficient but I think is not a great way to move forward, especially if you use tools like that, that are very restrictive, as your main design tool, I don't think is a great thing.

What is the role of open-source software in contemporary architecture practice?

I think it's really important, for example, talking about Rhino: how many plugins and tools written for Rhino and grasshopper are opensource? A lot, and I think that it is so important, in spreading the knowledge, spreading the way people work, yes I think it's super important.

Given the rise of B.I.M. in architectural agencies, is there a risk of differentiation between the role of the Architectural designer and that of the B.I.M. technician?

I bloody hope not so, No, I'm quite against this idea of the BIM technician, it goes back to the day when just pure 3D modelling was seen, in the beginning, you had the architect and the 3D Modeler. I think we passed that, I don't think there should be a difference between the architect and the BIM technician, it's just a new tool that Architects need to get, that's all, we do not have BIM technicians, just Architects that can use BIM.

What are the "external" skills required today in a contemporary architectural firm?

Universities are there to train great designers, and I don't almost care which skills you have, you should have some, I don't care which software it is, what I'll look at is a great designer. Learning software? you can do that in practice. Well, It's 2019 you should have some software knowledge, you should know one, really well, but I don't care which one it is, because I don't know how you can be a good designer not knowing how to 3D modelling.

What is the relationship between architecture firms and freelancers?

Freelancing doesn't really exist in Architecture, you commit with the people, cause in graphic design works are usually shorter, Architecture is about commitment, a project can take ten years.

Visualization has become a necessary requirement for large architectural firms, some already allows the client to visit future architectures in virtual reality, is this likely to decrease Architect authoritativeness?

No, Why? I don't think so, the design is still what we do, is our core activity, Architectural design is not modelling and watching a VR.

Is responsive/Kinetic architecture a growing trend? How can it be useful to people?

I think it's very interesting, responsive architecture, I wouldn't say it's a growing trend, definitively not mainstream, just because an Architecture doing mechanical movement will always be quite hard. You know, we make a prototype almost, each time, it's not like a car engine that you design one and then you produce many many of them, you spent millions in that one engine, in architecture is much more difficult, because you may have an opening facade element or a shading adaptive device, and you will design that for one building and you'll produce a few hundreds of them. So, it's actually really difficult to do, because you don't have a factory scale, that why.

What should be the response of architecture to the ecological needs of our planet in an era of global climate change?

That's very fundamental, we should even ask our client, should they build? Do you need any building? That should be our first question because you make such a huge impact. It is absolutely fundamental, but it goes further than just having a LEED or any other certificate, it needs a deeper conversation with your client and about their needs.

Will the programmer become the new architect?

No, Architects pick up new skills, that's all, basically, it is still design. I always make a point to not hiring programmers, I hire architects that can program, it's very different then hiring a programmer, it's fundamentally different, you need Architects that can code. We are not writing software, it's fine, It doesn't matter, we are making a building: it doesn't matter how sketchy the code is, it doesn't matter at all, what is most important is that the building is there, that's why you can't hire programmers, because their drive is the code, and the software, not the architecture. it's a fundamental difference, it doesn't matter if the program takes to much time, or the code is not "elegant", I don't care, If my software generates new options by the time I had a coffee, that's fine, it doesn't matter how long it takes. You are not writing software, you are writing some tools that will help you design a better building, that's all.

Given the evolution of the digital society and the different fields of design, is there a risk for architecture and for the architect to play a minor role in society?

Yeah, I think so, I think there is a like a millennial role of architecture, that will probably

Un'immagine dei moduli proposti da Hassell, in occasione della mostra Moving to Mars, al Design museum di Londra, foto Naaro.



be taken by AI very soon. Architects will have to reinvent themselves, and I think that things like residential, blocks, it can almost be like solving a puzzle: that will be gone for the normal architect. But on the other hand, you will have a much bigger role to play, a civic role to play, in other types of buildings. So we have to be careful that we not getting overrun by AI's, that is important.

Order the following topics for the usefulness they will have in Architecture over the next 10 years (Max 7, Min 1):

- Machine Learning 7
- Internet of Things 6
- Digital Manufacturing 4
- Other Computational Methods 4
- Building Information Modeling 3
- Virtual Reality 2
- Augmented Reality 1



AL FISHER

Head of computational design

Buro Happold

Maggio 2019

How would you describe the architectural design process today? Did it change compared to that of ten years ago?

Well, it has changed, ten years ago is in a large-good proportion of my career. I actually worked in this field for 15 years, and I suppose where I have seen the design process in the industry changed in that time is especially in the context of digital, especially in the context of the technology that people are using. Things that ten years ago were inarguably a specialist skill are now graduates coming out, students.

So certainly what I have seen in my time in the industry is that some of the skills are now everywhere, whether they are BIM technology, Revit, whether what you might call hardcore technical capabilities as programming, scripting, things that used to be in the computer scientist corner, the advent of technology such as visual programming. Off the back of early prototypes in Bentley systems, Mc Neel and Autodesk, that, now, you see that in any office from architecture and engineering practises we are using them. So I think that's a big change, that afforded an additional freedom, freedom in a sense that obviously intelligent use of these computational and digital technologies allowed that sort of rapid prototype, allowed that exploration, that optioneering capabilities, that is something directly obtainable.

They might be either difficult to explore, or impossible to explore or time-consuming to explore, in a traditional approach, and obviously a well structured parametric approach allows to be much freer, a lot more exploratory. I suppose what on top of that, however, there is now an extra wave in maybe the last four or five years is: What should be using this technology for? Generative design, parametric, what we actually drive in these parameters? The performance criteria, that's driving all of these, and it settled very significant changes, that's what the client ultimate desire is what end-users and stakeholders thought of that, so I think that is a bit of a journey that in the industry is still going on I think.

I suppose a slightly more sophisticated use of the technology that we have is coming, I think we will see more of that, as the general level of proficiency of competency, across the industry, widely across the industry, becomes more and more common, at the base level. Those are things that we no longer need to talk about. You know, what are the tools we are using, the technology we are using, it may become "what am I doing with it" rather than "what should I use". I think that's what we are starting to see now, and it is even more exciting, rather than this isolated little experiment, we are now starting to see the true performance-driven design, so I think that is what's happening in the industry. I suppose we have always seen that little bit of curve in

La copertura del Louvre di Abu Dhabi di Jean Nouvel architects, progettato nella sua struttura dal gruppo di Al Fisher.



terms of adoption of technology, first of all, is like: you can do what you did before, but just more often, or faster, and then it actually starts to influence, augment the design process in itself. And I think we can see that now with the computational platforms, such like visual programming becomes now so prevalent in the industry and you are starting to see people just becoming part and part of the way they are working. We are still on the early curve, things like VR and AR and some of these others centralized cloud-based platforms, we are still at the stage of playing with it, we are trying them out, it hasn't necessary transformed the process.

When working on a brand new project, do you start with sketches, or do you use 3d modelling since the beginning?

The sorts of projects we work on can to be quite varying, it would depend on project typologies on what's the correct medium to use. We tent to now see more and more, earlier adoption of some sort of computational model, maybe a BIM model or a 3D computational model, we started to use it earlier as a sketching environment as well. The richer, the common conversation can be, it will positively influence the project. Internally here in Buro Happold we pose a huge emphasis on those software and traditional skills, you need to be able just to communicate the design, in the best way to communicate the design, it can be sketches on paper with a pencil in your hand, and it has a huge value and so, here we also talk about keeping that computer back in its box, there is a great quote that I like to use, inside Buro Happold, it is from a program called Halt and Catch Fire: "Computers aren't the thing. They're the thing that gets us to the thing". All this technology, all this digital, brilliant, we absolutely love it, but it's only a mechanism, it's only a new catalyst to achieve the end go, we are in the industry of building, we are in the industry of architects engineers or fabricators, contractors, so technology is only a medium to influence the built environment. We

see a mixture of both, sketching and 3D modelling, and I suppose that is going to be the next move in the industry, allow a little bit of the combination of the two, so you don't have to choose.

Digital changed the relationship between the project and Architectural representation. What are the other phases of the project on which it has influence?

I think that there is an end, the production, in terms of Architectural representation, you want to produce what you rendered as an output, that production of digital tools, computational tools, programming, scripting, are heavily changing the product at the other end. You want the human objective and human engineering and the human architect, to be defining the results, and the computer tools are just allowing to get there so that you haven't got the fingerprints of the software defining too much what the output should be. What you sort of measuring the output by? what you are actually driving your output by? As an engineering firm, we talk a lot about analysis and simulations and calculations and so all of those are parallel models because it can't be a single model, the same for architectural representation, which has many different representations, all of these different models, is a superposition of all of them together that hopefully influences, that final representation, and how hopefully it will be built on site. So I think we are now starting to see technology is influencing that being multiple different parallels representation of the project tailored to the individuals that are needing to support that design: the different engineering disciplines, contractors, clients, can now have their single view and their own version of the project, at that, is a coordination exercise that makes sure they can be compatible simultaneously, and we are now at the other end of the process, that all the models hopefully coincide in one model that is what ultimately the contractors and the fabricators build on site.

Cross-fertilization is probably one of the most popular characteristics of contemporary culture, what are the disciplines with which architecture has woven new relationships?

We have a sort of love-hate relationship with software developers, and other software industries like computer gaming, creative industries. I think we are now starting to see certainly in term of the design communication, with some quite beautiful cross-fertilization, an influence, which is coming from computer gaming, even that sort of interactive graphics, interactive storytelling, sort of how to explain complex narratives based on large datasets, that is becoming part of the architectural engineering narrative. In terms of pure computer scientists, the approach we have taken in Buro Happold is to actively employ individuals with a background outside the AEC industries, so we have computer scientists, people with Ph.Ds in Machine Learning, working alongside with engineers and architects, to make sure we have that sort of broader expertise, and I think we are now starting to sort see, that diversity of looking at the same project with different perspectives. I think that's a big area where to solve some of the really interesting problems. Ultimately, we are trying to influence society, and having as many people as you can with vary backgrounds inputting into the tools that we create and also the solutions we are trying to find is incredibly useful. This cross-fertilization, another bit we can talk deeper about, is in terms of

software development, all the open-source strategies to collaboration, we have taken a very deliberate approach in this way, so we are crafting our computational capabilities inside Buro Happold. We are learning from the best in class, software developers, software engineers, to make that sort of question: how do you structure code? How do you develop tools effectively? And I think this conversation is not like, oh they are doing it better, we are doing it better, it's about how we are hybrid to that conversation, we create something that is neither an engineering approach or a software engineering approach. It is certainly what we learned out of the last five years working also on how do develop our own digital and computational tools, learning from outside the AEC industries, working out as to make a sort of mixture of the two.

What is the data you usually collect before starting to design a new building? With which tools?

I think data is a challenging topic for the industry at the moment, this is a big subject on which people will focus on. We talked a little bit about machine learning already, and if we want to create better insight into our projects you kinda need this sort of data. The AEC industry is incredibly fractured, fragmented, so having a good coordinated organized set of data sources is still a big challenge in the construction industry. Right now, in isolation, as individual companies, we are organizing ourselves in term of curating our own project repository, organizing our architecture collection, so that we can have better insights on projects. A big challenge is to have a community built up around, creating a large dataset around what are the outcomes that a client will want, now you almost reinvent it for every single project, so we are starting to do a few of collaborations with certain clients, opening up to this sort of challenge about the usability of their existing building, introducing a lot of working at the universities where we started to interrogate the existing estate, how the existing facilities are going to be utilized in terms of utilization of spaces, how people are interacting moving around, the comfort levels of spaces. Understanding the existing states before we do any kind of intervention allows us to understand what can we improve or how are we going to actually influence that, and it ends up being a mixture of surveying what is initially there. Creating a computer model of the current scenario that allows you to do simulations and optioneering, mixing a new simulation but based on the existing data. We got a lot of focus around the end-users, human inhabitants, to capture this sort of usability of the spaces. On top of that, there is some work that with virtual reality as an example, to simulate some of that human interaction with the model. And then, what do you need the virtual reality to capture? If you want to do an environmental model of this room you don't need to run a virtual reality of that, you can run a simulation, what do you need are more subjective properties, such as maybe how you respond to the acoustic environment, that in particular is some of the work we are doing with our inclusive design team: inclusivity with people that have different body ability or visual impairments. How do you interact with the end model, so that you allow use the data that is captured from someone with a slightly different experience of the design, and you use that data to design based on that experience because is a different type of experience that people will have in the space are trying the design. This is very important and allows the designer to experience the end

building, even as other people with different life experiences will feel it.

Simulation has proved to be an important resource for contemporary architecture, what are the phenomena that we are able to simulate today in terms of architectural performance?

We are able to simulate starting with subjective statistics, how do you capture these statistics, this is where you really end up, and it influences the end architecture. I mean, historically there are a lot of performance criteria that a building needs to take off, my background is in construction engineering, so it's kinda easy. In terms of the building environment, there is a base comfort level that is just combined, from all the powerful simulation tools that we have. Where I think it becomes interesting, it is moving into the truly multidisciplinary performance-based design, which it starts settings higher rules and metrics: heath, light, sound levels, the stress in the walls, it's a combination of those things together, but not just one of those.

Not only in terms of impact on the environment, or cost, but ultimately in terms of some of those more subjective things, such how this building make you feel as end inhabitant. So a lot of the work we are now doing is focused on combining engineering disciplines and architectural performance metrics, and you might end up with some performance criteria such as safety and security, or, what's the atmosphere in this building in particular. In the sports sector, we do a lot of work on how we actually craft the atmosphere in a stadium, hopefully, it may be helpful to control the success of the home team, maybe, and so maybe what that atmosphere constitutes, it is not one thing, probably a combination of how close I am to the pitch, the sidelines to the pitch, all things that maybe we would design before, architectural parameters about the sort of seeing values, but when you combine that with how close the roof is in terms of volume, when you combine that with the acoustic performance in terms of the decibel levels, maybe, how conducive the wall is to start a chant here, it will ripple through and continuing and creating all cauldron singing together. Each one of those things together is maybe possible, or you can identify them with an individual simulation, but it's a combination of those that become a composite parameter such as the atmosphere. Having that is where you started to see how simulation now becomes really really powerful, that we can kinda say, this is something that will ultimately give me much higher value to the end-users of the building. It is a higher-order metric, and I think that's where simulation becomes really important, linking to some of what we talked in terms of the subjective, things that maybe you need a little bit of immersive AR or VR to truly understand it.

Talking about User Experience, is it possible to simulate human behaviour to improve the spatial configuration of a building?

I think we can talk a little bit about agent-based simulation, That is something in which we spent a lot of time, in terms of the flow of people through a building, day to day use. well hopefully, not so day to day, but with sort of emergency configuration, ingress and egress. The intelligent agents we crafted, to simulate not just a continuum fluid, blobs moving around, but actually been able to start to capture the diversity of different demographics in the building, this is something we do for that soul purpose,

efficient use of space, starting to link that parameters like utilization efficiency, how actually is the building at the macro level, performing well in terms of functioning, and also the micro-level. All the experiences, and the individual behaviours, individual agents, following a day in the life of an agent. So what's my experience, get out of the taxi, what is the acoustic experience as I came out of the taxi and through different spaces. There is a lot of work that has been done both inside Buro Happold and in the industry, looking at that sort of agent-based approach. It links a little bit with what we have been talking about earlier, where we are doing some research now, AI and Machine Learning are a hot subject to the moment, we do research in Machine Learning, but that's not necessarily anytime soon, we will be able to have a full-fidelity model, that can truly simulate absolutely actually every single parameter, this is probably impossible because there are infinite variables in this world, and almost by definition, where we are using it is the connection between things that are more important, not necessarily the agent per se, but starting to aggregate all these different models together, the simulation together to then allows this higher-order metrics. Now actually some of them might not be driven by simulation, maybe other things, but there are many things we don't know right now, today: how to capture whether that individual is just walking along the streets there, how safe they feel in this environment. So, we actually still need to devolve some of that opinion down to humans, and I think this is where I think the future trends, computation and simulation will go. It won't be this even more intelligent black box you are putting even more and more numbers in, you got your slider on the outside and now comes the right number, it is going to be a much more sort of fragmented, collective of what we like to talk about, a collective approach to computation, where some of those nodes in this network, some might be clever algorithms, but some might be, you know, human individuals, or survey information coming from client engagements. Now each one of those on their own, may be useful or not, but actually, cleverly intertwining together, you start to have, let's call a computational model, which is half simulation, half human experience driven. I think that's where we ultimately will get to be able to really capture the ultimate human behaviour. Things that we can devolve to the machine, let's devolve to the machine, if it's modifiable, if it's automatable, is ruled based, let's just program how to capture the engineer and architect know-how, let's encode it into the machine, let's do that. What can't be captured, some of the will-full human experience, human opinion, let's make sure that that can be integrated intertwined into the design process, such as it can happen alongside, and in-twined alongside the simulation, I think that's how we are going to end up with some really rich, truly captured complex human behaviours, not just at the agent level, but the whole project, and maybe even in a city-scale.

In other fields of design there is a possibility of acquiring user feedback to understand how to improve a product (Focus Group, A / B test, etc) this is impossible in architecture. Are there any data that can be used to create more effective architectures?

I think that's really really interesting question, and I do think right now the industry is tailored around creating information suitable for the construction and procurement,

to satisfy the legalities, the documentation and production, that is the primary rule that we have. Alongside there is an aspect which is around the creating of information, that helps communicate within a team, help us to tell stories, tell stories to the client, possibly, less as a priority is the creation of information to tell that story and bring the rest of society. Along with this, participating the design process. I can be working with you, we both got decades of experiences in engineering and architecture with that lots of shortcuts, I send you a 2D, abstraction of the 3D model, there is a floor plan and you can visualize and you can go, you made a mistake there, show that to the end occupants, they will say, I don't know if that's good, that's just a 2D, that's just a PDF drawing. So I think there is a responsibility on all of us, as an Industry to start to say, on how to communicate more effectively, not just among ourselves, inside, but outside, actually open up, making the whole design process much more participatory. It might be to the client, his advisors, what depending on the project might be community engagement. Community engagement I think is a really good example where A/B testing could work, but really it can't be just a test too late in the process, to put just some options and say, well this is the option, do you like it, yes or no, what's the feedback or the feedback cannot be rich with a level of specification to change and influence the design process.

I think that as much the creating that environment that allows the engagement, in terms of what do we represent, how do we communicate the design in a way that actually allows the people to feel comfortable, this is my opinion. So I think that this something which is linking towards what we have been talking about earlier, in terms of this, creating a way for more people to be able to input their own ideas, their own opinions into the design process. I think it's important, we started doing it a little bit at the master-plan, master-planning is where this notoriously you have so many more stakeholders and so many more variables that is a complex conversation to be had, and we are starting to explore some of these slightly alternative approaches. What is important to me is, "I just need to be in this walking distance of a tube station", or what is more important to me is, "I really need green space", or "parking is really important to me", allowing that sort of helping set, user requirements in a way that is directly feeding into the design process, allows that sorts of move beyond just A and B. The additional benefits of that on which we started with some of these approaches, we have seen the ownership of the project starts to feel more distributed, if you do that at a scale of an entire project then actually the local community feel like they played a part in defining the end solutions, and they feel like it's their project as well, so I think it's a really important part the industry could look to embrace more.

Can information produced through BIM models become an asset for Architectural Design?

As an asset beyond, yes, actually the deliverable is a representation an accurate representation of the "as-built" asset, and the competence, the custodian of that model going forward, actually has the ability and the will, and there is value in continuing to access, maintain and update that model, such that it becomes useful, to then, maybe in the future, therefore help define future development phases, tweak or optimize. So obviously in the environment, the modelling aspects of the life-cycle of a

project, there is a huge focus around building and manage a system and capturing that data to actually then tailor the performance of the system based on the actually in-use results, so there is good statistics now about how that actually can ultimately drive the end-efficiency of a building. As if you actually don't just deliver a thing and then hands off, that was a static thing, but a live organism that can be tweaked and updated and monitored, that requires a level of accuracy, a digital model to run alongside with that. I think you are right, I think there is a lot more that can be done, to actually, I suppose, give co-ownership of the delivery of that model, in one sense, at the moment because it's what part contractor will think, we hand over a model when it's just in term of the risk associated with the data in that model, handing that over a longer supply chain. You can now see as we are involved with UK funded projects to look at this sort of protocol for being able to share informations in the AEC industry to allow that much more fluid exchange of information, this is kinda saying, ok I actually want to share you a model, or to share with you this large ten gigabites of super rich representation of a model either want to change one or two elements in that model, only that for need to share with you the changes, the deltas, rather than sending you another massive model, this facilitates one much greater efficiency in terms of communication, it speeds at one the communication, and you actually have the ability to see those changes, making easier the conversation, instead of controlling which version we are talking about, actually seeing it faster, and collaborating with you, maybe on the structural engineering, I can just share with you modifications to your architect model, but saying I just changed these bottom columns because it allows the forces to flow through the foundation or what ever, and you can have a very detailed conversation about those, also allows efficiency in terms of coordination. All of those issues, beyond the life of what the construction will define, all options for allowing a very efficient way, be able to close that circle back, to kinda say, what can I share, basically back to maybe, the simulation of the building environment simulation, of these finer models I'm getting light performance on how the building is working now, occupied. Can we actually keep some of the parallel simulations that we were using? To maybe drive the design, keep them live to maybe help in modify, improve, we were going to use it for this, actually to be robust for change, we are now changing the way we are using the ground floor, whatever the occupancy is changed, and I think being able to keep that sort of, not just a single model but an ecosystem of the simulations live beyond the delivery of the project will be more valuable.

What are the advantages and risks of creating and using Digital Twins?

Some of the digital twins are just talked in term of advantages, I think the risks, I mean, as always just comes down to, in terms of, who ultimately is responsible, I think that it needs to be a cultural change, change in this way procure all our projects to kinda say we actually all got a stake in the success of this project, and actually we find when you create an organizational structure which is orientated around co-ownership and success of delivery, so we are actually fighting towards the same end, and everybody, rather than have a sort of hierarchical chain, communication chain, much more open and transparent in sense of what we are doing, can actually improve the end products. I suppose one of the risks is in the legalities of who-is-responsible-for-what are very

very clear. I think that's going to be what ultimately the success of sort of digital twins will come, when culturally as an industry we sort of facilitate that being the actual deliverable. Is it a long road? I think as always, there is a technological challenge which actually is sort of two-step ahead our answer as human. So, lot of this stuff is already possible now, and I think is almost about whether it is going to be pushing things like BIM adoption as legislation. All government projects need to be hitting that sort of level, that ultimately drive changes, and drives adoption, because this is like saying, this is now possible, you can see some exemplar projects, and you somehow you need to create the environment, for people to actually want to change, that feels like a little bit of long road, because you ultimately got to everybody to say, well, what is in for me? Is it changing the way I'm behaving? So as always, it comes to humans again.

The wide use of computation in the major firms is again questioning the relationship between science and architecture, it is something that will characterize next architecture?

Again thinking about the opening question, about ten years, all last ten years, the question has been, what are they going to be these new roles? Are they going to be a blurring of architects gonna have to become more like engineers? Is an architect practice going to employ more engineers or engineers are going to be employ architects? I think there is this sort of, put it there, art and science, architecture and engineering, I do think is important, there is a level of conflict, you need some conflict in a design process, and I think the risk is if we believe that we can literally just encode absolutely everything, and create this mega simulation that will just give us the right answers, which would be a very sort of performance-driven engineering layered answer, actually you just need to find out what the right question is, what the right metrics are, closing that loop in design to give you the answers. I think there will always be this human dimension, and you call it human you call it architecture, for me the architectural role is to play the role, you know what's the impact, what's the humanistic resolve of this scientific model, and so you bring this sort of science and art, call it science and art, call it engineering and architecture. I think that's very very important that there is a custodian of the design process, which is leaning much more heavily on richer insights, and richer data, and answering with more precision the questions that need to be asked, however, there will still be sort of orchestrating centre who actually know what is the most important parameter here to dial-up and dial-down. I think he is going to be the coordinator, being more the facilitator of the process, what we have been talking about earlier: I wanna take your opinion into account, being a translator, I wanna understand what you need. That's I think is one of the roles the architect is going to play, to translate back into the society, on the different stakeholders, on the different end-users, and I think that is where we are going to end up with this sort of hybrid model. So I think there is, that relationship, and I think it needs to continue to be sort of pulled from both directions to make sure that we don't come up with incredible sterile architecture, that is the answer, I think we kinda have seen actually that is not successful when you look at some of the attempts in historic generations, to say: "this is the way optimizing manufactory, modular housing, this sort of bigger states where everything has been chosen, that's it super-

efficient", we need to leave that space for higher-order parameters.

According to your experience can Artificial intelligence be used to define the forms and spaces of architectures?

Talking of artificial intelligence, especially as a subset of machine learning, we can now start to see, some exiting movements towards, generative architecture, coming out the back end of some computational process that has been trained and tooled on models.

We have been using machine learning to facilitate some examples we have been talking about earlier, in terms of aggregating this kind of atmosphere, aggregating around human behaviours and crowds, I think, we are now using machine learning for that sort of activities. In terms of generating the actual architecture, we mean a complete design, I do think we are far away from that, for the very real reason, that it is actually very easy to create something that conforms to one design criteria, or three design criteria, or even ten, but it is very very difficult, to then find that trade-off between all of those, it's complained, absolutely complained when we designed to highlight this aspect and this aspect. So I think there are good examples now in isolation in terms of different disciplines, driving some facade analysis or training some louvres to do something, or maybe just the orientation of sun subsets, just for one, and for one set, in a vertical way inside a project, I think the challenge we see in this exponential growth in terms of degrees of freedom, once you then combine all together, I think that is going to be a place for a little while in terms of this sort of human judgment and to a line that can just be drawn into that. We are seeing that now, in terms of, maybe taking a step back this sort of artificial intelligence, or even in terms of automating encoding, engineering decisions for, sizing elements or optimization, you know, we have been doing that for decades, and as computer power rocketed. I think there is going to be a need for this sort of explosion of people experiment with how to create this artificial intelligence, how to train better neural networks. But actually, I think it's going to be a while before you will allow that all coexist together.

Is the use of predictive methods something that in your opinion will change our profession?

and I think talking about trends over the last ten years, I think it could be the next wave, you know, we now got this technology, and now we can actually drive the input to the process can be the output of another process. So I actually set up this parametric relationship, but what's going to drive it? Saying: "I'm going to play with all these different options, analyse them all and pick the best one. No, we can root trying to reverse the whole design process. No, rather than computational power just use optioning pick will reverse". I actually will reverse all design processes, so what actually drives the input to the process, would be the client desires, and I think that's something which I think it is going to happen more and more, because of the complexity of the design. The requirements we need to design are quite complex, so basically go through our design, and there will be a lot checking, check if the lighting levels are correct, check this and those, wind loads and everything, I think we are

going to see a move, you got that for free, we have encoded those relationships, such that you can't create a design that is in compliance to the bare minimum, see all that noise can be removed from this, removed from the whole conversation, and therefore you can actually then move much more to what predicting should be like, to actually inhabit that space and live in that space, that's a big focus to the industry.

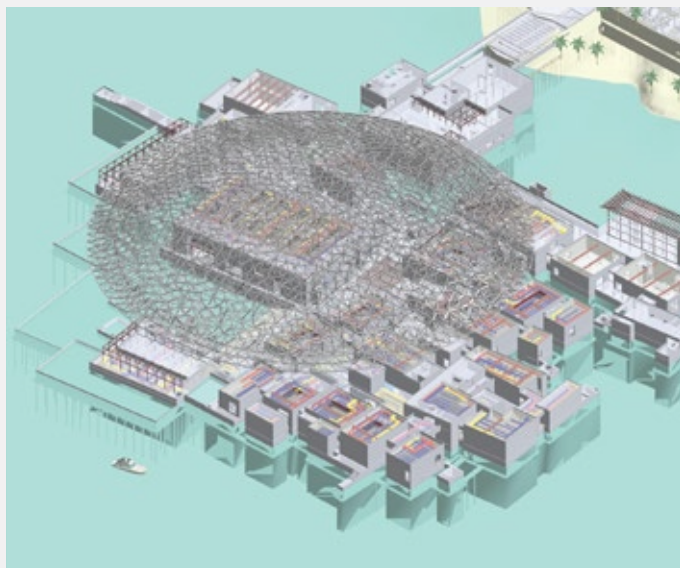
What are the other fields of design that architecture should take as an example to innovate processes and improve end products?

I can definitely talk in terms of my role, in Buro Happold, leading a computational development, we have looked a lot to this sort of iterative agile development processes from software developers, and so we moved all of our computational development process, we have a global team, which is 50 individuals, contributors across LA, Hong Kong, all them authoring the computational tools we use on our projects, at that take a very deliberate approach, let's learn from how complex systems are developed outside of the AEC industry, it relays on multiple people working together, not necessarily co-located, so how do you facilitate communication and conversation, in real time, across a global company, and so we have learned very heavily worked on that, not having sort of a single specialist skill, a specialist team with coding experience, no, no, no everybody needs to participate, everybody needs to be able to code, and so there is to structure our code, in a way that facilitates someone in LA incrementally adding functionality on-top of that piece of code, that's been written by someone in Hong Kong, that's a massive change, organizational change behavioural change, we talked a little bit about project entropy, you know there is an unstoppable drive to chaos, and so actually we have been very proactive about what's the best way of organizing our projects or tools or code or any information that we are going to leverage to facilitate the design process, by having it in a ordered way, that does actually facilitates more people working more closely together, so I think this is something we are learning a lot outside of the AEC industry, kinda say, what are the best practices, and then as I said, creating a design community, creating an approach that allows us to work not just in code development but in project development as well, so I think this is something we will see a lot more of, is it cross-fertilization, of not necessarily software eating the world, but actually, cross-fertilization the way we deliver our projects, and learn a lot from this sort of, decentralized, lightly connected, connections of teams, and versions of the two, to have a big central, that's the big BIM model, that's a Big database, where you go, no no no, everything decentralized

What are the most common software and programming languages used within the Architectural design process today?

A lot of programs and packages we use tend to be .net, and plugins that can be c#, c# is a huge programming language for plugins, you know, Revit, Rhino, a lot of hard code is focused around c#, c++, for some of this hardcore computation. I see this is prevalent across the industry, is certainly in areas where there are large dataset, large computation, python, are those sorts of environment and languages. Obviously, python has now become a massive up pick, in the use of python with machine learning. We, inside Buro Happold, have been pushing c#, we have been developing

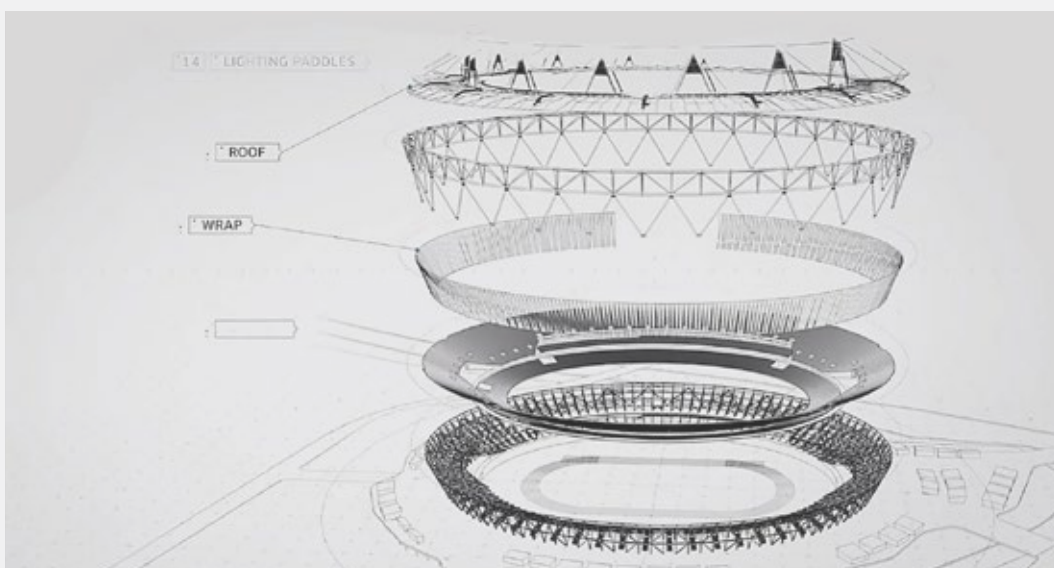
Il progetto di strutture e impianti realizzato da Buro Happold per il Louvre di Abu Dhabi.



Il London Olympic Stadium, progettato da Populous per le olimpiadi del 2012.



Il modello sviluppato da Buro Happold per lo stadio olimpico di Londra.



all of our code, I don't know if you have seen, the code we open-sourced the last year, BHOM, Buildings Habitants Objects Models. To speak on that for a second, I think that was an incredibly important philosophy the industries decide to move on from, there is a huge wasted time and energy, double handling your data, not just double handling your data, even just people rewriting their all little conversions across the industries across inside individual companies. That's a big push we have taken, that's urges, in terms of communication it is a much higher value to me, that collaborating with you, collaborate to all competitors we are speaking the same language and we can effectively communicate as fast and as effective as possible, that was sort of back story to us, we got our version inside Buro Happold of an approach to interoperability, we know there are a lot of different versions out there, but there has been no definitive approach, crafted by the industry, and co-owned by the industry, there are initiatives out there, however that's not actually co-created, it's not set up in a way that can be co-authored by more than a subset of software of even more, or parts of the community, that was our intent. This is not just ours any more, this is open source, we are continuing to build that, we are continuing to use it, but it's actually a higher value to efficiently that doing interoperability, and there are more people doing the same thing. The code is written in c#, it has been designed by some of our team, authors with a background in computer science, that's not just blindly write big dense classes of object-oriented code, impenetrable to anybody to customize, but to do it we sort of breaking some of the traditional rules of c# or object-oriented code, having this really intelligent object that you can inject and evolve when you need it, and so this is linked a little bit on the learning from the computer gaming industry. People like to talk about object-oriented, and actually is not very conducive to people working together, because really intelligent objects, will do what they call data encapsulation.

If you are going to ask me a question coming through this public method and all black box down here do the computation and give you the answer, that's kinda fine if you grab something like a smartphone, apple products, you know use my face to unlock my phone, but actually from a designer building buildings, and I want to be able to be in control of things, actually I wanna make sure that column is not going to crack under the forces, we need a bit of transparency of the process, beyond sort of single black boxes.

So the BHOM uses a design pattern which comes from the computer gaming industry, which is called entity component system, it's basically more looking to say, java script, that we use a lot for web development, javascript allows to be much more permissive in terms of what you can do, once you have created an object, a program could be running and you can change your mind, change the parameters inside. Entity Component System is widely used in the computer game, an example I like to use, is Super Mario, a character jumping along, he has got the ability to jump, then he takes some magic mushroom and I change in size and I can fly, and so the behaviour of the character is dynamically changing throughout the course of the computer game, or the project. This is allowed by an Entity Component System, so I can Inject this ability, intelligence inside, so, we start a project, we don't wanna have a boring conversation about how do we define a light, we all know what a light is, halfway to the project, you can be a lightning designer and say: "I got this brilliant new idea, and I want to change

the behaviour of lights". Then we now don't need to change everything and rewrite our code, you can just inject in a new behaviour on that light, or add a new property, or whatever you want to do, live on a project, it can be changed halfway through the project, without problems of backwards compatibility. That is a fundamentally different approach to share this information with some of the others of this highly intelligent objects.

We are kind of greedy, we don't wanna go completely schema-less there is a lot of conversation around at the moment, talking about schema-less models, data are data, that's just numbers and words. We are against any restriction on how to organize these things, in practice, there is a huge inefficiency because you are just revolving all the responsibility, to absolutely everybody, that when they get some data, they have got to check if it is correct, you know you got all this horrible infinite spread of data. On the other and you can say we need to agree on day one on what the protocol is, and therefore is written down in stone, well, that also doesn't work, we know it doesn't work, we are always waiting for the final version. So, let's have an object that can change, this is where programming languages show their true power, we have gone down this kind of aggressive approach, trying to up-skill everybody in our practice and hopefully outside the architects and engineering industry in general, a little bit of an up-skilling of their computational competences, just that we can all participate in being able to use some of these tools and technologies. What we didn't want is for everybody to become a computer programmer, because it's a kind of mad, you don't want everybody to learn it, we are architects and engineers, so computational co-competencies range from level one, which is basic visual programming, knowing a little bit of grasshopper and dynamo, but critically it's a continuum, it can gradually transition from all the way up to knowing c#, but the important bit is you can transition between the two. I think straight out of the box, we have seen in the industry, and I have seen certainly in my career, graduates have joined, learned grasshopper, as an example, or dynamo, and they just learned it, and never used it, and they have never got to the point that actually, this is not properly quite appropriate to be in one script, or actually, should I be trying to manage all of this mad parallel data trees, maybe I could be looking another way to managing this data, which I would call, code. And how you allow the transition between the two.

Are you able to Code? If yes, in which languages?

I'm able to code, yes, I should talk in order of that one that I use, c#, VB, python, c++, going back, things like Fortran, Pascal, absolutely everybody, whatever grades, in Buro Happold, partners down to graduates anybody is engaged in computation

Why there is a need in the AEC industry to develop software?

This comes back to why we should urgently move beyond just interoperability, there are two disproportions of focus, historically on just linking thighs together and shuffling together, we should as an industry have a collective approach, to collaborate on how to interop between a chosen platform. Unashamedly in Buro Happold, we are engineers who can program, we are not going to turn into software, we are going to continue to be consultants about the physical real world, hopefully, positively

impacting society. However, what is a software developer other than a person that can create a computational tool encoding some know-how, and I think this is what we all should be aspiring to do, our custom software, our custom tools. Just to say, I have a different way of working to you, I will encode my own official know-how, into my own code: a piece of software, a small part of my know-how, such I can hand over some of my human brain capacity and I can retain the rest of it for stuff that I can't encode. It's an extension of us

In your experience, what were the most difficult steps in integrating BIM and digital tools within architecture agencies?

I think there are a technological part and a people part. Technologically there is still a problem at the moment, that is to know how the stuff will plug together, and you know we are very interested in the way we can solve it as a collective industry. But then there is another challenge, and it's the human barrier, to understand even how an architect can orchestrate the means of collaboration, so as I want to collaborate with you, I'm a landscape architect, how do I plug-in into this ecosystem of information, and how I facilitate this human conversation.

The proliferation of software for architecture has given a huge weight to specialized software houses, is it influencing architecture?

We are in this point in time, but let's go back again in ten years, Rhino becoming very prevalent, Maya, all the sub-d surfaces, all this sort of things, a simple geometrical level, you can talk about this stories, projects been literally physical rendering, of the limitation of the geometrical capabilities of the software. Probably now, having a second wave of that, where the easy at which it is, is we are able to generate a quick CFD model, render some HSV colour rainbow on the facade just to capture incident radiation, and actually not necessarily have the rigour to question all of this industry. There is a risk at the moment, just because we got all these capabilities, we are not necessarily plug-in in the right way, there is a risk that any technology can be put on bad use, right? It's all possible, let's make sure we are making in the right way, with the right organization and allow the right people to be able to participate in approval and checking and questioning as well

What is the role of open-source software in contemporary architecture practice?

We are sort of champions in that, and we are excited there is a place for this aspect of what we do: being completely open, even if that doesn't necessarily mean that every aspect needs to be completely open. Making my engineering know-how, being compatible with your architecture know-how, a sort of open-source protocol, now it doesn't necessarily mean I have to give away the entirety of my know-how, but it's sort of an eco-system. I think that's where a level of sophistication in terms of how we architects use open-source software such they can plug it together. We can lean into it, as much as we are able to, but also then use it in a much collaborative way, and this is something we have seen in our own experience, you know, frustration, talking about how can we work together in this industry more closely. What can we crowd

around? Create this sort of community, and this is something that needs to be the initial seed, and hopefully, it will continue to evolve, more people inputting to it. So, what it will look like in another five years I don't know, but I think you can kinda see, in industry, in society and in general, there is a much greater expectation of transparency, a greater expectation in honesty, and openness around, not only, what has been done, I mind deliverable, you know, give me all the information you have got, all of the metrics, all of the richer pieces of information generated about my project, but also a little bit about how you have done it. I think we started to see outside of the AEC industry, around the transparency and ownership of data, and I think that's going to be increasingly a move and a mood towards transparency, not only the information itself, but how has been used, the whole process, and I think we need a better approach in this

Is there a risk of differentiation between the role of the Architectural designer and that of the B.I.M. technician?

Yes, I think so, we are certainly moving in that direction, from a very long time, but BIM and any computational skills are not a specialist thing, everybody has capabilities in that here, and I do agree with you, some of these things, by labelling it, and I talk as head of computational development, I'm self-aware enough to understand it, by label people with terms like digital, computational or BIM, then you are almost flattening a person in a role. So what, you could have the ability to put a focus on it, and we are talking disproportionately loud about computation, because it's really really important, so important that we could stop talking about it in a few years time, because then it will be like CAD. You know, it's gone, we have done it, it's just a skill that anybody got in.

Looking at contemporary architecture panorama, one has the impression that there is an increasing fragmentation, on the one hand, small practices with difficulty keeping up innovation, on the other hand, large offices with much different expertise. Is there a risk that what already happened in retail and banks, also happens to Architecture? If yes, how much of this phenomenon is due to digital?

I think that's a really interesting question, there is always a risk, and I think that should be something that we should be very mindful of, again by not over-emphasizing these competencies, doing in a way that is truly democratizable, and others are able to participate. I think it's incredibly important we end up with a sufficiently diverse ecosystem, people being able to collaborate and work together, but such than an incredibly specific and fantastic niche experience from some part of the globe that I cannot even imagine, they need to be able to, converse and plug-in and contribute and share in this global community. This is a really important point, and someone should address opens protocols, you shouldn't be paying for some crazy license or some particular platform just to be able to share these pieces of information, it should be like free, and equally, there are the competencies. You shouldn't have to go on ten training course or whatever just to be able to join in and participate, in this collective journey. And I think some of that needs to come from the industry, some of that needs, the slightly next rings outside of the industry, Academia as well

Is responsive/Kinetic architecture a growing trend? How can it be useful to people?

I think it is, I might say, on what timescale, because that is something incredibly important to the industry when you say kinetic I kinda imagine daily or hourly, so, some adaptive facade, I would maybe extend that time period, because that is where the general level of flexibility and adaptability to changing circumstances, it is something that the construction industry is pooling at. I think that if we have any ambitions to hit the targets of carbon neutrality, Carbon Zero, then we need to have some level of, just on day one, you are designing for change, but, literally, this is not the final stage of the building, this building is going to change, and it needs to be done in a way with obviously minimum impact, such they are not just a floor and buildings, and so I think that level of adaptability, I think there are some examples now. Flexibility at a sort of a micro-scale, but then a macro scale of the entire building, how can we make sure that we are designing that to be flexible for its end users to be resilient to change, I think that what we haven't seen enough in the industry.

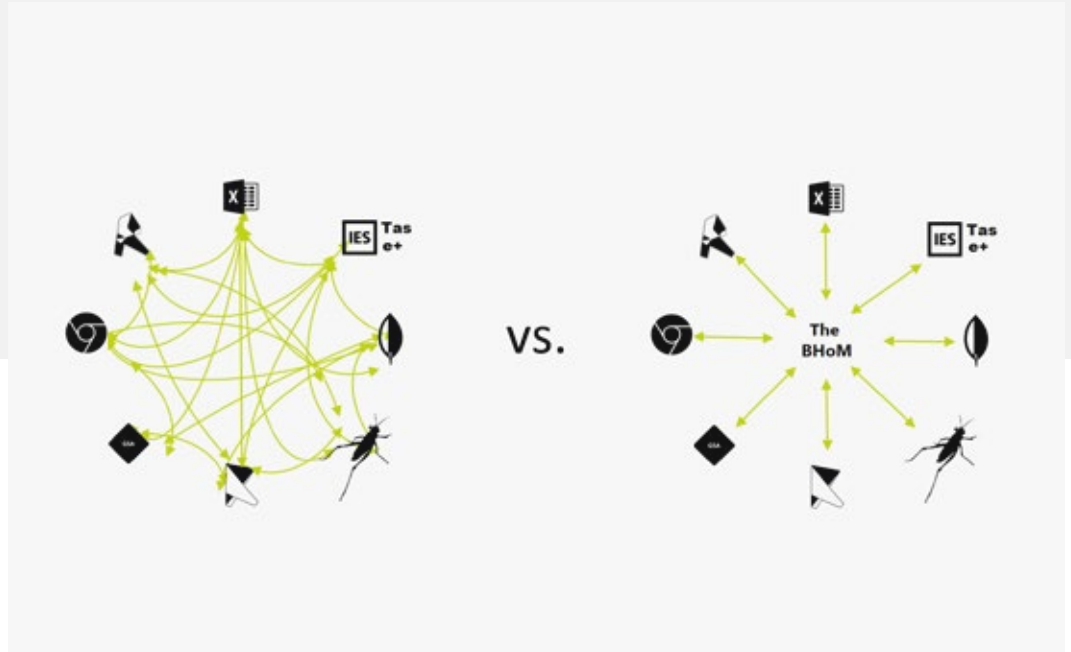
Will the programmer become the new architect?

No, but I honestly feel that we have seen certainly feel huge benefits in having that expertise, that way of thinking, that knowledge of computer scientists background embedded within the wider architecture and engineering disciplines. I would say it would be interesting to see how ratios will more change over the next five years, so we have a small proportion of people with a computer science background, I would say 1% of us has a computer science degree, in terms of our core team, where we have people with Ph.Ds in Computer Science, people with Ph.Ds in Architecture, in engineering, so I actually think it is a sort of my belief, it is not important necessarily the exact skills the individual has, but the application of those skills, however, you need to make sure you have a broad spectre, so, I think the new architect will need to be able to work with the programmer, have some of the skillets of the programmer, and equally they also need to have some of the skills of the philosopher and psychoanalyst, and economist. I don't think the answers are going to be coders come into the industry and dominate, instead, there is a challenge, the software developers are looking for a problem to solve, it's almost the other way round, there is a trend to say now, you know, disruption externally into the AEC industry, coming from outside. However, I'm nervous that it ever be truly or penetrative and actually be something that will happen across every project, and impact what ultimately everybody needs, it will only be a sort of vertical thing, until that movement is flipped the other way round, that actually the architect, is skilled and trained in programming.

Given the evolution of the digital society and the different fields of design, is there a risk for architecture and for the architect to play a minor role in society?

What is the role of the architect? Where there is said that the role of the architect is about tectonic physicality about what is space, what is the environment I am inhabiting. I'm increasingly spending more time in other realities, whatever that may be, that does mean that the architect, the role of the architect is going some more to spend as much time curating designing and facilitating other realities. I also think there is something that is incredibly important, that the architect plays or should be

Un'immagine di presentazione dell'applicativo open-source The Bhom, sviluppato dallo studio Buro Happold.



playing what should be this facilitator and coordinator, and human-centric facilitator, because there are always other influences coming in, and the architects' role is to be custodians. I would be nervous if someone whether he is going to be called an architect, in a number of years time, didn't have that role. I think you need to have this sort of conflict, pressures, everybody is vocally saying, this is the most important thing, and then there is a sort of role somewhere, actually saying, what actually is the end experience, and we use of talking about that in terms of experiences, rather than a physical room, or a physical building, what's the end experience that the humans want to be enduring, I think that's an important role that someone has to take.

Order the following topics for the usefulness they will have in architecture over the next 10 years (Max 7, Min 1):

- Other Computational Methods 7
- Building Information Modeling 6
- Digital Manufacturing 5
- Machine Learning 3
- Augmented Reality 4
- Internet of Things 2
- Virtual Reality 1



HARRY IBBS

Europe director of technology

Gensler

Aprile 2019

How would you describe the architectural design process today? Did it change compared to that of ten years ago?

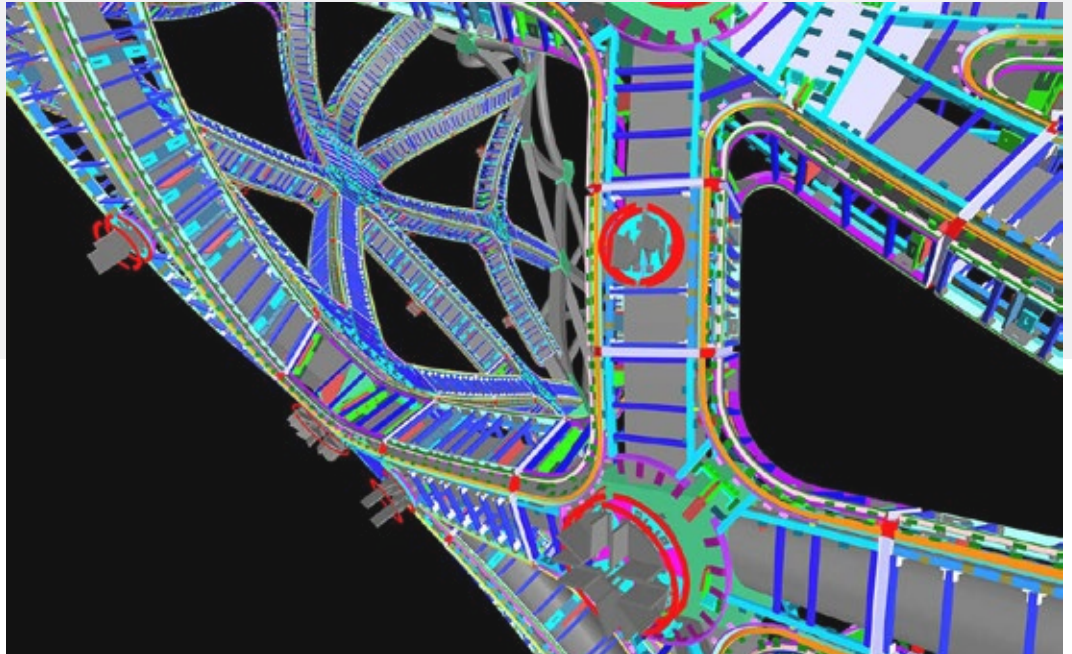
Yes, so, my experience is more privileged, because I have been fortunate enough to work with forward-thinking companies, a future proof in that our embracing technology, so technology is vastly changed respect to ten years ago. Can you imagine what your phone was ten years ago? Your phone had got buttons on it, now you have nothing on it, it's just a black screen, so technology is pushing the AEC, but not everybody. It is having an exponential effect, we are moving away from the 2D, coming from university it was for me the advent of the digital revolution, we jumped into Rhino before Revit was purchased by Autodesk, so, moving away from 2D into 3D, and then, I don't know what the year was, 3ds Max, Cinema 4D, this kind of cinematic software. Universities adopted these new tools, tools that were not designed for our industries, but for product design, adopted from automotive as well. And then the student was actually wanting to look at different forms, but also on how do I make better use of my time. The standard at the university is increasing, I go to crits some time, and now I am like: "Jesus you did all of that? just yourself? ".

So I'm flipping the question, Has the process changed? Yes, big yes, but the teaching, how the students are embracing technology, because students today, they are like a rendering company, a production company, all embodied in one person, because of their embracing that technology. However, has the industry changed this quick? No, because when I come into certain companies, it's still very much financially driven, and then stuck with, "hey it doesn't matter that you are using Maya for example, we use AutoCAD, I deliver with AutoCAD. It is a conversation I just finish over there, Why are we going to invest in this? That is going to cost more money to invest, so, in essence, yes, but on a larger scale, because AutoCAD is still more used, AutoCAD is still the number one currency for tender and planning, to get the things built, so if you look it in the bigger picture is a No, but for my experience is a big Yes, but the market is still where it was maybe 30 years ago, so it's a double question: in your experience has it changed? Yes, but my experience is not what everyone else is doing.

When working on a brand new project, do you start with sketches, or do you use 3d modelling since the beginning?

I think that all starts with a hand sketch, whenever that sketch is done within a digital path and embedded into a piece of software, but I think all best designs come from

Il modello BIM del Morpheus Hotel, progettato da Zaha Hadid Architects.



hand and mind, and then you use your software technology to provide the design rigour, and repertoire needed.

Digital changed the relationship between the project and Architectural representation. What are the other phases of the project on which it has influence?

From my experience, some instances influence the production output, if you start embracing it, trying to bring, optimization in processes and automation in production, scope delivery, so yes.

Cross-fertilization is probably one of the most popular characteristics of contemporary culture, what are the disciplines with which architecture has woven new relationships?

I saw some statistics a while ago, a lot of architects, designers, master planners moved into like politics, and become part of the political framework of sort of regions, whether is local to a larger democratic level. So I see architects and designers moving to that, advising on what public and private space should be. You have seen Schumacher giving his political views, and it's not the only one, he might be just the more controversial, but I definitely see that designers and architects are very much in that. I feel we are designing spaces for people, for humans, it becomes common currency, in my ideology. Politics is the representation of the social embodiment, where we got the physical realm, and now you are not bound in four walls, I'm in four walls with you, but we can skype people in another side of the world, the physical boundaries have become broken. Other instances: how we design for people and place today, our lifestyle has changed and evolved, work is longer hours, more days, arguably a lot more stress on the mind, not the body, while before was more stress on the body and less on the mind, work has to be seen today as an extension of lifestyle, not just work, people don't wanna get up to work. Technology is providing

new affordable life tools, relationships apps, style apps, mental health apps, well-being apps, all these apps, everyone is getting apps. Who would afford that ten years ago? Also, software companies now are designing spaces, WeWork is a software company, Google is a branding and marketing company, Amazon, they build now homes, tesla cars, rockets, Hyperloop, and many others are looking at public space, arguably engineering and architecture. So I think architect, is just a word, the architect was the master builder, the leader of an ecosystem, then he just lost his essence, and now we are becoming more than what we were ten years ago, we have to embody environments, which is more than sketching an idea, you have to absorb what is around you.

Simulation has proved to be an important resource for contemporary architecture, what are the phenomena that we are able to simulate today in terms of architectural performance?

From my experiment, we simulate people, we can simulate people movements, how they use spaces. Is it true? I don't know, we need big data and time for that, I'm pretty sure that you use simulation and make mistakes, like everything with technology. Anything in life, it's a phenomenon you take it, and you may have bad results. We started simulating the wind studies, so whatever environment, we can design to saves lives, buildings that won't collapse if a tsunami comes, or a tornado for example. Chicago is a perfect example of that, being there you see how the wind is captured, you go there and you can't walk, because there was no wind simulation to understand how we soften these high pressures. With Zaha Hadid, we delivered Leeza, a Skyscraper with the tallest atrium in the world, and that was a lot of simulation and optimization so, we didn't repeat mistakes that happened in different cities. Simulation is a great tool to predict, and it doesn't mean we are obviously right, variables in real life are infinite, in a virtual dimension you can go taller, build faster, build with less risk. We are using it, is every practising using it? No.

Talking about User Experience, is it possible to simulate human behaviour to improve the spatial configuration of a building?

We have been trying to do that at Zaha, another game is doing that here, I think we need to partner up with Big Data providers, there is a lot of companies that have senses and a body of ruled data. Partner up with the right people to be able to digest that ruled data, and then doing simulation is a way. At the moment, what I have been experiencing, is algorithms of a designer's preferences, how it could better your output, your well-being. Something like well-being accreditation for example, what are they truly based upon? Were they truly measured? I think it's very at a side low level, and incubating all the "yes we think this is the model, it looks better than this other model, and it's benchmarked off previous models".

In other fields of design there is a possibility of acquiring user feedback to understand how to improve a product (Focus Group, A / B test, etc) this is impossible in architecture. Are there any data that can be used to create more effective architectures?

100% this is connected to the previous question, the key is collecting more and new data, as architects. But Big Data is happening, is the AEC going? No, Software companies, they are collecting their own data, so they can do an analysis process and digest it. They are a good decade in front of everyone.

I worked for a contractor company before Zaha Hadid, they are much more advanced in that than anyone in the architectural field, because it costs them money to be inefficient, it costs them a lot of money, to be behind the curve, they can operate a lot nimbler, efficient and profitable, by investing in R&D, and staying ahead of the curve. They do that to get more revenue by embracing technology, all the top software providers, are years ahead of anyone, they have been doing stuff, that I haven't seen anyone doing up to now in the architectural field.

Can information produced through BIM models become an asset for Architectural Design?

Yes, but, is our people doing that? Not so much, from my experience I haven't seen anyone outside the group I worked with, in the architectural offices, to take those pieces of information from the process and take it back in the loop. Some companies now are doing that, because it's great analytics. Within the design technology group I'm working now, the intention is to do that, it shouldn't cost double money go back in the BIM workflow, BIM is a process, management, whatever tool you use, it's up to your preferences, it's not up to standard skills and stuff, we go through the process, and we can then have incredible analytics, so we can speed up BIM more efficient use.

According to your experience can Artificial intelligence be used to define the forms and spaces of architectures?

Yes but, again, not yet, and it takes a totally different approach in terms of knowledge, skills and Data.

Is the use of predictive methods something that in your opinion will change our profession?

Yes, it's going to turn it upside down, and it's going to happen exponentially, it's going to happen so quickly, that is going to feel just like a recession happened.

What are the other fields of design that architecture should take as an example to innovate processes and improve end products?

Automotive, Aerospace, Food Production, cloth manufacturing, Amazon logistics. Amazon right now is trying to automate their processes with Boston robotics, so that they won't need people in a warehouse. That is scary, It is happening under our eyes, and people are blind to that. Completely ignorant.

What are the most common software and programming languages used within the Architectural design process today?

Depending on what office, In my previous office there was a lot of Maya, Catia 3dexperience, Catia Digital Project, Rhino, Grasshopper, a bit of Revit, a bit of Dynamo. At Gensler, a lot of Autocad, Sketchup, Revit, a bit of Rhino, grasshopper,

for computational parametricism, automation, this is especially true for the European region, that's why I'm here, to change it. Globally it's different, like most Americans, they are more advanced in technology, because a lot of the ideas, come from there, all the companies that I mentioned before are American. The most common programming languages in my experience are Python, C# and C++

Are you able to Code? If yes, in which languages?

No

Do Architects develop software for peculiar needs? Which?

Many architects are now using scripting, so, somehow yes, but the only Architect that I know who developed software was Frank Gehry, who founded Gehry Design Technology group, now part of Trimble.

In your experience, what were the most difficult steps in integrating Bim and digital tools within architecture agencies?

Get people out of their comfort zone, people want something new, something that automates their process, but as soon as you will say them: you need to change to get there, none will do that. I think Human nature doesn't adapt well to changes, you know, sometimes change is good, sometimes is not, so I think it's our binary code, from the past, in our DNA. I would say a mindset culture, as you get older, you get more habits, and change becomes difficult.

The proliferation of software for architecture has given a huge weight to specialized software houses, is it influencing architecture?

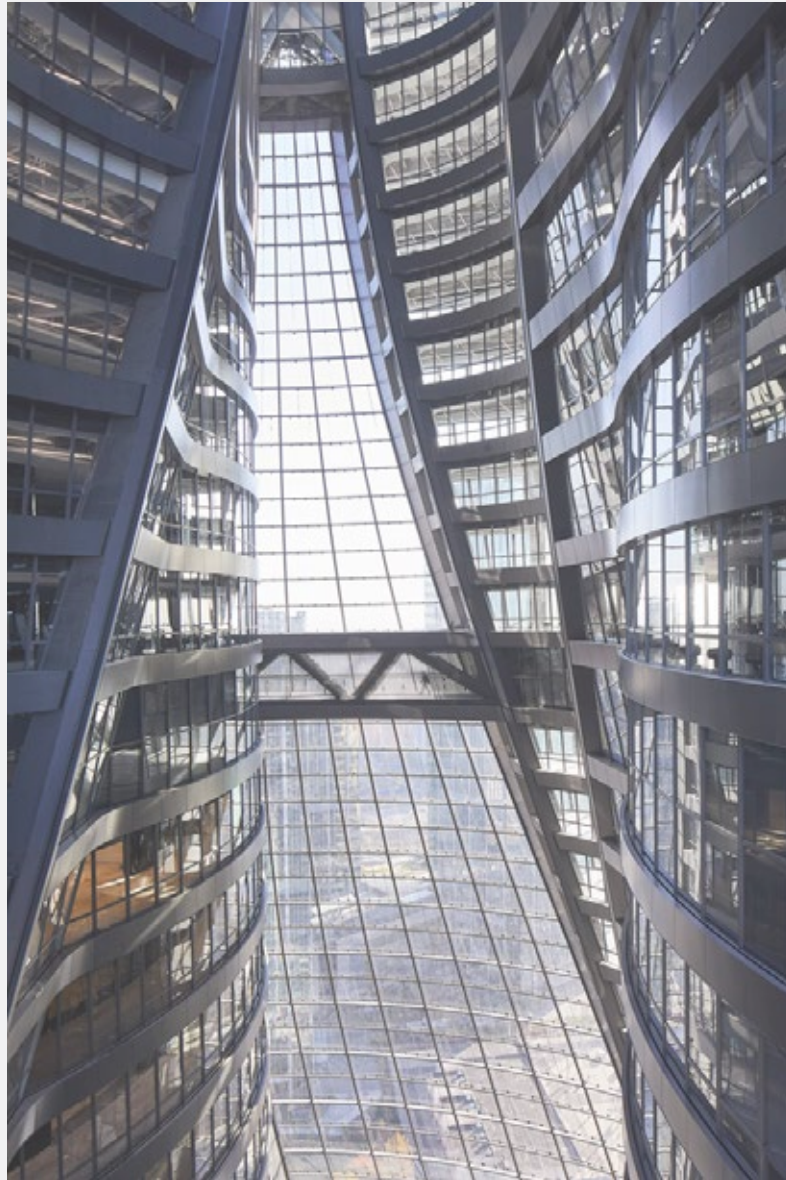
Yes, there are so many tools available for architectural design, we embrace them, and if, how happened, software companies take them away from us, we can always find someone else to take us to the next level.

What is the role of open-source software in contemporary architecture practice?

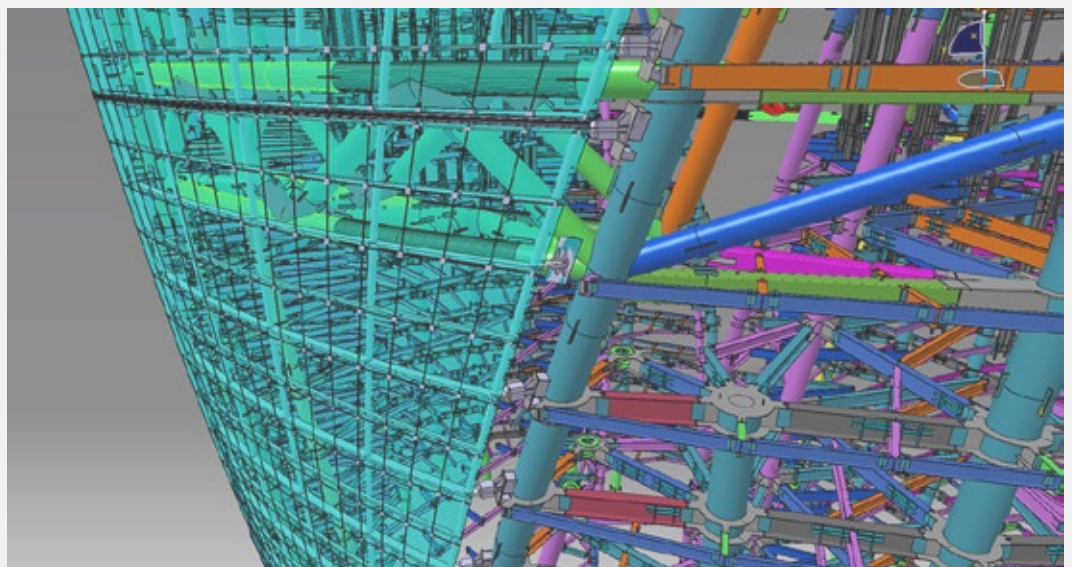
Open-source is great, but in a commercial business environment, open-source is not tangible, because you need then to employ specialists to make it tangible. This is a bottleneck your business because you are appointed with these individuals and when then these individuals will ask for more money. After all, they got more responsibility and they start and stop your initiative because it's at them. Commercial companies prefer an Autodesk because it's all down to risk you pose with them as a third party. But all commercial tools are developed and expanded also via open-source, through communities. If you open Maya, lot of tools of Maya, the best parts, are Open-source, you open Blender, Blender does everything Maya does, and some instances even better, and there is a huge blender community that is exponentially vastly improved, but it's in the workforce? No. If I had a company, I could say, get Blender, but I need to know that one of my partners can manage it, operate it because if they can't, and I can't employ someone, they got me in the corner.

So people will rather like to pay licenses because you know you get support. I got a lot of friends in the open-source community and when I say, we can do this, and

L'atrio del Leeza Soho,
progettato da Zaha Hadid
Architects



Il modello BIM del Leeza
Soho.



they are like, why would you do that? You have got open-source products, and you got 500 downloads in 18 months, and it does something that people are paying 60 dollars a month to a corporation. Your stuff is better, but the point is that you don't give support, especially when you're a one-man band, or a small team of five. Coders are some of the best people in the world, but they don't have that business biggest picture, they think differently, so if there was like an open-source community, that did landing and management into co providing a helpdesk set, if Blender could invest in that sort of community, open-source would be closer to Architecture.

You have products out there that are great, but they don't have that market, that's why Autodesk has become so successful, it is also a marketing and branding company, and they acquire, acquisition behind acquisition. Now they got a platform, now they got Autodesk App store, it's very powerful, but then the back is: Is your software, the API, owned by you now? Or is owned by Autodesk? I don't know the answers, I don't wanna get suited by anyone. The key then is to create an ecosystem, I think big software companies understood this, and it's happening, also because before there was less of them, now the market is more saturated, there are so many of them, they need just 15 millions just to create a competitive product and penetrate the market.

Is there a risk of differentiation between the role of the Architectural designer and that of the B.I.M. technician?

I don't see this two faces, but in reality, people are made of two faces, the CAD manager, the CAD technician has evolved to BIM manager, BIM coordinator, BIM Technician, I have never employed a BIM coordinator, a BIM technician, I'm employing Architects and Designers, this said, you are doing the BIM workflow, it's a workflow, it's a process, you are an architect, you need to know it. I adopt what I believe is true BIM. What is BIM? It's a whole management process, not a tool, it's managing process of how you take the information, how you inseminate that, how you process it, how you share, how you communicate, how you collaborate. So to crave all that: "who is going to do this, and that?" that's not BIM.

I wish that the Industry could understand it as a whole: BIM is a process, and architects need to be educated, understand, manage and implement. Whoever wants to be with them, over there, technologist, Architects, designers, product designer, marketing, creative directors, principals, regional offices, it's all one fluid process. BIM is not a software, is not Revit

What are the "external" skills required today in a contemporary architectural firm?

Professionalism: how you speak and tell a story to your peers and clients and stakeholders, you could call it storytelling. You can argue that they try to do that in Crits at the universities because they are going to sell an idea, but among architects, speaking in a language that a designer or architect can understand, try to do it at the stakeholders, it's totally different. At Gensler, they understand that you walk around this space and you have graphic designers, branding marketers, engineers, town planner, master planners, urban designers, architects, product designers, fashion designers, they all speak different vernacular, that can speak to a JP Morgan, or a Hilton, to a LinkedIn, Nvidia, Google, I think we need, as architects, designers, need to be educated

into that, in communication.

Meanwhile, I think we need to invest in programming skills, and it is upon you, I don't think that's down all to your tutors, they can support you of course. Designers should be designers but there should be these support hands with technology because you are coming out with skills that your potential offices want.

We definitely need a better understanding of costs, because as designers, all our energy is down this stream of the process, and then you have stopped because a lot of things cost too much. It happens in a lot of projects, so if we were able to educate about cost management inside universities, so that helps next architectural designers. Looking at contemporary architecture panorama, one has the impression that there is an increasing fragmentation, on the one hand, small practices with difficulty keeping up innovation, on the other hand, large offices with much different expertise. Is there a risk that what already happened in retail and banks, also happens to Architecture? If yes, how much of this phenomenon is due to digital?

I see this risk because the world in business is at a peak, there are now big companies that were nowhere 16 years ago, they became now monsters, and acquired a lot of different companies. Look at the retail sector, we are now at a point that everything is going to be broken down, high-streets are empty in certain regions, you have companies that don't even have a high-street presence. Whereas in different countries is completely internet present, and they are making more money than a high-street. The way we consume now is digital, many brands have now only digital presence, we are in a transitional point and I think similarly in architecture, maybe in twenty years. That's why WeWork has become such a phenomenon, it is reusing office spaces that were owned by big corporations, that ran for years and disappeared for whatever reason. These space became empty, and WeWork came along, saying we got algorithms, we can run this footprint, at this amount of money, and if it's not working we reshuffle the footprint, and I think this is probably where the business will start going.

Order the following topics for the usefulness they will have in Architecture over the next 10 years (Max 7, Min 1):

- Machine Learning 7
- Digital Manufacturing 6
- Augmented Reality 5
- Virtual Reality 4
- Other Computational Methods 3
- Internet of Things 2
- Building Information Modeling 1



ARTHUR MAMOU-MANI

Director

Studio Mamou-Mani

Maggio 2019

How would you describe the architectural design process today? Did it change compared to that of ten years ago?

I can only speak about our Architectural design process, because ours is very different from other people, and I see it every day: we fully embraced the, let's call it, parametric and digital fabrication revolution. We now have amazing tools, you know, 3D printers, giant 3D printers, we are developing new robots and we are trying to see how the computer can help the design process, rather than impose things on it.

That's a very different way of embracing it: technology is helping us achieve things, and it's not a threat to our knowledge, it actually enhances our knowledge, and so in that sense is very different. As it used to be, our ideas are kind of fixed, they are based on your experience, and as architects, you used to draw something and then you use the computer, almost like a drawing board. Now we understood that computers can actually compute very complex things, and so we can use this power to simulate things that would be too complex to just think with your brain alone, in that sense, it changed a lot.

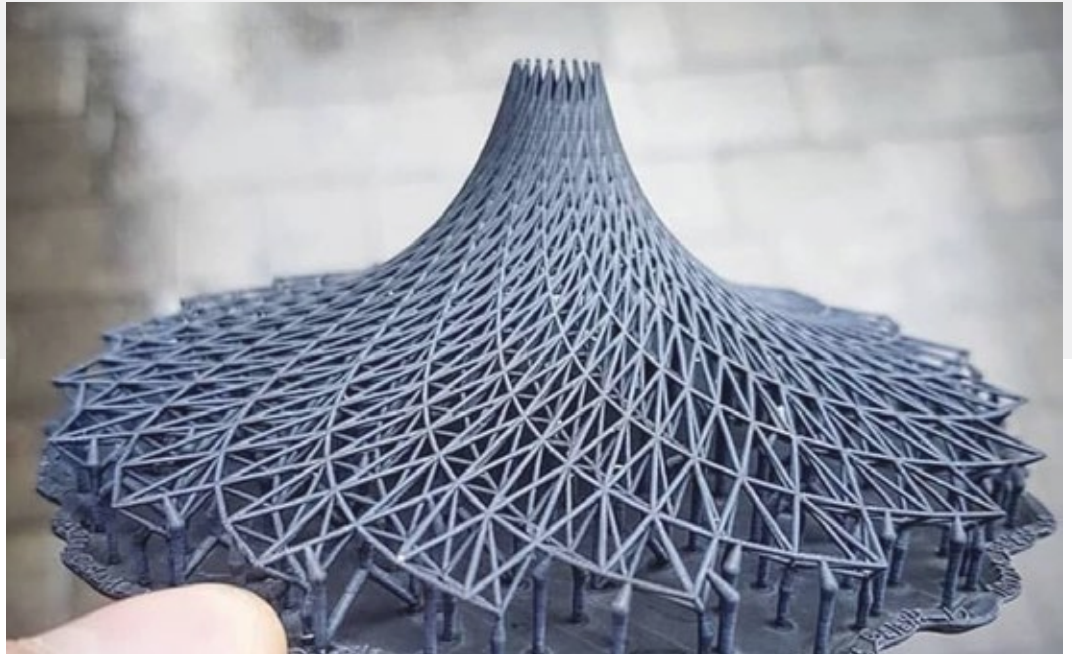
When working on a brand new project, do you start with sketches, or do you use 3d modelling since the beginning?

It often starts with an initial idea, so that, for sure, but that not necessary needs to be drawn as a sketch, or it could be just communicated, and then we go very quickly to 3D modelling. By 3D modelling, I would more say the modelling of the rules, because our projects are algorithmic, and algorithmic means just a set of rules, our recipe. So, for example, we are just speaking now about a project that is based on a mathematical equation, so we would share the result of that equation and start trying to see how we can turn this into an architectural project, so it's hard to say sketches or 3D modelling because I think is neither, it's an idea and a set of rules that we start with.

Digital changed the relationship between the project and Architectural representation. What are the other phases of the project on which it has influence?

I think it changed our approach: when we say digital, I think we mean basically clear rules, algorithms. I mean, the computer is like a calculating machine, so what we call digital is really: are we able to think a project like something we can input in a calculating machine? In that sense, a project needs a geometrical rigour, because of the computer. I'm just thinking that if we work to do projects in the modern way, with straight lines, extrusions, plans and sections, columns slabs, you don't really

Un modello stampato in 3D del Galaxia temple.



need the power of the computer, you could just use AutoCAD and you'll be fine. I think the reason we did plans and sections was any way that we were drawing by hand and then. Now we discovered that we don't need to use drawings any more, so we can save our files, we can undo, this is great. So we started to use AutoCAD, and slowly something happened, we said: wait for a second, a computer can be much more complex than that, it can do three-dimensional things, it can also calculate things, it could simulate things, you can do things like evolutionary solving, you can build up and eventually do some AI and Machine Learning. So that means we need to understand that maybe the computer can also teach us things, and it takes a bit of humility and acceptance that we don't know everything, that we can actually work with the computer, saying this is not just the computer. I think in that sense the robotic tools, they also teach us things about mechanics, the materials, teach us things about the material science, and so when you start thinking scientifically, you can then compute, not just with a computer, you can compute with mechanical engineering through robotics and chemistry through materials, physics through materials, that's also computing, I think computing just means letting another element do the computation of things

Cross-fertilization is probably one of the most popular characteristics of contemporary culture, what are the disciplines with which architecture has woven new relationships?

I think engineering and contracting which is, you know, the builders, the engineers and the architect, that relationship is merging with the computer because the parametric tools are allowing you to do simulations very quick and fairly simple with tools like Karamba. This means that you are breaking that relationship, I honestly don't know if we design, or the engineers' design, or if we and engineers are completely blurred, and this is great. Because they got obviously the expertise, and they have the

fundamentals, that mean that they sing-off, but the design process is open, it's like: they make design suggestions and of course they should be able to do that, because that separation between the design roles is putting barriers between us, and so I think that by breaking that barriers you got something very much holistic.

Also, architecture has woven a closer relationship with material science, we have the supplier telling us the properties of the material and how we can use that, the melting ratios, also the composting facilities, the whole lifecycle of the materials in an age of sustainability, it's really important, so from forest tree all the way to recycling and composting.

What is the data you usually collect before starting to design a new building? With which tools?

I think it's structural properties, I don't think it's before starting a project, I think the project has to start before we can do simulations. I will collect quite quickly information about the soil, the natural ecosystem. There are so many differences in that, it depends on where you are, what are the soil mechanics, the trees, the type of trees, where are they, the climate, the sunlight, the temperatures, the hottest points, the coldest points, you know.

What tool we use? Definitely Grasshopper, we use things like Ladybug and Honeybee, or what used to be Ecotech. But is not longer just that, it can be things like GIS data, radiance, etc.

Simulation has proved to be an important resource for contemporary architecture, what are the phenomena that we are able to simulate today in terms of architectural performance?

Simulation is now really really crucial to the architectural process, about climate as an example. I was just talking about the sunlight, the direction, the angle of the sun, and then structural simulation, you know, tension, compression, bending moments, so these are really crucial. Now more than ever, on the architectural side you can simulate the appearance really really well, the way the light enters the building, you can use augmented reality to walk through the building or VR.

Talking about User Experience, is it possible to simulate human behaviour to improve the spatial configuration of a building?

If you put human behaviour as a whole, I would say no, because we are completely chaotic, second-level chaotic, if we as an example, knowing the results of the simulation about us, we would do things differently cause we wanna rebel. This is somehow different with first level chaotic, that you can somehow predict, and it's not going to change. Some say that History would ever be impossible to predict because human history takes a course of its own. So, the entire human behaviour, no, but some aspects of human behaviour, how would they react to the beauty of it, yes, you know, you can ask, many many people if the project is beautiful or not, I think beauty is in that sense somehow measurable. The emotional response to a building is something we exclude often from our projects and so we get very theoretical and abstracted. I'm thinking of Lille, what Rem Koolhaas did in Lille, it's extremely rigorous, and well

thought, but then you ask the people from Lille and they could be: that's really ugly. And that, how should one react to this notion of ugly, could we continue doing ugly buildings, or buildings that don't create positive emotion. I come from Paris, so I know that the suburbs of Paris are terrible, and they can create bad emotional responses in any inhabitants, and I don't think we can ignore that.

Yes we should address that, and yes it's possible, you put a few humans as a sample of a population in front of a project: what is the emotional response? In these terms, you can really simulate how they are going to react to a visit. They can go through the building, we could ask them what do they feel, I'd be great to know what they feel. This talking about Virtual Reality, you can also exploit augmented reality: in Switzerland, they used glasses with Augmented Reality for public assessment where anyone can vote.

BIM is quickly becoming an obligation in Architecture, Can information produced through BIM models become an asset for Architectural Design?

Yes 100%, and not just for the design, also for the population who is going to live inside a building. The architect job should be to make inhabitants engage with the place they live, and BIM gives you information on everything: The whole world should be BIM, you know, this chair, I should be able to scan it and know exactly where it comes from, how much carbon footprint is used, I should see this computer, I should be able to access each component, everything should be open to telling where it comes from, where are the embedded carbon. I wanna know, I wanna know where things come from and I should have information about that, it should be linked to BIM models, it's great.

In other fields of design there is a possibility of acquiring user feedback to understand how to improve a product (Focus Group, A / B test, etc) this is impossible in architecture. Are there any data that can be used to create more effective architectures?

I think focus groups and A/B testing is very possible in architecture, number one I think for Focus group, you take people in a room and you say, this is the building, what do you think? A/B test, you put them in two different rooms and one gets the design of choice and the other one gets an alternative design and you say what's going on, I mean, competition is kind of A/B testing and focus groups, especially with public voting.

Is there Any data we could use? Yes, we should put sensors in buildings that are already built and understand them, I mean, we can do it quite loosely by saying, all of the buildings, I don't know, I'm trying to think of a building, I know in Paris for example, in the suburbs there are entire "neighbours" that are failed, you can measure the suicide rate, you can measure the criminality rate. Now the big question: Is it because of the architectures, or urban design, or just by the economics, or politics? Entire neighbours, like here in Hackney used to have high crime rates but then they got gentrified, gentrified means you have richer people coming. So, is that better? I don't know, it's a complex question because, again, human behaviour is very very complicated, so we also have to acknowledge that there is a dose of complexity, that

is very very hard to measure. But I think things like happiness levels, things like carbon footprint, things like the fluidity of the circulation, which is linked to happiness, I think happiness is the ultimate factor of success but is it due to the architecture? Again this is complex as a question, probably.

The wide use of computation in the major firms is again questioning the relationship between science and architecture, it is something that will characterize next architecture?

Yes, I mean, science is the acknowledgement that we don't know anything. We are going to accept that there are things that God doesn't have the answer to, this is what science is, so it's embedded in our culture, very very deeply. Being architecture on the boundary between science and art, it is difficult. As artists we often find our own answers, because of that we are not prone to letting science question these answers. One could call this ego, one could simply remind that we are in the boundaries between art and Science. I think that those artists who dealt with science are better than others, like Leonardo Da Vinci, who actually become better than others because he understood the muscles, he wanted to discover more, he definitively had that infinite curiosity to know it more, which is really what made the civilization in which we are now. Now that we have computers we have to think with rules, we cannot just impose our reality, we have to accept the reality of the computer, of the robot, of the materials, and therefore we have to accept that we don't have all the answers, and so science is creeping inside this, and I think, if we embrace it, It will have a much bigger role in the future years in our field.

According to your experience can Artificial intelligence be used to define the forms and spaces of architectures?

Yes, they can be used to define the form and space of architecture, because you give them a lot of information, and the computer gives you answers, you can question his answer. We are not stupid, I think we can deal with those, we have fundamentals, we understand some fundamentals, but sometimes simulations are so complex that you need them. You know, what is the optimal angle to the sun path, which is also optimal in terms of structure? You will probably find conflicts between those simulations, but you can find the average, so the computer helps you and therefore defines forms.

What are the most common software and programming languages used within the Architectural design process?

Grasshopper as a visual programming language, otherwise we use C#. About software, I mean, obviously Rhino and its ecosystem. If we wanted to use BIM we use VisualARQ, so we try to stay within that because I feel it's a very open-ended software. Whereas if you take another software, more on the Autodesk suite, it's a public company, so it's more prone to make money, Rhino is a private company and is owned by people that believe in their mission. I will always work with people that are not driven by money but driven by mission, and that's why we work with WASP, that's why our clients are often people that believe in their mission. I tend to shy away from people driven by money.

Are you able to Code? If yes, in which languages?

With Grasshopper and going a bit deeper with C#. I don't know how to code, I mean, I know, but I don't know, I can do some stuff, we wrote a plug-in with C# but it's really really basic, I think, unless you study computer science and you are really obsessed with it, for coding you don't need to be an expert in python or C#. Coding is also very often self-taught, a lot of the programmers that I know are self-taught, and if you know how to find the resources, engage with forums like Stack-overflow, if you can understand things in a "coded" way, you know, a lot of the codes have common rules, then you can grow your skills in that sense.

Does your agency develop software for peculiar needs?

Yes, I think all of our projects are software on their own, they are systems, they are not simply forms, but we did develop "silkworm" which is a plug-in for grasshopper to do 3D printing, in order to avoid the act of slicing, it really really impacted our practice.

The proliferation of software for architecture has given a huge weight to specialized software houses, is it influencing architecture?

Yes, it is influencing Architecture, being dependent on specific software, it's a problem, I think, unless we teach code to the next generation, they will be a victim of the big software firms, and I think they need to have the tools to do their own customization. That's why I believe in Rhino and Grasshopper, because they opened up everything to people, and they cost almost nothing. And the truth is they are very lean, they don't have big investors behind them, they have let the community chip in.

What is the role of open-source software in contemporary architecture practice?

Not big enough, I think open-source is wonderful, anyone can learn and chip-in and participate, and you know, it's wonderful, because we don't have all the answers, a community might have a better answer, again the acceptance of ignorance, that is really important.

Given the rise of B.I.M. in architectural agencies, is there a risk of differentiation between the role of the Architectural designer and that of the B.I.M. technician?

There is a risk, but I hope it doesn't happen, everyone should be BIM expert, just like everyone was able to draw their project, the more you can draw, the more you can understand. I think specialization in Architecture is not necessarily good, because Architecture is so Holistic, I think the more you know, the more you can specialize.

What are the "external" skills required today in a contemporary architectural firm?

Coding, c#, Python, mechanical engineering, the science of materials and also relationship with clients, and people. I think we have been taught on very abstractive things, by architects, for architects. Whereas architects need to engage with people, and therefore we have seen the rise of interior design and how people think Architecture is a kind of interior design thing. On the other hand, you have those

theoretical digital architects, completely disconnected from reality, or from climate change, to any other issues, and they get stuck in their own little world of style. You know, they wanna be the next Frank Lloyd Wright, but they don't address anything that people want. I think that's a real problem, I think we should know the errors of the past and we should be able to address things that resonate with people, that's really hard to know unless you really just work in a shop.

Visualization has become a necessary requirement for large architectural firms, some already allows the client to visit future architectures in virtual reality, is this likely to decrease Architect authoritativeness?

No, I don't think so, because someone has to still create the space. I mean, the way you present space, that would mean that architects authority is only relying on drawing things, I think the Architect is someone that brings things together, he is not necessarily the person that creates everything in his brain, he is the person who actually orchestrates everything. I think he has Authority because he knows what he's talking about, not because he drew something, so, I think that he would be very much involved in things like making sure the project is coherent, making sure that the project makes sense, before presenting it to a client, and then a client has access to Virtual reality, a bit like a focus group, to be sure before it comes to reality, it creates positive reactions.

Is responsive/kinetic architecture a growing trend? How can it be useful to people?

It's not a growing trend, I think if you check the amount of kinetic architecture we have now, it's really small. I think kinetic architecture is the answer when you don't have fully understood the parameters. We are lucky to have an earth that behaves very regularly, the distance to the sun is understood, so that alone is enough data to create a structure that can anticipate sun path. And we are so far from the understanding of the sun and heat even with static architecture, that I think, going to kinetic already, it will be a step too far before we teach everyone how to create carbon efficient buildings. Saying this, there are aspects of Architecture that could move, I think, here is a good example, we are inside a container city, why do we build permanent structures that stay the same all the time? We suggested a skyscraper could be assembled but also disassembled, we developed a robot that assembles things and can put them down as well, so if in this sense kinetic would mean to have buildings that can build and unbuild themselves, then I think it will be really useful.

What should be the response of Architecture to the ecological needs of our planet in an era of global climate change?

We should Panic! Panic, yes, because cement, the binder for concrete, is the second most used substance after water, you need to heat it up for ten hours at 1200 degrees, it generates more carbon footprint than anything in the world. We use it for concrete, and it generates 8% of all carbon emissions in the world, this is crazy. Wood? It consumes as much carbon as it emits if you see what I mean, It doesn't emit

Due immagini dell'installazione Conifera, progettata da Mamou-Mani per l'azienda Cos e prodotta tramite digital manufacturing.



anything, but if it worked to be burnt I would absorb all of it, that is going to release, so it's carbon neutral. This is what we call "carbon sequestration" it takes it inside it and it keeps it, wood is great because, not only does it help reduce carbon emissions, it also creates an architecture that is softer, modular. Wood was used in the timber frame architecture in the medieval ages and it was kit of parts, you could assemble them, disassemble them, they were brilliant buildings. So wood will come back, and I hope it does because it also creates very soft and human architecture. Steel? we can recycle it, which is good, but it still creates 6% of all carbon emissions. Plastic is terrible, PVC, any fossil fuel-generated element is terrible we should give up them, using instead bioplastic, they emit 68% less in carbon footprint, they are compostable. Architects need to think about the full life cycle of what they use, they need to know, where it comes from, what was implied, where was it done. If you use electricity in France, it is nuclear, so, less carbon footprint, if you use electricity in, I don't know, Ukraine, it is mostly from coal: so we need to know our data, we need to know, more

than what we usually know as architects, we need to know more about these things. Otherwise, we have zero power, that's why we need to panic, there are only twelve years left, you know there is the IPCC report, there are only twelve years left to lower our carbon emissions to reach 1.5 degrees and we are nowhere close to that, and that's because we are obsessed with concrete. Because we are modernist architects, all of us, our obsession is concrete, concrete is so cheap, put some concrete here, put some concrete there, and we think about the design like if the design was something abstract, vacuous, ego related thing, it annoys me.

Given the evolution of the digital society and the different fields of design, is there a risk for architecture and for the architect to play a minor role in society?

Yes, and it's a very big problem, I think if Architects don't connect with climate change if they don't connect with people, with their happiness, with what they want if we are stuck in our own loop of style and our obsession with getting recognized by our own profession, rather than recognized by the world, we are going to play a minor role. Architects are already not a really loved profession by the people, people just know their modern building next to them, they prefer to live in Victorian homes, they don't wanna live in a council house. And so we are threatened, we have to connect, we have to open up, we can't be stuck in theoretical loops, attending conferences, you know, on the use of digital, it's a funny world, such a self-referential profession, it's crazy, I have never seen that in other professions, just so obsessed with themselves, it has to stop.

Is the programmer going to be the new architect?

I would say, the architect needs to learn to program, I don't think someone who studied codes would study the fundamental of structures and architectures, they wouldn't know how to do architecture. So I think Architects should become programmers, but programmers would not become architects unless they want to, I mean, why not, If they want to, and they wanna learn the fundamentals.

Order the following topics for the usefulness they will have in Architecture over the next 10 years (Max 7, Min 1):

Digital Manufacturing 7
Other Computational Methods 6
Building Information Modeling 5
Machine Learning 4
Augmented Reality 3
Internet of Things 2
Virtual Reality 1



ANDREAS KLOK PEDERSEN

London director

BIG Bjarke Ingels Group

Marzo 2019

How would you describe the architectural design process today? Did it change compared to that of ten years ago?

Ten years ago is not so long time ago, when you think back, for sure things are changing noticeably. Ten years ago is 2009, at that point, somehow doing architectural concepts and presenting them in attractive ways, intriguing ways, became a global thing. Publishing on the internet really took off because it became so easy for anyone to do high quality renders. After that, maybe the decade before 3D and CAD have been an integral part of all offices, but somehow the quality of communication material until that point hadn't been very good actually, so there's almost this decades of how information technology has influenced architecture. Maybe with the beginning of CAD software, starting in the engineering department in the end of '80s and '90s, in the 2000s 3D modelling became a real conceptual design tool for the majority of Offices. Especially ours is really born with 3D as a design tool, and then maybe in the last decade, a couple of quite significant things happened. I think especially to the transition from 3D to a physical object, many manufacturing tools have become available in the last ten years, that's somehow where the biggest development happened, and maybe a second thing is related to interactive visualization tools that emerged. So, since our office is born with 3D as a Conceptual Design tool, we have always, since day 1, built physical models, in parallel, to have the tangibility of a physical object in front of you and somehow to enjoy that process, you discover amazing things that you don't do in virtual space. But Maybe what happened in that space of ten years was that manufacturing tool became widely available before that laser cutter was a quite exotic thing, and 3D printer didn't exist, and that, of course, has enabled us to much more rapidly translate virtual designs into physical objects, accelerating the evolutionary nature of the design process, because, when things become physical in front of you, the kind of feedback and understanding you get of it, gets more complex and therefore the design can develop in more complex ways.

When working on a brand new project, do you start with sketches, or do you use 3d modelling since the beginning?

3D Model is a completely integral part of all designs, but we keep doing physical models even if we build 3D models, we also keep drawing with a pen on paper and we keep redlining CAD drawings, with a pen in top of prints, and we keep printing out images even if you can see them on the screen. So there's something about the

new technology that don't replace the old ones, but they are a parallel layer to them, and it's a bit like, the more digital images you can produce, the more you print, and the more you make 3D Models, the more physical models you build. And It's also surprising how much you sketch with pens on paper, and how many concepts initially are born on a piece of paper rather than on a 3D model.

Digital changed the relationship between the project and Architectural representation. What are the other phases of the project on which it has influence?

Another thing that happened in the last decade where I think digital technology has really influenced design is that simulation has become an integral part of the design process, so, using simulation to get parametric responses to conditions has become much more common, not only in facade design, also in urban design, in terms of organization of programs and functions, landscaping. So parametric design has really evolved because it enables to quick simulate things and that's a thing that runs through a project from concept generation to construction documentation. Maybe simulation used to be more present in finance or physics, but today simulation is used creatively, even from the beginning of the project.

Cross-fertilization is probably one of the most popular characteristics of contemporary culture, what are the disciplines with which architecture has woven new relationships?

I think again with the advance of technology, of visualization technology, we have moved closer and much more intimate with the field of creating movies, movies as artwork, let's say. Compared to 15 years ago, we spend proportionally much more time today dealing with movies as representation tools, so became almost second nature for us to think in movies, there are so many projects that have movies as main communication to both public and clients. There's definitely something we see there and the type of collaboration we need to make much more often get in that direction, with digital artist and companies like Squint Opera.

What is the data you usually collect before starting to design a new building? With which tools?

Most projects actually start with quite extensive research, almost journalistic in its nature, this means that we also use the tools that a journalist would use to do basic research. Understanding a site is not only about photographing and possibly deploying scans or drone scans, like a more kind of accurate and advanced surveys, but otherwise, simply photography and site visit is really fundamental to do a project. That's just a parallel track of almost journalistic research, of course, we use the available internet tools, we almost forget that Google earth came to exist in 2005, so It's not that long ago, before that you needed to find a map database to acquire the same information.

Simulation has proved to be an important resource for contemporary architecture, what are the phenomena that we are able to simulate today in terms of architectural performance?

There's an almost endless amount of things you can simulate in a building, of course, there are all energy aspects: the indoor climate, temperature, light radiation, air quality, CO₂ levels, the tools are becoming more and more sophisticated. And in principle, we love the general term that is emerging: the Digital Twin. Since architects and engineers in the process of designing a building, we use more and more sophisticated tools to design a building, which means that every screw and every corner of the building has a digital representation, but not only that, also the mechanical equipment of a building is simulated and designed digitally before it's constructed, the lighting is designed and simulated, the flows of air, the energy performance, everything has its digital twin. So imagine you have a physical building, but you also have a virtual building that describes exactly how this physical building works, because you are going to simulate the basic physical performance of the building. What happens today is that today's virtual model somehow goes to die, actually when the building is constructed, then it exists on some server in an architectural office, but it's not really used anymore. With the advent of AR as meaningful technology, possibly VR you'll start to see a merge of those two worlds, so building that is constructed will have a meaningful virtual coexistence, imagine you can visit the building without visiting it, you can walk into a building, even though you are not there and visiting all the people that are there, or if you are a mechanical engineer you can see like in x-ray the building and understand where pipes are, basically going into the physical building and overlay the entire inner workings of the building. Imagine the potential of merging the digital twin with the physical twin, that's the AR augmented reality that will make that possible. This will probably open up an all-new way of understanding physical environment because you can overlay a whole layer of information, you can get wayfinding, you can be guided to a building, you can play a game in it. It's been called the mirror world, it's basically the merge of the digital world with the physical world.

Talking about User Experience, is it possible to simulate human behaviour to improve the spatial configuration of a building?

At this point is quite common to simulate crowd behaviours, although you can simulate escape for a fire, how crowds will exiting a concert or stadium, in half an hour, 2 hours, and the question is, would you ever be able to simulate the real complexities of life? That's just an opinion on that, it's like chaos theory at one point the numbers become so big and you can't simulate them, the quantities of effects make the numbers astronomical, in the literal sense. That can't be easily computed, but definitely, for a simple task like crowd management, you can simulate human behaviours.

BIM is quickly becoming an obligation in Architecture, Can information produced through BIM models become an asset for Architectural Design?

The answer would definitely be the digital twin, the more the BIM model is not just an XYZ drawing, a set of coordinates in a CAD program, but the more it becomes something that you can see with your senses and walk into, or look at. This is what technology is changing, I think this is the fundamental thing that's changing, digital design is changing from just being an abstract representation, a drawing in a CAD

program, to something which is much more involving the human senses, and it started with the eyes, which happened when you could start rendering things and then is been going into physical representation, with 3D printing, laser cutting, and now with the advent of Augmented Reality it would be the next step of feedback to the BIM, it's less and less abstract, more and more involving the human senses.

In other fields of design there is a possibility of acquiring user feedback to understand how to improve a product (Focus Group, A / B test, etc) this is impossible in architecture. Are there any data that can be used to create more effective architectures?

That's what the digital twin could do, imagine you are designing a City, and imagine VR would be so powerful that you can visit it, then you can actually visit it before it's made, see the crowd of people visiting it before it is built, and actually experience it, and maybe they will be able to give you feedback, to say ok, this space turned out to be incredibly popular, or this is something unexpected and this is the beauty of interaction with a human, that's you have something unexpected. Somehow, with time, It will become a consequence with VR and AR, I think you'll be able to incorporate feedback, let's say you are designing a School, the users will be able to give you feedback on the BIM level, almost like a digital twin of the building.

According to your experience can Artificial intelligence be used to define the forms and spaces of architectures?

This is quite interesting, at BIG we are more and more looking into the space of AI, and we are trying it, we believe that AI will become a tool that will accelerate what is possible to do. Architecture is probably one of the most complex tasks in a range of professions, not to make architecture sound the most difficult, but it is one of the most complex ones because it involves many aspects, it's not about solving a single task, it's almost like solving all the task that exists with one design move. It simply involves such an array of influencing parameters: from scientific and physical ones, Engineering constraints, the users, human behaviour, environmental, political, art. Somehow architecture is a profession, the least quantifiable, you can't say exactly what the task is somehow, you can talk about a functional program but then it's the art and what looks good, you know. There are other professions where AI will come to dominate earlier, let's say, driving, navigating, maybe diagnosis on X-rays, piloting a plane, professions that are more specifics and linear. However, we believe that AI will definitely become important in Architecture, and the way we see it, is that you can almost break architecture in many individual tasks that can actually easily be gamified, where you have success criteria are clear, and your means of getting there are clear. As soon as you have that, you can somehow deploy and AI, let say a parking garage with a defined shape, that's one way that you get the most spots, and there's probably another one way you get the cars in and out faster, depending on the success criteria. The more you break down the tasks of an architect, the easier you can imagine deploying AI to help to resolve that task, and then the questions are: Can you then start combining like all stacks of those things to come up with concepts and ideas? Can you teach an AI to look for the right thing, in a way do a little bit what we do? Can we describe

Il Citylife gateway di Milano, progetto dello studio BIG Bjarke Ingels Group.



Lo smart-lock digitale progettato da BIG Bjarke Ingels Group.



Il MECA di Bordeaux, progetto curato anche dal gruppo di Klok Pedersen.



our process in a very rigorous way, is there somehow a software code for what we do? When we start a project there is a thing we do, we do those things, can we write this software? For what it is, we do it in a very rigorous way, and then deploy it like an AI that can do the same thing, would that be possible? That's my thesis. It might be possible, especially if you break down our tasks, it might very well be possible. We are just about to understand the potential of ML. To understand the way that it became possible for our generation of Googlers to beat the go champion, one of the keywords is to gamify, to not teach it how to do it, but to just say, here are success criteria and here the rules of the game, then because the computer will try his move.

What are the most common software and programming languages used within the Architectural design process?

We use Rhino, we use Grasshopper, we use Revit. We script more and more in our process, especially in Rhino, there's a series of scripting tools, physics tools. We don't code so much directly unless we make software, we tend to use the scripting languages that are available within the software, like the ones available in Rhino for example, like Grasshopper, physics plugins like Kangaroo and couple of others that can be very useful to relax surfaces.

Are you able to Code? If yes, in which languages?

I cannot code

Does your agency develop software for peculiar needs?

We do, we are actually developing a homepage, this is like developing a piece of software. We do also more concretely, we are getting more and more in product design, we developed a smart lock which is basically a door lock that you can give access to your house simply saying "Open the Door", someone calls you and they need to get in and you can remotely connect to open and close your lock, of course with the security that iPhone has with face recognition, or fingerprints, which are already much better than a traditional lock, for that, of course, we are developing the interface of the software and we are directing that.

The proliferation of software for architecture has given a huge weight to specialized software houses, is it influencing architecture?

I don't really think so, because as soon as, Yes and no, I think what happened in that space, what we saw happening is that somehow the healthy competition that is in the software houses make sure that there's no such thing as a software becoming dictating. I think this is what we saw with the advent of Rhino, a very small software house, none of the big ones could do what Architects needed, and somehow Rhino became the industry standard, I think that's the case that would typically happen in software as soon as this stuff becomes a straight jacket and you'll have a new player.

What is the role of open-source software in contemporary architecture practice?

I don't think there's so much role, I think the software houses have a good business model and the better business model they have the most the architects like to use

Il Serpentine pavilion del 2016, curato dalla costola Londinese del BIG Bjarke Ingels Group.



it, and that's one of the reasons why Rhino has become an industry standard for conceptual design.

Given the rise of B.I.M. in architectural agencies, is there a risk of differentiation between the role of the Architectural designer and that of the B.I.M. technician?

There's a risk but it should be resolved because he has to be the same person that has to be an architect. Architects should know the BIM model.

What are the "external" skills required today in a contemporary architectural firm?

Luckily Architecture is such a broad profession, so almost any personality type which is skilful will find a place if they love architecture: you can model or code on your grasshopper and be incredibly good at that or you can be the public face when something has to be explained, in a clear way that the media can digest. In a typical architectural office, you'll see an incredible variety of personality types.

What is the relationship between architecture firms and freelancers?

We don't use so many freelancers, we work with companies, we collaborate at large. I think it's a good model because a company has a mutual interest in doing good. Using external companies, let's say for images, or movies, or legal consultancy, engineering or sometimes landscaping, it's great because they have a reputation. I think there's much more, I don't think freelancing is so common, you are more available if you are part of the team or if you are part of a team which collaborates with you, the relationship tends to be longer, not like three months or six months, but years.

Is responsive/Kinetic architecture a growing trend? How can it be useful to people?

That's a good question because architecture in his nature somehow is one of the

most static things and it's not about to change. You can also say that one of the fundamental things of architecture is that is static, there's something about the scale of that makes it architecture. Fundamentally kinetic thing is a vehicle, and of course, you can have a kinetic facade, what typically happens is that the mechanics of such things, like when they are applied on such scales, you are left with other problems that you can imagine. Because kinetics things are mechanical, and it's fine if it's a mechanical device you have in your hands, like a walkman or a gramophone, but let's say then you have thousands of gramophones mounted on a facade, therefore, some of them brake, and they are always under the forces of nature, It works when it's a car or drone, I'm not sure architecture is going to become that kinetic, but that's a good question, there is definitively something about moving facades that definitively optimize your energy consumption. I'm trying to find the reason for why that never colonized our profession, we have been able to do kinetic facades for 40 years probably, in the 60's you also had kinetic facades, and you can do them today, but it has not really been done, and I think there's something about the staticness of architecture that is quite fundamental to it. Otherwise, you are designing a Vehicle, you are designing something else. Of course, stadiums can transform themselves, roofs can open up, I definitively think there's potential.

I can't come up with a good example, obviously, you can do kinetic facades that are responding to the environment, is it a good idea, or is it actually a better idea to not do that. The engine you need to do the pneumatics or mechanics they are not changing, they would be still affected by sand storms, moist and rust. We have been there for a while, and those technologies are not about to improve, but what is about to improve is simulation, virtualization. You can simulate the climate and optimize your design much more that you could before. Think at the orientation of a building, the way you can use natural ventilation, our skills to do that have improved, but probably our skills to do a motorized thing that sits on a facade, probably is not really changed, they are still not going to work, and the question is what else can respond, I don't know.

Given the evolution of the digital society and the different fields of design, is there a risk for architecture and for the architect to play a minor role in society?

Of course, there's a risk, but I think is unlikely to happen, I think the other thing that will happen is that much more people will become architects, also architecture is a broad thing to be, I think that's the opposite of what will happen.

Order the following topics for the usefulness they will have in Architecture over the next 10 years (Max 7, Min 1):

Building Information Modeling 7

Machine Learning 6

Digital Manufacturing 5

Augmented Reality 4

Virtual Reality 3

Internet of Things 2

Other Computational Methods 1



EDOARDO TIBUZZI

Head of computational design

AKTII

Maggio 2019

How would you describe the architectural design process today? Did it change compared to that of ten years ago?

That's a very interesting question, ten years ago, is pretty much when I joined AKTII, actually a bit more than that. My first impact was a project with Zaha Hadid Architects, we were working on a station in Naples and on a Museum in Cagliari, so with both projects were quite interesting, and the process was specifically digital, so with a lot of difference from what I have studied at the university. We were predominantly using Rhino, so digital modelling in 3D: the design was done in Rhino, but then the production was obviously in Autocad in 2D, so there was a lot of discrepancy between the information that we were receiving as engineers. We received 3D models half completed and the 2D information was instead a different iteration, so it was very hard to match the toolset of information and to fit the structure. By then there was a lot of disconnection between the practices as well, so I think today we can see a lot of improvements: in the communication and the interoperability between the practices, again, I'm talking from an engineering perspective, on how we interface with the architecture design phase, and certainly parametric has helped a lot especially on complex projects. So we managed to establish this link between the different practices and the digital kind of revolutionized a lot to make these boundaries a lot closer and to make the design a lot more efficient.

Digital changed the relationship between the project and Architectural representation. What are the other phases of the project on which it has influence?

I think the digital revolution if you wanna talk about it like that, It opened up a way of looking at the project that perhaps is a lot different from the starting point that it was used before. There's a lot more effort into understanding the space into a three-dimensional configuration, rather than the space in terms of area and there are a lot more layers of detail that go into the design. It is not just design of the space any more, it is the design of a field, design of performance, there are a lot more layers that came into the design a lot earlier: acoustics, environmental performance, vibration, all those impact with digital. They come earlier in the 3D and they influence a lot more how the architects understand the space, the massive of a building. As an example, in the last three years we have been developing a CFD interface that allows us to do a Computation Fluid Dynamics and digital wind tunnel testing on a massing of a project, and then allows us to inform the massing of a building to improve the comfort at the base of a building. Manipulating the massing we can improve or check those things,

suddenly the massing is not only design for planning heights but also environmental or other factors, that's has been a massive change that digital has brought to the design process.

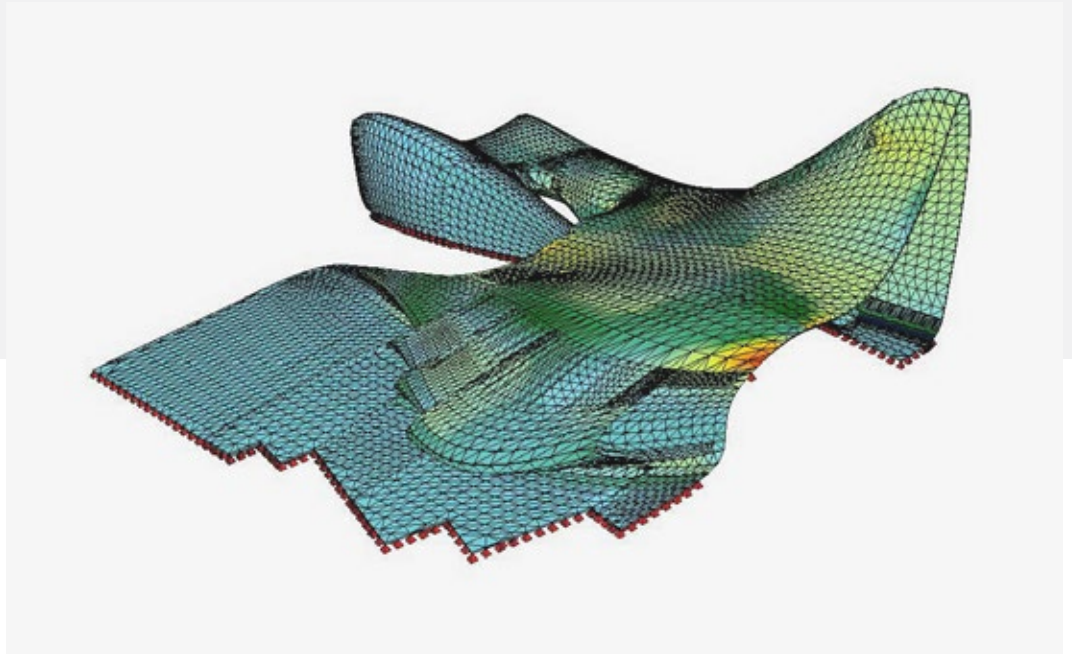
Cross-fertilization is probably one of the most popular characteristics of contemporary culture, what are the disciplines with which architecture has woven new relationships?

I think environmental has been a lot more involved, physics, some practices have been developed to more specialistic units within their own. We have now a facade team that looks at the environmental physics of the envelope, there is a lot more request for these in terms of building performance. There is also a lot of interest in the occupation of a building afterwards, depending on the use, universities are looking at behavioural effects of occupancy. A lot of psychological factors as well, maybe steering towards medicine, also that side is quite starting to filter through because, with the increasing amount of simulation we can do on a building, we understand there is a big impact on how we live the building. We don't design for an area and therefore for a cost, but we also design for a performance that a building needs to look at. Also material is important because we understand more the impacts of costs and benefits. We looked at different materials as well, so cross-fertilization is something we need to look for, how to optimize the building throughout its life cycle using different materials, and combining these hybrids, for example, steel timber, lightweight concrete, so there is also that openness to new materials or contractors that use new typologies of constructing.

What is the data you usually collect before starting to design a new building? With which tools?

This is a very pertinent one, I have just been on a meeting we have once a month, we have a kind of computational data forum, we have been discussing the use of data, the figure of data, but when we do a project, essentially as structural engineers, we have to do a study that takes us to collect a lot of information: geotechnical studies, Highway, services, existing services of a project, a lot of surveys. With all these different ranges of data, you'll be surprised, there is a massive difference in the way they are collected. When you do the geotechnical analysis you go on-site, dig a large core, so you go throughout all the different strata of the ground, take it out, analyse it, so that you can understand how much the ground can take, and the movements, and so on. This information is sometimes in a pdf, sometimes in excel if you are lucky, and we were just discussing, what if there would be a repository of these data, to go and just open an API and extract them all. So what we are doing internally, we got a lot of these studies, available for London and for international projects we have done, and we are building up a database to store digitally these pieces of information, cross-referenced through different datasets. And it's different because any particular project has a peculiar dataset that you can use. If you are close to the river, you wanna know a bit more about flooding, or a bit more about ground permeability, or if you are in an earthquake-prone zone you need to understand other factors, so yes, there is a lot of different datasets that could be digitized and they are not quite yet. But also equally

Il modello strutturale dell'Heydar Aliyev Centre di Baku, progetto di Zaha Hadid Architects, con AKTII, immagine AKTII.



there is a lot of other institutions that had started to digitize their own dataset, so, I think in a few years we will be able to have repository around, for example, London, which has a massive dataset. It is actually interesting how the government is on top of things and they are also trying to collate this data. Hopefully, this is going to make our life easier, you can collect a lot of data, but the validation part is important, some sort of body that certifies that the data that you are accessing are actually correct, and it makes a big difference in terms of using them.

Simulation has proved to be an important resource for contemporary architecture, what are the phenomena that we are able to simulate today in terms of architectural performance?

I think, in terms of Architecture, you can simulate in a certain degree, quite well exterior phenomena, wind for example. There is a large component of wind performance that you can simulate to a certain degree of quality because there is a lot of data available from airports, pedestrian movement, crowd simulation. There is much information that can be gathered from anonymous mobile cell localization, and this information can be cross-referenced. In New York, they did a very nice study on correlating heartbeat of people through Strava heart monitors through the week, so there is this beautiful animation that shows Manhattan from Monday to Sunday, there is a massive power that data and simulation can give us. A couple of years an architectural practice did a similar thing by accessing information from Instagram users, there is a duo in LA they were designing a building, a retail space based on people preferences, so the colour palette was influenced by the Instagram, the retail spaces, path, experiences were informed by that, it's quite interesting. There is a lot of datasets that you can access quite easily nowadays, there is a company called movement connection, they bought large dataset from the mobile cells and they did a study on the egress of Wembley stadium, just based on people mobile. They did that, and it shows you how now, simulation becomes also verified by live data, this is not

just an algorithm and theory in the background, empirical function, but it's actually started to be proven by live data. Internally, for example, we are doing something quite interesting, we put a series of accelerometers that measure movement, and anemometers that capture the winds speed and directions, and we stood them on several towers that we designed, we captured the vibration and wind speed across several months and then we retrieved the response spectrum of the tower, based on the response and the acceleration, to allow us to compare that of the designed parameters and understand how far off we are let's say from a FEM approach to a real data captured response. To go towards a performance-based design.

Sometimes simulation is biased by what you are trying to extract from that, and while the simulation might be correct alone, then you have to consider all the other parameters around it, and also how the influence for example of the planned building will impact on your building. So there is an interesting piece of work that these guys in view city are doing, they are building this platform in London. They, first of all, surveyed the whole city in 3D, with drones and all of that, and then they are mapping onto the 3D Model different dataset, planning height, future planned building, speed of internet, cost of houses, crime rates, and you can access to all of this data in 3D on their platform, and it's a very useful tool. With our dataset, we can easily overlay our data on top of that and understand how a certain building is evolving, but also the impact of neighbouring areas in development will have onto the building we are designing currently, and it's very important because as much as we push the limits on some buildings we need to be aware on what's coming next and on how we impact the surroundings. To connect back to the CFT tool that we have done, we are using it a lot into planning, to prove that the building that we will deliver will not hurt current and proposed features. So that, as an example, people walking around the surroundings won't be affected too much by the wind, because maybe we are building a tower, which will catch-up wind. So in that sense, digital repository and simulation based on real data are helping quite a lot, highlighting these eventual problems.

We had this project a few years ago in Istanbul, they built this very interesting development, called Canyon, and it was effectively a large tower that grabs all the wind from a high level and pushes it back into this shopping centre, which was an open space. We didn't work on the development of the building, but to understand the impact of wind, and how to mitigate wind speed with minor improvements. We did it all in digital sort of simulation, but they had a lot in terms of data. In that case, we used a software called Open Foam, to perform the analysis, we developed in Rhino the whole workflow, which allowed us to build the model in 3D, send the model to be calculated and then reimport back to results and map them on a colour map to understand where we might have problems.

Talking about User Experience, is it possible to simulate human behaviour to improve the spatial configuration of a building?

I like to look at that problem on the other side, instead of simulating it, to actually record it and understand it, so, we are really keen that we put a grant application for tracking studies in our offices where we will try to track position along time of all employees and also track behaviour. So if they are happy, sad, if they are comfortable

or not, so tracking temperatures, light values. And therefore in a year time, we are collaborating with Zaha Hadid Architects on this and other things, we will try to understand if the impact of internal configuration and also the impact of the performance of the building that has on top of the people working in an environment and the configuring space as well. We are hoping to define areas, you know, crowded areas, potentially non-effective spaces distribution that we can modify to improve the quality of the environment. I think it's possible in terms of simulations, there are theories of human behaviours. But, I think maybe this realm of interest is a lot more into getting the real data.

In other fields of design there is a possibility of acquiring user feedback to understand how to improve a product (Focus Group, A / B test, etc) this is impossible in architecture. Are there any data that can be used to create more effective architectures?

I read a very interesting big book of Frank Lloyd Wright, When democracy builds, is a very interesting take on the democratization of Architecture, and somehow I think tools and digital, they are very effect-full and useful, but they are also dangerous, in terms of trying to democratizing a process, somehow it's hardly democratizable. Then tools are very dangerous, because you are somehow defining an answer for a question that may not be defined already, and you can get in a wrong answer. So, I think there is a discussion that needs to be put in place in terms of accountability and design importance in this. I think that we are all well aware when we are developing, as well and design in this sort of way, that we must be accountable for what we do, and also that we are responsible in defining the real question behind, to be able to answer in the right way. So, it's useful to acquire user feedback but with certainty in mind that they might not give us the answer we want.

Can information produced through BIM models become an asset for Architectural Design?

The BIM model is a very good asset, that gives you the capability of storing libraries of what your building is, it's a very powerful thing even for future use, facility management, re-use of a building, that's where they are pretty powerful. They might inform architectural design, if an architectural practice will have a way to interrogate these models under different constraints, for example: which is the most efficient building they have done? Compared to the size of the buildings? I think is a good parameter of scoring your design, but I think the use of BIM will definitely improve how we manage our building during his life expectancy, so if we know where specific things are and if we need to put some modification to our building, then having that is definitely a lot more useful than having 2D drawings, I mean, for example, when we do a refurbishment of existing London buildings of the 60' and we have to go into the archive get the drawings and interpret, you know, this vast amount of information on paper, is a lot less efficient as if you had an as-built BIM model, so I'm picturing, in 40 years, when someone in our place will have to refurbish something, they will access to the 3D environment, and it will be a lot more efficient in that sense.

According to your experience can Artificial intelligence be used to define the forms and spaces of architectures?

I think it's very early. If you saw how parametric design on its own and a little bit generative algorithms have been already used to try the generation of spaces, yes, I think the bottom line. Probably the Artificial Intelligence will have the capability of reforming spaces, at the moment is very empiric and very pioneering as well, but even generative design and parametric design have been tested on this. The reality is that this industry is still driven by cost efficiency of specific plots and how much you can extract from that plot, so it's something that I think, is not a massive amount of improvement that you can get out, there are almost predefined rules, pre-written rules, because they are basically based on the material system that is available on the market, cost per meter. So I think it interesting how maybe artificial intelligence could be used to define forms and shapes, but definitively they are going to be on specific, very particular projects, let's say, one-off, maybe large museums where you could test how you can define the shape of the museum, through a different tool. I think it takes a pioneering architect, a very special project and possibly a client with a lot of money behind to then concretize something like that. On the other side may be artificial intelligence can help with smaller problems, problems of efficiency, or even optimizing already built Architecture, maybe provide answers to how to improve specific performance of a building without having a drastic approach.

Is the use of predictive methods something that in your opinion will change our profession?

We used it quite a lot, already, for example, seismic analysis, flooding events is based on that, I think architecture might definitively benefit of using predictive methods onto the design, which somehow is not very well used at the moment. But I think, especially in an intervention like master plans, there is a lot of talk about smart cities and stuff like that, but you know, masterplan, transportation, how to relink these things together. That's definitively something that will have a big impact on the design of large spaces. Predicting on how transport changes will affect building textures and city textures, that's what a lot of architectural practices are working at the moment, and that's where predictive methods can help a lot, trying to see migration patterns, new transportation idea, and how they will the texture of cities and large metropolitan areas.

What are the other fields of design that architecture should take as an example to innovate processes and improve end products?

Product design is an interesting one, and I think Architecture to a certain extent is moving a lot into understanding product design. Even if we are delivering one-off most of the time, within these one-offs, there is a lot of things that internally can be improved. For example, we are delivering the new Google headquarters in King's Cross now, and the specific brief of the client was: to make the building reconfigurable and reused, using one specific method. We are building an infrastructure that is going to stay there for hundred years, and that's the main sort of skeleton of the building, but the floors between, the mezzanine floors and the internal walls are all suspended using a hybrid system with steel and timber. These timber panels can be reused or

reconfigured over a weekend or a week and be just added, removed, to create new spaces, and it's based on one modular system, that is actually coming from the efficiency of our products design or automotive and aeroplanes as well. Those are really interesting things that architecture should really dive into, but also, molecular design, bioengineering, on that side as well to understand how users are fitting into a building and how designing and using specific materials help ourselves and our happiness and our quality of life.

What are the most common software and programming languages used within the Architectural design process today?

I can only talk from our experiences, but certainly is a very varied set of tools, in term of BIM, Revit and Microstation or Archicad seem to be the leaders in that sense, there is a lot of simulation packages that people are starting to use. Then Rhino, grasshopper, Dynamo, Sketchup. About programming languages, I think the common and most looked at are: Python, Vb.net, C# and Ruby. and then, there is a lot of mobile application as well.

Are you able to Code? If yes, in which languages?

We are pretty code efficient here in AKT, Python, C#, Vb.net, are the main ones

Do Architects develop software for peculiar needs? Which?

Yes, there is a lot of development, ourselves we have developing a central sort of repository for interoperability, we are using Visual Studio to create this model, where we store all our projects geometric and structural properties, and then with that database, we are sending it out to all of our different packages. So basically we model in Rhino-Grasshopper the geometry, we apply the loads and the properties in Grasshopper and then we decide which software to send it out to. If you send it out to the concrete designer or steel designer it's all automated and we do it through opening the API and transferring that database automatically, in a way that we can re-import design back into Rhino and have one unique sort of toolkit to design our projects. We called it reAKT, and we have been developing it for the past 15 years, it's very specific to AKT, to our design, way of doing, we are not going to commercialize it, because we don't believe we want to make money out of it, but we may open it up.

In your experience, what were the most difficult steps in integrating Bim and digital tools within architecture agencies?

The most difficult steps are, literally to be able to capture a design into a workflow, different tools are built with different purposes, they only solve what they have been written for, and so the tricky bit is to develop this missing link, by opening up the API to control everything from one central platform that's the thing that we believe is very important. So we chose Rhino to control the whole process even though then we create then a BIM Revit model, we still control it out from Rhino, because we found out it is the most flexible, we can really open up different platforms, through the APIs and there to build up the database as we need. So the most difficult thing is to choose a platform and be able to go back and forth between the different software, find the

gaps in between, and then develop on top of that, to bridge a gap let's say.

The proliferation of software for architecture has given a huge weight to specialized software houses, is it influencing architecture?

Yes and No, it's giving the Architect a way to explore more, but on our side, you see a lot of confusion, and there is a lot of questions around: is this simulation that we have done correctly? Can it be used? And therefore, again I think it goes back to what we were saying at the beginning, of being able to be confident, that those results are verified, or have been done in a way that is certified. Then, the last bit, to be able to use them to influence the architecture in the right way, so that's the tricky bit, you can make simulations and stuff, but then the real life is different, and you cannot go back and blame the software, it's your responsibility.

Talking about software, Rhino has been an example, Mc Neel in that sense has been influencing architecture, they allowed Zaha and whoever has followed that current, to create a different kind of Architectures. There was no way to sculpt these things before NURBS other than doing it in clay, so definitively software houses are having that impact, but there are not that many that I know that actually are influencing the final product. Autodesk has definitively a role, maybe not defining architecture, but defining a system that you can maintain and control and understand, I'm not so sure about informing it, but maybe it will because we will have enough data from a model that will allow architects to maybe get through an answer to that data.

What is the role of open-source software in contemporary architecture practice?

It's a very good role, I think open-source has opened up creativity, so it's the role of breaking out predefined tools that: you can only do a line from here to that, no maybe I can do a line in another way, I can form find it and suddenly I got my catenary for a shape. So it's a very good role is opening creativity and it's opening new forms and ways of pushing some boundary of architectural design, but also engineering understanding. We got more understanding for example of the impact of specific shapes using specific materials, and it can be done only by using open-source tools. While working on the Google headquarters in California, we were form-finding these large cable nets, and at some point, the question was: which one has the best shape to minimize the glazing crack under seismic event? And we actually simulated the seismic effect, we put the glazing on top of the surface and then we checked how much the deviation of the glazing would be affected by this seismic action. So we knew that, maybe, by making some areas of the cable more rigid it will improve the performance of the glazing panel, just because of its own shape. Opening up the possibility to do all that through open-source software had a massive benefit, because we defined then the design of the cable net, heights and ratios, something that before would never happen.

Is there a risk of differentiation between the role of the Architectural designer and that of the B.I.M. technician?

There is, I wouldn't call it a risk because designing a building is a very complex process, so you somehow need to have specialists skills, so the experience that an architectural

designer has might differ from the experience that a BIM technician has, and you need them both. As much we are making our building even more complex, you will require even more specialist skills. Those two and the open-source might get this gap a lot closer eventually, and we'll still have these different specialists but they will all run in parallel a lot closer, so the design will be developed more efficiently.

What are the "external" skills required today in a contemporary architectural firm?

Coding goes first, then it's a bit of material science, building physics, that is very very useful, because it's something that you face straight away and a little bit of engineering, but not in terms of calculation, just the basic understanding of feasibility, so concept engineering I would call it. It might be present in some university, but probably not in the right way.

it is very important because sometimes you spend so much time debating the architectural concept and its feasibility, on the other hand, many architectural practices are starting to have their own engineering groups internally, which shows how big the gap is, and it may not be the answer.

Looking at contemporary architecture panorama, one has the impression that there is an increasing fragmentation, on the one hand, small practices with difficulty keeping up innovation, on the other hand, large offices with much different expertise. Is there a risk that what already happened in retail and banks, also happens to Architecture? If yes, how much of this phenomenon is due to digital?

I think yes, but I don't think is not due to digital, but due to economics. As we are growing and there is larger development that we acquire, and are managed by firms, for this kind of intervention we probably need a larger practice, because of the different set of skillset that you need to develop that. Think about some example in London, like King's cross master plan and things like that, the fragmentation has always been there, it's only becoming more visible because of media, and because of, I think there has always been big and smalls architectural practices. There is also the other side, there are a lot of smaller practices that are more innovative than the larger ones, they just switched on the right approach. We worked with Peter Cook for example and they are fully technological wise, and because maybe their size is as small, they managed to retain better control from design to end products. What I found is that sometimes larger organizations have digital skills, very good design, and very good production, but because they need to go through this very large organization, the answer are often more standardized, and maybe the connection might be taking a lot more longer to go.

Is responsive/Kinetic architecture a growing trend? How can it be useful to people?

In that sense is really becoming a trend, the contractors are really responding to this, clients are looking to resolve some of the problems, for example in the Google headquarters in the initial phases, we were looking at large glaze dome, we produced several different prototypes of kinetic shaders, to resolve the problem of shading a large dome, a lot of study in details in term of kinetics louvres, so it can be definitively quite useful in that sense, reconfigurability and making performance better. as I said

before, sensors are getting cheaper and cheaper, so you can do a lot of more movable structures with less money nowadays.

What should be the response of Architecture to the ecological needs of our planet in an era of global climate change?

I think it's definitely the responsibility of the designer and the client to look for reuse of materials, trying not to be greedy in that sense, respecting the conditions that we found trying to implement what we have already. We recently did a project in south bank tower were on an existing building without having to reinforce anything in the existing tower, we had 11 storeys on top, and just because that tower was designed to 50' loading criteria, which were a lot bigger than what we have now, so we managed to add this storeys without touching the base. As opposed to demolish and rebuild, there is a lot of things that can be done. Our response should be careful, should be to look into the material that can last longer to respect the environment and also to look at what you got already, and not necessarily create a new answer, but maybe modify the answer you have there.

Will the programmer become the new architect?

I think so, I think it will be still called architect, but is a different tool from Brunelleschi, these are the new tools and definitely more and more people will be accustomed to coding and use it on a day by day usage.

Given the evolution of the digital society and the different fields of design, is there a risk for architecture and for the architect to play a minor role in society?

I don't think so, and I would be very scared if it happens because architects have been here since the beginning of our civilization, the figure of reference for the built environment. I would say, as an engineer, if we would design a building, we will get maybe something efficient, not usable, extremely ugly, maybe cost-effective. So I think that the architect definitely needs to find a way to regaining his authority. But we have seen it, some companies are trying to be Architects, Big Companies, Co-working, they think they have data for it, but even if data might be useful to define an architecture, we need architects behind that, a person that has got a soul, understanding, a vision. A machine can help that, but I think there need to be still a Human behind it and has to be the architect.

Order the following topics for the usefulness they will have in Architecture over the next 10 years (Max 7, Min 1):

- Other Computational Methods 7
- Digital Manufacturing 6
- Internet of Things 5
- Machine Learning 4
- Augmented Reality 3
- Virtual Reality 3
- Building Information Modeling 2



PABLO ZAMORANO

Head of computational design

Heatherwick studio

Maggio 2019

How would you describe the architectural design process today? Did it change compared to that of ten years ago?

The same process, I think, the short answer is yes, it has changed, but I would say, it has changed in a way that, from the digital side of things, the general level, or skill level of people has completely changed over the past years, technology has advanced quickly, I think became much more friendly, much more accessible for people, and this did change the way we design and produce the architectural design.

Starting from school to practice, the type of people that was common to work in a studio ten years ago, had a completely different skillset and that is affecting the way we design, how, it's effecting in the speed that we have now to produce or iterate through options. In a space like this, for instance, having quick access to these tools has improved the way we explore these options, specifically the speed we explore these options, in terms of ideation.

I think it has also changed, but I don't think the change has been let's say widely noticed, the change in the process, I would say, certainly the quality of the ideas is questionable, I would say, ten years ago you could find really good architecture and really bad architecture and nowadays you can find really good architecture and really bad architecture, so the process has changed, the outcome even tough in particular cases has changed. If you wanna go deeper like "has this become a revolution?" I don't know how widespread that revolution would be if there was one

When working on a brand new project, do you start with sketches, or do you use 3d modelling since the beginning?

We are very eclectic, in the way we design, we start from anything we have available, sketches, models, playing around with any material, 3D models, we do post-it sessions for ideation. So, it can be words or can be sketches, and then we mix all these things, and we hope after that to get the right ideas and formalize those ideas. What is very particular in this place is that the speed of these sessions is incredibly fast and that means that we will have these sessions, constantly at the beginning, we will have constant reviews of the process: let's say we'll have a review this afternoon, we will be pinning up 20 different ideas, 10 different ideas or something, tomorrow we'll pin-up another 10, in that way is completely different to other places. It is not like, we have an idea and we stick to it till the very end, we spend a lot of time thinking about what the problem is and then we spend even longer time on how that idea can be formalized.

Digital changed the relationship between the project and Architectural representation. What are the other phases of the project on which it has influence?

In our case it has affected pretty much all the phases of the design process, for instance, the way we get information, it's incredibly digital, most of the information that we get will come in a digital format. If we wanna get deeper into a specific site, we'll go to the internet and try to find, do some researches, if we go on-site, when we register the site we will be taking some photography, but if we really wanna go deeper we will get a 3D scan of the site, we'll try to understand that data and then we'll kick off the process again. That process may have sketches or digital models or physical models, and so, if there is a physical model most probably it will be 3Dscanned, bridged into the computer and put up against the other 3d options that will natively come from rhino.

I don't think we have a specific line that defines how we design, but I'm pretty sure that digital process always embedded the process, trough either developed in Rhino or through scripting or following project if we wanna use Revit. But also, in the way that we design we are always connected to how we make things, so in our case, is very important for our design process to prototype. Digital fabrication would be having better in the processing, very early, when you have an idea and you send it to the 3D printer, same for another idea, you can cast some material along to it, and then you discover something new.

All these things are interconnected and it's not about looking parametric, "oh, it looks like this, came out from digital design world" it just looks like something novel in a way, or we try to achieve that, but it's more, I don't wanna call it, mix media: it's just about using everything available to us. From very early on, from 3D scanning to model making, to 3D printing, then, to digital design, development and then to digital fabrication, we take our involvement to digital design to very very late in the stages of the project, we never leave a project until is finished on-site, or even after, even though our involvement most of the time is as design guardians.

Cross-fertilization is probably one of the most popular characteristics of contemporary culture, what are the disciplines with which architecture has woven new relationships?

Well, Architecture has been always related to arts, visual arts in general, in our particular case, because Thomas is not an Architect, we are very connected to the world of design, industrial design, we are very connected to the making world. This is something very particular, and it's very strange for architects to hear this, I'm an Architect, by the way, we like to believe that we are makers because we love how things look in reality, we love to touch, we love to experiment with the very minimal differences, one type of glass or another etc. But to make things, we are always trying something that somebody else will do for you: you set up a set of rules, and design and then somebody else comes to the site and makes it for you, so, are we really makers?

In this studio it started from the opposite, it came from making, Thomas is a maker grow in scope of design, so he went from very small projects to very large, but because we came from the making process is something unavoidable in our designs,

Un'immagine del progetto per i Google headquarters in California, progettati da BIG Bjarke Ingels Group e Heatherwick studio.



constantly going back and forth from making to the digital world, I think that's very particular.

What is the data you usually collect before starting to design a new building? With which tools?

There are a lot of, we always get the minimal and basic information from a brief that would tell you where the project is, the site, with site information, will come either 2d CAD files, more extremely it would be some sort of a pdf or an image. And then as we kinda jump in a project, we start to get more and more information from the client-side, we may have somebody doing a 3d scanning or other types of survey. If we don't get these things, for short projects, visioning projects, when there is no time to get all this sophistication, we would use tools available from Grasshopper, like Elk, for instance, to get information from a specific city, or interacting with google maps. All kind of information that is out there, the same with weather information. But in a long term commitment for a project, for example, I can speak about Coal Drops Yard, in that project what we got was a 2D survey, and then we got a 3D scanning of the Victorian building, these are 1850's buildings so, very old Victorian architectures, one of them is listed, and so it was very very important for us to get them as accurate as possible before we started the design process, especially when you want to start coordination.

Simulation has proved to be an important resource for contemporary architecture, what are the phenomena that we are able to simulate today in terms of architectural performance?

Performance analysis has been there for a very very long time, obviously, it didn't start in the architectural world, but it's been out there for a very long time before we started using it. Nowadays we are using them, so what kind of performance analysis are we

doing? We are using tools to perform solar analysis, solar radiation studies, sun hours, we are using Honeybee to study what happens inside the building and we are also using a tool called discovery life to work with CFD analysis.

There is something particularly interesting in this studio, there is something we are particularly interested in, which is public space, so how people interact with building, and between each other, how can we create the best spaces for people. It can start with thermal comfort, which is something quite important for us to control so because we have access to all these tools, now we are trying to tailor them, to give quick pieces of information or feedback to operate on public space.

Talking about User Experience, is it possible to simulate human behaviour to improve the spatial configuration of a building?

I think it's getting easier, this is not something that we are exploring in this studio, but certainly, the people we work with are using tools that do this, let's say, engineers like Buro Appold, also Arup, other consultants like Space Syntax. Going back to Coal Yard project, in that project we teamed up with Space Syntax and they ran all the agent analysis to help us understand how people could move in the building, and we actually used that feedback to make changes on the design, so it was part of this interesting project. I would say that this studio is pretty fearless about exploring new technologies, but it doesn't mean that we are running all the tools, so we are always trying to partner with the right people to achieve something, in that case, was Space Syntax, there are others.

In other fields of design there is a possibility of acquiring user feedback to understand how to improve a product (Focus Group, A / B test, etc) this is impossible in architecture. Are there any data that can be used to create more effective architectures?

Sure, I think the easiest for that would be Social Media, I think a lot of people loves to put sensors all over the things, which is something good, you know, I think the Idea of intelligent buildings, smart buildings, this idea of having a huge tower with a huge computer that was the brain controlling everything, can work, back then, but having everything relying on one only brain, it doesn't really work. The complexity we deal with is far greater than what we can control with a single brain. We just opened the Vessel in New York, and right away, you see Instagram is full of images of it, what are people saying about it, are they loving it, are they not, where are they taking the picture from, what are they doing, these are a very quick way for having feedback about the space. It is hard to define, so it may be different when you are working in a more conventional building, in a conventional building environment for sure you would be needing more sensors or that tell how you perceive the temperature for instance. But again I don't think is a matter of having a single sensor controlling everything, I think it's just you interacting with the sensors, so I'm going to tell the sensor how I feel, the sensor will say, oh, here it's 21 degrees, it should be perfect, but I feel much warmer than that, then I'm going to say to that sensor, dude, it's boiling here. So, I think Human feedback is quite important, using our phones, using Social Media, using things that we carry, I think it is much more effective nowadays.

Can information produced through BIM models become an asset for Architectural Design?

Sure, some information produced through BIM models can become an asset, how or where you apply that asset is I think more important, because, sure, in the physical world buildings are made of bricks or steel or concrete, things that can be reduced in building blocks, building sections, bits and bits that you can put together. Sure all these things can become assets for the building industry, you can define them very well, you can repeat them, you can serialize them, you can mass-produce them, and then as with lego block, you can create many outcomes. So in that way, in the digital side of things you can do the same, you can have bits and pieces that you can reuse and can become an asset for the next building, that doesn't mean they will give you the answer to a design question at all, the other thing is, if you have more information through this box, in terms of, let's say, not only of much of it will cost, but how much each of this ended up costing, after construction, then you can learn more interestingly, how these things can become an asset for the next building.

You can make good use of this container of a Huge amount of data only if you harvest it back and make sense out of it because the people that look at these numbers is not people that usually interact with a BIM model. so I think again, the user interface, even if that information can be embedded in a BIM model, to harvest this information, you have to make sure that the user interface is completely different, but sure, they can become an asset.

What are the advantages and risks of creating and using Digital Twins?

We are based in Rhino, which is our main design tool, in many projects we use Revit for documentation, sometimes we use Revit for more than documentation, however, we try to produce a rhino twin, the level of detail we put into these rhino models is incredible, this studio cares as much of the big idea and the big design moves as it cares to the really small design details, and I think that's one of the very special things about this place.

We push the limits of what we can describe tridimensionally during the design phases, most of the time, the fabricators are using our files, somebody else may have the responsibility for it, but most of the time, the file they will be using is ours or they would be remodelling their files using our rules. After completion, this is something we haven't started yet, we haven't go back to site, to have a kind of exhaustive 3D scanning of the building, and then compare it to our design phase, we may be doing something as an experiment.

The wide use of computation in the major firms is again questioning the relationship between science and architecture, it is something that will characterize next architecture?

I think what has already changed is the relationship between the architect and technology, that for sure, architects are people that since the beginning was very connected to technology, whatever the level of development technology was, technology is often related to science. What area of science are more explicit now, you can say certainly geometry, I don't think that as ever been outside the architectural

world, physics and maths is something that is much more integrated now. It is not as explicit as you may want, so what happens often is that tools like kangaroo are making much easier for everybody to jump in, run a quick test, relax something and the thing is that, it is bridging the gap between playing around with physics in the architectural world. It is actually helping us to understand better how physics works, it's a completely different story, the same with solar analysis, yes there is a lot of science behind that, so we are working with climate information, weather information, understanding how light work, but that doesn't mean that you actually understand what the results are telling you. So, I think, is bringing science closer to designers, but I think still there is a real gap, and there is a real need for designers to understand what this data is telling you, or what these tools are doing for you, and I don't think that is yet resolved, so some people understand this and that's why you have specialized departments in places like this, but it's not something that every single designer will understand, and I don't think they should all understand all the geeky side of these things. Ultimately, even though we believe that all these areas are integrated into what we design, if we want the design to actually perform and become a good asset for the world, it's not necessarily something that you cannot investigate if you don't understand it. If you understand who does understand it, then you have to make sure that you work with that person.

According to your experience can Artificial intelligence be used to define the forms and spaces of architectures?

Potentially yes, whether that's going to make, whether the outcome will be if it's going to be a good building or not, something that is desirable or not, that is going to surprise or is going to bring something novel to the built environment, I don't know. But, yes, it certainly can be used, as long as you have a vast pool of buildings to learn from, but honestly, I think at the moment, it's something that is quite far away from being implemented in design studios. So, I think the technology will certainly be able to do it, some people would jump in and do it, but I think the understanding of the designer, this kind of person that comes up with an idea and formalize it, is still difficult to relate, to understand, in sense of role when you are interacting with an AI. I think that hasn't been solved, I don't think that has even been discussed enough to understand what the role of the architect would be.

Is the use of predictive methods something that in your opinion will change our profession?

I think yes, I think this is the key thing, technology is not going to stop, that's a fact, is part of our evolution, we never stop evolving as a species, technology just never stops evolving, how we are going to interact with these things is the real question. I think it will change the role of an architect, it will change the role of designer, it will change the world for everybody else, we have to make sure that we understand the values behind these things. So we say, if this is the value, what are we going to drive from this process? We have been changing the way we interact with technology in this place, moving towards kind of human-oriented technology is our way to look at this, the human factor is often lost in the digital world, now technology is starting to bridge

the gap. One example of this is mixed reality, that is going to overlay something that it's happening in a machine, with the real world, with our space, with the human body, with the human scale, something that is far lost in the early days of digital design and still very lost in most of the parametric design world. So, where is the human scale? Where is the body? Now technology is kind of looking back and this, and this is where we want to engage with technology.

What are the other fields of design that architecture should take as an example to innovate processes and improve end products?

Absolutely, from which field? Anyone! So we are not expert at anything, at the studio we have at the moment about 20 projects alive, we are about 220, and the type of project we have ranged from furniture to buildings, to icebreaker boats, to cities, so where is the expertise? It's nowhere and it's everywhere, what are the fields of design we can learn from, pretty much all of them. But again is all about collaboration, we should understand the limitation of an architect when you look at something that is very very tiny, but we also understand the limitation of something that is very very tiny when working on something very big, but also we understand the value of that. The feedback that someone would have about something that is completely out of their comfort zone, will most of all put something interesting on the table, and we love that part, we are trying to engage with people that will bring new ideas from completely different fields.

What are the most common software and programming languages used within the Architectural design process today?

In this studio, Rhino is our main tool, we use it since day 0, to even after a building is finished, we also use Revit for documentation and to develop some projects after the first stages. Not all the projects obviously, why would you put a chair in Revit? It sounds a bit silly, but certainly, for buildings, we are using it. But our main design tool is Rhino, we use grasshopper as main design platform. How many people use it? It's not everybody, we have a team of geometry experts, it's about 20 people in the studio, so let's say 10% of the studio, that can interact with this tools in a more experienced way, a more advanced way. And I would say most of them are really confident with using visual scripting, grasshopper and most of the tools that come with them, then in scripting, some of them are closer to Python, some of them are closer to C#, some of them work in VB.net.

Are you able to Code? If yes, in which languages?

Yes, a bit of Python, a bit of VB.net, I have to say I'm not an expert.

Do Architects develop software for peculiar needs? Which?

Yes, developing software from scratch is something that we are not doing at the moment, we are starting to get closer to it, as an example, we just started a collaboration with Buro Happold, they developed a tool called the BHOM. What the BHOM does is basically an interoperability platform, there is a lot of tools that make Rhino and Revit interact, but there is far more software that you need, especially when

you interact with engineering, so Tekla and many others. There used to be a tool called Flux that did this very well, back then we fully converted to Flux, we converted all our workflows to that platform so, it's unfortunate that this tool is not available anymore, because they did solve the puzzle back then. Now more people are working on these things, like Dimitrie Stefanescu developing Speckle, that can face what Flux used to do in a very similar way. But then there are other people, as I said BuroHappold developed this Bhom tool, and what Bhom does is allowing interaction between very different software. We are heavily interested in storytelling, so explore how we visualize things, and how we tell stories, how we visualize our ideas, is something quite important, so working with game engines is something that we do on daily basis. You know, working with Unreal and stuff like this is now a big part of what we do, and so, we started a collaboration with Buro to look into allowing a connection between Rhino and Unreal, because they are really creating a code to interact with any possible software. So, this is ongoing, it's getting us closer to the software creation it's not the package in itself that we are developing, even if we could, the BHOM is opensource, the idea is that everybody can collaborate on this thing.

The proliferation of software for architecture has given a huge weight to specialized software houses, is it influencing architecture?

We try to work as close as we can to these software houses, so, it's not a surprise that the people are more interested in software or digital technologies. Mc Neel, as an example, is very open about what they are up to, and they try to meet us often as they can, I imagine with everybody, and they run these open days and you can talk with the developers, but also show what you have been doing with the software. And I think that kind of feedback can improve the level of feedback they can get. Other big software companies like Autodesk I think have tried to do these things, but obviously, the size of companies like that is just probably too big to respond the users in a very agile way.

What is the role of open-source software in contemporary architecture practice?

I think it's starting to play an important role, we still depend on traditional packages to work, we depend on them because they can be maintained, so we don't have to worry to stay alive or to get support, so I think that's an important part for any design studio. But I also think that open-source is giving access to other people to push their own ideas, going back to what we were discussing previously, about how digital design now is more integrated into the design world and how the skill level of the people, has been increasing through the years. Some people are coming out from their masters with coding skills, this wasn't something usual before, it's not that anybody does now, but some people come with a certain level of skill, so these people started developing software right away. Programs like the emergent technologies design from the AA created things like Wallacei, and some other experiments like these coming up from these programs: people are proposing more stuff, stepping forward and doing.

Is there a risk of differentiation between the role of the Architectural designer and that of the B.I.M. technician?

In this studio these are two different roles, there is, let's say a fundamental difference between the two, a designer here, as I explained before, is somebody that can explore ideas and formalize it at any scale or any size anywhere, that's how we want to approach this. A BIM technician in this studio is a person that can understand how we document our design very well and can interact with these tools in a very fluent way, so he can help us to improve the process of communicating these ideas technically. I'm not sure if the BIM technician thing is something that in the future may change, in this particular place, maybe it does change, I think one of the biggest differences from, maybe not ten years, but twenty years ago, is that twenty years ago, nobody knew how to model in 3D, nobody was using Autocad, very few people were doing it, and they were only specialists hired to do this role. Even draft people, even when you were in companies where they produced drawing by hand, before that, some people were drafters, that idea of a drafting person, as Autocad started to populate the design industry, and anybody became fluent with it, at some point, it changed that, and they were no more drafter.

With 3D modelling, I think, it also happened, before that you needed someone to 3D model and then another person would be working on sketches and diagrams, now anybody can 3D model, BIM is slightly different. Still, I think in the industry at large, it would change, I know some firms where everybody is a BIM technician, so they are quite fluent, in software like Revit, in this studio our main software is Rhino, so there is no Rhino technician, everybody knows it, but in Revit, we do have BIM coordinators. These are people that can provide or spread the knowledge in the team, and understand the software better, to make sure that the information is produced in the best way, so we can share it externally, and internally and that the information that we get from outside gets in the best shape possible for us to understand it.

What are the "external" skills required today in a contemporary architectural firm?

If you asked me some years ago, for sure, digital tools. But, I think now people have far more access to digital tools in school, people are doing amazing stuff. I think there is a need for designers to be entrepreneurs today because we live in a world that is constantly changing, and we are about to face a lot of changes, in our environment, in our cities, in how we live in our cities, people needs to come up with ideas quickly but also to interact with other parts, clients. When you see a problem, you need to come up to answers to those questions, and to solve a problem you need some kind of entrepreneurship, just to go out and go for it. We have seen the rise of this in other fields, even related to design, of course, you know crowdsourcing and all these things, but I don't think the architectural schools are necessarily engaging with these things enough.

Visualization has become a necessary requirement for large architectural firms, some already allows the client to visit future architectures in virtual reality, is this likely to

decrease Architect authoritativeness?

I think this started with renders, their realism has given everybody, kind of a very clear picture of how a building will look like, and it was worrying at the beginning. I mean, obviously, it allows for feedbacks, to come back quickly, I think it's more problematic when you don't get feedback like essentially we go with it and then want to actually develop design, and the design will follow a completely different root, and it makes your life much difficult to push for another, much better, to become reality.

Because you already signed up for something very early on, you haven't thought to yet, so that's one of the things that started these problems. In Virtual Reality I don't see that threat, I see that's a tool that can actually give more interaction, allow for more interaction between more parts and the designer. So, as long as you can keep the collaboration going, is a great tool. If we are in the same room, we are looking at that, and he says "I don't like that light" you as a designer are going to ask, "Why you don't like it?" and the client will tell you why, "well, I don't like it because I hate that colour" so you realize it's not about the position of the lights, for instance, is about the warmness of light, he likes a different colour of light, he feels it's probably too cold for a room he wants warmer, and you can understand what the client wants, or the client needs. Through interaction, through conversation, I think these tools allow to have this conversation. In a certain way, mixed reality is going to play, probably a more important role, or a big role in this, because, I think, having a conversation with a client, is important but then, being able to interact with others, in fabrication, for instance, this is getting you closer as a designer to the person that is working on-site, and so I think these tools are a Vehicle for collaboration, rather than a threat.

Is responsive/Kinetic architecture a growing trend? How can it be useful to people?

I don't know if its a growing trend, I don't see buildings that are going to move more nowadays, we like things that move in this studio, like our rolling bridge, we are always exploring things that move. How do they move? Do they move according to the sun? Or are they just choreograph? It's a different question, so interacting in the way that when a person gets closers it gets changes, it could be, I think the technology to do it, but it's a growing trend? I don't know if it's more trendy now compared to what there was before, everybody loves things that move, I'm happy for buildings to move, to be honest, but it's not that everybody needs to do be doing it.

What should be the response of Architecture to the ecological needs of our planet in an era of global climate change?

I think this is something we just cannot avoid, we live in a world that is changing, it's more than proven, we have to do something about it, and I think in a way that we embrace this challenge, will depend in the kind of agenda you wanna drive. In our case, I think we are thinking about this and we are conscious about the changes in the world, and we wanna make sure that the way we design, is taking this into account. We are not designing for today, we are designing for the future, and this is something that is quite important in this place, is not about looking sustainable, it's not about

ticking boxes, certifications, or something like that, it's about thinking in spaces for the people, that are going to be living in the future here. A building takes a long time to be built, any building, so if you are thinking today for something that is going to be opening in ten years, you have to define things ten years ahead, and you have to understand how the environment is going to be ten years from now, you have to start thinking about for people who will be living in that ten years from now.

Will the programmer become the new architect?

You know, that there a lot of job offers for Software Architects now. No, I don't think a programmer will become an architect, I think they can work together, I think you can be both, but I don't think that if you study computer science you will become an architect.

Given the evolution of the digital society and the different fields of design, is there a risk for architecture and for the architect to play a minor role in society?

I think the role of the architect will change, but I don't think that's a challenge, so is not about losing the power we currently have, it's about thinking how are we going to engage with the city of the future, what is going to be our role there.

I think the design world will change, but there are a lot of areas related the construction of cities that are really slow to changes, construction, so, we have to make sure, that if we want to be able to interact with fast space growing technology, we have to make sure that we consider both sides, not only the technological side of things but also the physical sizes of things, how the things are going to interact or becoming reality on construction site. Our role is going to be similar to what we do now, to interact with many things, if you have a vision, again, the role of the architect was supposed to be that person that is not an expert in a thing but is very agile, and very good in pulling and pushing different people and getting people together to make things happen, you have someone who is going to think about the structure, someone who is going to look to MEP, you are going to work with someone that understands heritage, you wanna work with people that understands the climate, and you are going to make all these people working together towards a common vision, and I don't think that will necessarily will change, but these skills or the understanding we will need to make these things will happen correctly.

Order the following topics for the usefulness they will have in Architecture over the next 10 years (Max 7, Min 1):

- Other Computational Methods 7
- Machine Learning 6
- Virtual Reality 6
- Digital Manufacturing 5
- Augmented Reality 5
- Internet of Things 4
- Building Information Modeling 3

CASI STUDIO

I trenta casi studi proposti nelle pagine seguenti rappresentano un importante punto di snodo per la ricerca: le architetture, presentate in ordine cronologico a partire dall'anno di inizio della progettazione, testimoniano l'evoluzione dei paradigmi digitali adottati del progetto e sono sintomatiche dell'interesse crescente dei progettisti nei confronti di strumenti digitali. Le opere analizzate, sono state classificate sulla base della scala progettuale, della posizione geografica e della tipologia, ma anche e soprattutto nel numero di specialisti che hanno collaborato alla definizione del progetto, così come negli strumenti, nella strategia progettuale e nella morfologia.

| | Nome dell'architettura | Progettisti | Luogo e Paese | Anno inizio | Anno fine |
|----|--|---|------------------------|-------------|-----------|
| 01 | Oslo opera house | Snøhetta | Oslo, Norvegia | 2000 | 2008 |
| 02 | Nordpark railway station | Zaha Hadid Architects | Innsbruck, Austria | 2004 | 2007 |
| 03 | Metropol parasol | Jurgen Mayer H. studio | Siviglia, Spagna | 2004 | 2011 |
| 04 | National museum of the U.S. Army | Skidmore Owings & Merrill | Fort Belvoir, USA | 2004 | 2020 |
| 05 | Copertura della corte interna del national maritime museum | Dok Architecten | Amsterdam, Paesi Bassi | 2005 | 2011 |
| 06 | Cooled conservatories, Gardens by the bay | WilkinsonEyre | Singapore, Singapore | 2007 | 2012 |
| 07 | National Kaohsiung centre for the arts | Mecanoo | Kaohsiung, Taiwan | 2007 | 2018 |
| 08 | Messe Basel new hall | Herzog & de Meuron | Basilea, Svizzera | 2008 | 2013 |
| 09 | Scuola Sydhavn | JJWW Architects | Copenaghen, Danimarca | 2008 | 2015 |
| 10 | The Shed | Diller Scofidio + Renfo, Rockwell group | New York, USA | 2008 | 2019 |

| | Nome dell'architettura | Progettisti | Luogo e Paese | Anno inizio | Anno fine |
|----|--|---|------------------------|-------------|-----------|
| 11 | Galaxy Soho | Zaha Hadid Architects | Pechino, Cina | 2009 | 2012 |
| 12 | Apple headquarters | Foster and Partners | Cupertino, USA | 2009 | 2018 |
| 13 | Bund arts and cultural centre | Foster and Partners, Heatherwick studio | Shangai, Cina | 2010 | 2017 |
| 14 | Copenhill energy plant and urban recreation centre | BIG Bjarke Ingels Group | Copenaghen, Danimarca | 2010 | 2019 |
| 15 | Padiglione sperimentale ICD/ITKE 2012 | ICD, ITKE | Stoccarda, Germania | 2011 | 2012 |
| 16 | Arter contemporary art museum | Grimshaw architects | Istanbul, Turchia | 2012 | 2019 |
| 17 | Morpheus hotel | Zaha Hadid Architects | Macao, Cina | 2013 | 2018 |
| 18 | Cube Berlin | 3XN | Berlino, Germania | 2013 | 2020 |
| 19 | Coal drop yards | Heatherwick studio | Londra, Regno Unito | 2014 | 2018 |
| 20 | Daxing international airport | Zaha Hadid Architects | Pechino, Cina | 2014 | 2019 |
| 21 | The twist | BIG Bjarke Ingels Group | Jevnaker, Norvegia | 2014 | 2020 |
| 22 | Musee atelier Audemars Piguet | BIG Bjarke Ingels Group | Le Brassus, Svizzera | 2014 | 2020 |
| 23 | Oceanwide centre | Foster and Partners, Heller Manus | San Francisco, USA | 2014 | 2021 |
| 24 | Leeza Soho | Zaha Hadid Architects | Pechino, Cina | 2015 | 2019 |
| 25 | MX3D Bridge | MX3D | Amsterdam, Paesi Bassi | 2015 | 2019 |
| 26 | Centro direzionale Google a King's Cross | BIG Bjarke Ingels Group, Heatherwick studio | Londra, Regno Unito | 2015 | 2021 |
| 27 | Wuxi Taihu show theatre | Steven Chilton Architecture | Wuxi, Cina | 2016 | 2019 |
| 28 | Galaxia temple | Mamou-Mani Architects | Black Rock City, USA | 2017 | 2018 |
| 29 | Expansion of Porto matadouro | OODA, Kengo Kuma & associates | Porto, Portogallo | 2018 | 2021 |
| 30 | Nasa 3D printed habitat | Hassell | Marte | 2018 | - |



01 OSLO OPERA HOUSE

Snøhetta

Consulenti: Erichsen & Horgen AS

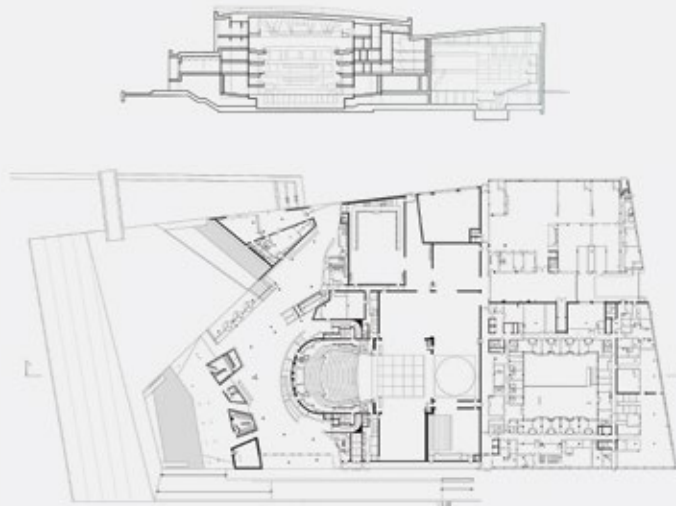
| | | | |
|-------------|------------|-----------------------|---|
| Luogo | Oslo | Tipologia | Teatro d'opera |
| Paese | Norvegia | | |
| Anno inizio | 2000 | Cliente | Statsbygg, governmental building agency |
| Anno fine | 2008 | | |
| Area totale | 780000 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 40 m | | |
| Lunghezza | 120 m | Strategia progettuale | Diagramma, griglia |
| Larghezza | 80 m | | |
| Geometria | Rettilinea | Software principali | Autocad |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il nuovo teatro dell'opera della città di Oslo, risultato di un concorso internazionale, si trova ai limiti del centro storico, in un'area precedentemente dedicata ad attività industriali e di logistica che il governo cittadino ha deciso di convertire in spazi per il pubblico e per la cultura. Il progetto è frutto di un programma funzionale di particolare complessità, che mira tanto a creare ambienti adatti alla complessa produzione dell'opera, tanto a garantire una facilità di fruizione da parte del pubblico cittadino, che è invogliato ad utilizzarne gli spazi aperti durante tutta la giornata. L'edificio è caratterizzato da una serie di volumi inclinati, vetrati su tre lati, poggiati su un piano inclinato, che arriva a lambire il mare, creando una nuova riva, accessibile al pubblico. Il piano inclinato di base e la copertura dell'edificio connettono i diversi livelli dell'architettura tramite ampie rampe in pietra bianca, da cui è possibile accedere alle zone aperte al pubblico. La parte posteriore dell'architettura è dedicata a servizi e al vasto sistema di spazi e collegamenti necessari per il funzionamento del teatro, che occupa oltre 600 dipendenti e numerose imprese di fornitori. Al netto di questa separazione di flussi, la distribuzione interna degli spazi pubblici illuminati da grandi vetrate su tre lati è stata sviluppata per garantire la massima elasticità funzionale degli ambienti.

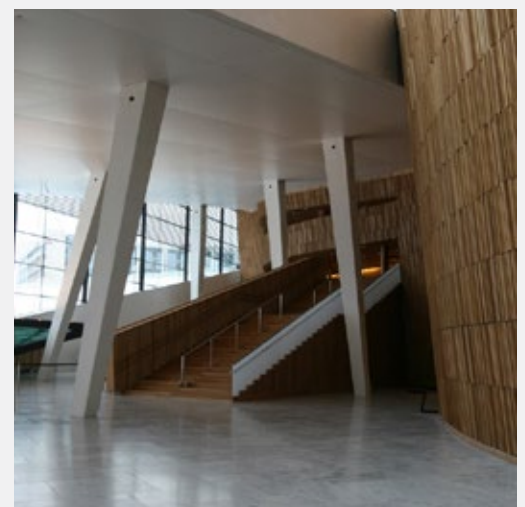
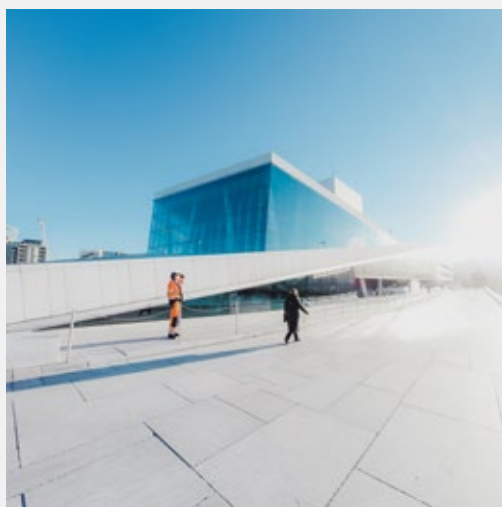
Vista dell'intervento dal centro storico, sinistra, e vista aerea, a destra.



Sezione trasversale e pianta del primo piano.



Spazi pubblici esterni e l'ingresso alla platea del teatro.



Per maggiori informazioni: <https://snohetta.com/projects/42-norwegian-national-opera-and-ballet>



02 **NORDPARK RAILWAY STATIONS**

Zaha Hadid Architects

Consulenti: Pagitz Metalltechnik, Bauman & Obholzer,
Bollinger Grohmann Schneider ZT

| | | | |
|--------------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Luogo | Innsbruck | Tipologia | Stazioni ferroviarie |
| Paese | Austria | | |
| Anno inizio | 2004 | Cliente | Innsbrucker Nordkettenbahnen GmbH |
| Anno fine | 2007 | | |
| Area totale | 2500 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 12 m | | |
| Lunghezza | 60 m | Strategia progettuale | Fluidità |
| Larghezza | 120 m | | |
| Geometria | Curvilinea | Software principali | Maya, Rhinoceros, Autocad |
| Morfologia | Biomorfismo | | |

Descrizione: Il progetto realizzato dallo studio Zaha Hadid architects consiste in una serie di quattro stazioni di snodo e capolinea per il sistema di trasporto funicolare realizzato dalla amministrazione della città di Innsbruck in Austria. Un sistema di comunicazione locale che opera in quei tratti più di 2 milioni di viaggi ogni anno e che ha quindi richiesto un'attenta progettazione del sistema di flussi interni ed esterni, sino alla scala cittadina. Oltre alla circolazione, i fattori principali che hanno determinato lo sviluppo del progetto sono la diversa altitudine delle stazioni, la topografia variabile e il contesto. Le stazioni sono parzialmente o totalmente ipogee, e sono connesse alle piazze superiori tramite sistemi di risalita che denunciano la loro presenza esclusivamente per mezzo di coperture in materiale composito dalla finitura lucida. La caratteristica forma fluida delle coperture, tra le prime del genere realizzate su scala architettonica dallo studio Hadid, vuole, nelle intenzioni progettuali, richiamare lo scioglimento del ghiaccio, ed è un perfetto esempio delle capacità formali degli strumenti digitali per la progettazione della prima decade del duemila. I pannelli che compongono la copertura sono tutti diversi tra loro, e sono stati realizzati fisicamente tramite macchinari CNC, e sistemi a formazione termica, ciò ha richiesto la realizzazione di uno stampo per ognuno di essi.

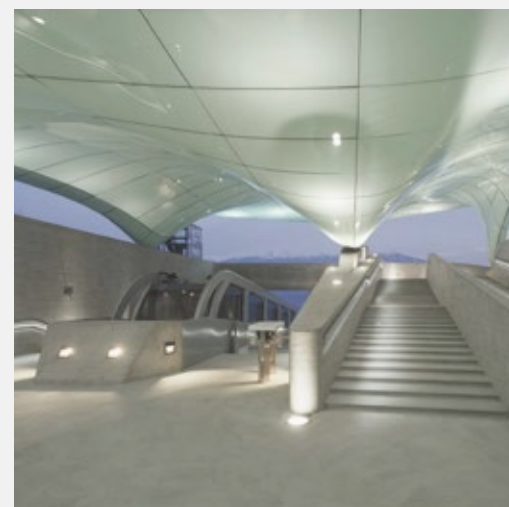
L'ingresso alle stazioni, sinistra, e la posizione dell'intervento, destra.



Pianta del livello di ingresso e sezione trasversale.



Spazi di distribuzione e accesso alla funicolare.



Per maggiori informazioni: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/nordpark-railway-stations/>



03 METROPOL PARASOL

Jurgen Mayer H. studio

Consulenti: Arup

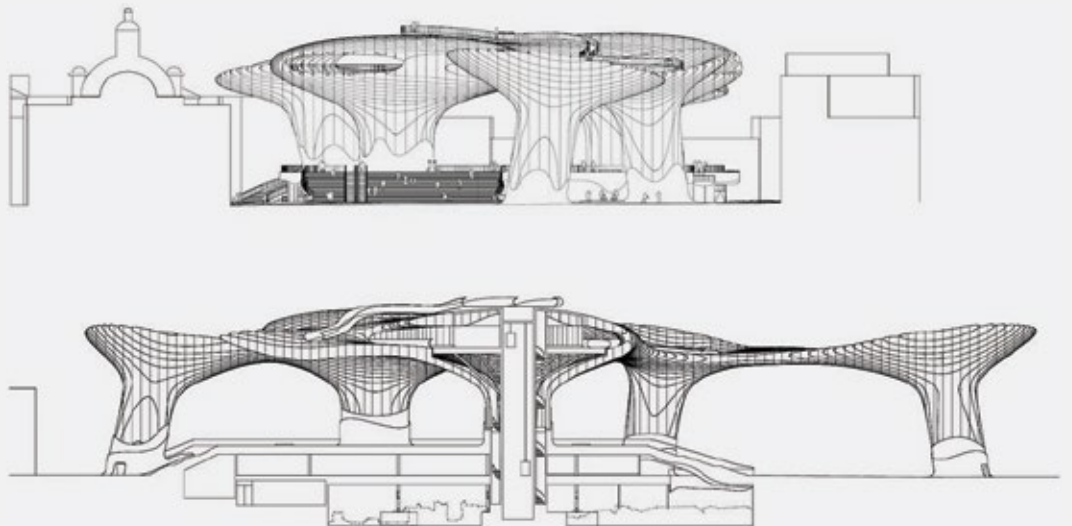
| | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|--|
| Luogo | Siviglia | Tipologia | Edificio multifunzionale |
| Paese | Spagna | | |
| Anno inizio | 2004 | Cliente | Municipio di Siviglia |
| Anno fine | 2011 | | |
| Area totale | 12700 mq | Contesto | Centro storico |
| Altezza | 30 m | | |
| Lunghezza | 150 m | Strategia progettuale | Derivazione naturale, fatto artistico |
| Larghezza | 70 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Maya, Rhinoceros, Grasshopper, Archicad |
| Morfologia | Biomorfismo | | |

Descrizione: Il progetto del Metropol Parasol di Siviglia è stato promosso dall'amministrazione comunale della città Spagnola, che voleva riqualificare una piazza all'interno del centro storico, creando un nuovo sistema di spazi per il pubblico destinato a diventare un simbolo per l'intera comunità locale. La struttura, globalmente descrivibile come una copertura lignea di formazione organica, è di fatto un edificio polifunzionale, che si erge su sei giganteschi tronchi in legno e ospita al suo interno un museo archeologico, caffetterie, e spazi per eventi. La volontà di creare un manufatto organico è praticata tramite la modellazione di un blob che viene quindi intersecato con una griglia regolare, producendo una struttura caratterizzata da graduali deformazioni degli elementi in legno, che sono comunque tutti prodotti da elementi piani, tagliati in corrispondenza dei bordi esterni. L'interno dell'edificio è accessibile in corrispondenza dei tronchi principali, che ospita un sistema di risalita esteso inferiormente verso i due piani che contengono le rovine archeologiche rinvenute sul sito, e superiormente verso il piano apicale coperto da una pelle in poliuretano. L'ultimo piano è collegato ad un'ampia passerella sinuosa, che si snoda sulla copertura dell'edificio, garantendo ai visitatori una vista che si estende sino ai limiti della città.

L'ingresso alla piazza,
sinistra e la relazione con
il contesto, destra.



Prospetto dell'intervento
e sezione longitudinale.



Spazi di distribuzione e
accesso alla funicolare.



Per maggiori informazioni: <https://www.jmayerh.de/19-0-Metropol-Parasol.html>



04 NATIONAL MUSEUM OF THE U.S. ARMY

Skidmore, Owings & Merrill

Consulenti: Bryant associates, Christopher Chadbourne & Associates, Eisterhold Associates

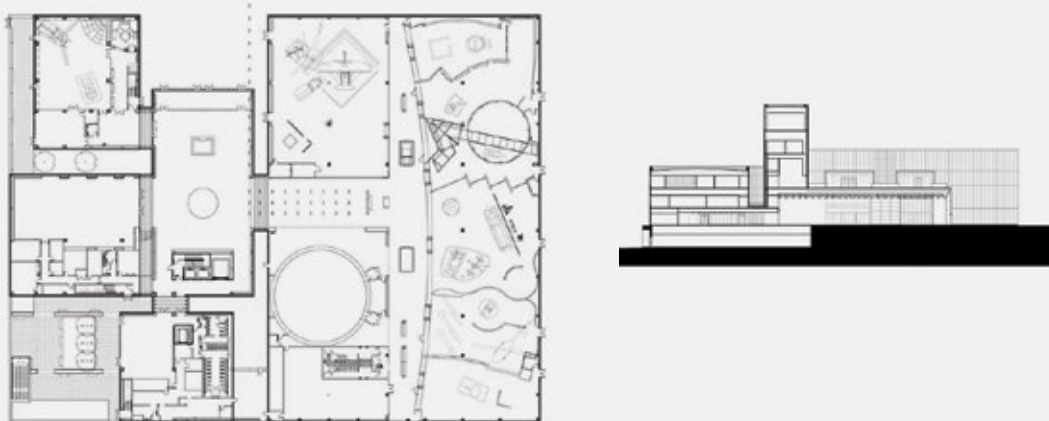
| | | | |
|--------------------|--------------|------------------------------|--|
| Luogo | Fort Belvoir | Tipologia | Museo |
| Paese | USA | | |
| Anno inizio | 2004 | Cliente | Ministero della difesa statunitense |
| Anno fine | 2020 | | |
| Area totale | 56400 mq | Contesto | Extraurbano |
| Altezza | 30 m | | |
| Lunghezza | 80 m | Strategia progettuale | Diagramma, griglia, ottimizzazione prestazioni |
| Larghezza | 60 m | | |
| Geometria | Rettilinea | Software principali | Autocad, Rhinoceros, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il museo nazionale dell'esercito Statunitense è progettato dallo studio SOM, con l'intenzione di realizzare nuove occasioni di relazione tra l'esercito e i cittadini americani. Il progetto intende richiamare i valori di disciplina, modestia e rigore, e manifesta un'importante monumentalità che è ottenuta sicuramente dalla posizione geografica, ai limiti di un altipiano, ma anche dalla scansione regolare e gerarchica dei cinque padiglioni che lo compongono. L'edificio comprende oltre alle esposizioni permanenti una piccola sala conferenze, una caffetteria, un teatro immersivo e un'area dedicata ai veterani. L'accesso al complesso, segnato dal volume più alto, è incastonato tra due padiglioni più bassi, ciò incrementa la monumentalità dell'ingresso e porta il visitatore al centro dell'architettura, in un ambiente di snodo che comprende il banco informazioni e gli accessi alle diverse aree del museo. La facciata, progettata per mezzo di una griglia regolare è composta da pannelli in acciaio inossidabile, che richiamano tanto la cultura militare, quanto la potenza tecnica dei cimeli conservati all'interno del museo. Il museo è il risultato di un processo di ottimizzazione delle prestazioni energetiche, certificato LEED silver, e sviluppato anche attraverso un'attenta scelta dei materiali, a partire dalle finiture interne sino al vetro e a sistemi automatici di controllo dell'illuminazione interna.

L'ingresso al museo, sinistra, l'intervento in relazione al contesto, destra.



Pianta del livello di ingresso e sezione trasversale dell'edificio.



La Hall di ingresso dell'intervento



Per maggiori informazioni: https://www.som.com/projects/national_museum_of_the_united_states_army

05 COPERTURA DELLA CORTE INTERNA DEL NATIONAL MARITIME MUSEUM

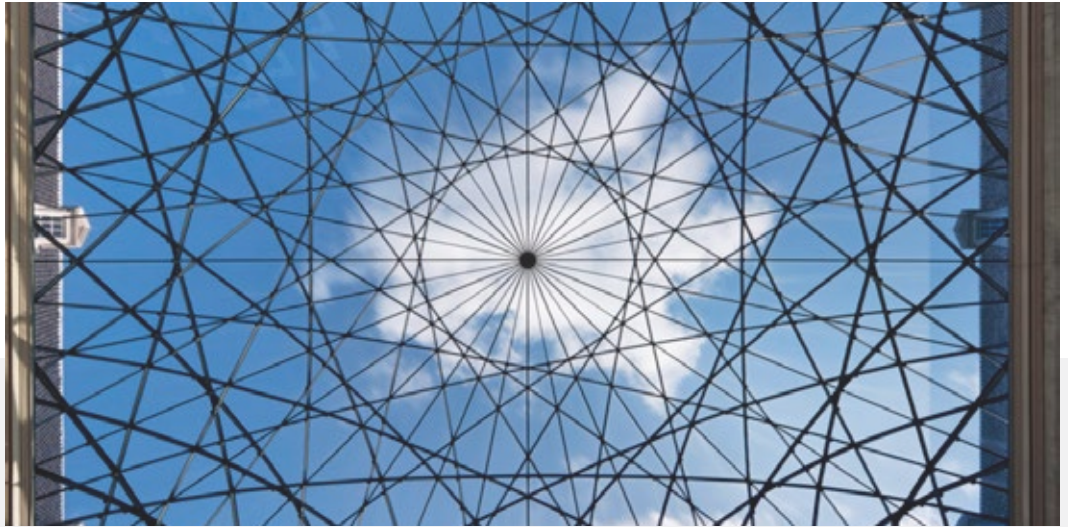
Dok Architecten

Consulenti: Ney & Partners, Rappange & Partners

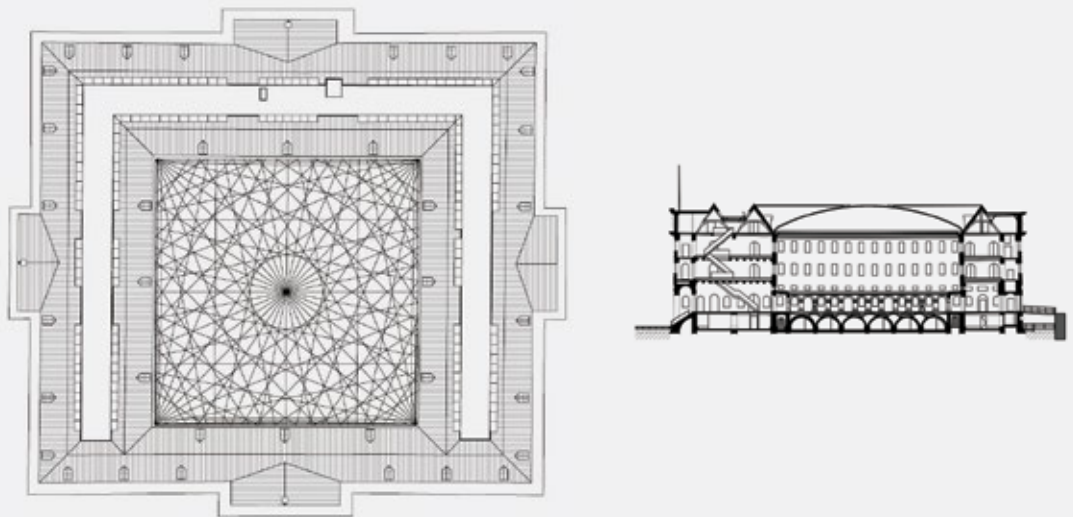
| | | | |
|-------------|-------------|--------------------------|---|
| Luogo | Amsterdam | Tipologia | Museo |
| Paese | Paesi Bassi | | |
| Anno inizio | 2005 | Cliente | Central government real estate agency |
| Anno fine | 2011 | | |
| Area totale | 14800 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 27 m | | |
| Lunghezza | 65 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione di performance e produzione |
| Larghezza | 65 m | | |
| Geometria | Curvilinea | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: L'edificio, progettato originariamente nel 1656 da Daniël Stalpaert è stato riadattato dallo studio Dok Architecten su volontà dell'amministrazione nazionale, intenzionata a sfruttare la buona posizione all'interno del contesto urbano per realizzare un nuovo polo attrattivo capace di ospitare un numero sempre maggiore di visitatori. Il progetto terminato nel 2011, è finalizzato a mantenere il più possibile le caratteristiche estetiche del manufatto originale ed è quindi sviluppato principalmente attraverso la copertura della corte interna, analogamente a quanto già fatto da Foster and Partners con il British Museum: trasformando lo spazio centrale dell'edificio nel principale punto di arrivo e di snodo del museo, dove i visitatori possono accedere alle diverse aree espositive. La copertura della corte, in vetro e acciaio, è organizzata secondo un pattern che riprende le carte nautiche ospitate all'interno del museo, rappresentando una rosa dei venti posta al centro della volta. In questo caso, al contrario di quanto avvenuto per la copertura del British Museum, la progettazione della calotta è stata sviluppata dai progettisti attraverso metodi di form finding, simulando digitalmente una struttura catenaria, a cui corrisponde un comportamento di pura compressione. Secondo strumenti simili, i diversi pannelli vetrati sono quindi ottimizzati attraverso un processo di adattamento alla forma, che li ha resi planari.

La corte interna, sinistra, la copertura vista dal basso, destra.



Pianta delle coperture e sezione trasversale dell'intervento.



Vista della corte dal loggiato perimetrale.



Per maggiori informazioni: <https://dokarchitecten.nl/en/project/maritime-museum-amsterdam>



06 COOLED CONSERVATORIES, GARDENS BY THE BAY

WilkinsonEyre

Consulenti: Grant Associates, Atelier one, Atelier ten,

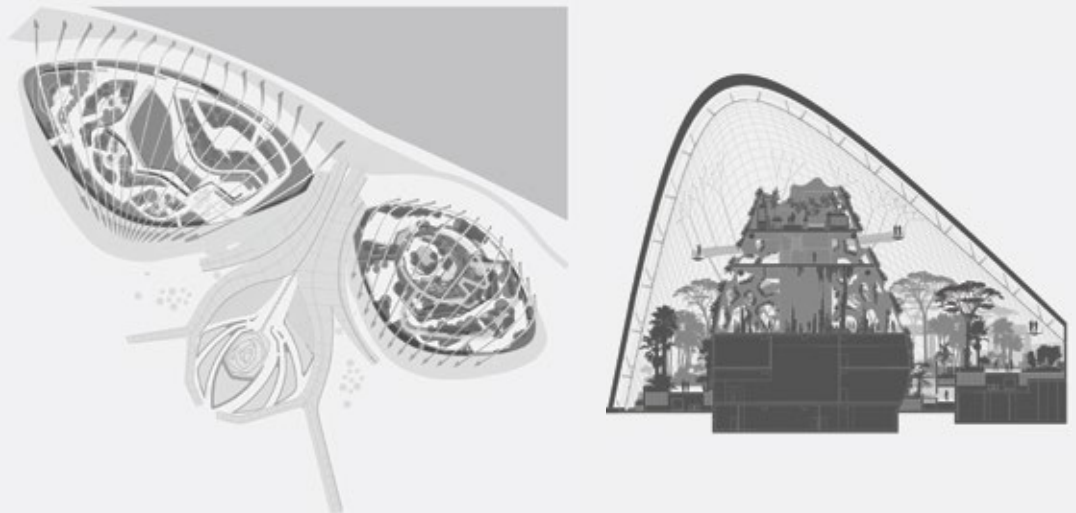
| | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|---|
| Luogo | Singapore | Tipologia | Struttura ricreativa |
| Paese | Singapore | | |
| Anno inizio | 2007 | Cliente | National parks board |
| Anno fine | 2012 | | |
| Area totale | 24500 mq | Contesto | Ex area industriale |
| Altezza | 42 m | | |
| Lunghezza | 350 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance |
| Larghezza | 100 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Microstation, Revit, Rhinoceros, Grasshopper |
| Morfologia | Biomorfismo | | |

Descrizione: Il progetto di Gardens by the bay è frutto di un concorso internazionale vinto da un team di studi britannici capeggiati dagli architetti paesaggisti Grant Associates. Anche in questo caso l'intenzione della committenza è quella di creare un polo attrattivo internazionale, rivolto a simboleggiare la ricchezza naturalistica e ambientale del territorio circostante, e al contempo ad accogliere visitatori internazionali che si trovano in città per lavoro o in vacanza. All'interno dell'ampio lungomare rubato al mare della baia cittadina e costellato di piante tropicali e architetture iconiche di forma organica sono presenti due conservatori raffreddati alti più di 40 metri progettati dallo studio WilkinsonEyre. Le due calotte di forma organica, che sono attualmente tra i più grandi sistemi ambientali coperti a clima controllato al mondo, sono state realizzate a partire da condizioni di sostenibilità energetica, e rappresentano un punto di svolta per il livello di complessità tecnica raggiunto dai sistemi di simulazione ambientale, così come dal sistema tecnico di controllo del clima, parzialmente automatizzato. La struttura portante è formata da travi in acciaio bianco, che sorreggono una doppia pelle in vetro ottimizzato tanto per la produzione da elementi piani o a singola curvatura quanto per l'efficienza nell'assorbimento e nella rifrazione dei raggi solari.

Il complesso dalla riva opposta della laguna, sinistra, l'area dell'intervento in una vista aerea, destra.



Planimetria dell'intervento, sezione trasversale della copertura est.



Gli interni del sistema a clima controllato.



Per maggiori informazioni: <https://www.wilksoneyre.com/projects/cooled-conservatories>



**07 NATIONAL KAOHSIUNG
CENTRE FOR THE ARTS**
Mecanoo

Consulenti: Archasia design group

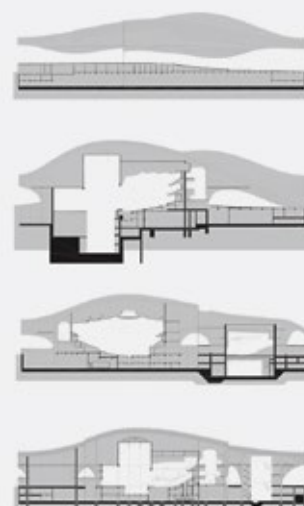
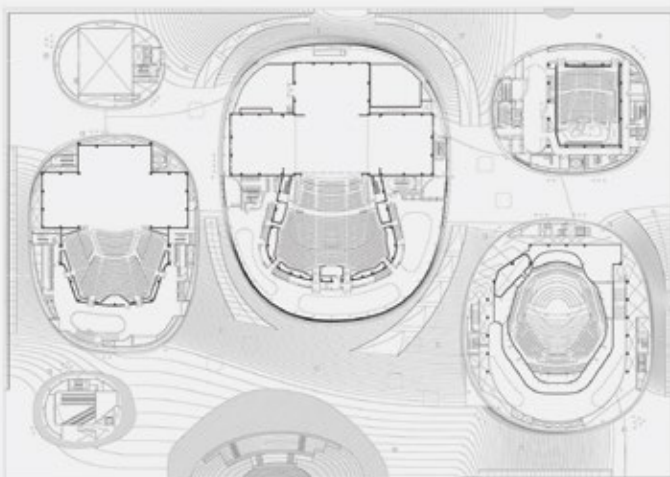
| | | | |
|--------------------|--------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Luogo | Kaohsiung | Tipologia | Centro culturale |
| Paese | Taiwan | | |
| Anno inizio | 2007 | Cliente | Ministero della cultura |
| Anno fine | 2018 | | |
| Area totale | 141000 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 35 m | | |
| Lunghezza | 120 m | Strategia progettuale | Fluidità, diagramma |
| Larghezza | 80 m | | |
| Geometria | Curvilinea | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Deformazione | | |

Descrizione: Il progetto del centro artistico nazionale di Kaohsiung, simboleggia la volontà dell'amministrazione della metropoli Taiwanese di aprirsi verso una nuova globalità, interpretando la ricchezza culturale del territorio e dei più di tre milioni di cittadini che lo abitano. Il lotto, precedentemente utilizzato per attività militari si trova ai limiti della città, in una zona periferica vicina a un parco sub tropicale, fruito da cittadini e visitatori. Il progetto è ispirato alla forma di un particolare tipo di albero, che allarga le sue radici sul terreno ed estende le sue chiome per proteggerle dal sole, creando spazi ombrosi che la popolazione ha tradizionalmente sfruttato durante le ore più calde. In modo analogo il nuovo centro artistico mantiene libero un livello per accogliere i visitatori, e si espande dai nuclei centrali che ospitano ambienti e sistemi di risalita, aggettando verso l'esterno e creando uno spazio fluido, simile a una caverna. L'intero edificio si articola secondo un'anima strutturale in acciaio, necessaria per la copertura degli ambienti interni, a cui è sovrapposta una pelle in pannelli metallici. La parte superiore dell'architettura, è una placca tettonica, risultato di una deformazione organica. La variazione della copertura bianca segna la presenza di due teatri, una sala per concerti, uno spazio per le conferenze, e di una cavea all'aperto, frutto della connessione della copertura con il suolo.

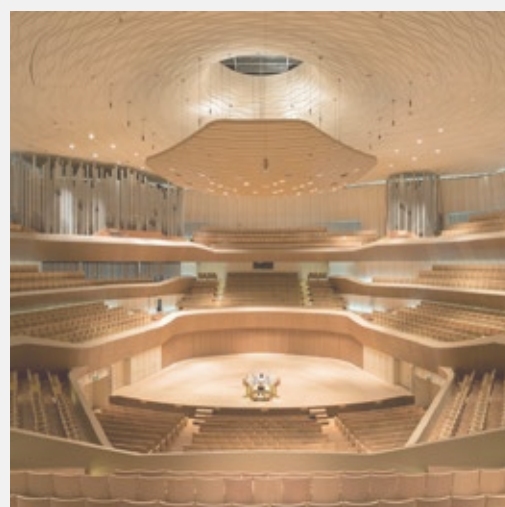
Una vista aerea dell'architettura, sinistra e il sistema di piazze coperte, destra.



Planimetria del secondo piano e sezioni dell'intervento.



L'arena esterna e gli interni della sala da concerti principale.



Per maggiori informazioni: <https://www.mecanoo.nl/Projects/project/54/Kaohsiung-Centre-for-the-Arts>



08 MESSE BASEL NEW HALL Herzog & de Meuron

Consulenti: Herzog Kull Group AG, Ribi + Blum AG Ingenieure und Planer, Gruner AG, WITO Engineering GmbH, Stefan Graf

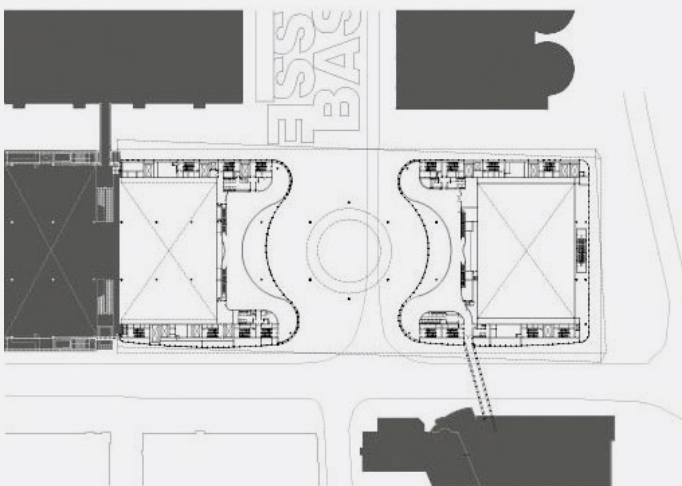
| | | | |
|--------------------|------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Luogo | Basilea | Tipologia | Edificio per esposizioni ed eventi |
| Paese | Svizzera | | |
| Anno inizio | 2008 | Cliente | MCH Swiss Exhibition |
| Anno fine | 2013 | | |
| Area totale | 83297 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 32 m | | |
| Lunghezza | 217 m | Strategia progettuale | Fluidità, diagramma |
| Larghezza | 90 m | | |
| Geometria | Curvilinea | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il progetto è l'occasione per l'amministrazione di risolvere la necessità di nuovi ambienti per eventi ed esposizione nell'area cittadina, sfruttando la disponibilità di nuovi spazi recentemente liberati da magazzini utilizzati dalle ferrovie. Il progetto dello studio Herzog & de Meuron è quindi quello di un'espansione che si sviluppa a partire da ampi spazi liberi alti più di cinque metri, dove è possibile organizzare manifestazioni di ogni tipo: due ambienti di egual dimensioni che corrispondono con i limiti nord e sud del pian terreno dell'edificio, e sono delimitati da una pelle in vetro continuo, che li illumina, lasciando libera la parte centrale, per formare uno spazio pubblico collegato con il contesto urbano e aperto sulla città. La parte superiore dell'edificio è destinata a spazi per esposizioni artistiche, ma anche uffici. Lo spazio pubblico al coperto è utilizzato come fermata del tram cittadino, e si apre al centro dell'intervento in un foro circolare che trasforma gradualmente l'intradosso in una parete verticale di pannelli curvilinei sfalsati in metallo. Lo stesso trattamento è adottato per tutta la parte superiore della facciata, composta da due fasce orizzontali sfalsate e popolata da pannelli di sezione regolare, organizzati in una maglia che si apre nei punti in cui è maggiormente necessario l'apporto di luce su una seconda pelle in vetro, e si chiude in corrispondenza di pareti cieche.

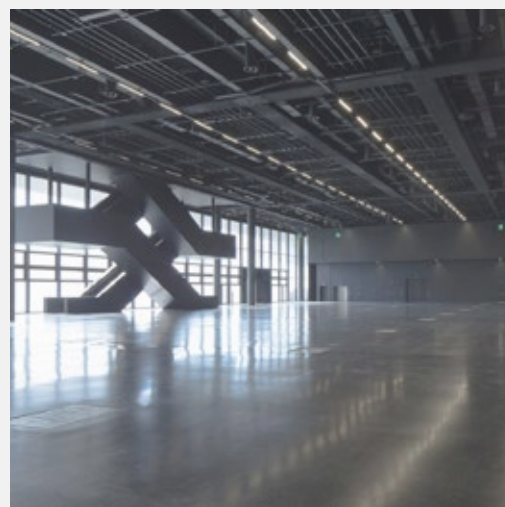
L'ingresso all'area del progetto, sinistra, la stazione del tram al centro dell'intervento



Planimetria del piano terreno dell'edificio



La pelle dell'architettura e le aree per esposizione poste al livello -1.



Per maggiori informazioni: <https://www.herzogdemeuron.com/messe-basel-new-hall-130212.html>

09 SCUOLA SYDHAVN

JJWW Architects

Consulenti: Niras, PK3 Landskab, JJW Landscape, Keinicke & Overgaard Arkitekter, Peter Holst Henckel

| | | | |
|-------------|------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Luogo | Copenaghen | Tipologia | Scuola |
| Paese | Danimarca | | |
| Anno inizio | 2008 | Cliente | Municipio di Copenaghen |
| Anno fine | 2015 | | |
| Area totale | 25000 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 25 m | | |
| Lunghezza | 120 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance |
| Larghezza | 10 m | | |
| Geometria | Rettilinea | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il progetto realizzato dallo studio danese JJWW architects, vuole essere l'occasione per realizzare un nuovo tipo di scuola per l'infanzia che permetta non soltanto una formazione adeguata agli standard contemporanei, ma anche una più ampia fruizione degli ambienti scolastici da parte degli abitanti del quartiere durante tutte le ore della giornata e ogni periodo dell'anno. L'edificio, composto da più volumi sovrapposti che si intersecano denunciando la funzione degli spazi, è coperto da un tetto giardino che si sviluppa dal pian terreno sino al quarto piano, e si sviluppa secondo una gerarchia di spazi a partire dal parco giochi pubblico sino al giardino privato, dedicato alle attività della didattica all'aperto. L'intera distribuzione degli ambienti si articola intorno ad una corte coperta alta cinque piani e illuminata dall'alto. E' questo il luogo dei principali impianti di risalita e di snodo verso le aule e i laboratori. L'edificio è frutto di un'attenta simulazione energetica che rispetta i canoni dell'architettura passiva. Date le finalità degli ambienti i progettisti si sono spinti inoltre verso la simulazione acustica. Metodi numerici vengono utilizzati, non solo per minimizzare l'inquinamento acustico e per la scelta di materiali adottati tanto all'esterno quanto all'interno del complesso, ma anche per determinare una distribuzione degli ambienti più efficace in termini sonori.

L'ingresso alle aree gioco, sinistra, vista aerea dell'architettura, destra.



Planimetria del piano terreno dell'edificio e sezione trasversale



Gli spazi comuni interni ed esterni a disposizione degli studenti.



Per maggiori informazioni: <http://www.jjw.dk/?projekt=sydhavnsskolen>



10 THE SHED

Diller Scofidio + Renfo, Rockwell Group

Consulenti: Thornton Tomasetti, Hardesty & Hanover,
Jaros Baum & Bolles, Vidaris, Arup

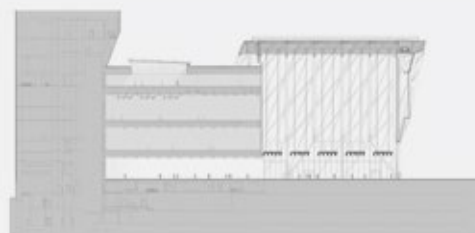
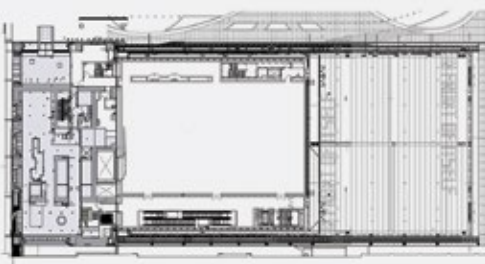
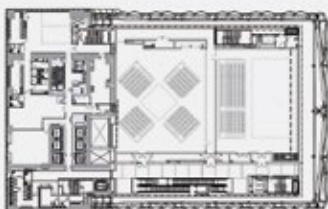
| | | | |
|-------------|--------------|-----------------------|---|
| Luogo | New York | Tipologia | Edificio per esposizioni ed eventi |
| Paese | USA | | |
| Anno inizio | 2008 | Cliente | The Shed |
| Anno fine | 2019 | | |
| Area totale | 90000 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 43 m | | |
| Lunghezza | 100 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance, cambi di configurazione |
| Larghezza | 47 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: L'organizzazione The Shed di New York si occupa di organizzare performance artistiche e iniziative culturali e ha commissionato nel 2008 agli studi Diller Scofidio + Renfo e al Rockwell Group il progetto per un nuovo spazio multifunzionale in grado di ospitare eventi di larga scala, così come mostre e laboratori artistici dell'organizzazione. Il progetto realizzato al centro della città si innesta all'interno del Bloomberg building, di cui occupa i primi otto piani, trasformandone la griglia della facciata secondo un pattern parametrico. L'elemento più rappresentativo dell'architettura è una copertura di 37 metri poggiata su un sistema di binari di 80 metri, per mezzo del quale il guscio può traslare verso la piazza antistante all'edificio, trasformandola in un grande ambiente dove realizzare eventi. Il cambio di configurazione da chiuso ad aperto necessita circa otto ore, tempo che permette agli organizzatori di adattare gli spazi ai diversi bisogni funzionali. La pelle della copertura è composta da pannelli romboidali di colore grigio chiaro iridescente, realizzati in un innovativo composto del teflon che garantisce al contempo resistenza, leggerezza e isolamento termico e acustico. L'edificio, realizzato tramite uno sviluppato processo di simulazioni ambientale è dotato di un sistema di gestione energetica che permette di abbattere le emissioni e un mantenimento coerente delle temperature.

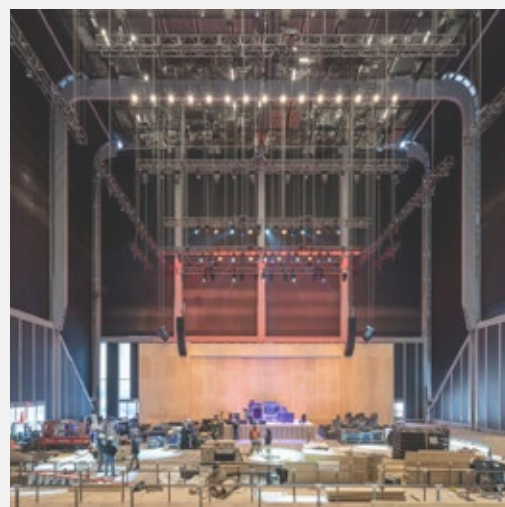
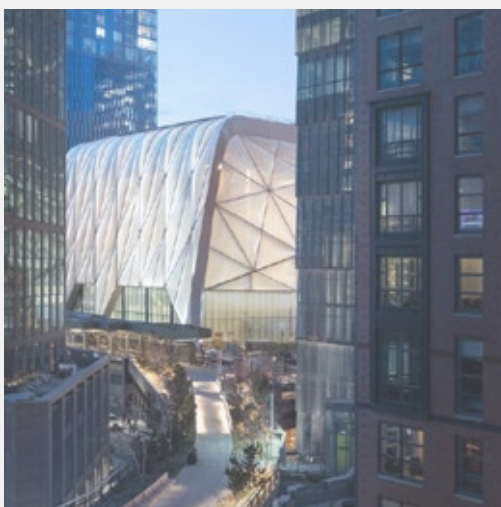
Render di progetto con copertura estesa sulla piazza, sinistra, e immagine dell'intervento completato, a sinistra.



Pianta del sesto e del secondo piano, sezione longitudinale.



Il progetto nel contesto urbano e lo spazio per eventi al massimo della sua estensione.



Per maggiori informazioni: <https://dsrny.com/project/the-shed>

11 GALAXY SOHO

Zaha Hadid architects

Consulenti: Beijing institute of architecture and design, Lightdesign studio

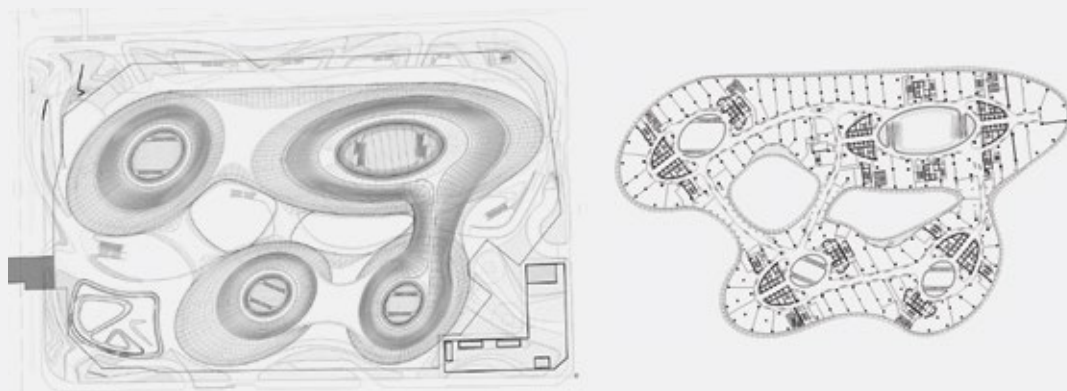
| | | | |
|--------------------|--------------|------------------------------|---|
| Luogo | Pechino | Tipologia | Uffici e commerciale |
| Paese | Cina | | |
| Anno inizio | 2009 | Cliente | Soho China Ltd. |
| Anno fine | 2012 | | |
| Area totale | 332857 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 67 m | | |
| Lunghezza | 100 m | Strategia progettuale | Blob, ottimizzazione della performance |
| Larghezza | 40 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Maya, Rhinoceros, Grasshopper, Catia, Revit |
| Morfologia | Biomorfismo | | |

Descrizione: Il Galaxy Soho, ultimato a Pechino nel 2012, rappresenta per lo studio Zaha Hadid architects un punto di svolta nella tipologia, nella scala e nella complessità del progetto, che include uffici, unità commerciali, spazi per l'intrattenimento ed è collegato ad una stazione della metropolitana, a cui si accede dalla corte interna del manufatto. I corpi principali del complesso sono quattro torri dalla forma organica, sezionate secondo i piani illuminati da finestre a nastro regolari che seguono la superficie esterna creando ambienti organici. All'altezza degli interpiani la pelle dell'edificio è realizzata in fasce bianche alte poco meno di due metri che aggettano rispetto alle finestre e sono coperte pannelli in materiale composito. Il centro di ogni torre è cavo, ospita i sistemi di risalita, e funge da punto di snodo per la circolazione interna. La gestione dei flussi tra le torri è ottenuta tramite una serie di ponti che a diversa altezza le collegano, adattandosi organicamente alla forma globale del manufatto. Il progetto è sviluppato a partire da uno studio dei flussi che ha fatto ampio uso di simulazioni numeriche, non soltanto ambientali, ma anche relative all'utilizzo dei diversi ambienti da parte dell'utenza, ed è inoltre arricchito da un innovativo sistema dell'illuminazione interna ed esterna.

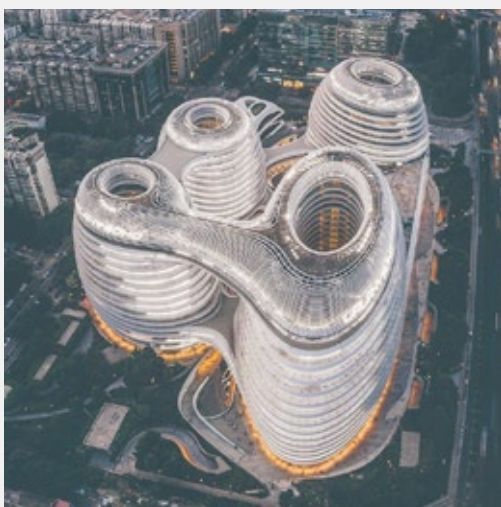
Vista dal pian terreno del complesso, sinistra, posizione rispetto alle arterie cittadine, destra.



Planimetria dell'intervento e pianta del piano decimo.



Vista aerea dell'intervento e foto della piazza interna.



Per maggiori informazioni: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/galaxy-soho/>

12 APPLE HEADQUARTERS

Foster and Partners

Consulenti: Arup, Davis langdon, Olin

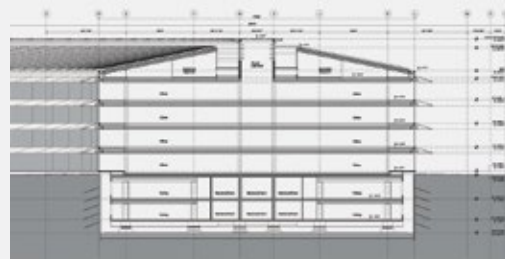
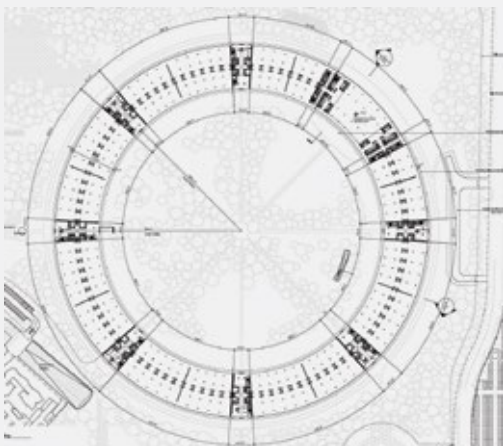
| | | | |
|--------------------|--------------|------------------------------|---|
| Luogo | Cupertino | Tipologia | Edificio Istituzionale |
| Paese | USA | | |
| Anno inizio | 2009 | Cliente | Apple |
| Anno fine | 2018 | | |
| Area totale | 260000 mq | Contesto | Extraurbano |
| Altezza | 40 m | | |
| Lunghezza | 460 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance e della produzione |
| Larghezza | 460 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Per il progetto della nuova sede centrale della Apple, posta all'interno di un grande parco ai limiti della città di Cupertino, lo studio Foster and Partners ha realizzato un gigantesco anello di vetro e lame di metallo, capace di ospitare nelle previsioni sino a 12.000 dipendenti dell'azienda che operano in città. L'architettura, che ospita al suo interno, non soltanto uffici, ma anche un teatro e diverse strutture per eventi e il tempo libero è stata prodotta, secondo il regolamento cittadino riciclando oltre il 75% di materiali frutto della demolizione degli edifici precedenti. Ciò comprende innanzitutto il cemento utilizzato per la costruzione del nuovo campus, ma anche gli alberi espantati, che sono serviti per le finiture interne in legno. Per il progetto gli architetti hanno sviluppato un sistema di flussi circolari, ottimizzati sulla base dell'utilizzo dell'edificio da parte degli utenti nelle diverse ore del giorno. Sulla base di specifiche richieste da parte della committenza l'edificio è stato sviluppato secondo i massimi criteri ambientali raggiungibili in termini di abbattimento di emissioni e utilizzo di energie totalmente rinnovabili. L'utilizzo di simulazioni è stato adottato tanto in termini energetici che acustici e fluidodinamici, ciò permette nelle previsioni progettuali di adottare la ventilazione naturale per quasi otto mesi all'anno.

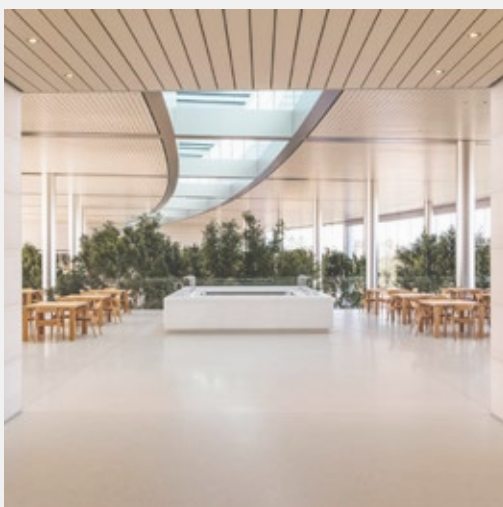
La facciata circolare dell'edificio, sinistra, vista aerea dell'intervento, destra.



La pianta del piano terreno e una sezione del progetto.



Gli spazi comuni a disposizione dei dipendenti e una vista del giardino interno.



Per maggiori informazioni: <https://www.fosterandpartners.com/projects/apple-park/>

13 BUND ARTS AND CULTURAL CENTRE

Foster and Partners, Heatherwick studio

Consulenti: ECADI, Martha Schwartz Partners, BPI,
Sanxin Façade Engineering Co., Shanghai Gardens Group

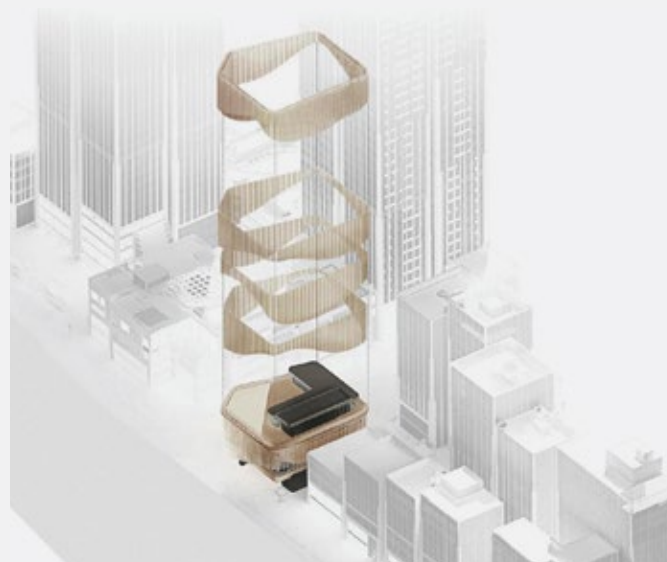
| | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|--|
| Luogo | Shangai | Tipologia | Edificio per esposizioni ed eventi |
| Paese | Cina | | |
| Anno inizio | 2010 | Cliente | Shanghai Zendai Bund Real Estate Co. Ltd |
| Anno fine | 2017 | | |
| Area totale | 8400 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 43 m | | |
| Lunghezza | 50 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance, cambi di configurazione |
| Larghezza | 50 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il progetto per il centro culturale ultimato a Shangai nel 2017 si inserisce in un ampio masterplan di un centro finanziario strutturato dagli studi Foster and Partners e studio Heatherwick. Il centro culturale, posto ai limiti dell'intervento, a segnarne l'ingresso, colpisce per la pelle in rame, e per tre drappi semoventi posti in facciata e realizzati tramite centinaia di elementi tubolari chiaramente ispirati alle canne di bambù: materiale caratteristico della cultura e delle tradizioni costruttive locali. L'edificio è articolato in quattro piani fuori terra e da diversi piani interrati, che ospitano tra l'altro una sala conferenze e un collegamento al sistema di mobilità locale. All'interno dell'edificio, a cui si accede dal pian terreno, sono ospitate esposizioni di diversa ampiezza. Il primo piano, interamente vetrato è dotato di terrazze protette dal sistema semovente tubolare, sospeso al soffitto tramite binari che ne permettono un movimento continuo. La diversa lunghezza dei tubi consente inoltre di ottenere configurazioni che ottimizzano l'illuminazione naturale nei diversi momenti della giornata. L'intero edificio è stato progettato anche grazie a simulazioni termiche, fluidodinamiche ed energetiche che garantiscono una minimizzazione delle emissioni energetiche durante tutto il ciclo di vita del manufatto.

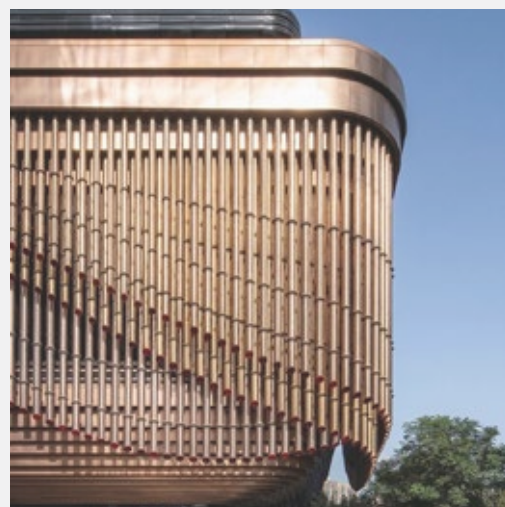
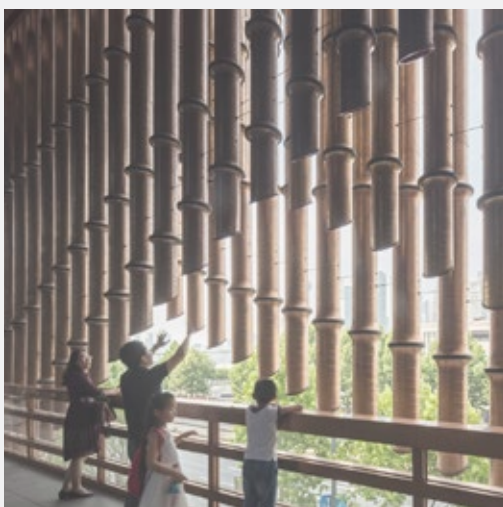
La facciata dell'edificio, ricoperta di elementi tubolari mobili.



Prospetti dell'intervento, e schema del sistema di drappi semoventi.



Gli spazi per il pubblico al primo piano dell'edificio.



Per maggiori informazioni: <https://www.fosterandpartners.com/projects/bund-finance-center/>



14 COPENHILL ENERGY PLANT AND URBAN RECREATION CENTRE

BIG Bjarke Ingels Group

Consulenti: AKTII, Topotek 1, Man made land, Realities united, SLA, Ramboll

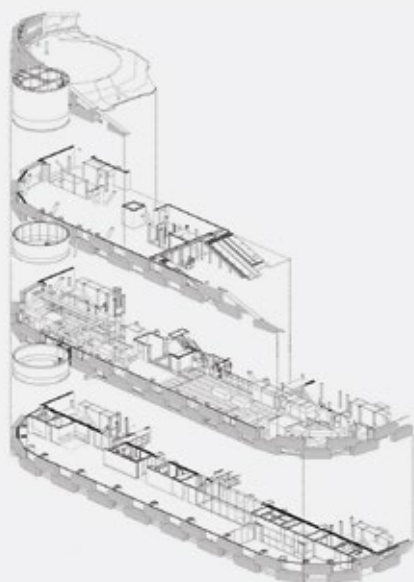
| | | | |
|-------------|--------------|-----------------------|---|
| Luogo | Copenaghen | Tipologia | Impianto per la conversione di rifiuti, spazi per sport |
| Paese | Danimarca | | |
| Anno inizio | 2010 | Cliente | Amager resource centre |
| Anno fine | 2019 | | |
| Area totale | 41000 mq | Contesto | Periferia urbana |
| Altezza | 124 m | | |
| Lunghezza | 200 m | Strategia progettuale | Diagramma, ottimizzazione della performance |
| Larghezza | 70 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il progetto, completato dallo studio Bjarke Ingels Group nel 2019, è frutto di un concorso internazionale che ha richiesto agli architetti di immaginare una nuova forma di infrastruttura cittadina, composta da un impianto per la valorizzazione energetica di rifiuti, in grado di ospitare inoltre strutture per il tempo libero a servizio dei cittadini di Copenaghen. Il progetto vincitore del concorso è quello di una pista sciistica che si staglia sull'infinita pianura cittadina in un contesto periferico. L'edificio è rivestito con pannelli sfalsati in alluminio che ricordano una maglia metallica e sono intervallati nei vuoti da superfici vetrate: la pelle esterna in vetro e alluminio lo riveste nella sua totalità, seguendo un andamento curvilineo agli angoli. L'andamento della copertura delimita la forma globale dell'architettura, piegandosi a gomito per raggiungere il terreno in concomitanza degli impianti di risalita. La funzionalità tecnica dell'edificio è denunciata all'esterno esclusivamente dalla presenza di una grande ciminiera bianca che ricorda l'antenna di un cellulare ed è agganciata alla parte superiore della facciata. L'intero edificio è stato progettato in funzione di un abbattimento delle emissioni, è inoltre in grado di riscaldare 150000 abitazioni e ospita un centro culturale, spazi per la sensibilizzazione ecologica e una parete per scalata di più di ottanta metri.

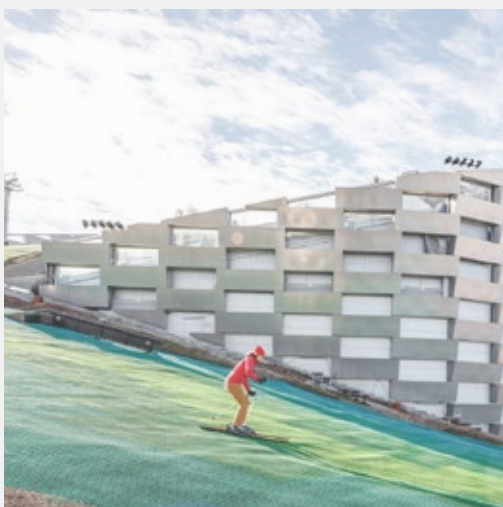
Vista dell'edificio



Particolare costruttivo e sezione longitudinale dell'edificio.



La pista da sci a disposizione della cittadinanza



Per maggiori informazioni: <https://big.dk/#projects-arc>

15 PADIGLIONE SPERIMENTALE ICD/ITKE 2012

ICD, ITKE



Consulenti: -

| | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|--|
| Luogo | Stoccarda | Tipologia | Padiglione |
| Paese | Germania | | |
| Anno inizio | 2011 | Cliente | Università di Stoccarda |
| Anno fine | 2012 | | |
| Area totale | 70 mq | Contesto | Campus universitario |
| Altezza | 4 m | | |
| Lunghezza | 8 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance e della produzione |
| Larghezza | 8 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper |
| Morfologia | Biomorfismo | | |

Descrizione: Il progetto del padiglione sperimentale frutto delle ricerche degli istituti ICD e ITKE di Stoccarda, presieduti da Achim Menges e Jan Knippers, è per Carpo l'architettura emblematica della seconda svolta digitale. La forma globale del manufatto ricorda per proporzioni e forma un ragno, o un fiore a cinque petali, elementi corrispondenti ai punti di attacco a terra della *shell*. L'innovativo padiglione è composto da un complesso intreccio di filamenti in polimeri rinforzati di carbonio vitreo, ed è stato progettato a partire da modelli biologici, studiando il comportamento dei materiali, le configurazioni geometriche e la produzione delle strutture attraverso un complesso sistema di simulazioni. L'utilizzo performativo di simulazioni numeriche agli elementi finiti ha permesso ai progettisti di ottenere la configurazione finale dell'architettura per mezzo di variazioni infinitesimali di punti, valutando il risultato delle diverse soluzioni in termini di tensioni e deformazioni, sino al raggiungimento di condizioni soddisfacenti per ottenere l'efficienza strutturale di un guscio. La produzione fisica della shell è stata realizzata per mezzo di braccia robotiche che hanno posizionato con estrema precisione i filamenti su una struttura metallica utilizzata come forma di base e poi rimossa quando la struttura del padiglione ha raggiunto la rigidità finale.

Il padiglione all'interno del campus dell'università di Stoccarda, sinistra, e la realizzazione, destra.



I modelli digitali sviluppati durante le diverse fasi di progettazione.

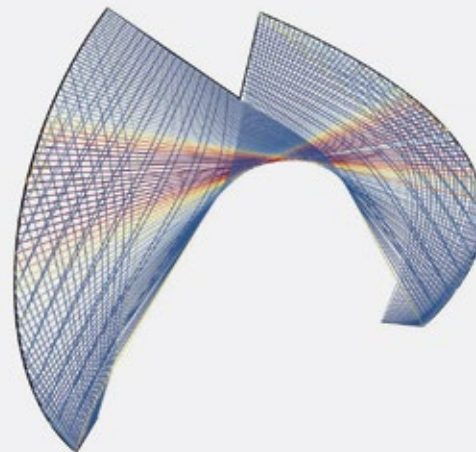
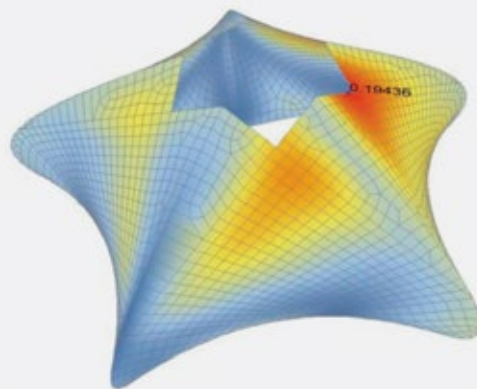
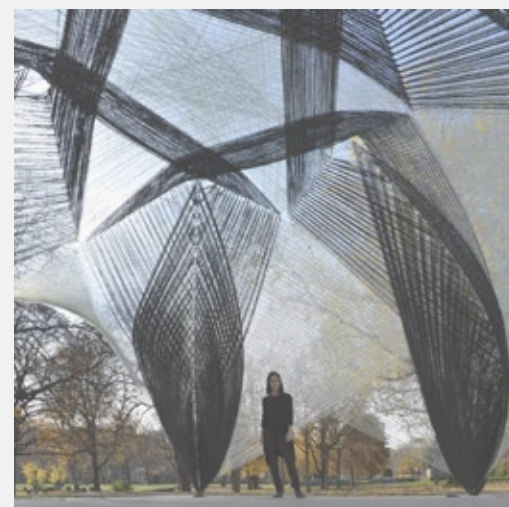


Immagine del padiglione terminato.



Per maggiori informazioni: <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/icditke-research-pavilion-2012/>



16 ARTER CONTEMPORARY ART MUSEUM

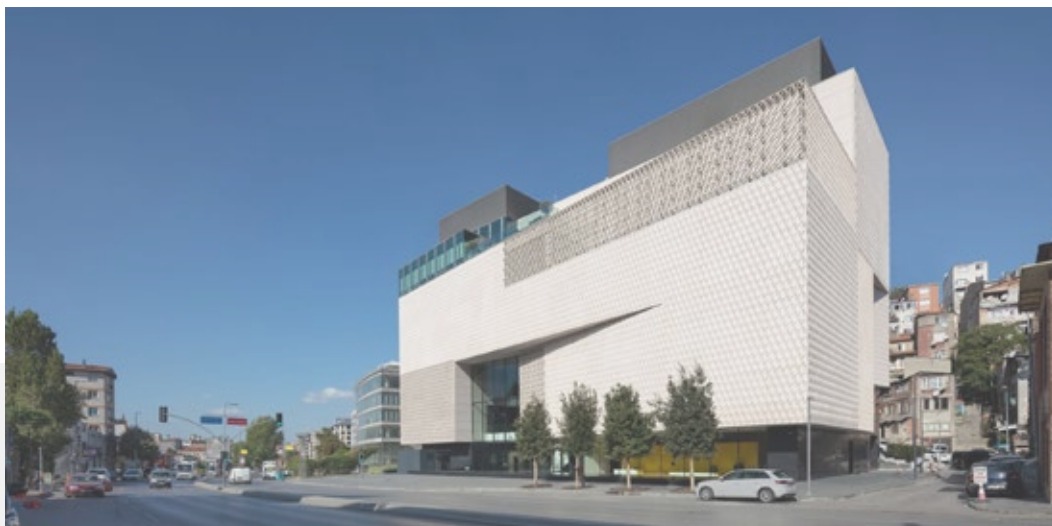
Grimshaw Architects

Consulenti: Thornton Tomasetti, A-teknik, Max Fordham, Entegre

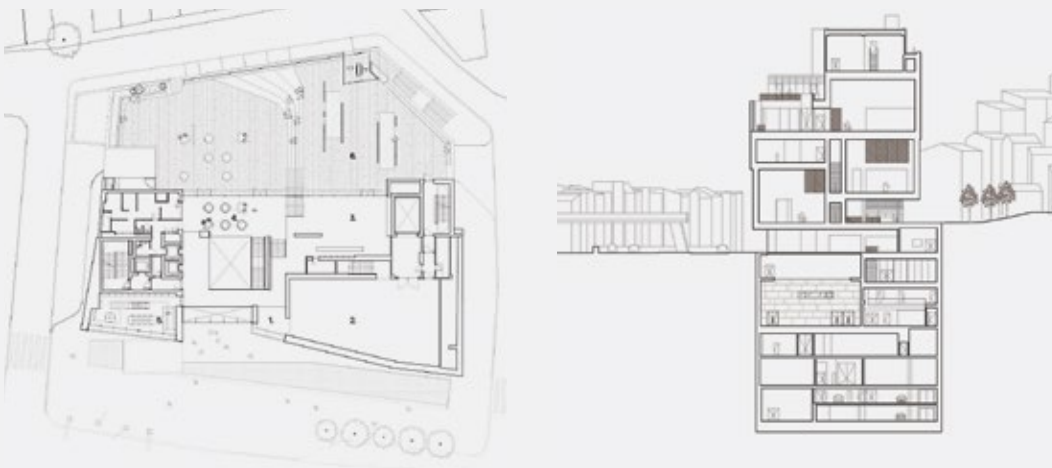
| | | | |
|-------------|------------|------------|--|
| Luogo | Istanbul | Tipologia | Museo |
| Paese | Turchia | | |
| Anno inizio | 2012 | Cliente | Vehbi Koç Foundation |
| Anno fine | 2019 | | |
| Area totale | 18000 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 45 m | | |
| Lunghezza | 70 m | Strategia | Ottimizzazione della performance progettuale |
| Larghezza | 30 m | | |
| Geometria | Rettilinea | Software | Rhinoceros, Grasshopper, |
| Morfologia | Geometrica | principali | Revit |

Descrizione: Il progetto del nuovo museo di arte contemporanea Arter è il risultato di un concorso internazionale indetto da una fondazione culturale Turca, intenzionata a trovare una nuova sede ai limiti del centro storico di Istanbul, su un lotto posto di fianco a una delle principali arterie cittadine. Il progetto proposto da Grimshaw è quello di un volume bianco, intervallato da cambi di trattamento e orientamento delle superfici: piene, vuote e parzialmente permeabili per mezzo di una pelle forata che ricorda la trama di un ricamo. L'edificio è sormontato da volumi in vetro e pannelli metallici di forma regolare, che occupano la parte più alta dell'edificio insieme a un tetto giardino, e separa la strada da un giardino su cui si apre un'ampia hall centrale. Da questo spazio centrale è possibile accedere ai piani dell'edificio, che si estende tanto fuori terra quanto sottoterra, dove sono situate una sala conferenza e svariati spazi espositivi. L'intero progetto è stato realizzato approfondendo un sistema di flussi capace di garantire in contemporanea le operazioni di allestimento e la fruizione da parte del pubblico. Anche in questo caso per il progetto si è fatto ampio affidamento sulle simulazioni che hanno permesso di prevedere un comportamento ottimizzato in termini energetici e un ampio utilizzo della luce solare.

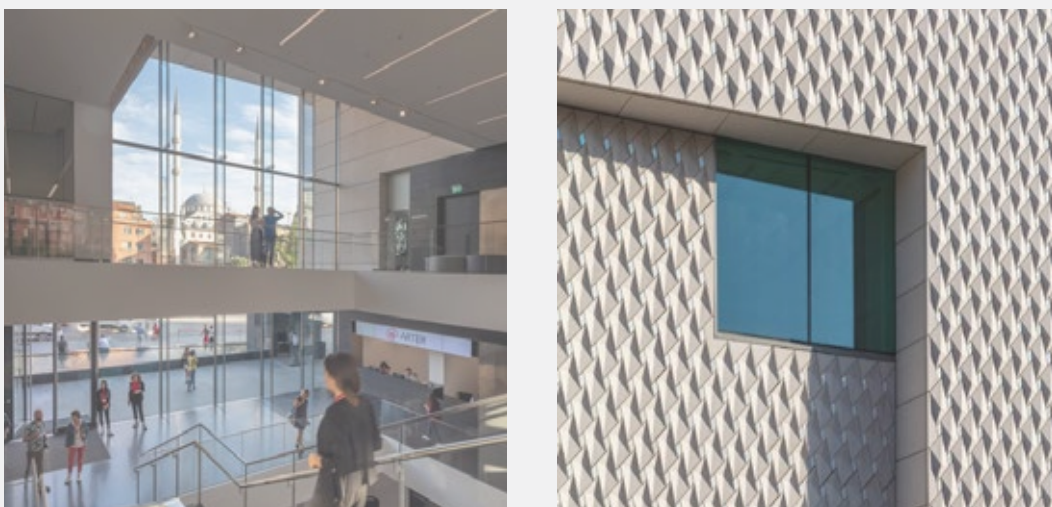
Il giardino sul prospetto posteriore dell'edificio, sinistra, e il prospetto su una delle principali arterie che attraversano la città, destra.



La pianta del pian terreno e una sezione trasversale del progetto.



La hall di ingresso e un particolare della facciata.



Per maggiori informazioni: <https://grimshaw.global/projects/arter-contemporary-art-museum/>

17 MORPHEUS HOTEL

Zaha Hadid Architects

Consulenti: Buro Happold, Isometrix, Arup, Shen Milson & Wilke, MVA

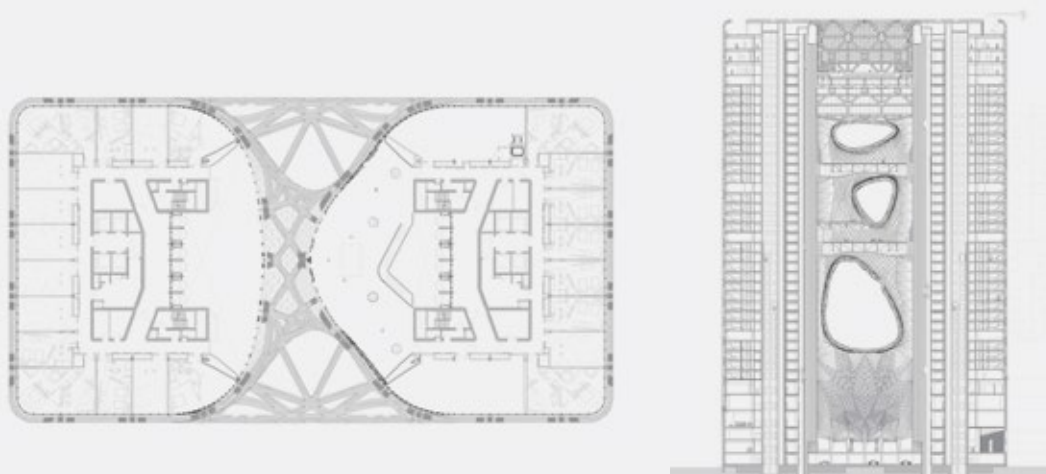
| | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|--|
| Luogo | Macao | Tipologia | Hotel |
| Paese | Cina | | |
| Anno inizio | 2013 | Cliente | Melco Resorts and Entertainment |
| Anno fine | 2018 | | |
| Area totale | 147860 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 208 m | | |
| Lunghezza | 100 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance e della produzione |
| Larghezza | 60 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Maya, Rhinoceros, Grashopper, Revit, Catia |
| Morfologia | Biomorfismo | | |

Descrizione: Il progetto del Morpheus hotel di Macao, realizzato dallo studio Zaha Hadid per la Melco Resorts è sviluppato in una torre di quarantadue piani situata nel nuovo distretto economico della città cinese. Ciò che maggiormente caratterizza il manufatto architettonico è il complesso esoscheletro strutturale che sostiene la pelle in vetro in pannelli di diversa forma e dimensione. La struttura in cemento e acciaio dell'edificio è formata da due torri con impianti di risalita indipendenti uniti da diversi ponti che li connettono al centro e ospitano spazi per il benessere e il tempo libero, scavando la facciata con tre grandi cavità, organicamente definite nella deformazione della pelle. L'ingresso principale dell'edificio porta su una grande hall che si estende per più di trenta metri in altezza ed è impreziosita da un complesso sistema di pannelli luminosi parametricamente sviluppati a partire da una maglia triangolare. L'edificio, progettato per l'abbattimento delle emissioni di carbonio e di consumi di energetici grazie ad un ampio uso di simulazioni, è stato ottimizzato anche per contenere i costi di produzione, attraverso una controllata operazione di rimodulazione delle superfici, operando variazioni quasi impercettibili nella forma globale così da permettere un ampio utilizzo di elementi uguali tra loro, realizzabili da superfici piane o a singola curvatura.

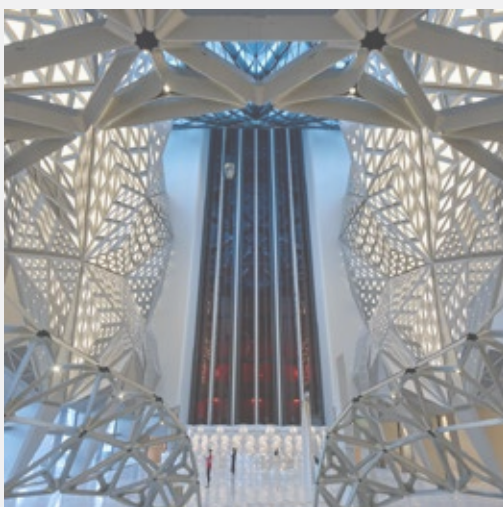
L'esoscheletro che regge la pelle composta da pannelli triangolari in vetro, sinistra, e l'edificio in relazione al contesto, destra.



La pianta di uno dei piani superiori dell'hotel, e la sezione longitudinale dell'edificio.



L'atrio dell'hotel e la piscina posta in concomitanza dell'ultima terrazza interna.



Per maggiori informazioni: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/city-of-dreams-hotel-macau/>



Consulenti: Maedebach & Redeleit, Remmel + Sattler, DS-Plan, Drees & Sommer, TAW

| | | | |
|-------------|------------|--------------------------|--|
| Luogo | Berlino | Tipologia | Uffici |
| Paese | Germania | | |
| Anno inizio | 2013 | Cliente | CA Immo Deutschland |
| Anno fine | 2020 | | |
| Area totale | 19500 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 40 m | | |
| Lunghezza | 40 m | Strategia progettuale | Griglia, ottimizzazione della performance |
| Larghezza | 40 m | | |
| Geometria | Rettilinea | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: L'architettura progettata dallo studio 3xn per una società immobiliare tedesca si trova al centro di Berlino, a pochi minuti dalla porta di Brandeburgo e dalla cupola del parlamento nazionale, in un quartiere che rappresenta il più importante polo politico ed economico della Germania. L'edificio per uffici è, come si evince dal nome un cubo, di uguali dimensioni in altezza larghezza e altezza: un oggetto geometrico in vetro composto da superfici triangolari che riflettono il contesto, integrandosi perfettamente tra edifici di dimensione monumentale e carattere fortemente razionale. La sommità dell'edificio è occupata da una terrazza aperta al pubblico, che permette ai visitatori di osservare un diverso panorama della città. I diversi piani di uffici sono articolati secondo una rigida maglia strutturale sviluppata ortogonalmente al nucleo centrale dove sono posizionati gli impianti di risalita i servizi e diversi ambienti comuni. Il pian terreno è destinato all'accoglienza del pubblico che può spostarsi all'interno dell'edificio secondo flussi diversi da quelli dei lavoratori. Il progetto della performance energetica è stato sviluppato per mezzo di simulazioni che sono servite a definire le diverse angolazioni dei pannelli vetrati della facciata ventilata, favorendo la circolazione naturale dell'aria e l'ingresso di luce naturale all'interno dei diversi ambienti.

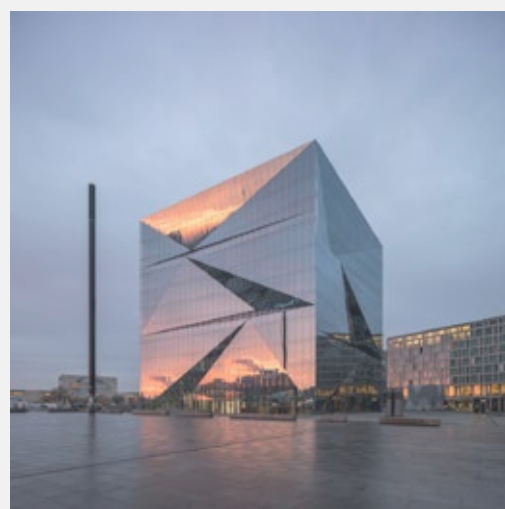
L'intervento in relazione al contesto, sinistra, e un particolare della facciata, destra.



Pianta del piano terzo, e sezione dell'edificio.



La luce sull'edificio in due diversi momenti della giornata



Per maggiori informazioni: <https://3xn.com/project/cube-berlin>



19 COAL DROP YARDS

Heatherwick Studio

Consulenti: ARUP, BAM, Giles Quarme & Associates, Holmes Wood, G+T, Hoare Lea, Space Syntax, Speirs and Major

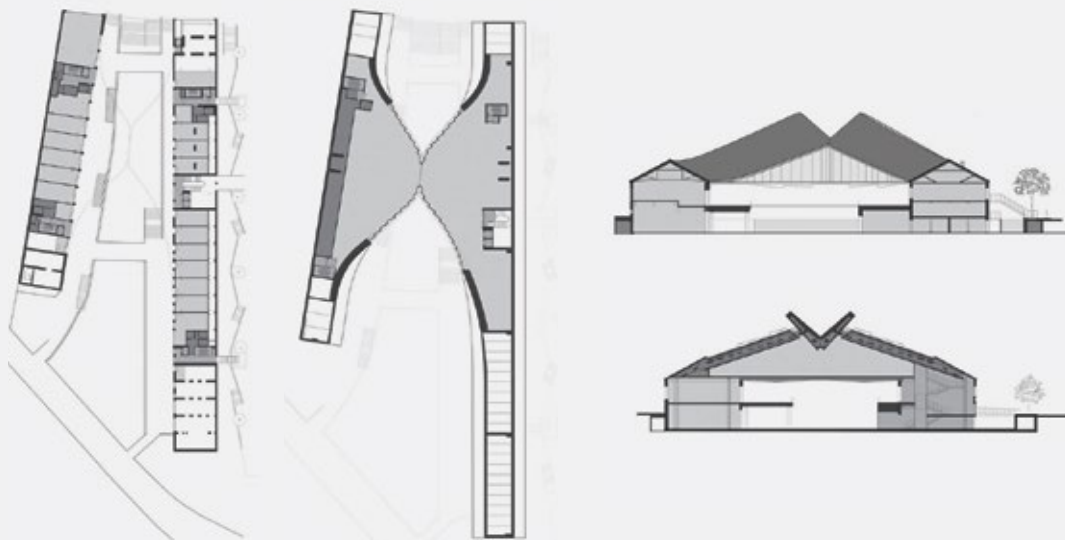
| | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|--|
| Luogo | Londra | Tipologia | Commerciale |
| Paese | Regno Unito | | |
| Anno inizio | 2014 | Cliente | Argent LLP |
| Anno fine | 2018 | | |
| Area totale | 12540 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 25 m | | |
| Lunghezza | 120 m | Strategia progettuale | Fluidità, ottimizzazione della performance |
| Larghezza | 60 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il complesso inaugurato nel 2018 è stato progettato dallo studio Heatherwick per una società immobiliare, che ha recuperato degli edifici a servizio della ferrovia della seconda metà dell'ottocento, trasformandoli in un polo commerciale situato a breve distanza dalla stazione di King's cross. L'elemento più identificativo dell'intervento è senza dubbio la copertura, che nasce da una deformazione della tradizionale copertura a falde dei due corpi principali, unite in una forma organica vagamente simile a quella di una manta, protesa verso l'alto per creare uno spazio vetrato dedicato all'organizzazione di eventi. Dato il contesto storico, e il pregio di alcuni dei manufatti, i progettisti si sono affidati ampiamente a strumenti di scansione 3D avanzati, che hanno permesso un'esatta descrizione delle preesistenze e sono stati utilizzati anche per misurarne la coerenza costruttiva in fase produzione. L'edificio è quindi risultato di un'ottimizzazione tanto tecnica, per i suoi aspetti termici che energetici, quanto funzionale. In seguito a una prima ipotesi, lo studio delle distribuzioni è stato condotto in collaborazione con il gruppo Space Syntax dell'University College di Londra: gruppo di ricerca che da anni si occupa di sviluppare l'analisi degli ambienti architettonici in funzione delle attività umane a cui sono dedicati, a partire dalla simulazione di flussi sino al controllo diversi rapporti gerarchici tra ambienti.

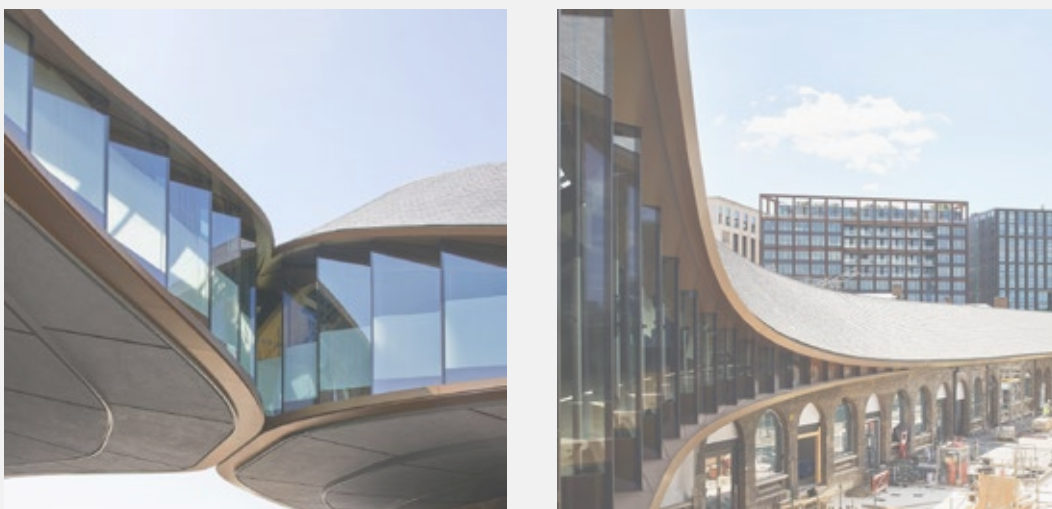
Il punto centrale del complesso commerciale, a sinistra, e la deformazione della copertura, destra.



La pianta del primo piano, la pianta del terzo piano e due sezioni trasversali dell'intervento.



I volumi per gli spazi espositivi e l'andamento a scalini delle superfici vetrate.



Per maggiori informazioni: <http://www.heatherwick.com/project/coal-drops-yard/>



20 DAXING INTERNATIONAL AIRPORT

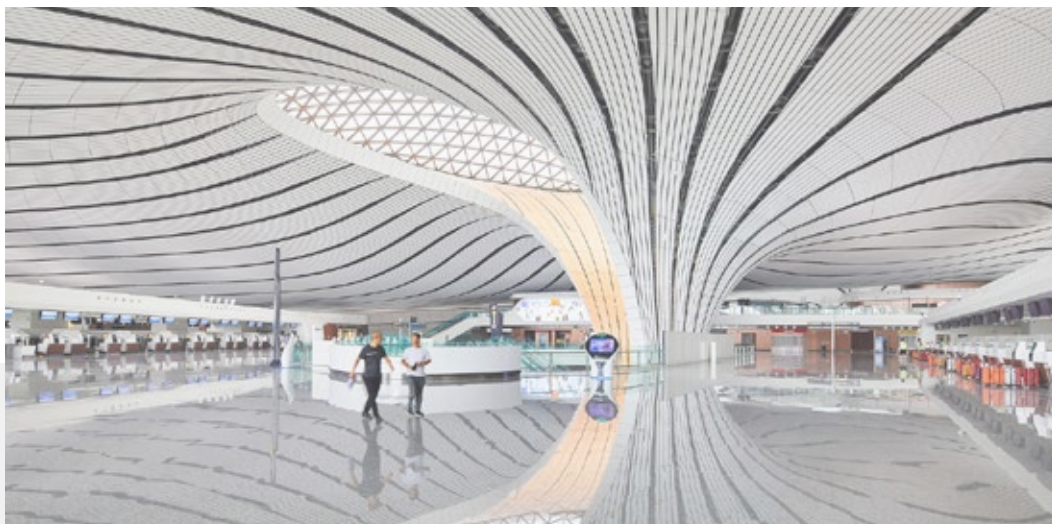
Zaha Hadid architects

Consulenti: Adp ingegneria, Pascall + Watson, Buro Happold, Mott MacDonald, EC Harris Consultant, Logplan, Gala Lighting Design Studio, Arup, Triagonal, Sensing Places, Spada

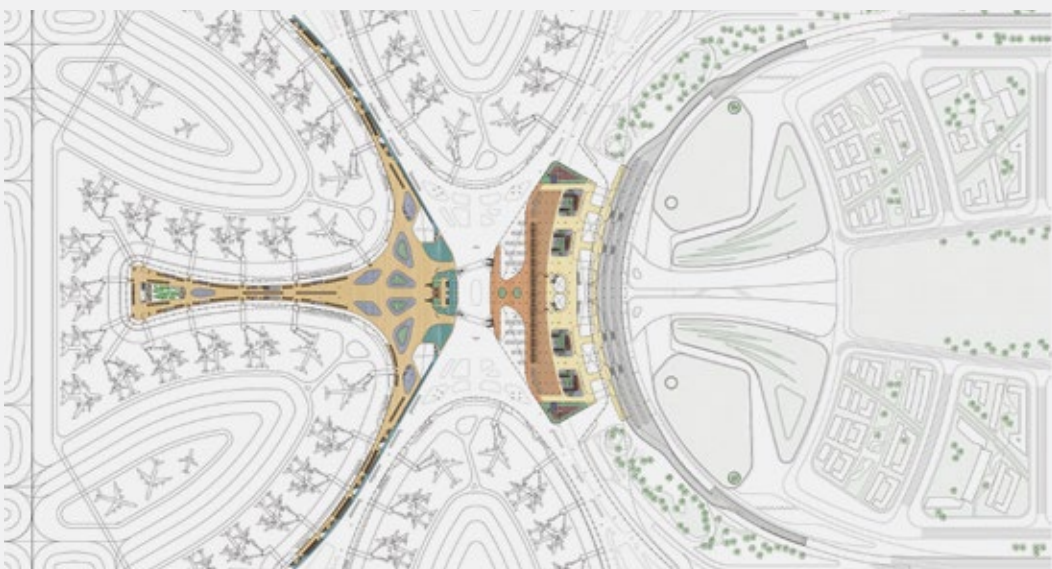
| | | | |
|-------------|--------------|-----------------------|---|
| Luogo | Pechino | Tipologia | Aeroporto |
| Paese | Cina | | |
| Anno inizio | 2014 | Cliente | Aeroporti di Pechino |
| Anno fine | 2019 | | |
| Area totale | 780000 mq | Contesto | Extraurbano |
| Altezza | 45 m | | |
| Lunghezza | 2000 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance e della produzione |
| Larghezza | 1200 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Maya, Catia, Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Biomorfismo | | |

Descrizione: Il progetto per quello che è attualmente il più grande aeroporto al mondo ha impegnato un gruppo di professionisti distribuiti in tutto il globo, che sono stati guidati dallo studio Zaha Hadid architects nella realizzazione di un gigantesco organismo somigliante ad una stella marina: una gigantesca *shell* che copre luci libere anche di cento metri e una superficie pari a 25 campi di calcio. La copertura organica in pannelli ultra leggeri è sorretta da una struttura in acciaio ottenuta per mezzo di metodi di *form-finding*, e si articola lungo cinque grandi padiglioni, che permettono ai visitatori di raggiungere i terminal di destinazione. Determinante nella definizione della forma sono stati i processi di simulazione che hanno permesso di ottenere dei flussi ottimizzati per il complesso apparato tecnico dell'aeroporto: un'infrastruttura che nelle previsioni arriverà a servire più di 100 milioni di utenti all'anno entro il duemilaquaranta. L'intero edificio è orientato verso la neutralità energetica, condizione possibile grazie all'utilizzo di pratiche performative che hanno permesso l'abbattimento di costi di produzione tramite un attento studio geometrico dei pannelli sia interni che esterni, e la definizione globale di una forma utile alla raccolta dell'acqua piovana e all'ingresso di luce naturale all'interno del manufatto architettonico.

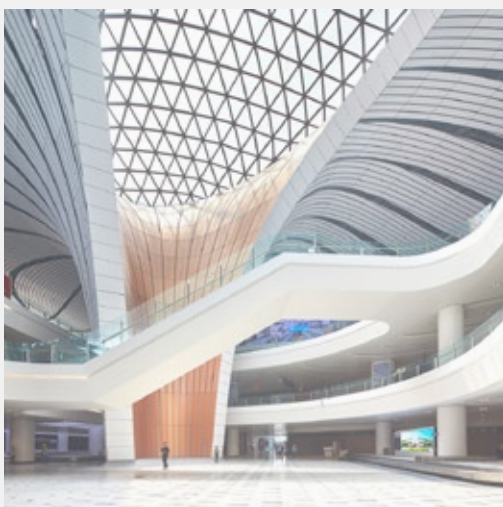
L'ingresso all'aeroporto a sinistra, e gli spazi interni dell'infrastruttura, a destra.




La pianta dell'infrastruttura al livello dei terminal.



Immagini di una piazza interna e di spazi di connessione tra terminal.



Per maggiori informazioni: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/beijing-new-airport-terminal-building/>



21 THE TWIST

BIG Bjarke Ingels Group

Consulenti: AKTII, Baumetall design, Davis Langdon, Difx, Elementi, Erichsen & Morgen

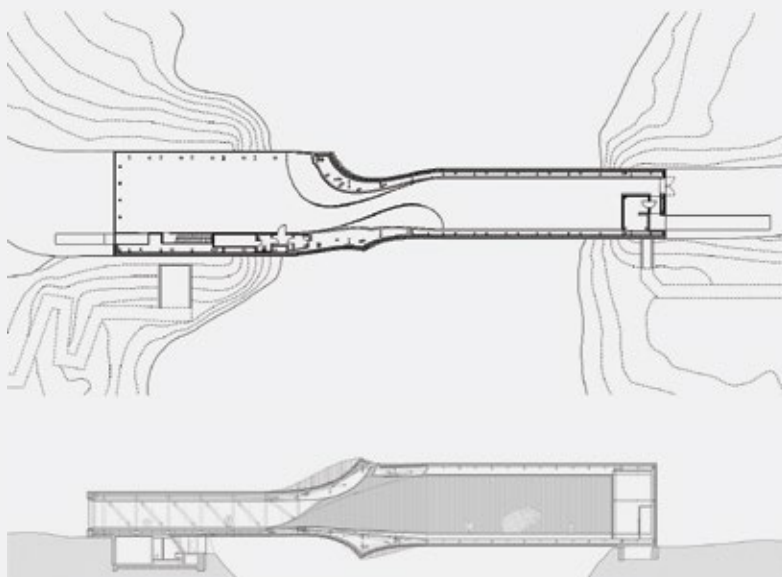
| | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|--|
| Luogo | Jevnaker | Tipologia | Museo |
| Paese | Norvegia | | |
| Anno inizio | 2014 | Cliente | Kistefos Museum |
| Anno fine | 2020 | | |
| Area totale | 1000 mq | Contesto | Extraurbano |
| Altezza | 10 m | | |
| Lunghezza | 120 m | Strategia progettuale | Fatto artistico, ottimizzazione della performance |
| Larghezza | 15 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il progetto del ponte/museo realizzato per la fondazione Kistefos è il risultato di un concorso per inviti vinto dallo studio Bjarke Ingels Group. L'architettura è un corpo unico di sezione rettangolare che collega due rive di un fiume all'interno di un bosco nordico, torcendosi al centro secondo una graduale deformazione delle superfici esterne. L'edificio è rivestito da una pelle in pannelli regolari che seguono la rotazione della facciata, scandendo il movimento della forma. La parete vetrata che segna l'ingresso all'edificio ruota secondo l'andamento della parete, mantenendo un passo regolare e restringendosi gradualmente sino a richiudersi poco dopo la metà. L'interno del manufatto è totalmente bianco, il pavimento inizialmente piano si deforma al centro dell'edificio, secondo la torsione delle superfici esterne. L'architettura è realizzata esclusivamente con materiali eco-sostenibili ed è stata progettata per mezzo di approfondite simulazioni energetiche, utilizzate per massimizzare l'utilizzo della luce solare: il processo è servito in particolare per definire posizione, orientamento, e ampiezza delle pareti vetrate, che permettono di armonizzare il più possibile la luce solare riflessa dai diversi materiali delle finiture all'interno dell'ambiente.

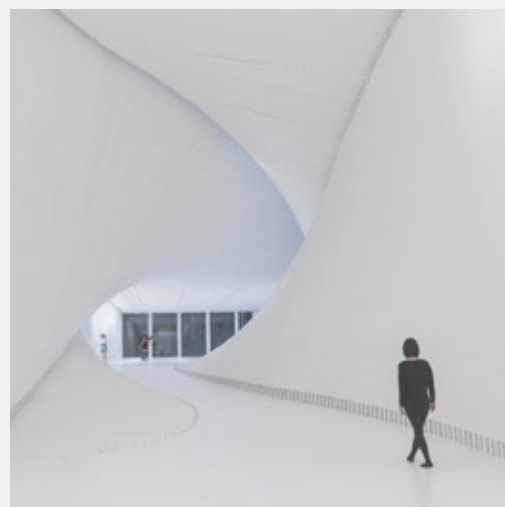
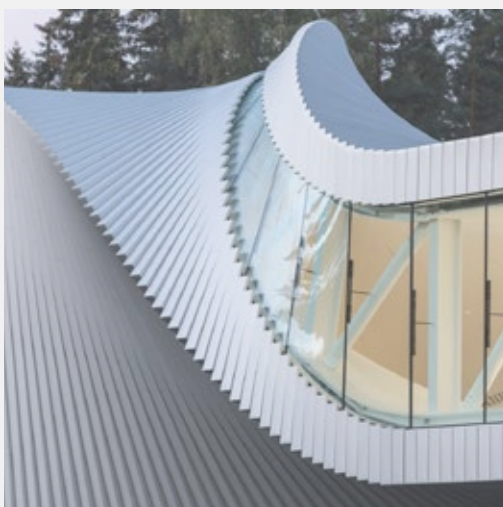
L'edificio all'interno del contesto, a sinistra, gli spazi interni, a destra.



Pianta e sezione longitudinale del progetto.



La torsione del ponte evidente tanto esternamente, quanto all'interno dell'edificio.



Per maggiori informazioni: <https://big.dk/#projects-kis>



22 MUSÉE ATELIER AUDEMARS PIGUET

BIG Bjarke Ingels Group, Atelier Brückner, CCHE

Consulenti: HG Merz, Luchinger und Meyer, Muller Illien

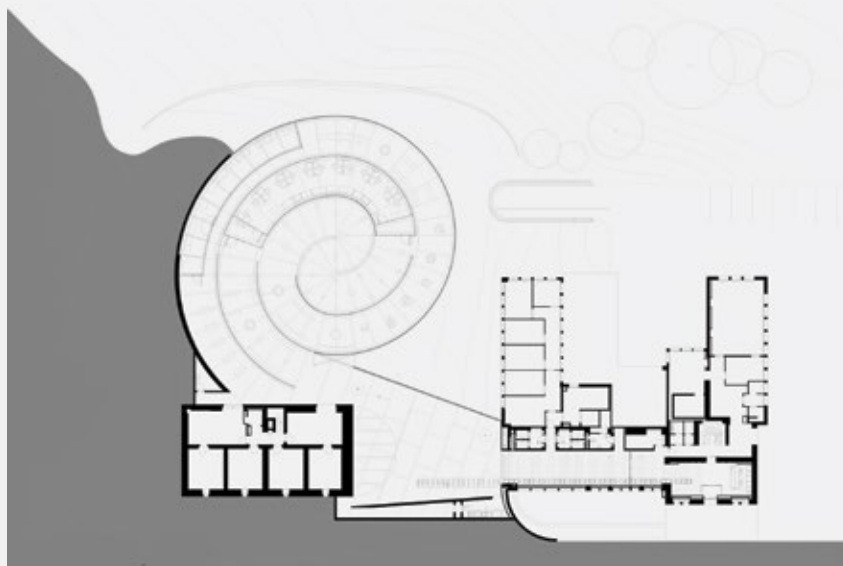
| | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|--|
| Luogo | Le Brassus | Tipologia | Museo |
| Paese | Svizzera | | |
| Anno inizio | 2014 | Cliente | Audemars Piguet |
| Anno fine | 2020 | | |
| Area totale | 2373 mq | Contesto | Extraurbano |
| Altezza | 15 m | | |
| Lunghezza | 80 m | Strategia progettuale | Fluidità, ottimizzazione della performance e della produzione |
| Larghezza | 65 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: L'architettura di questo museo sviluppato per un marchio di orologi di lusso è il risultato di un concorso vinto dallo studio danese Bjarke Ingels Group nel 2014. Il progetto, edificato nel 2020 è di fatto un'espansione che si innesta sulla sede storica dell'azienda modificandone parzialmente la configurazione interna e utilizzandone la base come punto di accesso per la visita. Di fianco al corpo storico lo studio ha sviluppato un percorso museale snodato su due spirali intersecate, che si uniscono al centro e conducono il visitatore nuovamente verso la sede storica e quindi all'uscita. Le coperture delle due spirali, sormontate da prati, sono inclinate secondo angoli sfalsati, ciò permette agli ambienti interni di prendere luce da finestrature continue dalla forma di tagli. Per mantenere uniformità e consentire un maggiore ingresso di luce, la pelle esterna è stata realizzata in vetro portante, a ciò corrisponde la scelta di materiali compositi per la copertura, utili ad ottenere una maggiore efficienza energetica e la leggerezza dei solai. Il progetto è frutto di un'ampia simulazione atta alla predizione del comportamento fisico del manufatto, con particolare attenzione per minimizzare il consumo di energia e garantire una luminosità il più possibile omogenea durante tutto il percorso.

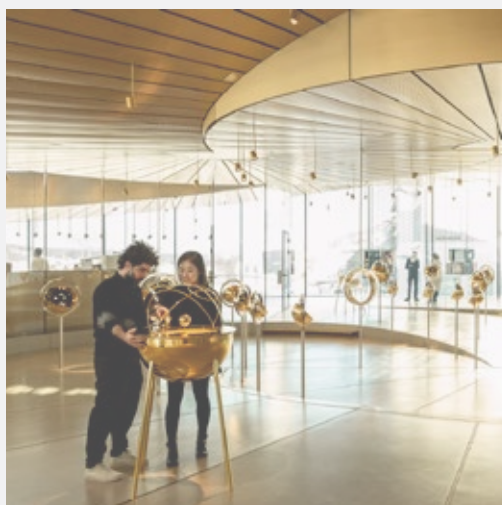
L'edificio in relazione al contesto in inverno, sinistra, e in estate, destra.



La pianta del pian terreno del museo, l'ingresso, in concomitanza delle preesistenze, conduce alla spirale.



Immagini degli spazi interni, e della nuova costruzione in relazione alle preesistenze.



Per maggiori informazioni: <https://big.dk/#projects-apm>

23 OCEANWIDE CENTRE

Foster and Partners, Heller Manus



Consulenti: Magnusson Klemenic associates, Taylor engineering, The engineering enterprise, Gustafson Gurhrie Nichol, Office for visual interaction

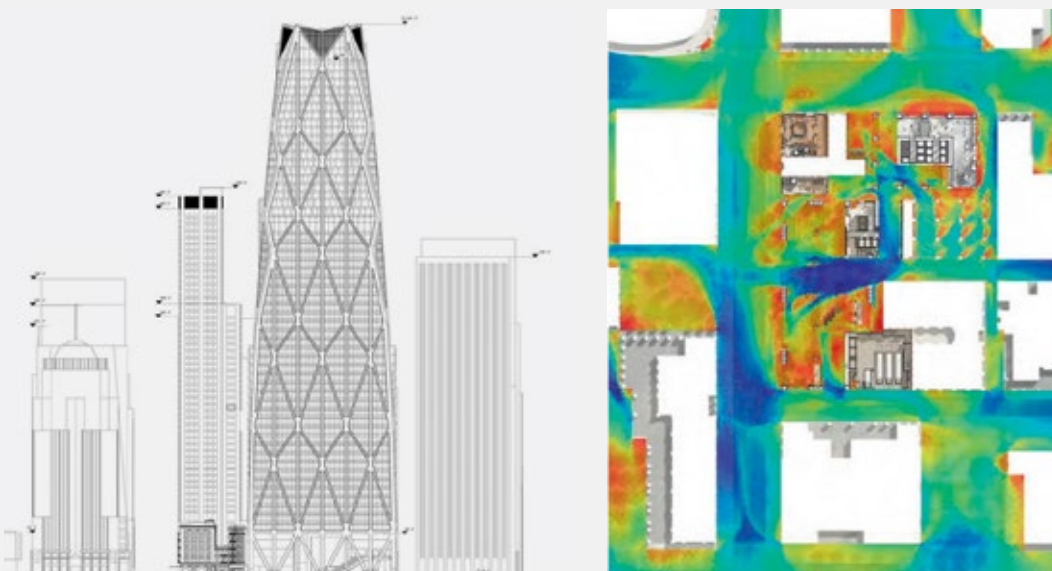
| | | | |
|--------------------|----------------|------------------------------|--|
| Luogo | San Francisco | Tipologia | Centro finanziario |
| Paese | USA | | |
| Anno inizio | 2014 | Cliente | Oceanwide centre |
| Anno fine | in costruzione | | |
| Area totale | 219885 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 278 m | | |
| Lunghezza | 130 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance e della costruzione |
| Larghezza | 80 m | | |
| Geometria | Rettilinea | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Quello dell'Oceanwide Centre è il progetto di un imponente centro finanziario composto da torri di diversa altezza e forma, attualmente in costruzione nella città di San Francisco, negli Stati Uniti. Il complesso di architetture, firmato dallo studio Foster and Partners, è il risultato di un'ampia collaborazione che ha coinvolto diversi studi di ingegneria e consulenti, che hanno partecipato digitalmente al progetto da tutto il mondo. La grande torre di più di 270 metri è caratterizzata da superfici vetrate dall'organizzazione prismatica, che riflettono il panorama urbano e il cielo. Le architetture sono organizzate secondo una distribuzione geometrica regolare su tutti i piani. Solo i primi piani sono dedicati al pubblico, che è invitato alla relazione con l'edificio attraverso giardini e spazi dedicati al tempo libero, i dipendenti della struttura seguono al contrario flussi diversificati. La complessità e la scala monumentale degli edifici hanno richiesto l'utilizzo di simulazioni sin dalle prime fasi del progetto, quando si è decisa l'esatta posizione e dimensione delle torri, secondo processi finalizzati a minimizzare il più possibile l'impatto sul contesto. Studi poi approfonditi nella definizione materiale delle superfici, realizzate in vetri con diversi indici di rifrazione al variare dell'altezza, e di una forma globale utile a smorzare il vento raccolto alla base delle torri.

Render di presentazione del progetto.



Il prospetto sud della torre, e risultato delle simulazioni ambientali per l'ottimizzazione del comfort termico.



Il giardino aperto alla cittadinanza ai piedi della torre.



Per maggiori informazioni: <https://www.fosterandpartners.com/projects/oceanwide-center/>

Consulenti: Bollinger + Grohmann, China academy of building research, Beijing Institute for architectural design, Kighton Facade, Yuanda, J+B studios, Leuchte, Ecoland, Huateng,

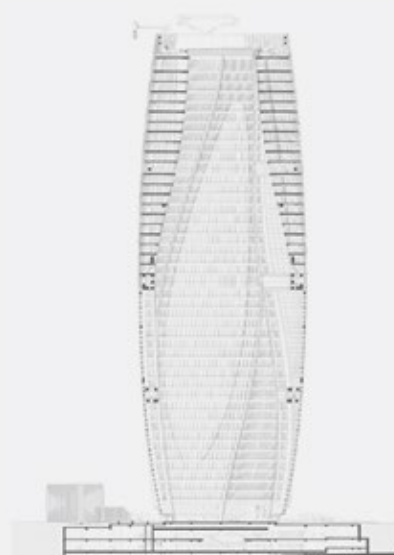
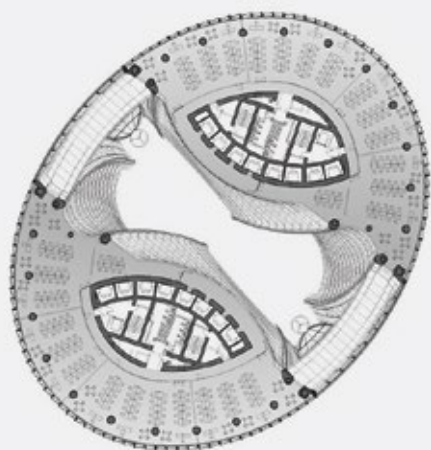
| | | | |
|--------------------|--------------|------------------------------|---|
| Luogo | Pechino | Tipologia | Torre per uffici |
| Paese | Cina | | |
| Anno inizio | 2015 | Cliente | Soho China Ltd. |
| Anno fine | 2019 | | |
| Area totale | 172800 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 199 m | | |
| Lunghezza | 60 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance e della produzione |
| Larghezza | 60 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit, Maya, Catia |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il grattacielo del gruppo Soho è il terzo grande progetto realizzato dallo studio Zaha Hadid architects per l'azienda a Pechino. Come i due precedenti è un centro composto principalmente da uffici e quindi da spazi per il pubblico, in questo caso si tratta però di un'unica torre, dalla forma descrivibile come una botte oblunga interamente vetrata di 199 metri. La struttura dell'edificio è composta da due nuclei separati, collegati da svariati ponti a dei livelli di snodo, e da una facciata di pianta circolare. Tra i due nuclei una gigantesca hall centrale, che dal pian terreno raggiunge la copertura dell'edificio, permettendo alla luce naturale di illuminare gli uffici che vi si affacciano. Il progetto è stato realizzato in ottica di risparmio energetico, producendo complesse simulazioni numeriche utilizzate per determinare la forma globale dell'edificio, e in particolare quella dei diversi piani, che variano organicamente in pianta, così da consentire un più efficiente sfruttamento della ventilazione naturale. La mitigazione della velocità dell'aria non è quindi l'unica metrica adottata per la pelle vetrata, che è stata ottimizzata secondo un processo finalizzato a una produzione economicamente più vantaggiosa, riducendo gli elementi a gruppi di parti da replicare in diverse aree della superficie.

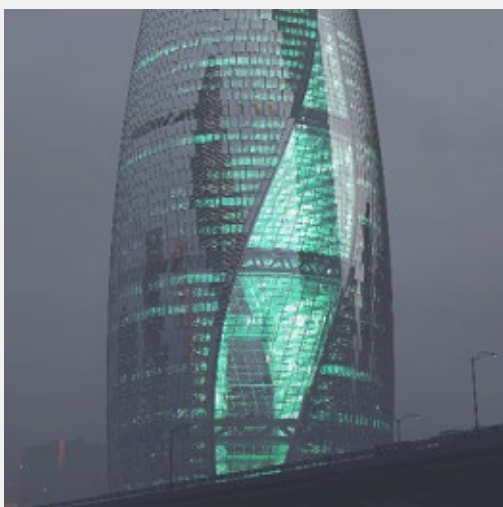
L'atrio della torre, sinistra,
una vista dell'edificio
sul contesto cittadino di
Pechino.



La pianta di un piano tipo
e una sezione della torre.



l'edificio di sera e gli spazi
interno nei piani dedicati
agli uffici.



Per maggiori informazioni: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/leeza-soho/>

25 MX3D BRIDGE

MX3D

Consulenti: Leap 3D, Arup, Abb, ArcelorMittal, Autodesk

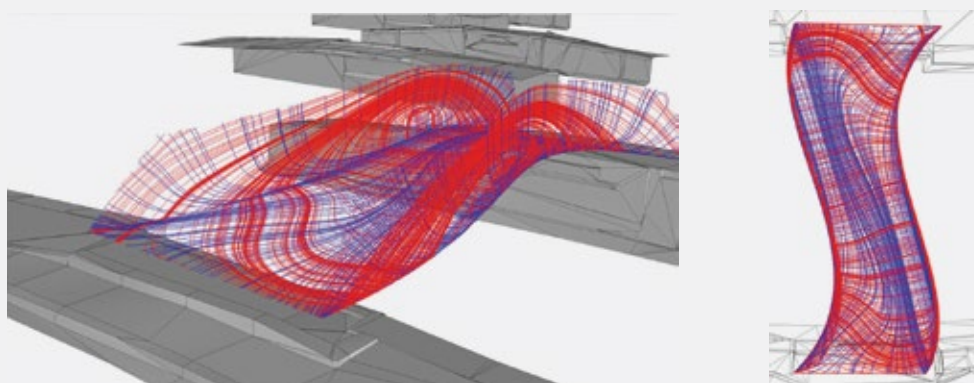
| | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|--|
| Luogo | Amsterdam | Tipologia | Ponte |
| Paese | Paesi Bassi | | |
| Anno inizio | 2015 | Cliente | Municipio di Amsterdam |
| Anno fine | 2019 | | |
| Area totale | 125 mq | Contesto | Centro storico |
| Altezza | 2 m | | |
| Lunghezza | 18 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance e della produzione |
| Larghezza | 4 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Revit, Rhinoceros, Grasshopper |
| Morfologia | Biomorfismo | | |

Descrizione: Il ponte realizzato dallo studio MX3D per un canale del centro storico di Amsterdam rappresenta un esempio paradigmatico delle possibilità di produzione raggiunte dai sistemi robotici di stampa tridimensionale alla fine degli anni duemiladieci. Il progetto, avviato nel 2015 in seguito ad una serie di sperimentazioni e ultimato nel 2019, ha visto la collaborazione di un largo gruppo di aziende, studi e ricercatori, che insieme hanno ideato e applicato un diverso sistema di stampa di oggetti in metallo. Il manufatto, lungo più di venti metri è stato quindi costruito fisicamente nei laboratori dell'azienda dove un braccio robotico collegato a un sistema per la fusione della lega in metallo ha lavorato per più di sei mesi, riproducendo, strato dopo strato, un modello digitale collegato al sistema di stampa. Il progetto, innovativo tanto per i processi di produzione quanto per i metodi di ottimizzazione utilizzati per la definizione della forma strutturale, verrà posizionato al centro di Amsterdam entro la fine del 2020. Il ponte sarà inoltre una delle prime architetture a mettere in pratica il paradigma dei gemelli digitali, sperimentando su piccola scala un sistema di raccolta di dati tramite sensori, dati poi applicati in tempo reale al modello virtuale del manufatto, così da misurarne la performance e l'utilizzo da parte dell'utenza cittadina al variare di condizioni ambientali.

Il ponte completato, a sinistra, e durante la fase di produzione, a destra.



Il modello digitale utilizzato per la progettazione del ponte.



Gli spazi comuni a disposizione dei dipendenti e una vista del giardino interno.



Per maggiori informazioni: <https://mx3d.com/projects/mx3d-bridge/>



26 CENTRO DIREZIONALE GOOGLE A KING'S CROSS

Bjarke Ingels Group, Heatherwick Studio

Consulenti: AKTII, Gillespies, A10, BDP, Eckersley O'Callaghan

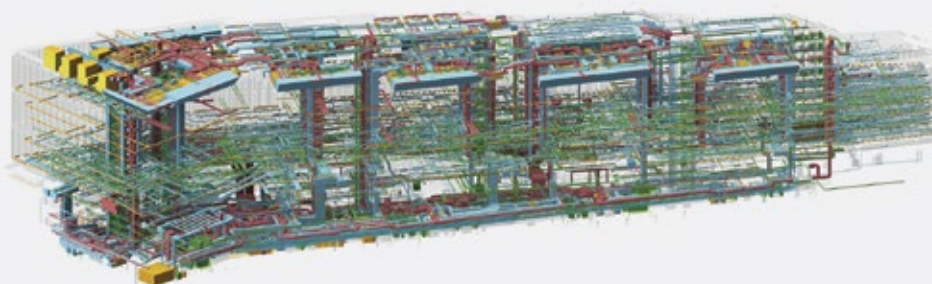
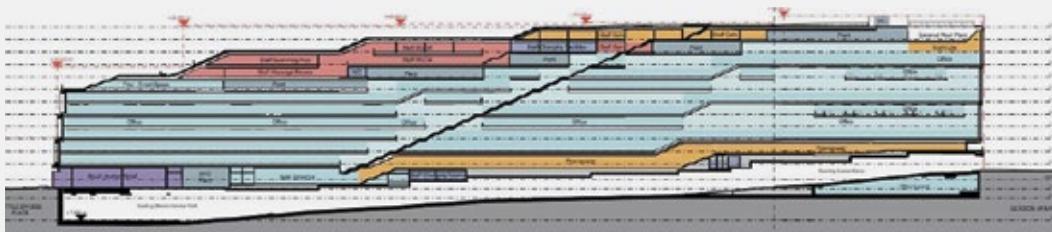
| | | | |
|-------------|----------------|--------------------------|---|
| Luogo | Londra | Tipologia | Edificio Istituzionale |
| Paese | Regno Unito | | |
| Anno inizio | 2015 | Cliente | Google |
| Anno fine | In costruzione | | |
| Area totale | 60400 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 50 m | | |
| Lunghezza | 330 m | Strategia progettuale | Diagramma, ottimizzazione performance, cambi di configurazione |
| Larghezza | 60 m | | |
| Geometria | Rettilinea | Software principali | Revit, Rhinoceros, Grasshopper |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il progetto per la nuova sede di Google a Londra è curato da un gruppo di studi internazionali che comprende il Bjarke Ingels Group, studio Heatherwick e AKTII, che insieme ad altri consulenti si sono occupati di definire l'architettura, descritta da alcuni come un grattacielo orizzontale e attualmente in fase di costruzione al centro di Londra, di fronte alla stazione ferroviaria di King's cross. All'interno del manufatto saranno ospitati non soltanto uffici, ma anche spazi per il tempo libero a disposizione di dipendenti e pubblico. Secondo lo stesso principio, sulla sua sommità sarà realizzato un grande giardino pensile, dal quale sarà possibile estendere lo sguardo sino al centro storico della città. Il progetto dell'edificio è stato sviluppato, secondo le indicazioni della committenza per minimizzare il più possibile le emissioni in fase di costruzione e durante l'intero ciclo di vita del manufatto. Condizioni simulate sin dalle prime fasi di progetto, che per le finalità descritte fa ampio utilizzo di legno strutturale, giudicato neutrale in termini di emissioni. Sempre su indicazioni della committenza, l'edificio è organizzato secondo un sistema strutturale a ganci, che permette il cambiamento di configurazione di interi piani, trasformabili nell'arco di un fine settimana in funzione delle diverse destinazioni identificate.

L'edificio in relazione al paesaggio cittadino, sinistra, e immagini del tetto giardino, a destra.



Una sezione longitudinale del progetto, e il modello BIM MEP del progetto.



Un immagine degli spazi interni riconfigurabili nell'arco di un fine settimana e dell'edificio, collegato a spazi verdi accessibile a dipendenti e cittadini.



Per maggiori informazioni: <http://www.heatherwick.com/project/google-kings-cross/>

27

WUXI TAIHU SHOW THEATRE

Steven Chilton Architecture

Consulenti: Buro Happold

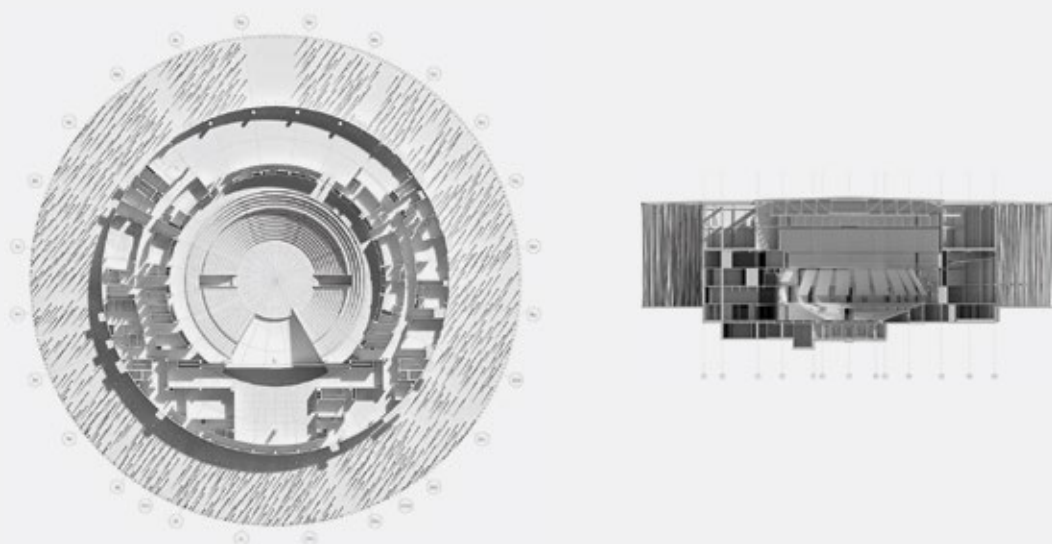
| | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|-------------------------|
| Luogo | Wuxi | Tipologia | Teatro |
| Paese | Cina | | |
| Anno inizio | 2016 | Cliente | Dalian Wanda group |
| Anno fine | 2019 | | |
| Area totale | 95000 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 30 m | | |
| Lunghezza | 300 m | Strategia progettuale | Fatto artistico |
| Larghezza | 300 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il progetto per il teatro della città di Wuxi in Cina è stato sviluppato dallo studio Steven Chilton architecture, che ha proposto un edificio a pianta circolare caratterizzato da una copertura sviluppata secondo un pattern strutturale di triangoli irregolari popolati di frangisole in metallo dorato. La copertura, che supera radialmente la base dell'edificio per diversi metri è sorretta da un'intricata foresta di pilastri circolari inclinati che circondano l'intero manufatto e si fermano in concomitanza con l'ingresso principale. La pelle dell'architettura è realizzata in pannelli di materiale metallico traslucido, sostituiti da una doppia pelle vetrata sulla hall di ingresso, spazio da cui si accede alla platea del teatro e alle diverse gradinate a disposizione dei duemila potenziali spettatori. In occasione del progetto lo studio ha approfondito il comportamento della radiazione solare sull'edificio, producendo una continua variazione della disposizione dei pilastri che circondano l'edificio, sino a determinare una condizione ottimale per gli utenti. Un processo analogo è stato utile alla determinazione della posizione, del diverso trattamento superficiale e dell'orientamento dei frangisole, che producono un suggestivo gioco di riflessi sui pilastri circolari e sulla pelle del teatro al variare delle ore del giorno.

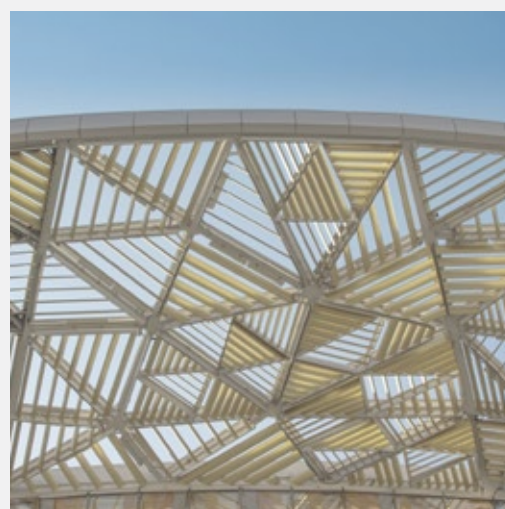
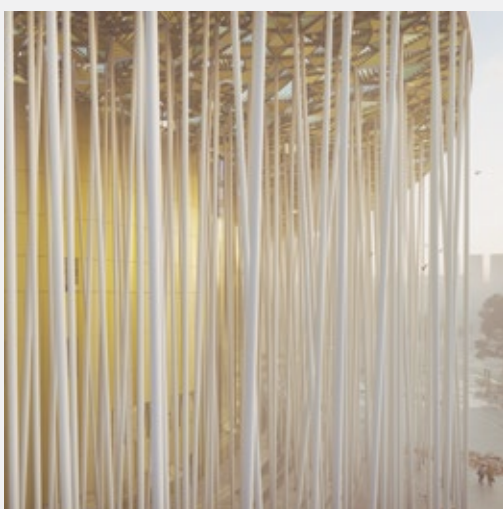
Un render dell'edificio, a sinistra, l'edificio terminato, a destra.




La pianta del livello di ingresso al teatro e una sezione dell'edificio.



La foresta di pilastri bianchi che circonda il teatro e il sistema di frangisole.



Per maggiori informazioni: <https://www.sca.design/portfolio-item/sca-wuxi-taihu-bamboo-theatre/>



28 GALAXIA TEMPLE

Mamou-Mani Architects

Consulenti: Format Engineering, DHC Charles Engineering, Teardrops

| | | | |
|-------------|-----------------|--------------------------|------------------------------|
| Luogo | Black Rock city | Tipologia | Padiglione per eventi |
| Paese | USA | | |
| Anno inizio | 2017 | Cliente | Burning man |
| Anno fine | 2018 | | |
| Area totale | 11300 mq | Contesto | Extraurbano |
| Altezza | 20 m | | |
| Lunghezza | 60 m | Strategia progettuale | Fluidità, logica algoritmica |
| Larghezza | 60 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il Galaxia temple è il padiglione principale dell'edizione 2018 del festival Burning man, un evento che ogni anno popola un deserto dell'ovest degli Stati Uniti con padiglioni, installazioni e iniziative eco-artistiche di vario genere. Progettato nell'arco di un anno dallo studio di Arthur Mamou Mani, è interamente realizzato in legno, secondo un pattern triangolare dalla caratteristica forma a spirale, composto da venti sezioni di capriate, che si avvolgono sino a formare un unico ambiente centrale, generando organicamente una torre, elemento centrale intorno a cui ruota tutta la manifestazione. Il progetto è stato evidentemente realizzato secondo una logica algoritmica, che scompone la forma circolare per punti, e ne ricomponde le spirali attraverso una variazione della posizione relativa, permettendo di ottenere quello che dall'esterno sembra essere un fiore o un vulcano, e che in occasione della giornata conclusiva dell'evento è stato bruciato. L'architettura temporanea, costruita nell'arco di poche settimane da un numero limitato di operai e volontari è stata analizzata digitalmente, simulandone il processo di costruzione e limitandone la complessità, così da garantire una produzione facilitata in un contesto dove è difficile operare con mezzi usualmente a disposizione all'interno di un qualsiasi cantiere contemporaneo.

Due immagini aeree del Galaxia temple.



Il modello digitale utilizzato per la definizione della maglia strutturale del padiglione.

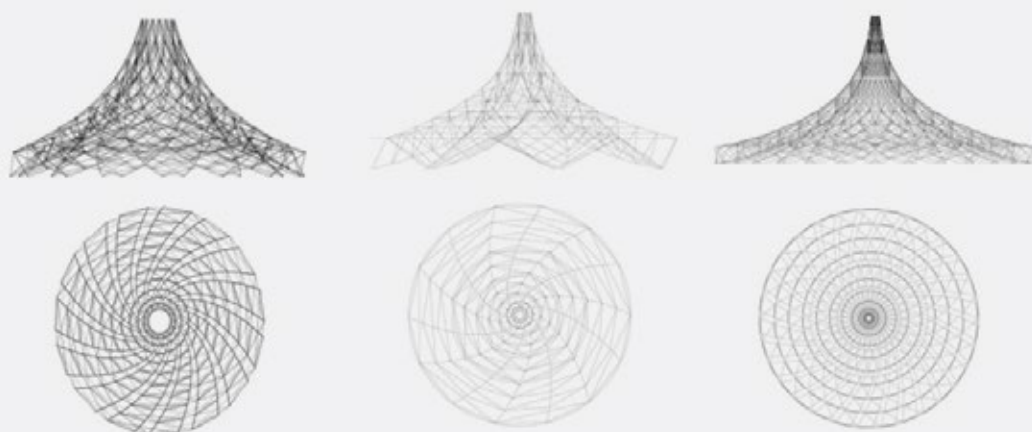


Foto della fase di costruzione e del padiglione durante un evento organizzato per il festival.



Per maggiori informazioni: <https://mamou-mani.com/project/galaxia/>

29

EXPANSION OF PORTO MATADOURO

OODA, Kengo Kuma & associates

Consulenti: Ejiri structural engineers, Mota-Engil, ESC

| | | | |
|-------------|----------------|--------------------------|--------------------------------|
| Luogo | Porto | Tipologia | Centro polifunzionale |
| Paese | Portogallo | | |
| Anno inizio | 2018 | Cliente | Municipio di Porto |
| Anno fine | In costruzione | | |
| Area totale | 20500 mq | Contesto | Urbano |
| Altezza | 30 m | | |
| Lunghezza | 150 m | Strategia progettuale | Griglia, Fluidità |
| Larghezza | 80 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Revit |
| Morfologia | Geometrica | | |

Descrizione: Il progetto del Matadouro di Porto è il risultato di un concorso internazionale che ha portato alla selezione della proposta stilata per l'occasione dallo studio OODA insieme a Kengo Kuma e associates. Si tratta di un progetto di riqualificazione rivolto al recupero dell'antico mattatoio cittadino, situato in un contesto urbano ai limiti del centro storico, posto al fianco di una delle principali arterie di collegamento cittadine. La rifunzionalizzazione degli edifici storici del mattatoio dove sono stati ricavati spazi per eventi, uffici, palestre, spazi per artigianato, giardini e un museo dell'industria, coincide con la realizzazione di un nuovo corpo, posto alla estremità nord dell'area, dove è stato inoltre prevista la costruzione di un ponte pedonale utile all'attraversamento dell'autostrada e al collegamento dell'area con la vicina stazione della metropolitana. L'elemento più riconoscibile dell'intervento è una copertura composta da migliaia di pannelli agganciati ad un sistema strutturale in travi di metallo e pilastri in acciaio. Il progetto della copertura ha richiesto un approfondito studio della radiazione solare, analisi che ha consentito di definire la diversa densità dei pannelli, maggiormente presenti in quelle aree dove si voleva garantire ombra e ristoro ai visitatori, e che si diradano in concomitanza degli edifici e di quelle zone che durante tutta la giornata ricevono meno luce naturale.

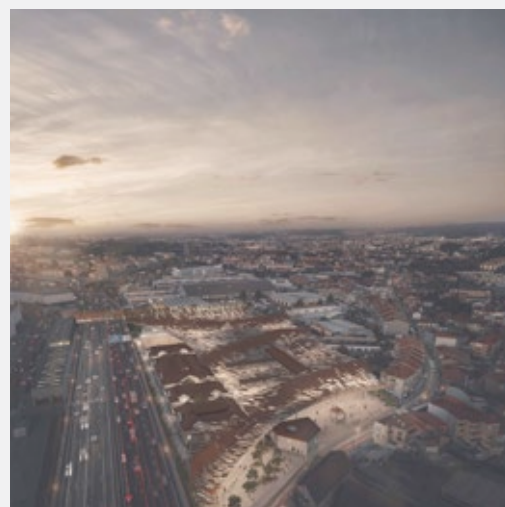
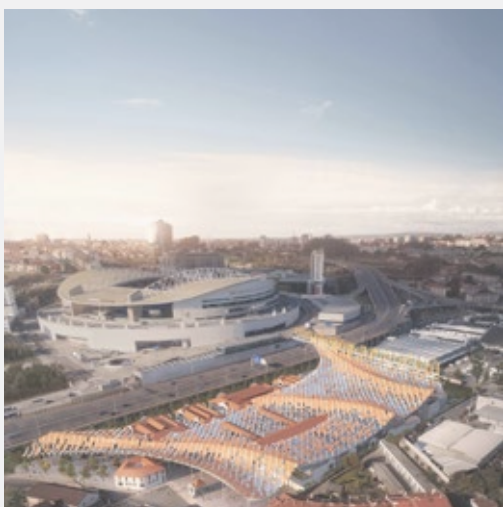
L'ingresso al complesso del Matadouro, a sinistra, e i nuovi spazi per lo sport e il tempo libero in un'immagine di progetto, a destra.



Sezione longitudinale e pianta delle coperture dell'intervento.



Due immagini che inquadrano l'intervento nel contesto cittadino, verso la periferia e il centro storico di Porto.



Per maggiori informazioni: <http://oda.eu/work/matadouro/>



30

NASA 3D PRINTED HABITAT

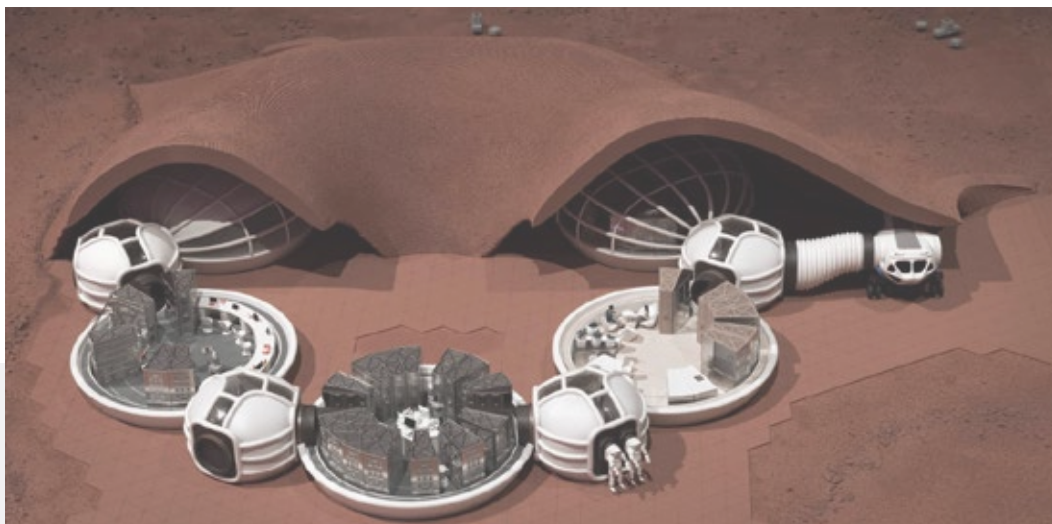
Hassell

Consulenti: Eckersley O'Callaghan, gruppi di ricerca universitari

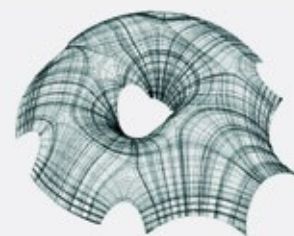
| | | | |
|-------------|----------------|--------------------------|--|
| Luogo | Marte | Tipologia | Moduli abitativi |
| Paese | - | | |
| Anno inizio | 2018 | Cliente | NASA |
| Anno fine | Non realizzato | | |
| Area totale | 4800 mq | Contesto | Extraurbano |
| Altezza | 16 m | | |
| Lunghezza | 60 m | Strategia progettuale | Ottimizzazione della performance e della produzione |
| Larghezza | 80 m | | |
| Geometria | Curvilineare | Software principali | Rhinoceros, Grasshopper, Kangaroo, Karamba, Revit |
| Morfologia | Biomorfismo | | |

Descrizione: Il progetto realizzato da Hassell in occasione del concorso 3D printed habitat challenge, organizzato dalla Nasa, è quello di un micro eco-sistema che permetterà nelle previsioni degli architetti, di creare degli avamposti umani sul pianeta rosso, articolandosi in comunità il più possibile autosufficienti. L'architettura immaginata dallo studio in collaborazione con lo studio Eckersley O'Callaghan, e con diversi gruppi di ricercatori universitari, prevede l'utilizzo di sabbia marziana da utilizzare come base per un conglomerato con cui realizzare, attraverso stampa tridimensionale delle shell, strutture funzionanti a compressione, atte a proteggere il sistema di moduli interni da variazioni di temperatura, radiazioni solari e micro-meteoriti. Il progetto è frutto di uno studio multidisciplinare che ha simulato tanto il comportamento fisico e ambientale dell'ecosistema interno, isolato dalla atmosfera marziana, quanto la costruzione della *shell* tramite sistemi robotici innovativi. La stessa struttura della shell è stata realizzata tramite metodi di *form-finding*, operati per mezzo di *software open-source* come Kangaroo e altri *add-on* disponibili all'interno del software Grasshopper. L'intero progetto è stato quindi riprodotto su un modello BIM: elaborato principale richiesto dalla Nasa per la consegna finale.

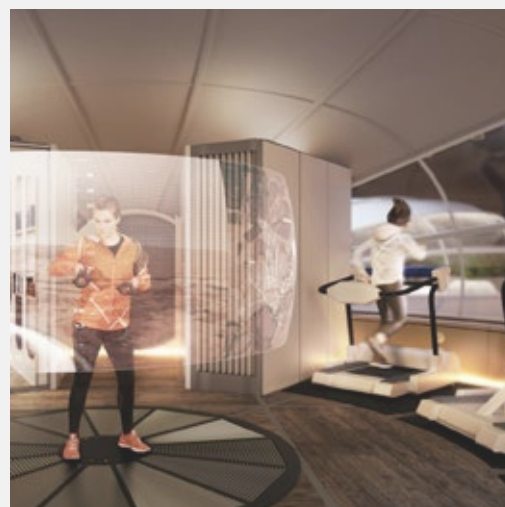
Un render dei moduli dall'interno, a sinistra, e uno spaccato tridimensionale che mostra la distribuzione degli ambienti, destra.



Uno spaccato assonometrico del progetto e le analisi strutturali sviluppate per la definizione della shell.



La copertura della stazione e i moduli abitativi interni.



Per maggiori informazioni: <https://www.hassellstudio.com/project/nasa-3d-printed-habitat-challenge>

SCHEDE DEI SOFTWARE

Data la particolare attenzione dedicata al rapporto tra progetto e strumenti digitali e quindi tra software e ricerca progettuale ho approfondito le funzionalità e i flussi di lavoro tra i diversi programmi che gli architetti utilizzano quotidianamente per sviluppare progetti di architettura in grado di affrontare la complessità contemporanea. Riporto qui delle schede sintetiche di 45 tra i principali software adottati all'interno degli studi professionali che ho visitato e citati dalle più recenti ricerche internazionali. Vista la velocità e il fervore che anima il mondo del *software* contemporaneo la lista non vuole né può essere esaustiva, è comunque di grande utilità per comprendere l'articolazione e vastità di un settore che impone un'importante influenza sul progetto di architettura contemporaneo.

I software sono stati categorizzati sulla base del tipo di licenza, proprietaria o open-source, tipologia, stand-alone o plug-in, sistemi operativi, categoria, da general-purpose software a BIM, simulazione, animazione, game-engine, render, utilità, VPL, e interoperabilità. Dato l'investimento, anche corposo che l'attivazione di licenze di utilizzo richiede agli studi, e la necessità di un supporto da parte degli sviluppatori di software, ho inserito informazioni sul costo dei diversi pacchetti e sulla possibilità per gli architetti di ricevere supporto dedicato.

Ogni programma è stato descritto nelle funzionalità principali, ovvero nei metodi di rappresentazione integrati, nella sua espandibilità tramite ulteriori plug-in e linguaggi di programmazione testuali o visuali.

1 ALLPLAN

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-------------|---------------|------|
| Azienda | Nemetschek | OS | Windows | Prima release | 1984 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | BIM | Scripting | Si |

Il pacchetto Allplan permette la progettazione e la definizione di modelli BIM, consentendo il salvataggio dei files in formato IFC e la collaborazione simultanea tra utenti diversi, il software include un sistema di VPL e supporta lo scripting con Python.

2 ARCHICAD

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Graphisoft | OS | Windows, Mac | Prima release | 1982 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | BIM | Scripting | Si |

Archicad è il più longevo tra i software BIM, consente la definizione di modelli dettagliati sia in ambiente Windows che Mac e lo scripting tramite il linguaggio interno GDL, consente l'importazione e l'esportazione di modelli IFC.

3 AUTODESK AUTOCAD

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-----------------|---------------|------|
| Azienda | Autodesk | OS | Windows, Mac | Prima release | 1982 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Autodesk Autocad è il più longevo tra i software CAD commerciali, consente la modellazione in 2D e in 3D, include limitate possibilità di scripting. Non include funzionalità BIM o di modellazione parametrica.

4 AUTODESK MAYA

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-------------|---------------|------|
| Azienda | Autodesk | OS | Windows | Prima release | 1998 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | Animazione | Scripting | Si |

Software di modellazione nato per l'animazione digitale, include metodi di subdivision surfaces avanzati, un motore fisico per simulazioni fisiche basilari ed è espandibile tramite scripting attraverso il linguaggio MEL, nativo della piattaforma, e Python.

5 AUTODESK REVIT

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-------------|---------------|------|
| Azienda | Autodesk | OS | Windows | Prima release | 2000 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | BIM | Scripting | Si |

Autodesk Revit è sicuramente il più diffuso tra i pacchetti BIM attualmente disponibili sul mercato, include come componente il VPL Dynamo, permette una modellazione dettagliata e esportazione IFC ma non include metodi di subdivision surfaces.

6 AUTODESK 3DS MAX

| | | | | | |
|------------------|--------------|------------------|-----------------|----------------------|------|
| Azienda | Autodesk | OS | Windows | Prima release | 1996 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Software per la modellazione digitale, include metodi di subdivision surfaces e motori fisici, non consente la produzione di modelli BIM ed è adottato principalmente per la produzione di render fotorealistici tramite plug-in terzi.

7 BEAM

| | | | | | |
|------------------|--------------|------------------|------------------|----------------------|------|
| Azienda | MKS Dtech | OS | Windows | Prima release | 2019 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | Interoperabilità | Scripting | No |

Pacchetto di soluzioni che garantiscono l'interoperabilità tra i pacchetti Autodesk Revit e Rhinoceros 3D attraverso la creazione di un nodo centrale che mette in comunicazione i software in entrambe le direzioni.

8 BENTLEY BUILDING

| | | | | | |
|------------------|-----------------|------------------|-------------|----------------------|------|
| Azienda | Bentley Systems | OS | Windows | Prima release | 2013 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | BIM | Scripting | Si |

Pacchetto che consente la progettazione e la modellazione dettagliata in ottica BIM, include limitate possibilità di scripting, la collaborazione tra utenti diversi e la possibilità di esportare i propri modelli in formato IFC.

9 BLENDER

| | | | | | |
|------------------|----------------|------------------|---------------------|----------------------|------|
| Azienda | Blender found. | OS | Windows, Mac, Linux | Prima release | 2002 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | No |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | Animazione | Scripting | Si |

Pacchetto per la modellazione digitale gratuito e open-source, include metodi di modellazione avanzata paragonabili a quelli inclusi nel pacchetto Maya, permette l'espansione tramite scripting attraverso i linguaggi di programmazione Python e C++.

10 BRL-CAD

| | | | | | |
|------------------|-------------|------------------|---------------------|----------------------|------|
| Azienda | US Army | OS | Windows, Mac, Linux | Prima release | 1984 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | No |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Software di modellazione nato in seno all'industria militare statunitense, open-source dal 2004, include numerosi metodi di modellazione solida, e permette l'espansione tramite un linguaggio testuale interno al software.

11 CATIA

| | | | | | |
|-----------|-------------------|-----------|-----------------|---------------|------|
| Azienda | Dassault Systemes | OS | Windows | Prima release | 1982 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Software di modellazione CAD prodotto inizialmente per la progettazione di aeromobili, adottato in architettura già negli anni 90, è attualmente utilizzato da un numero limitato di studi per la gestione di progetti complessi.

12 CINEMA 4D

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-----------------|---------------|------|
| Azienda | Maxon | OS | Windows, Mac | Prima release | 1990 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Software nato per l'animazione digitale, viene utilizzato come base per la realizzazione di render fotorealistici grazie a plug-in che ne espandono le funzionalità, permette lo scripting tramite un linguaggio interno, Python e C++.

13 CONVEYOR

| | | | | | |
|-----------|----------------|-----------|------------------|---------------|------|
| Azienda | Proving Ground | OS | Windows | Prima release | 2017 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | interoperabilità | Scripting | No |

Plug-in che permette l'interoperabilità tra i pacchetti Autodesk Revit e Rhinoceros 3D, è basato sul formato open-source 3DM nativo del pacchetto Rhinoceros 3D, e consente il trasferimento di modelli geometrici verso Revit tramite un server locale.

14 CORONA RENDERER

| | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-------------|---------------|------|
| Azienda | Render Legion | OS | Windows | Prima release | 2014 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | Render | Scripting | Si |

Plug-in per la renderizzazione disponibile per i software Autodesk 3ds max e Cinema 4D, include limitate possibilità di scripting e la possibilità di esportazione dei modelli sul software Blender.

15 DIGITAL PROJECT

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-------------|---------------|------|
| Azienda | Trimble | OS | Windows | Prima release | 2007 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | BIM | Scripting | Si |

Pacchetto basato su CATIA, originariamente sviluppato dalla Gehry Technologies, poi acquisita da Trimble, consente la realizzazione di modelli BIM e include funzionalità avanzate per la produzione.

16 DYNAMO

| | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|----------|---------------|------|
| Azienda | Autodesk | OS | Windows | Prima release | 2014 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | Si |
| Tipologia | Entrambe | Categoria | VPL | Scripting | Si |

Pacchetto VPL disponibile sia come software stand-alone che come plug-in per diversi programmi Autodesk tra cui Revit, concorrente diretto di Grasshopper 3D, si è arricchito negli anni di funzionalità e pacchetti dedicati all'architettura e al BIM.

17 ENERGY PLUS

| | | | | | |
|-----------|----------------|-----------|---------------------|---------------|------|
| Azienda | US Energy Dep. | OS | Windows, Mac, Linux | Prima release | 2001 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | Simulazione | Scripting | Si |

Pacchetto realizzato dal governo statunitense, permette analisi energetiche avanzate a partire dalle simulazioni termiche, solari, e ambientali in genere, viene adottato in simultanea ad altri software di modellazione CAD.

18 FREECAD

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|---------------------|---------------|------|
| Azienda | FreeCad team | OS | Windows, Mac, Linux | Prima release | 2002 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | No |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Pacchetto opensource gratuito sviluppato da una comunità di utenti, negli anni si è arricchito di funzionalità BIM, di simulazione della produzione robotica, analisi avanzate e renderizzazione, supporta il formato IFC e lo scripting.

19 FUSION 360

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-----------------|---------------|------|
| Azienda | Autodesk | OS | Windows | Prima release | 2013 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Il pacchetto unisce in un unico programma funzionalità di CAD CAM ed è utilizzato principalmente per la progettazione di elementi meccanici, ha trovato recentemente utilizzo anche all'interno della progettazione architettonica.

20 GALAPAGOS

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-----------------|---------------|------|
| Azienda | Mc Neel | OS | Windows, Mac | Prima release | 2011 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | plug-in | Categoria | Solver generico | Scripting | Si |

Pacchetto incluso all'interno di Grasshopper 3D, consente di adottare metodi evolutivi per la progettazione performativa, viene usualmente adottato in concomitanza con altri plug-in come Honeybee.

21 GENERATIVE COMPONENTS

| | | | | | |
|-----------|-----------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Bentley Systems | OS | Windows, Mac | Prima release | 2003 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | VPL | Scripting | Si |

Tra i primi VPL adottati in architettura, integrato all'interno di pacchetti BIM prodotti dalla Bentley Systems, è espandibile tramite diversi linguaggi di programmazione e dispone di un numero limitato di ulteriori plug-in per l'architettura.

22 GRASSHOPPER 3D

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Mc Neel | OS | Windows, Mac | Prima release | 2007 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | VPL | Scripting | Si |

Tra i più diffusi VPL adottati per il design e la progettazione architettonica, oggi integrato all'interno di Rhinoceros 3D, è espandibile tramite linguaggi di programmazione testuale e centinaia di plug-in sviluppati dalla community.

23 HONEYBEE

| | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Ladybug Tools | OS | Windows, Mac | Prima release | 2014 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | Simulazione | Scripting | Si |

Pacchetto integrabile all'interno di Rhinoceros 3D attraverso Grasshopper 3D, permette di effettuare analisi energetiche e solari su motori di analisi come Energyplus e Radiance.

24 KANGAROO PHYSICS

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Daniel Piker | OS | Windows, Mac | Prima release | 2011 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | Simulazione | Scripting | Si |

Tra i più celebri plug-in per il pacchetto Grasshopper, viene adottato in architettura per sviluppare strategie di form-finding strutturale nella definizione di shell tramite modelli simili a quelli già usati da Gaudì e Otto.

25 KARAMBA 3D

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Karamba 3D | OS | Windows, Mac | Prima release | 2013 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | Simulazione | Scripting | Si |

Plug-in per Grasshopper 3D che include funzionalità di simulazione fisica delle strutture, largamente adottato in ingegneria in concomitanza con altri pacchetti specifici, consente ottimizzazione materiale avanzata.

26 LADYBUG TOOLS

| | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Ladybug Tools | OS | Windows, Mac | Prima release | 2013 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | Simulazione | Scripting | Si |

Pacchetto per Grasshopper 3D e Dynamo, largamente utilizzato per la progettazione energetica degli edifici, permette analisi di tipo ambientale, termico, secondo funzionalità che sono state sviluppate gradualmente nell'arco di anni.

27 LUNCHBOX

| | | | | | |
|-----------|----------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Proving Ground | OS | Windows, Mac | Prima release | 2011 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | Utilità | Scripting | Si |

Pacchetto disponibile per Grasshopper 3D e Dynamo, è composto da un'ampia collezione di funzionalità utili alla progettazione di facciate e alla razionalizzazione di superfici per la produzione di architetture.

28 MAXWELL RENDER

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Next Limit | OS | Windows, Mac | Prima release | 2006 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Entrambe | Categoria | Render | Scripting | Si |

Software per la renderizzazione di immagini fotorealistiche disponibile sia come stand-alone che come plugin per Rhinoceros 3D, Cinema 4D, Sketchup, Archicad, Maya, Autodesk 3ds Max.

29 MICROSTATION

| | | | | | |
|-----------|-----------------|-----------|-------------|---------------|------|
| Azienda | Bentley Systems | OS | Windows | Prima release | 1985 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | BIM | Scripting | Si |

Software per la progettazione CAD sviluppato sin dagli anni 80, che include funzionalità BIM avanzate e include possibilità di scripting limitate, consente la lettura e la scrittura di file in formato IFC.

30 OPENFOAM

| | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|---------------------|---------------|------|
| Azienda | OpenCFD | OS | Windows, Mac, Linux | Prima release | 2004 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | Simulazione | Scripting | Si |

Pacchetto per la simulazione fluido dinamica utilizzato insieme a software di modellazione tridimensionale per adottare strategie di progettazione performativa, e l'analisi di ipotesi progettuali di massima.

31 RADIANCE

| | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|---------------------|---------------|------|
| Azienda | Greg Ward | OS | Windows, Mac, Linux | Prima release | 1985 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | No |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | Simulazione | Scripting | Si |

Software per la simulazione dei raggi solari, utilizzato in architettura per l'analisi delle ipotesi progettuali insieme ad altri software come Ladybug Tools all'interno di Grasshopper 3D e Dynamo.

32 RHINO VAULT

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | ETH Zurich | OS | Windows, Mac | Prima release | 2014 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | Gratuito | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | Simulazione | Scripting | Si |

Plug-in per Grasshopper 3D sviluppato dal Block Research Group per la simulazione strutturale di volte, è basato sul metodo Thrust Network Analysis basato ideato da Philippe Block per la sua tesi dottorale.

33 RHINOCEROS 3D

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-----------------|---------------|------|
| Azienda | Mc Neel | OS | Windows, Mac | Prima release | 1998 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Pacchetto per la modellazione 3D basato principalmente sulle NURBS, include il VPL Grasshopper 3D e dalla versione 7 sarà possibile utilizzarlo come plug-in all'interno di altri programmi come Autodesk Revit.

34 SKETCHUP

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-----------------|---------------|------|
| Azienda | Trimble | OS | Windows, Mac | Prima release | 2000 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Pacchetto di modellazione 3D sviluppato inizialmente da Google per la modellazione di architetture su Google Maps, acquisito da Trimble nel 2012, permette lo scripting tramite Ruby e include una collezione di utilità per il progetto architettonico.

35 SOLIDWORKS

| | | | | | |
|-----------|-------------------|-----------|-----------------|---------------|------|
| Azienda | Dassault Systemes | OS | Windows, Mac | Prima release | 1995 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Programma per la modellazione digitale sviluppato originariamente per la Solidworks corporation, poi acquisita da Dassault Systemes, largamente utilizzato per la progettazione in ingegneria meccanica.

36 SPECKLE

| | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|------------------|---------------|------|
| Azienda | Speckle | OS | Piattaforma web | Prima release | 2015 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | No |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | Interoperabilità | Scripting | Si |

Piattaforma di interoperabilità che connette programmi come Autodesk Revit, Rhinoceros 3D e Blender, permettendo la collaborazione remota e la visualizzazione del flusso di lavoro attraverso un'interfaccia web.

37 THE BHOM

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|---------------------|---------------|------|
| Azienda | Buro Happold | OS | Windows, Mac, Linux | Prima release | 2019 |
| Licenza | Open-source | Costo | Gratuito | Supporto | No |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | Interoperabilità | Scripting | Si |

Piattaforma per l'interoperabilità sviluppata dallo studio Buro Happold per connettere ogni tipo di programma adottato in architettura attraverso un nodo unico, il sistema ECS garantisce la possibilità di aggiungere nuove funzionalità al sistema.

38 UNITY 3D EDITOR

| | | | | | |
|-----------|--------------------|-----------|---------------------|---------------|------|
| Azienda | Unity Technologies | OS | Windows, Mac, Linux | Prima release | 2005 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | Game engine | Scripting | Si |

Motore grafico per videogiochi che permette la realizzazione di sistemi complessi animato da un motore che simula le leggi fisiche, viene adottato in architettura per creare modelli navigabili in realtà virtuale e realtà aumentata.

39 UNREAL ENGINE

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|---------------------|---------------|------|
| Azienda | Epic Games | OS | Windows, Mac, Linux | Prima release | 1998 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | Gratuito | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | Game engine | Scripting | Si |

Motore grafico per i videogiochi realizzato inizialmente dalla Epic Games per il videogioco Unreal, simula leggi fisiche e viene utilizzato dai progettisti per visitare le ipotesi progettuali in realtà virtuale e realtà aumentata.

40 VECTORWORKS

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Nemetschek | OS | Windows, Mac | Prima release | 2008 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | BIM | Scripting | Si |

Programma per la modellazione digitale per l'architettura, che include possibilità di modellazione avanzata, la definizione di modelli BIM e include un VPL interno oltre che componente per la renderizzazione, è espandibile tramite linguaggi di programmazione.

41 VISUALARQ

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Asuni | OS | Windows, Mac | Prima release | 2009 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | BIM | Scripting | Si |

Il più diffuso plug-in per il BIM disponibile per il programma Rhinoceros 3D, consente di definire modelli dettagliati, esportabili in formato IFC, e si integra con altri plug-in disponibili per il componente Grasshopper 3D.

42 VRAY

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|--------------|---------------|------|
| Azienda | Chaos Group | OS | Windows, Mac | Prima release | 1997 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Entrambe | Categoria | Render | Scripting | Si |

Software per la renderizzazione di immagini fotorealistiche disponibile sia come stand-alone che come plugin per programmi come Autodesk 3ds Max, Autodesk Revit, Maya, Rhinoceros, Sketchup, Blender e Cinema 4D.

43 WALLACEI

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-----------------|---------------|------|
| Azienda | Wallacei | OS | Windows | Prima release | 2018 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | Gratuito | Supporto | No |
| Tipologia | Plug-in | Categoria | Solver generico | Scripting | Si |

Solver generico risultato di ricerche condotte all'interno della Architectural Association di Londra, permette l'ottimizzazione di ipotesi progettuali tenendo conto di caratteristiche diverse, è disponibile come plug-in per Grasshopper 3D.

44 ZBRUSH

| | | | | | |
|-----------|--------------|-----------|-------------------|---------------|------|
| Azienda | Pixologic | OS | Windows, Mac | Prima release | 1999 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | digital sculpting | Scripting | Si |

Programma per il digital sculpting che permette la modellazione avanzata di forme organiche tramite modelli ad alta definizione, utilizzati nell'industria videoludica e in architettura per la definizione di concept durante le prime fasi del progetto.

45 3DEXPERIENCE

| | | | | | |
|-----------|-------------------|-----------|-----------------|---------------|------|
| Azienda | Dassault Systemes | OS | Piattaforma Web | Prima release | 2018 |
| Licenza | Proprietaria | Costo | A pagamento | Supporto | Si |
| Tipologia | Stand-alone | Categoria | General purpose | Scripting | Si |

Una collezione di applicativi per la modellazione digitale basati su CATIA e disponibili tramite abbonamento attraverso una piattaforma web che consente la collaborazione da remoto e la produzione di modelli attraverso browser.

BIBLIOGRAFIA

Testi di carattere filosofico, antropologico e psicologico

- Atkinson, R., Blandy, S., 2013. *Gated communities: International perspectives*, Routledge, London.
- Augé, M., 1993. *Non-lieux: Introduction à une anthropologie de la surmodernité*, tr. It., Rolland, D., Milani, C., 2001. *Non luoghi. Introduzione a una antropologia della surmodernità*, Eleuthera, Milano.
- Augé, M., 2006. *Le temps en ruines*, tr. It., Serafini, A. a cura di, *Rovine e macerie: il senso del tempo*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Augé, M., 2007. *Tra i confini. Città, luoghi, interazioni*, Pearson Italia Spa, Torino.
- Bacone, F., 1620. *Novum organum*, tr. It., De Mas, E., Rossi, P. a cura di, 1994, *Uomo e natura scritti filosofici*, Utet, Torino.
- Bacone, F., 1627. *New atlantis*. tr. It., Rossi, P. a cura di, 1954, *La nuova Atlantide e altri scritti*, Utet, Torino.
- Barthes, R. 1957. *Mythologies*, Seuil, Paris.
- Bauman, Z., 1998. *Globalization: The human consequences*, tr. It., Pesce, O., 2017. *Dentro la globalizzazione: le conseguenze sulle persone*, Laterza, Bari.
- Bauman, Z., 2010. *44 letters from the liquid modern world*, Polity Press, Cambridge.
- Bauman, Z., 2013. *Liquid modernity*, John Wiley & Sons, London.
- Bookstein, E. ed., 2015. *The Smith Tapes: Lost Interviews with Rock Stars & Icons 1969-1972*, Chronicle Books, San Francisco.
- Boscolo, P., 2006. *Psicologia dell'apprendimento scolastico: aspetti cognitivi e motivazionali*. Utet, Torino.
- Brown, N.O., 1959. *Life Against Death*, tr. It., Besana Giacomoni, S., 2002. *La vita contro la morte. Il significato psicanalitico della storia*, Adelphi, Milano.
- Carpo, M., 2019. The Natural Logic of Artificial Intelligence or, what genetic algorithms really do, *Philosophy Kitchen*, n.3, pp. 30-45.
- Castells, M., 1996. *The Rise of the Network Society*, tr. It., Turchet, L., 2014. *La nascita della società in rete*, Edizioni Bocconi, Milano.
- Ciastellardi, M., 2009. *Le architetture liquide: dalle reti del pensiero al pensiero in rete*, LED Edizioni Universitarie, Milano.
- Cruciani, A., 2009. Il linguaggio collaborativo della rete, etichette per la costruzione di un sapere bottom-up, in Ciastellardi, M., *Le architetture liquide: dalle reti del pensiero al pensiero in rete*, LED Edizioni Universitarie, Milano, pp. 49-54.
- Deleuze, G., 1988. *Le pli – Leibniz et le baroque*, tr. en., Conley, T., 1993. *The fold: Leibniz and the Baroque*, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Deleuze, G., Guattari, F. 1976. *Rhizome*, tr. en., Massumi, B. 1987. *A thousand plateaus: Capitalism and schizophrenia*, University of Minnesota, Minneapolis.
- Derrida, J., Caputo, J.D., 1997. *Deconstruction in a Nutshell*. Fordham university press, New York.
- Diamandis, P.H., Kotler, S., 2012. *Abundance: The future is better than you think*, Simon and Schuster, New York.
- Eco, U., 1962. *Opera aperta*, Bompiani, Milano.
- Eco, U., 1968. *La struttura assente: La ricerca semiotica e il metodo strutturale*, La Nave di Teseo Editore, Milano.
- Fenoglio, M.T., 2007. *Andar per luoghi: natura e vicende del legame con i luoghi*, Ananke, Torino.
- Floridi, L., 2010. *Information: A very short introduction*, Oxford University Press, Oxford.
- Floridi, L., 2014. *The fourth revolution: How the infosphere is re-shaping human reality*, Oxford University Press, Oxford.
- Floridi, L., 2015. *The onlife manifesto: Being human in a hyperconnected era*, Springer Nature, New York.
- Foucault, M., 1966a. *Utopies Et Hétérotopies*, tr. It., Moscati, A. a cura di, 2004. *Utopie eterotopie*, Cronopio, Napoli.
- Foucault, M., 1966b. *Les mots et les choses*, Parigi, tr. It., Panaitescu, E. A., 1998. *Le parole e le cose*, Biblioteca Universale Rizzoli, Milano.
- Foucault, M., 1967. *Des espaces autres*, tr. It., Tripodi, P., in Vaccaro, S. a cura di, 2001. *Spazi altri. I luoghi delle eterotopie*, Mimesis, Milano.
- Freud, S., 1905. *Drei Abhandlungen zur Sexualtheorie*, tr. It., Marietti, A.M., Colorni, R., 2012, *Tre saggi sulla teoria sessuale*, Boringhieri, Torino.
- Galimberti, U., 2002. *Psiche e techne: l'uomo nell'età della tecnica*, Feltrinelli Editore, Milano.
- Galimberti, U., 2009. *I miti del nostro tempo*, Feltrinelli Editore, Milano.
- Gehlen, A., 1940. *Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt*, tr. It., Rasini, V. a cura di, 2010, *L'uomo. La sua natura e il suo posto nel mondo*, Mimesis, Milano.
- Gehlen, A., 1957. *Zur Geschichte der Anthropologie*, tr. It., Rehberg, K.S., Mazzarella, E. a cura di, 1983. *Antropologia filosofica e teoria dell'azione*, Guida, Napoli.
- Glaser, A., 1971. *History of binary and other nondecimal numeration*, Tomash publishers, State College.
- Hebb, D.O., 1949. *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. Wiley & Sons, London.
- Hegel, G.W.F., 1812. *Wissenschaft der Logik*, tr. It., Moni, A., Cesa, C. a cura di, 1974. *La Scienza della logica*, Laterza, Bari.
- Heidegger, M., 1959. *Gelassenheit*, tr. It., Angelino, C., Fabris, A. a cura di, 1983. *L'abbandono*, il Melangolo, Genova.
- Heim, M., 1994. *The metaphysics of virtual reality*, Oxford University Press, Oxford.
- Hobbes, T., 1658. *De Homine*, tr. It., Negri, A. a cura di, 1972. *Elementi di filosofia: L'uomo–Il corpo*, UTET, Torino.
- Isman, F., 2016. *Andare per le città ideali*, Il Mulino, Bologna.
- Johnson-Laird, P.N., Tabossi, P., 1990. *La mente e il computer: introduzione alla scienza cognitiva*, Il Mulino, Bologna.
- Jonas, H., 1979. *Das Prinzip Verantwortung*, tr. It., Portinaro, P. P. a cura di, 2009, *Il principio responsabilità*, Giulio Einaudi Editore, Milano.
- Kant, I., 1781. *Kritik der reinen Vernunft*, tr. It., Gentile, G., Lombardo

- Radice, G. a cura di, 2005, *Critica della ragion pura*, Laterza, Bari.
- Korzybski, A., 1958. *Science and sanity: An introduction to non-Aristotelian systems and general semantics*, Institute of General Semantics, New York.
- Lévy, P., 1995. *Qu'est-ce que le virtuel?*, tr. It., Colò, M., Di Sopra, M. a cura di, 1995, *Il virtuale*, Raffaello Cortina Editore, Milano.
- Lyotard, J.F., 1979. *La condition postmoderne: rapport sur le savoir*, Minuit, Paris.
- Marramao, G., 1995. *Dopo il Leviatano. Individuo e comunità nella filosofia politica*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Marx, K., 1844, *Oekonomisch-philosophische Manuskrifte aus dem Jahre 1844*, tr. It., Bobbio, N. a cura di, *Manoscritti economico-filosofici del 1844*, Giulio Einaudi editore, Torino.
- McLuhan, M., Fiore, Q., 1967. *The medium is the message*, Penguin Books, New York.
- Nancy, J.L., 1994. *Les muses*. Galilée, Parigi.
- Natoli, S., 1991, *Télos, Skopós, éschaton. Tre figure della storicità*, Il Centauro, Bologna.
- Negroponte, N., 1995. Bits and atoms, *Wired magazine*, n.1, pp.1-9.
- Negroponte, N., 1996. *Being digital*, Vintage Books, New York.
- Newman, M.E., Barabási, A.L.E., Watts, D.J., 2006. *The structure and dynamics of networks*. Princeton University Press, Princeton.
- Newman, R., Chang, V., Walters, R.J., Wills, G.B., 2016. Web 2.0 - The past and the future, *International Journal of Information Management*, vol. 36, n.4, pp. 591-598.
- Newton, I., 1687. *Philosophiae naturalis principia mathematica*, tr. En., Cohen, B., Whitman, A., Budenz, J., 2016. *The Principia: The Authoritative Translation: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, University of California Press, Oakland.
- Norris, C., 1987. *Derrida*, Harvard University Press, Cambridge.
- Platone, *Alkibiades Deuterios*, tr. It., Puliga, D. a cura di, 1995, *Alcibiade Minore*, Rizzoli, Milano.
- Sabot, P., 2012. Linguaggio, società, corpo - Utopie ed eterotopie a partire da Michel Foucault, *Materiali Foucaultiani*, vol. 1, pp.17-35.
- Scramaglia, R., 2018. *Individui e società tra mutamento e persistenze: Frammenti di realtà nell'era digitale*, Hoepli, Milano.
- Sennett, R., 2007. *The culture of the new capitalism*, Yale University Press, London.
- Sennett, R., 1992. *Uses of Disorder. Personal Identity and City Life*, Norton, London.
- Sennett, R., 2018. *Building and dwelling: ethics for the city*, Allen Lane, London.
- Severino, E., 1993. *Il declino del capitalismo*, Rizzoli, Milano.
- Severino, E., 2011. *Il destino della tecnica*. Biblioteca Universale Rizzoli, Milano.
- Sinclair, J., 1991. *La società dell'immagine, la pubblicità come industria e ideologia*, Franco Angeli Editore, Milano.
- Soja, E.W., 1985. The spatiality of social life: towards a transformative retheorisation, in Gregory, D., Urry, J. a cura di, *Social relations and spatial structures*, Macmillan, London, pp. 90-127.
- Taleb, N.N., 2007. *The black swan: The impact of the highly improbable*, Vol. 2, Random House, New York.
- Taylor, M.C., 2001. *The moment of complexity: Emerging network culture*, University of Chicago Press, Chicago.
- Thurner, N., 2009. Proiettili d'argento nella rete, Frederick Brooks: un punto di partenza tecnico per una riflessione filosofica sulla natura del software e delle architetture digitali, in Ciastellardi, M., *Le architetture liquide: dalle reti del pensiero al pensiero in rete*, LED Edizioni Universitarie, Milano, pp.145-153.
- Weber, M., 1919. *Politik als Beruf*, tr. It., Cacciari, M. a cura di, 2018. *La politica come professione, il lavoro intellettuale come professione*, Mondadori, Milano.
- Zamperini, A., 1998, *Psicologia sociale della responsabilità*, Utet, Torino.
- Testi su teoria e storia della progettazione**
- Alberti, L.B., 1485. *De Re Aedificatoria Libri X*, tr. It., Orlandi, G. 1966. *L'architettura*, Il Polifilo, Milano.
- Alexander, C., 1964. *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge.
- Alexander, C., Ishikawa S., Silverstein. M., 1977. *A Pattern Language*, Oxford University Press, Oxford.
- Alien, S., 1999. *Points+Lines: diagrams and projects for the city*, Princeton Architectural Press, Princeton.
- Allen, S., 1996. Field conditions, *Architectural Design*, vol. 66, n.2, pp.21-21.
- Anderson, D., 2017. *Imaginary cities: a tour of dream cities, nightmare cities, and everywhere in between*, University of Chicago Press, Chicago.
- Arredi, M.P., 2006. *Analitica dell'immaginazione per l'architettura*, Marsilio, Venezia.
- Bertelli, G., 2016. *Creatività e trasformazione*, Marinotti, Milano.
- Bevan, R., 2020. Il vero e l'autentico nell'era digitale, *Domus*, n. 1044, pp. 7-11.
- Bogner, D., Pakesch, P., Cook, P., Price, C., 2004. *Peter Cook And Colin Fournier: Friendly Alien*, Hatje Cantz Publishers, Berlino.
- Bottazzi, R., 2018. *Digital Architecture Beyond Computers: Fragments of a Cultural History of Computational Design*, Bloomsbury Publishing, London.
- Brandi, C., 1967. *Struttura e architettura*, Giulio Einaudi editore, Torino.
- Brennan, A., 2017. Dymaxion House: Ship Shape, in Leatherbarrow, D., Eisenschmidt, A. a cura di, *Companion to the History of Architecture*, vol. 4, John Wiley & Sons, London, pp.101-112.
- Bucci, F., Mulazzani M. 2000. *Luigi Moretti, Opere e scritti*, Electa, Milano.
- Burkhardt, B., 2016. Natural structures-the research of Frei Otto in natural sciences, *International Journal of Space Structures*, vol.31, n. 2, pp. 9-15.
- Burkhardt, B., Otto, F., 1978. *Multihalle Mannheim*, Institute for Lightweight Structures, Stuttgart.
- Cache, B., Beauce, P., 2007, *Objectile Patrick Beaucé + Bernard Cache*, Springer, Vienna.
- Cappellieri, A., 1996. *Philip Johnson, dall'International Style al Decostruttivismo*, Clean, Napoli.
- Carpo, M., 2013. *Digital Turn in Architecture 1992-2012*, John Wiley & Sons, London.
- Carpo, M. 2016. Parametric notations: The birth of the non-standard, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp. 24-29.
- Carpo, M., 2017. *The second digital turn: design beyond intelligence*, MIT press, Cambridge.
- Carta, S., 2019. *Big data, code and the discrete city: Shaping public realms*. Routledge, London.
- Ceccato, C., 2001. Integration: Master, Planner, Programmer, Builder, in Soddu, C. a cura di, *Proceedings of Generative Art conference*, Generative Art, Milano, pp. 142-154.
- Chiurazzi, G., 2007. *Il postmoderno. Il pensiero nella società della comunicazione*. Pearson Italia Spa, Torino.
- De Carlo, G., Bunčuga, F., 2014. *Conversazioni su architettura e libertà*, Elèuthera, Milano.
- Dellapiana, E., Montanari, G., 2015. *Una storia dell'architettura contemporanea*, Utet Università, Torino.
- De Sessa, C., 1990. *Capire lo spazio architettonico: studi di ermeneutica spaziale*, Officina Edizioni, Roma.
- Diemoz, L. 1936. Propositi di artisti, Luigi Moretti Architetto, *Quadri IV*, vol. 3, n.1, pp. 7-13.
- Eisenman, P., 1999. Una lezione di architettura contemporanea, *Rassegna di Architettura e Urbanistica*, n. 97, pp. 21-35.
- Dunham-Jones, E., Williamson, J., 2008. *Retrofitting suburbia: urban design solutions for redesigning suburbs*, John Wiley & Sons, London.

- Eisenman, P., 2004. *Eisenman inside out: selected writings, 1963-1988*. Yale University Press, London.
- Eмили, A.R., 2003. *Richard Buckminster Fuller e le neoavanguardie*, Kappa Edizioni, Bologna.
- Frazer, J. H., 1995. Architectural experiments in cyberspace, *Architectural design*, vol. 65, n.3, pp.78-79.
- Frazer, J. H. 2016. Parametric computation: History and future, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp. 18-23.
- Fuller, R.B., 1969. *Operating manual for spaceship earth*. Estate of R. Buckminster Fuller.
- Fuller, R.B., 1975. Architect as world planner, in Conrads, U., *Programs and manifestoes on 20th-century architecture*, MIT press, Cambridge, pp.179-181.
- Fuller, R.B., Applewhite, E.J., 1975. *Synergetics: explorations in the geometry of thinking*. Charles Scribner's Sons, New York.
- Gage, M.F., 2016. A Hospice for Parametricism, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp.128-133.
- Gallo, G., Pellitteri, G., 2018, Luigi Moretti, from History to Parametric Architecture, in Huang, W., Williams, M., Luo, D., Yi-Sin, W., Yuming, L. a cura di, *Learning, Prototyping, and Adapting, Short Paper Proceedings of the 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA, Beijing*, pp. 209-214.
- Gallo, G., Wirz, F., Tuzzolino, G., 2019. Architects as tool consumers: discovering trends in software and programming languages for architecture with google trends, in Öztürk, O. a cura di, *Archtheo 19, proceedings of Dakam Archtheo conference*, Archtheo, Istanbul, pp. 197-206.
- Galofaro, L., 1999. *Eisenman digitale: uno studio dell'era elettronica*, Testo & immagine, Torino.
- Glaeser, L., Otto, F., 1978. *The Work of Frei Otto and His Teams, 1955-1976*, Institute for Lightweight Structures, Stuttgart.
- Goldberger, P., 2015. *Building art: The life and work of Frank Gehry*, Vintage Books, New York.
- Gray, R.W., 1994. Fuller's Dymaxion™ map, *Cartography and Geographic Information Systems*, n.21, pp. 385-397.
- Gregotti, V., 1966. *Il territorio dell'architettura*, Feltrinelli, Milano.
- Gregotti, V., 1991. *Dentro l'architettura*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Gregotti, V., 2002. *Architettura, tecnica, finalità*, Laterza, Bari.
- Grosz, E., 2001. *Architecture from the outside: Essays on virtual and real space*, MIT press, Cambridge.
- Hillier, B., Leaman, A., Stansall, P., Bedford, M., 1976. Space syntax, *Environment and Planning, Planning and design*, vol. 3, n. 2, pp.147-185.
- Ingels, B., 2009. *Yes is more: an archicom on architectural evolution*. Taschen, Colonia.
- Jencks, C., 1973. *Modern movements in architecture vol. 5*, Editions Mardaga, Bruxelles.
- Jodidio, P., 2009. *Zaha Hadid, Complete Works, 1979-2009*, Taschen, Colonia.
- Kolarevic, B. ed., 2004. *Architecture in the digital age: design and manufacturing*, Taylor and Francis, London.
- Koolhaas, R., Mau, B. 1995. *S, M, L, XL*, Monacelli Press, New York.
- Koolhaas, R., 2019. Museum in the Countryside: Aesthetics of the Data Centre. *Architectural Design*, vol. 89, n. 1, pp.60-65.
- Krautheimer, R., 1994. Le tavole di Urbino, Berlino e Baltimora riesaminate, in Millon, H.A., Lampugnani, V.M., a cura di, *Rinascimento da Brunelleschi a Michelangelo*, Bompiani, Milano, pp. 233-257.
- Kumar, S., 2006. Architecture and Industrial Design, in Luhan, G. A. a cura di, *Synthetic Landscapes: Proceedings of the 25th Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture*, ACADIA, Louiseville.
- La Cecla, F., 2008. *Contro l'architettura*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Le Corbusier, 1927. *Vers une architecture*, tr. En, Goodman, J. 2007. *Toward an architecture*, Getty research institute, Los Angeles.
- Liddell, I., 2015. Frei Otto and the development of gridshells, *Case Studies in Structural Engineering*, vol. 4, n.2, pp. 39-49.
- Lippolis, E., Livadiotti, M., Rocco, G., 2007. *Architettura greca, Storia e monumenti del mondo della polis dalle origini al V Secolo*, Mondadori, Milano.
- López Pardo, F., Arruda, A.M., Escribano Cobo, G., Guerrero Ayuso, V.M., Medas, S., Mederos Martín, A., Ruiz Cabrero, L.A., Wagner, C.G., 2010. Il progetto HUM2006-05196:Nautica mediterranea e navigazioni oceaniche nell'antichità. Fondamenti interdisciplinari per lo studio (storici, archeologici, iconografici ed etnografici). Il problema del versante atlantico, *Navis. Archeologia, Storia, Etnologia Navale*, n. 4, pp. 305-310.
- Lynn, G., 1993. Architectural Curvilinearity, The Folded, the Pliant and the Supple, *Architectural Design*, vol. 63, n. 2, pp. 8-15.
- Lynn, G., 1996. Blobs, or why tectonics is square and topology is groovy, *Any magazine*, n. 14, pp.58-62.
- Lynn, G., 2013. *Folding in Architecture (1993)*, Academy Editions, London.
- Lynn, G., Kelly, T., 1999. *Animate form*, Princeton Architectural Press, Princeton.
- Mayne, L.Y., 2013. *Skins, envelopes, and enclosures: concepts for designing building exteriors*, Routledge, London.
- McCullough, M., 2006. 20 years of scripted space, *Architectural Design*, vol. 76, n. 4, pp.12-15.
- McHale, J., 1964. *R. Buckminster Fuller*, Il Saggiatore, Milano.
- McLeod, V., 2018. *Atlas of brutalist architecture*, Phaidon, London.
- Menges, A., 2006. Polymorphism, *Architectural Design*, vol. 76, n. 4, pp.78-87.
- Menges, A. 2016. Computational material culture, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp. 76-83.
- Menges, A., Ahlquist, S., 2011. *Computational design thinking: computation design thinking*, John Wiley & Sons, London.
- Mitterer, W., 2015. Natura, Scienza, Architettura. *Bioarchitettura*, n. 91, pp. 25-37.
- Morel, P., 2019. The Origins of Discretism: Thinking Unthinkable Architecture, *Architectural Design*, vol. 89, n. 2, pp. 14-21.
- Moretti, L. 1953. Strutture e sequenze di Spazi, *Spazio*, vol. 3, n. 5, pp. 34-65.
- Moretti, L. 1957. Forma come struttura, *Spazio*, vol. 6, n. 4, pp. 16-21.
- Moretti, L. 1971. Ricerca matematica in architettura e urbanistica, *Moebius*, vol.4, n.1, pp. 30-53.
- Moretti, L., Figus, G. 1951. Struttura come forma, *Spazio*, vol. 1, n.7, Roma, pp. 21-30.
- Moussavi, F., Zaera Polo, A., 1995. Yokohama International Port Terminal. *AA Files*, vol 29, Architectural Association, London, pp.14-21.
- Munari, B., 1977. *Fantasia*, Laterza, Bari.
- Munari, B., 1981. *Da cosa nasce cosa: appunti per una metodologia progettuale*, Laterza, Bari.
- Nerdinger, W., 2005. *Frei Otto: Complete Works: Lightweight Construction, Natural Design*, Birkhäuser, Basel.
- Norberg-Schulz, C., 2019. Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture (1979), in Cody, J., Siravo, F. a cura di, *Historic Cities: Issues in Urban Conservation*, Getty Publications, Los Angeles, pp. 31.
- Novak, M., 1991. Liquid Architectures in Cyberspace, in Benedikt, M. a cura di, *Cyberspace*, MIT press, Cambridge, pp. 225-254.
- Nowacki, H. 2006. Developments in Fluid Mechanics Theory and Ship Design before Trafalgar, *Max Planck Institute for the History of Science*, Berlin, pp. 8-17.
- Otto, F., 2003. *Occupying and connecting*, Edition Axel Menges, Stuttgart.
- Otto, F., Barthel, R., 1984. *L'architettura della natura: forme e costruzioni della natura e della tecnica e processi della loro formazione*, Il Saggiatore, Milano.
- Otto, F., Rasch, B., 1995. *Finding Form: towards an architecture of the minimal*, Axel Menges, Stuttgart.

- Perrella, S., 1998. Topological architecture and the ambiguous sign (The work of Bernard Cache and Objectile), *Architectural Design*, vol. 68, n. 3, pp.66-69.
- Peteinarelis, A., 2016. Frei Otto's contribution-Legacy to Parametric design and material computation, in Guimãres, N., Paio, A. Oliveira, S., Crespo Osório, F., João Oliveira, M. a cura di, *Architecture InPlay2016 conference proceedings*, Architecture InPlay, Lisbon, pp. 45-55.
- Picon, A., 2010. *Digital culture in architecture: an introduction for the design professions*, Birkhaeuser, Boston.
- Portoghesi, P., 1980. La fine del proibizionismo in la presenza del passato, *catalogo della Mostra Internazionale di Architettura di Venezia*, La Biennale di Venezia, Venezia, pp.9-14.
- Ratti, C., Claudel M., 2015. *Open source architecture*, Thames & Hudson, London
- Reichlin, B., Tedeschi, L. 2010. *Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività tra barocco e informale*, Electa, Milano.
- Riccobono, A., 2014. *Architectural design in the Digital Era. Identifying computer influences and new expressive trends in current architecture*. tesi dottorale, Università degli studi di Palermo, Palermo.
- Roseti, C., 1997. *La decostruzione e il decostruttivismo: pensiero e forma dell'architettura*, Gangemi, Roma.
- Sacchi, A. L., 2018. How Drawing Changes, *diségno*, vol. 1, n.3, pp. 131-142.
- Schumacher, P., 2009. Parametricism: A new global style for architecture and urban design, *Architectural Design*, vol. 79, n. 4, pp.14-23.
- Schumacher, P., 2010. The Meaning of MAXXI-Concepts, Ambitions, Achievements, *MAXXI: Museum of XXI Century Arts*, Rizzoli International Publications, New York, pp.18-39.
- Schumacher, P. 2011. *The Autopoiesis of Architecture: a new framework for Architecture Vol. 1*, John Wiley & Sons, London.
- Schumacher, P., 2015. Design Parameters to Parametric Design, in Kanaani, M., Kopec, D. a cura di, *The routledge companion for Architecture Design and Practice: Established and Emerging Trends*, Routledge, London, pp.3-20.
- Schumacher, P., 2016a. *Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's Agenda for the 21st Century*. John Wiley & Sons, London.
- Schumacher, P., 2016b. Formalism and Formal Research, *Arketipo*, n. 104, pp.18-39.
- Schumacher, P., 2018. Design as Second Nature, *Catalogo della Mostra MUAC*, Museo Universitario Arte Contemporaneo, Città del Messico, pp. 12-27.
- Sieden, L., 2000. *Buckminster Fuller's universe: an appreciation*, Basic Books, New York.
- Stenson, M.W., 2017. Christopher Alexander: Patterns, Order, and Software, in Stenson, M.W., *Architectural Intelligence: How Designers and Architects Created the Digital Landscape*, MIT Press, Cambridge, pp. 67-75.
- Tuzzolino, G.F., 2001. *Cardella, Pollini: architettura e didattica*, L'epos, Palermo.
- Tuzzolino, G.F., 2020. Decifrare, e come, le scritture dei territori, in Lima, A. I. a cura di, *Giancarlo De Carlo, Visione e valori*, Quodlibet, Roma, pp. 63-73.
- Ulrich, K.T., 2011. *Design: Creation of artifacts in society*, University of Pennsylvania, Philadelphia.
- Venturi, P., Rago, S., 2017. Da Spazi a Luoghi, *Aiccon*, vol.13, n.1, pp.17-25.
- Venturi, R., 1966. *Complexity and contradiction in architecture*, The Museum of Modern Art, New York.
- Venturi, R., Robert, I.V., Brown, D.S., Izenour, S., Steven, B., 1972. *Learning from Las Vegas: the forgotten symbolism of architectural form*, MIT press, Cambridge.
- Viati Navone, A. 2010. Un nuovo linguaggio per il pensiero architettonico. Ricerca operativa e architettura parametrica, in Reichlin, M., Tedeschi, L. a cura di, *Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività tra barocco e informale*, Electa, Milano, pp. 409-419.
- Vitruvio M. P. *De Architettura Libri Decem*, tr. It, Ferri, S., 1960. *Architettura Libri I-VII*, Palombi, Roma.
- Weinstock, M., 2010. *The architecture of emergence - the evolution of form in nature and civilization*, Wiley & Sons, London.
- Zambelli, M., 2007. *Tecniche di invenzione in architettura: gli anni del decostruttivismo*, Marsilio, Venezia.

Testi sull'applicazione di tecniche digitali alla progettazione

- Adriaenssens, S., Barnes, M.R., 2001. Tensegrity spline beam and grid shell structures, *Engineering structures*, n. 23, pp. 29-36.
- Adriaenssens, S., Ney, L., Bodarwe, E., Williams, C., 2010. Dutch Maritime Museum: Form-finding of an irregular faceted skeletal shell-Part b, in Domingo, A., Lazaro, C. a cura di, *Symposium of the International Association for Shell and Spatial Structures*, Editorial Universitat Valencia. pp. 356-366.
- Bafna, S., 2003. Space syntax: A brief introduction to its logic and analytical techniques, *Environment and behavior*, vol. 35, n. 1, pp. 17-29.
- Bletzinger, K.U., Ramm, E. 2014. Computational form finding and optimization, in Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., Willems, C. a cura di, *Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization*, Taylor and Francis, London, pp. 45-56.
- Block, P., 2009. *Thrust network analysis: exploring three-dimensional equilibrium*, Tesi dottorale, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Burry, M., 2011. *Scripting cultures: Architectural design and programming*, John Wiley & Sons, London.
- Caragliu, A., Del Bo, C., Nijkamp, P., 2011. Smart cities in Europe, *Journal of urban technology*, vol. 18, n. 2, pp.65-82.
- Castro, H., Putnik, G., Castro, A., Fontana, R.D.B., 2019. Open Design initiatives: an evaluation of CAD Open Source Software, *CIRP*, n. 84, pp.1116-1119.
- Catmull, E., Clark, J., 1978. Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes, *Computer-aided design*, vol. 10, n. 6, pp. 350-355.
- Chen, G., Xiong, Q., Morris, P.J., Paterson, E.G., Sergeev, A., Wang, Y., 2014. OpenFOAM for computational fluid dynamics, *Not. AMS*, vol. 61, n.4, pp.354-363.
- Chikofsky, E.J., Cross, J.H., 1990. Reverse engineering and design recovery: A taxonomy, *IEEE software*, vol. 7, n.1, pp.13-17.
- Cubukcuoglu, C., Ekici, B., Tasgetiren, M.F., Sariyildiz, S., 2019. OP-TIMUS: Self-Adaptive Differential Evolution with Ensemble of Mutation Strategies for Grasshopper Algorithmic Modeling. *Algorithms*, vol. 12, n. 7, pp. 141.
- Davis, D., 2013. *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, Tesi dottorale, RMIT University, Melbourne.
- De Boor, C., 1978. *A practical guide to splines*, Springer, New York.
- De Casteljaou, P. 1963. *Courbes et Surfaces à Pôles*, Technical Report, Citröen, Paris.
- DeRose, T., Kass, M., Truong, T., 1998. Subdivision surfaces in character animation. in Cunningham, S., Bransford, W., Cohen, M. F. a cura di, *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, SIGGRAPH, New York, pp. 85-94.
- Deutsch, R., 2019. *Superusers: design technology specialists and the future of practice*. Routledge, London
- Evola, G., Giallo, G., Iannace, G., Marletta, L., Sicurella, F., 2010. Le caratteristiche acustiche del teatro greco romano di Taormina attraverso misure sperimentali e simulazione numerica, in *Atti di convegno del 37° convegno nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica*, SIREA, Siracusa. pp. 120-124.
- Farin, G.E., Farin, G., 2002. *Curves and surfaces for CAGD: a practi-*

- cal guide. Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Farin, G., Hoschek, J., Kim, M.S., a cura di, 2002. *Handbook of computer aided geometric design*, Elsevier, Amsterdam.
- Farsi, M., Daneshkhah, A., Hosseinian-Far, A., Jahankhani, H., 2020. *Digital Twin Technologies and Smart Cities*, Springer, Berlin.
- Forbes, L.H., Ahmed, S.M., 2010. *Modern construction: lean project delivery and integrated practices*. CRC Press, Cleveland.
- Foster and Partners, 2019. *CSER Report May 2018 - April 2019*, Foster and Partners, London.
- Fox, M., 2016. *Interactive architecture*, Princeton Architectural Press, Princeton.
- Germanà, M.L., 2019. Technology and Architectural Heritage: Dynamic Connections. in Hawkes, D., Bougdah, H., Rosso, F., Cavalagli, N., Ghoneem, M.Y.M., Alalouch, C., Mohareb, N., a cura di, *Conservation of Architectural Heritage*, Springer, Cham, pp. 77-92.
- Gramazio, F., Kohler, M., D'Andrea, R., 2012. *Flight Assembled Architecture*, Editions HYX, Orléans.
- Henne, M., Hickel, H., 1996. The Making of Toy Story, *Compcon*, IEEE, Santa Clara, pp. 463-468.
- Hensel, M., Menges, A. Weinstock, M., 2004. *Emergence: morphogenetic design strategies*, Wiley-Academy, Chichester.
- Jacobsen, N.G., Fuhrman, D.R., Fredsøe, J., 2012. A wave generation toolbox for the open-source CFD library: OpenFoam®, *International Journal for numerical methods in fluids*, vol.70, n.9, pp.1063-1088.
- Jo, S.J., Jones, J., Grant, E., 2018. Trends in the application of CFD for architectural design, in Wingert-Playdon, K. a cura di, *Proceedings of 2018 EAAE international conference*, ARCC, Philadelphia, pp. 257-265.
- Joosten, S.K., 2015. *Printing a stainless steel bridge: An exploration of structural properties of stainless steel additive manufactures for civil engineering purposes*, Tu Delft, Delft.
- Kotnik, T., 2010. Digital architectural design as exploration of computable functions. *International journal of architectural computing*, vol. 8, n. 1, pp. 1-16.
- Liu, C.L. Lu, J.D., 2004. Analysis on AutoCAD DXF file format and the 2nd development graphics software programming, *Micro-computer Development*, vol. 9, pp.101-104.
- Llabres, E., Rico, E., 2016. Relational Urban Models: Parameters, Values and Tacit Forms of Algorithms. *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp.84-91.
- Mackey, C.C.W., 2015. *Pan climatic humans: shaping thermal habits in an unconditioned society*, tesi dottorale, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Mahmoud, A.H.A., Elghazi, Y., 2016. Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns, *Solar Energy*, n. 126, pp. 111-127.
- Menezes, A.C., Cripps, A., Bouchlaghem, D., Buswell, R., 2012. Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap, *Applied energy*, n. 97, pp. 355-364.
- Ney, L., Adriaenssens, S., 2014. Shaping forces, in Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., Williams, C. a cura di, *Shell Structures for Architecture*. Routledge, London, pp. 29-34.
- Nießner, M., Loop, C., Meyer, M., Derose, T., 2012. Feature-adaptive GPU rendering of Catmull-Clark subdivision surfaces, *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 31, n.1, pp. 16-37.
- Oxman, R., 2006. Theory and design in the first digital age, *Design studies*, n.27, pp. 229-265.
- Peters, B., 2018a. Designing Environments and Simulating Experience: Foster + Partners Specialist Modelling Group, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley & Sons, London, pp.94-105.
- Peters, B., 2018b. Parametric environmental design: Simulation and generative processes, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley and Sons, London, p. 39-52.
- Peters, B., 2018c. Designing atmospheres: simulating experience, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley and Sons, London, p. 53-68.
- Peters, B., 2018d. BIG Ideas: information driven design, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley and Sons, London, p. 69-78.
- Peters, B., Peters, T. 2018. Computing the environment: design workflows for the simulation of sustainable architecture, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley and Sons, London, pp. 7-9.
- Peters, T., 2018. New dialogues about energy, in Peters, B., Peters, T. a cura di, *Computing the Environment: Digital Design Tools for Simulation and Visualisation of Sustainable Architecture*, John Wiley & Sons, London, p. 14-19.
- Piasek, R., Vickers, J., Lowry, D., Scotti, S., Stewart, J., Calomino, A., 2010. *Technology area 12: Materials, structures, mechanical systems, and manufacturing road map*, NASA Office of Chief Technologist, Washington.
- Piegl, L., Tiller, W., 1995. *The NURBS Book. Monographs in Visual Communications*, Springer, Berlin.
- Piermarini, E., Nuttall, H., May, R., Janssens, V.M., Manglesdorf, W., Kelly, T., 2018. Morpheus Hotel, Macau—a paradigm shift in computational engineering. *Steel Construction*, vol. 11, n. 3, pp.218-231.
- Piker, D., 2013. Kangaroo: form finding with computational physics. *Architectural Design*, vol. 83, n. 2, pp.136-137.
- Poinet, P., Stefanescu, D., Papadonikolaki, E., 2020. May. SpeckleViz: A Web-based Interactive Activity Network Diagram for AEC, in Chronis, A., Wurzer, G., Lorenz, W. E., Herr, C. M., Pont, U., Cupkova, D., Wainer, G. a cura di, *SimAUD 2020: Proceedings of the 11th annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, SimAUD, pp. 419-420.
- Pottmann, H., Asperl, A., Hofer, M., Kilian, A., 2007. *Architectural geometry*, Bentley Institute Press, Exton.
- Pratt, M.J., 2004. A new ISO 10303 (STEP) resource for modeling parameterization and constraints, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 4, n. 4, pp. 339-351.
- Reichert, S., Schwinn, T., La Magna, R., Waimer, F., Knippers, J., Menges, A., 2014. Fibrous structures: an integrative approach to design computation, simulation and fabrication for lightweight, glass and carbon fibre composite structures in architecture based on biomimetic design principles, *Computer-Aided Design*, n.52, pp.27-39.
- Rippmann, M., Lachauer, L., Block, P., 2012. Interactive vault design, *International Journal of Space Structures*, vol 27, n. 4, pp.219-230.
- Roudsari, M.S., Pak, M., Smith, A., 2013. Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design, in Wurtz, E., Roux, J. J. a cura di, *Proceedings of the 13th international IBPSA conference*, Chambery, pp. 3128-3135.
- Sederberg, T.W., Zheng, J., Bakenov, A., Nasri, A., 2003. T-splines and T-NURCCs, *ACM transactions on graphics (TOG)*, vol. 22, n. 3, pp.477-484.
- Senatore, G., Piker, D., 2015. Interactive real-time physics: an intuitive approach to form-finding and structural analysis for design and education, *Computer-Aided Design*, n. 61, pp.32-41.
- Showkatbakhsh, M., Erdine, E., Rodriguez, A.L., 2020. Multi-Objective Optimization of Robotically Bent In-Situ Reinforcement

- System, in Chronis, A., Wurzer, G., Lorenz, W. E., Herr, C. M., Pont, U., Cupkova, D., Wainer, G. a cura di, *SimAUD 2020: Proceedings of the 11th annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, SimAUD, pp. 263-275.
- Stiny, G., 1980. Introduction to shape and shape grammars, *Environment and planning B: planning and design*, n.7, pp.343-351.
- Streitz, N.A., 2011. Smart cities, ambient intelligence and universal access, in Stephanidis, C. a cura di, *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, Springer, Orlando, pp. 425-432.
- Spyropoulos, T., 2016. Behavioural Complexity: Constructing Frameworks for Human-Machine Ecologies, *Architectural Design*, vol. 86, n. 2, pp. 36-43.
- Sutherland, I., 1963. *Sketchpad, a man-machine graphical interface*, tesi dottorale, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Taleghani, M., 2018. Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 81, pp. 2011-2018.
- Tan, G., Zhu, X., Liu, X., 2017. A free shape 3d modeling system for creative design based on modified catmull-clark subdivision, *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, n.5, pp.6429-6446.
- Tang, M., 2014. *Parametric building design using Autodesk Maya*, Routledge, London.
- Tedeschi, A., 2014. *AAD, Algorithms-aided design: parametric strategies using Grasshopper*, Le Pensur Publisher, Napoli.
- Tibuzzi, E., 2016. Interweaving Practice, in Kara, H., Bosia, D., a cura di, *Design Engineering Refocused*, John Wiley & Sons, London, pp. 214-233.
- Tommasi, C., Achille, C., 2017. Interoperability matter: Levels of data sharing, starting from a 3D information modelling, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42, pp. 323-346.
- Townsend, A.M., 2013. *Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia*, Norton & Company, New York.
- Ushakov, D., 2011. NURBS and CAD: 30 years together, *Isicad-From Russia with CAD*, n.82, pp. 16-23.
- Van Nederveen, G.A., Tolman, F.P., 1992. Modelling multiple views on buildings, *Automation in Construction*, vol. 1, pp.115-124.
- Versprille, K.J., 1975. *Computer-aided design applications of the rational B-spline approximation form*, tesi dottorale, University of Syracuse, Syracuse.
- Wallisser, T., 2009. Other geometries in architecture: bubbles, knots and minimal surfaces, *Mathknow*, Springer, Milano, pp. 91-111.
- Welbourn, D.B., 1983. *The design of mechanical components and the development of DUCT: 17 years of CAD/CAM*, Universität Erlangen-Nürnberg. Institut für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung. Erlangen.
- Williams, C. J. K. 2001. The analytic and numerical definition of the geometry of the British Museum Great Court Roof. in Burry, M., Datta, S., Dawson, A., Rollo, A. J. a cura di, *Mathematics & design 2001*. Deakin University, Geelong, pp. 434-440.
- Wirz, F., 2008. *Composizione architettonica e rappresentazione digitale*, Tesi dottorale, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli.
- Woodbury, R., 2010. *Elements of parametric design*, Routledge, London.
- Wu, P., Mao, C., Wang, J., Song, Y., Wang, X., 2016. A decade review of the credits obtained by LEED v2. 2 certified green building projects, *Building and Environment*, n. 102, pp. 167-178.
- data transmission: current status and challenges, in Salah, M., Abu Samra, S., Hosny, S. a cura di, *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC*, Auburn, pp. 213-235.
- Aish, R., 1986. Building modelling: the key to integrated construction CAD, in Arnold, D. a cura di, *5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings*, CIBSE, Bath, pp. 356-383.
- Al Sayed, K., Bew, M., Penn, A., Palmer, D., Broyd, T., 2015. Modelling dependency networks to inform data structures in BIM and smart cities, in Penn, A. a cura di, *10th International Space Syntax Symposium*, Space Syntax Laboratory, London, pp. 9-17.
- Amann, J., Borrmann, A., 2016. Embedding procedural knowledge into building information models: the IFC procedural language and its application for flexible transition curve representation, *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 30, n. 5, pp. 243-251.
- Charef, R., Alaka, H., Emmitt, S., 2018. Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views, *Journal of Building Engineering*, n. 19, pp. 242-257.
- Clayton, M.J., 2015. *Modeling architectural meaning, Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*, John Wiley & Sons, London.
- Demchak, G., Dzambazova, T., Krygiel, E., 2009. *Introducing Revit architecture 2009: BIM for beginners*, John Wiley and Sons, London.
- Eastman, C.M., 1975. The use of computers instead of drawings in building design, *AIA journal*, vol 63, n. 3, pp.46-60.
- Eastman, C.M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K., 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons, London.
- Garber, R., 2009. Optimisation stories: The impact of building information modelling on contemporary design practice, *Architectural Design*, vol.79, n. 2, pp.6-13.
- Hardin, B., McCool, D., 2015. *BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows*. John Wiley & Sons, London.
- Kamardeen, I., 2010, September. 8D BIM modelling tool for accident prevention through design, in Egbu, C. a cura di, *26th annual Association of Researchers in Construction Management conference*, ARCOM, Leeds, pp. 281-289.
- Kensek, K., 2015. Visual programming for building information modeling: energy and shading analysis case studies. *Journal of Green Building*, vol. 10, n.4, pp. 28-43.
- Kocakaya, M.N., 2019. Building Information Management (BIM), A New Approach to Project Management, *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, vol. 4, n.1, p.323-332.
- Lee, Y.C., Eastman, C.M., Lee, J.K., 2015. Validations for ensuring the interoperability of data exchange of a building information model, *Automation in Construction*, n. 58, pp. 176-195.
- Meadati, P., Irizarry, J., 2010. BIM—a knowledge repository, in Sulbaran, T. a cura di, *Proceedings of the 46th Annual International Conference of the Associated Schools of Construction, ASC*, Boston, pp. 48-63.
- Miller, N., Stasiuk, D., 2017. A novel mesh-based workflow for complex geometry in BIM, in Nagakura, T., Tibbits, S., Mueller, C. a cura di, *Proceedings of the 37th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, ACADIA, Cambridge, pp. 157-177.
- Mirtschin, J., 2011. Engaging generative BIM workflows, in Nethercot, D., Pellegrino, S. a cura di, *IABSE-IASS Symposium proceedings, IABSE-IASS*, London, pp. 107-120.
- Muller, M.F., Garbers, A., Esmanioto, F., Huber, N., Loures, E.R., Canciglieri, O., 2017. Data interoperability assessment through IFC for BIM in structural design—a five-year gap analysis, *Journal of*

Testi sul Building Information Modeling

Afsari, K., Eastman, C.M., Shelden, D.R., 2016. Cloud-based BIM

- Civil engineering and management*, vol. 23, n. 7, pp.943-954.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P., 2018. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*, John Wiley & Sons, London.
- Seo, J.H., Lee, B.R., Kim, J.H., Kim, J.J., 2012. Collaborative process to facilitate BIM-based clash detection tasks for enhancing constructability, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, vol. 12, n. 3, pp. 299-314.
- Shalabi, F., Turkan, Y., 2017. IFC BIM-based facility management approach to optimize data collection for corrective maintenance, *Journal of performance of constructed facilities*, vol. 31, n.1, pp. 40-51.
- Steel, J., Drogemuller, R., Toth, B., 2012. Model interoperability in building information modelling, *Software & Systems Modelling*, vol. 11, n. 1, pp. 99-109.
- Wang, J., Wang, X., Shou, W., Chong, H.Y., Guo, J., 2016. Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability, *Automation in Construction*, n. 61, pp.134-146.
- Testi sull'informatica**
- Alatalo, T., 2011. An entity-component model for extensible virtual worlds. *IEEE Internet Computing*, vol. 15, n.5, pp.30-37.
- Artyushina, A., 2020. Is civic data governance the key to democratic smart cities? The role of the urban data trust in Sidewalk Toronto, *Telematics and Informatics*, vol. 55, p.110-114.
- Baker, S., Fradkin, A., 2011. What drives job search? Evidence from Google search data, *Discussion Papers from Stanford Institute for Economic Policy Research*, vol. 10, n. 20, pp. 10-20.
- Bolton, R.N., McColl-Kennedy, J.R., Cheung, L., Gallan, A., Orsingher, C., Witell, L., Zaki, M., 2018. Customer experience challenges: bringing together digital, physical and social realms, *Journal of Service Management*, vol. 29, n. 5, pp. 776, 808.
- Brauner, K., Bodnar, I., Fournier, E., Kelly, J.C., Kennicott, P., Liewald, M., Moore, D., Wellington, J., 1981. *Digital Representation for Communication of Product Definition Data*, Proposed American National Standards, Engineering Drawing and Related Documentation Practices, Approved ANSI Standards. ANSI.
- Brooks, F.P., 1975. *The mythical man-month*, Addison-Wesley, Reading.
- Ceruzzi, P.E., 2018. *GPS*, MIT Press, Cambridge.
- Christopoulou, E., Xinogalos, S., 2017. Overview and comparative analysis of game engines for desktop and mobile devices, *International Journal of Serious Games*, n. 4, pp. 127-135.
- Choi, H., Varian, H., 2012. Predicting the Present with Google Trends, *Economic Record*, 88, pp. 2-9.
- Damiani, E., Madravio, M., Böhm, A., 2007. *UML pratico con elementi di ingegneria del software*, Pearson Italia Spa, Torino.
- Dijkstra, E.W., 1960. Recursive programming, *Numerische Mathematik*. Vol. 2, n.1, pp. 312-318.
- Dong, E., Du, H., Gardner, L., 2020. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time, *The Lancet infectious diseases*, vol. 20, n. 5, pp.533-534.
- Doroudi, S., 2007. *On Leibniz and the I Ching*, California Institute of Technology, Pasadena.
- Gamatielsson, J., Lundell, B., 2014. Sustainability of Open Source software communities beyond a fork: How and why has the LibreOffice project evolved?, *Journal of Systems and Software*, n. 89, pp. 128-145.
- Ginsberg, J., Mohebbi, M.H., Patel, R.S., Brammer, L., Smolinski, M.S., Brilliant, L., 2009. Detecting influenza epidemics using search engine query data. *Nature*, vol. 457, n.7232, pp. 100-112.
- Grigoli, F., Cesca, S., Priolo, E., Rinaldi, A.P., Clinton, J.F., Stabile, T.A., Dost, B., Fernandez, M.G., Wiemer, S., Dahm, T., 2017. Current challenges in monitoring, discrimination, and management of induced seismicity related to underground industrial activities: A European perspective, *Reviews of Geophysics*, vol. 55, n. 2, pp.310-340.
- Heffan, I.V., 1997. Copyleft: licensing collaborative works in the digital age. *Stanford Law Review*, Stanford University, pp. 14-7-155.
- Hénin, S., 2007. Perché i calcolatori sono binari?, *Mondo Digitale*, n.2, pp.50-57.
- Logothetis, S., Valari, E., Karachaliou, E., Stylianidis, E., 2017. Spatial DMBS architecture for a free and open source, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, n. 42, pp. 72-88.
- Lynch, P.J., Horton, S., 2016. *Web style guide: Foundations of user experience design*, Yale University Press, London.
- Murugesan, S., 2007. Understanding Web 2.0, *IT Professional Magazine*, vol. 9, pp.34.
- Noura, M., Atiquzzaman, M., Gaedke, M., 2019. Interoperability in internet of things: Taxonomies and open challenges, *Mobile Networks and Applications*, vol. 24, n. 3, pp. 796-809.
- Page, L., Brin, S., Motwani, R., Winograd, T., 1999. *The pagerank citation ranking: Bringing order to the web*, Stanford InfoLab, Stanford.
- Randell, B., 1982. *The Origins of Digital Computers*, Springer, Berlin.
- Raymond, E. S., 1997. *The cathedral and the bazaar*. O'Reilly Media, Sebastopol.
- Rech, J., 2007. Discovering trends in software engineering with google trends, *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, vol. 32, n. 2, pp. 120-134.
- Stallman, R.M., 2002. *Free Society: Selected Essays of*, Gnu Press, Boston.
- Wagner-Greene, V.R., Wotring, A.J., Castor, T., Kruger, J., Mortimore, S., Dake, J.A., 2017. Pokémon GO: Healthy or harmful?. *American journal of public health*, vol.107, n.1, pp. 35-45.
- Wiener, L., Ekholm, T., Haller, P., 2017. Modular responsive web design: an experience report, in Sartor, J. B., D'Hondt, T., De Meuter, W. a cura di, *Programming '17: Companion to the first International Conference on the Art, Science and Engineering of Programming*, ACM, New York pp. 1-6.
- Testi sui metodi di machine learning**
- Ackley, D.H., Hinton, G.E., Sejnowski, T.J., 1985. A learning algorithm for Boltzmann machines, *Cognitive science*, vol. 9, n. 1, pp. 147-169.
- Alpaydin, E., 2016. *Machine learning: the new AI*, MIT press, Cambridge.
- Bellegarda, J.R., 2014. Spoken language understanding for natural interaction: The siri experience, In *Natural interaction with robots, knowbots and smartphones*, Springer, New York, pp. 3-14.
- Bini, S.A., 2018. Artificial intelligence, machine learning, deep learning, and cognitive computing: what do these terms mean and how will they impact health care?. *The Journal of arthroplasty*, vol. 33, n. 8, pp. 358-361.
- Carbonell, J.G., Mitchell, T.M., Michalski, R.S., 1983. Machine learning: An artificial intelligence approach. Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Cruz-Benito, J., Vázquez-Ingelmo, A., Sánchez-Prieto, J.C., Therón, R., García-Peñalvo, F.J., Martín-González, M., 2017. Enabling adaptability in web forms based on user characteristics detection through A/B testing and machine learning, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2251-2265.
- Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., Meyarivan, T., 2000, A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II, in Schoenauer, M., Deb, K., Rudolph, G., Yao, X., Lutton, E., Merelo, J. J., Schwefel, H. a cura di, *International conference on parallel problem solving from nature*,

- Springer, pp. 849-858.
- Domingos, P., 2015. *The master algorithm: How the quest for the ultimate learning machine will remake our world*, Basic Books, New York.
- Dorigo, M., Coloni, A., Maniezzo, V., 1991. Distributed optimization by ant colonies, in Varela, F. J., Bourgine, P. a cura di, *Proceedings ECAL91 European conference on artificial life*, Elsevier, Amsterdam, pp. 134-142.
- Fisher, R.A., 1930. *The genetical theory of natural selection*. Clarendon Press, Oxford.
- Fix, E., Hodges, J.L., 1951. *Discriminatory analysis: nonparametric discrimination, consistency properties*. University of California, Oakland.
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., Bengio, Y., 2014. Generative adversarial nets, in Ghahramani, Z., Welling, M., Cortes, C., Lawrence, N., Weinberger, K.Q. a cura di, *Advances in neural information processing systems*, NeurIPS, pp. 2672-2680.
- Güera, D., Delp, E.J., 2018. Deepfake video detection using recurrent neural networks, in Kankanhalli, M., Klette, R. a cura di, *15th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, AVSS, Washington, pp. 12-26.
- Holland, J.H., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, MIT press, Cambridge.
- Hopfield, J.J., 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, vol. 79, n.8, pp. 2554-2558.
- Koza, J.R., 1990. *Genetic programming: A paradigm for genetically breeding populations of computer programs to solve problems*, Stanford University, Department of Computer Science, Stanford.
- Ma, Y., Guo, G., 2014. *Support vector machines applications*. Springer, Berlin.
- McCarthy, J., Minsky, M.L., Rochester, N., Shannon, C.E., 2006. A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955, *AI magazine*, vol.27, n. 4, pp. 12-23.
- McCulloch, W.S., Pitts, W., 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *The bulletin of mathematical biophysics*, vol. 5, n. 4, pp. 115-133.
- Nguyen, A.N., Lawley, M.J., Hansen, D.P., Bowman, R.V., Clarke, B.E., Duhig, E.E., Colquist, S., 2010. Symbolic rule-based classification of lung cancer stages from free-text pathology reports, *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 17, n. 4, pp. 440-445.
- Patsadu, O., Nukoolkit, C., Watanapa, B., 2016, May. Human gesture recognition using Kinect camera, in Desai, E., Desai, B. C., Almeida, A., Bernardino, J. a cura di, *Ninth international conference on computer science and software engineering*, JCSSE, Porto, pp. 28-32.
- Pearl, J., 2014. *Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference*. Elsevier, Amsterdam.
- Ramos, S., Gehrig, S., Pinggera, P., Franke, U., Rother, C., 2017, June. Detecting unexpected obstacles for self-driving cars: Fusing deep learning and geometric modeling, in Zhang, W., Acarman, T., de La Fortelle, A., Yang, M. a cura di, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. IEEE, Redondo Beach, pp. 1025-1032.
- Rosenblatt, F., 1958. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain, *Psychological review*, vol. 65, n.6, pp. 386-407
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J., 1986. Learning representations by back-propagating errors, *Nature*, vol. 323, n.6088, pp. 533-536.
- Schoenberg, I.J., 1946. Contributions to the problem of approximation of equidistant data by analytic functions. Part B. On the problem of osculatory interpolation. A second class of analytic approximation formulae, *Quarterly of Applied Mathematics*, vol. 4, n.2, pp. 112-141.
- Shan, C., Gong, S., McOwan, P.W., 2009. Facial expression recognition based on local binary patterns: A comprehensive study, *Image and vision Computing*, vol. 27, n.6, pp. 803-816.
- Silver, D., Schrittwieser, J., Simonyan, K., Antonoglou, I., Huang, A., Guez, A., Hubert, T., Baker, L., Lai, M., Bolton, A., Chen, Y., 2017. Mastering the game of go without human knowledge, *Nature*, vol. 550, n. 7676, pp.354-359.
- Sinclair, C., Pierce, L., Matzner, S., 1999, December. An application of machine learning to network intrusion detection, in Akers, D., Haeney, J., Sledge, F. a cura di, *Proceedings 15th Annual Computer Security Applications Conference*, ACSAC, Washington, pp. 371-377.
- Stanley, K.O., Miikkulainen, R., 2002. Evolving neural networks through augmenting topologies, *Evolutionary computation*, vol. 10, n.2, pp. 99-127.
- Turing, A.M., 1950. Computing machinery and intelligence, *Mind*, 59, pp. 433-64.
- Vapnik, V., 1963. Pattern recognition using generalized portrait method. *Automation and remote control*, n. 24, pp. 774-780.
- Wiener, N., Schade, J.P., 1965. *Cybernetics of the nervous system*, Elsevier, Amsterdam.
- Zykov, V., Mytilinaios, E., Adams, B., Lipson, H., 2005. Self-reproducing machines, *Nature*, n. 7039, pp. 163-167.

Testi sull'applicazione del machine learning alla progettazione

- Carrara, G., Kalay, Y. E., Novembri, G., 1994. *Knowledge-Based Computational Support for Architectural Design*. Elsevier, Amsterdam.
- Cudzik, J., Radziszewski, K., 2018. Artificial Intelligence Aided Architectural Design, in Kepczynska-Walczak, A, Bialkowski, S a cura di, *Computing for a better tomorrow, proceedings of eCAADe Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe conference*, eCAADe, Lodz, pp. 77-84.
- Davis, D., 2016. Evaluating Buildings with Computation and Machine Learning, in Velikov, K., Ahlquist, S., del Campo, M., a cura di, *Posthuman frontiers: data, designers and cognitive machines, Proceedings of ACADIA Association for Computer Aided Design in Architecture conference*, ACADIA, Ann Arbor, pp. 116-123.
- Gero, J.S., Sudweeks, F., 1989. *Artificial Intelligence in design*, Springer, Berlin.
- Hong, T., Wang, Z., Luo, X., Zhang, W., 2020. State-of-the-art on research and applications of machine learning in the building life cycle, *Energy and Buildings*, n. 212, pp. 35-53.
- Huang, W., Zheng, H., 2018. Architectural drawings recognition and generation through machine learning, in Anzalone, P., Del Signore, M., Wit, A, J. a cura di, *RECALIBRATION: on imprecision and infidelity, Proceedings from the 2018 ACADIA Conference*, ACADIA, Mexico City, pp. 184-201.
- Makki, M., Showkatbakhsh, M., 2018. Control of Morphological Variation Through Population Based Fitness Criteria, in Fukuda, T., Weizin, H., Janssen, P., Crolla, K., Alhadidi, S. a cura di, *Proceedings of the 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, CAADRIA, Beijing, pp. 153-161.
- Musil, J., Knir, J., Vitsas, A., Gallou, I., 2019. Towards Sustainable Architecture: 3D Convolutional Neural Networks for Computational Fluid Dynamics Simulation and Reverse DesignWorkflow, *arXiv preprint arXiv:1912.02125*.
- Paterson, G., 2017. *Real-time energy use predictions at the early architectural design stages with machine learning*, Tesi dottorale, University College London, London.

Phelan, N., Davis, D., Anderson, C., 2017, May. Evaluating architectural layouts with neural networks, in Turrin, M., Peters, B., O'Brien, W., Stouffs, R., Dogan, T. a cura di, *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, SimAUD, Toronto, pp. 138-157.

Rutten, D., 2013. Galapagos: On the logic and limitations of generic solvers, *Architectural Design*, vol. 83, n. 2, pp. 132-135.

Valverde, M., Flynn, A., 2018. "More buzzwords than answers" - to Sidewalk Labs in Toronto, *Landscape Architecture Frontiers*, vol. 6, n. 2, pp. 115-124.

Registrazioni di seminari e convegni disponibili online

Carpo, M., 2018. "The Second Digital Turn – Talks at Google" visitato il 20 febbraio 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=U-Verq5DSdKU>.

Ceccato, C., 2019a. "ZHA Aviation, design, Computation and Construction in Aviation" visitato il 23 Maggio 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=PK8ChcA6j-Q>.

Ceccato, C., 2019b. "Danjiang Bridge Collaboration" visitato il 4 Maggio 2020 <https://vimeo.com/328019048>.

Eisenman, P., Graves, M., 2015. "Graves & Eisenman Conversation | Michael Graves: Past as Prologue" visitato il 07 Aprile 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=WBCzwwFwlk0>.

Jordahn, S., 2019. "Watch our talk on the digitalisation of architecture with Zaha Hadid Architects Grimshaw and Viewpoint" visitato il 20 luglio 2020 <https://www.dezeen.com/2019/04/25/knauf-digitalisation-architecture-talk-livestream/>.

Simondetti, A., 2016. "Arup: Constructing the Digital Future" visitato il 23 maggio 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=X2xw-jAqhJ38>.

Sims, M., 2019. "R&D workflow with 3dexperience - Michael Sims, Zaha Hadid Architects" visitato il 29 giugno 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=SEpaX5sjwsU>.

Siti web

American Institute of Architects, 2013. "Guide, Instructions, and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents" visitato il 26 giugno 2020, <https://www.aiacontracts.org/resources/69541-guide-instructions-and-commentary-to-the-2013-aia-digital-practice-documents>.

ArchDaily, 2020. "Tools, inspiration, and knowledge to help create better cities" visitato il 10 giugno 2020 <https://www.archdaily.com/content/about>.

Asay, M., 2017. "Why Microsoft and Google are now leading the open source revolution" visitato il 16 luglio 2020 <https://www.techrepublic.com/article/why-microsoft-and-google-are-now-leading-the-open-source-revolution/>.

Autodesk, 2020. "RealDWG Developer Center" visitato il 9 Luglio 2020 <https://www.autodesk.com/developer-network/platform-technologies/realdwg>.

Baker, T., 2019. "Fake TripAdvisor reviews push 'world's best' hotels up the rankings" visitato il 2 Febbraio 2020 <https://www.which.co.uk/news/2019/09/fake-tripadvisor-reviews-push-worlds-best-hotels-up-the-rankings/>.

Baldwin, E., 2020. "Sidewalk Labs Cancels Quayside Smart City Project in Toronto" visitato il 16 Settembre 2020 <https://www.archdaily.com/939152/sidewalk-labs-cancels-quayside-smart-city-project-in-toronto>.

Bimobject, 2020. "Download free BIM objects" visitato il 24 giugno 2020 <https://www.bimobject.com/en/product>.

Bhom, 2020. "The Buildings and Habitats object Model" visitato il 14 luglio 2020 <https://bhom.xyz>.

Block, I., 2018. "Steven Chilton Architects designs Wuxi Show The-

atre with white columns and golden canopy" visitato il 12 giugno 2020 <https://www.dezeen.com/2018/10/04/steve-chilton-architects-wuxi-show-theatre-china-architecture/>.

Campbell, D.A., 2006. "Modeling Rules" visitato il 24 giugno 2020 www.architectureweek.com/2006/1011/tools_1-1.html.

Carter, T., 2017. "10 architects you need to follow on Instagram" visitato il 10 giugno 2017 <https://www.dezeen.com/2017/03/16/10-architects-follow-instagram-norman-foster-john-pawson-david-adjaye/>.

Castro, F., 2018. "Coal Drops Yard / Heatherwick Studio" visitato il 03 Maggio 2020 <https://www.archdaily.com/904676/coal-drops-yard-heatherwick-studio>.

CDBB, 2020. "An Approach to Delivery a National Digital Twin for the United Kingdom" visitato il 26 giugno 2020 <https://www.cdbb.cam.ac.uk/news/approach-delivery-national-digital-twin-united-kingdom>.

Cellan-Jones, R., 2014. "Stephen Hawking warns artificial intelligence could end mankind" visitato il 3 marzo 2020 <https://www.bbc.com/news/technology-30290540>.

Chaillou, S., 2019. "AI & Architecture" visitato il 14 settembre 2020 <https://towardsdatascience.com/ai-architecture-f9d78c6958e0>.

Cousins, S., 2020. "Rhino plug-in to convert 3D models for Revit gains widespread use" visitato il 14 luglio 2020 <https://www.bimplus.co.uk/technology/rhino-plug-convert-3d-models-revit-gains-widespread/>.

Coutler, M., 2019. "London Underground to track passengers using WiFi" visitato il 22 settembre 2020 <https://www.ft.com/content/858cdc32-a17f-11e9-974c-ad1c6ab5efd1>.

CSIC, 2020. "Significant Cyber Incidents" visitato il 9 ottobre 2020 <https://www.csis.org/programs/technology-policy-program/significant-cyber-incidents>.

Cuscito, G., 2019. "Il riconoscimento facciale in Cina ha due volti" visitato il 4 Febbraio 2019 <https://www.limesonline.com/rubrica/riconoscimento-facciale-cina-huawei>.

Dobson, A., 2019. "Pharrell Williams Announces Residential Design Partnership" visitato il 12 giugno 2020 <https://www.forbes.com/sites/amydobson/2019/11/06/pharrell-williams-announces-residential-design-partnership/#332a73231800>.

Doctoroff, D. L., 2016. "Reimagining cities from the internet up", visitato il 16 settembre 2020 <https://medium.com/sidewalk-talk/reimagining-cities-from-the-internet-up-5923d6be-63ba>.

Edelson, Z., 2016. "Zaha Hadid Architects and Patrik Schumacher openly feud over public housing and privatizing public space" visitato il 17 Aprile 2020 <https://archpaper.com/2016/11/zaha-hadid-architects-patrik-schumacher-feud/>.

Erman, M., 2019. "hassell + eckersley o'callaghan design martian habitat where people could really thrive" visitato il 7 Maggio 2020 <https://www.designboom.com/design/hassell-eckersley-ocallaghan-martian-habitat-people-thrive-08-01-2018/>.

Food4Rhino, 2020. "List of Apps" visitato il 7 luglio 2020 <https://www.food4rhino.com/browse?>.

Foster and Partners, 2020, "Contact, Foster + Partners" visitato il 10 maggio 2020 <https://www.fosterandpartners.com/contact/>.

Gensler, 2020. "About Gensler" visitato il 10 maggio 2020 https://www.gensler.com/uploads/document/355/file/Gensler_Fact_Sheet_200417v2.pdf.

Goodwin, D., 2015. "Live on the Edge with OPA's Casa Brutale" visitato il 10 giugno 2020 https://www.archdaily.com/769631/live-on-the-edge-with-opas-casa-brutale?ad_medium=gallery.

Google, 2017 "About Google." visitato il 17 Maggio 2019 <https://about.google/intl/en-GB/>.

Google, 2018. "How search enables people to create a unique path to purchase" visitato il 30 gennaio 2020 <https://www.thinkwithgoogle.com/feature/path-to-purchase-search-behavior/>.

Google, 2019. "I vantaggi di Google Maps Platform" visitato il 2

- Febbraio 2020 <https://cloud.google.com/maps-platform/>.
- Grimshaw, 2020. "Tun Razak Exchange Master Plan Kuala Lumpur, Malaysia" visitato il 22 maggio 2020 <https://grimshaw.global/projects/tun-razak-exchange-master-plan/>.
- Hern, A. 2020. "Berlin artist uses 99 phones to trick Google into traffic jam alert" visitato il 4 febbraio 2020 <https://www.theguardian.com/technology/2020/feb/03/berlin-artist-uses-99-phones-trick-google-maps-traffic-jam-alert>.
- Holmes, A. 2019. "AI could be the key to ending discrimination in hiring, but experts warn it can be just as biased as humans" visitato il 21 settembre 2020 <https://www.businessinsider.com/ai-hiring-tools-biased-as-humans-experts-warn-2019-10?IR=T>.
- Howarth, D., 2018. "Arthur Mamou-Mani unveils twisting temple for Burning Man 2018" visitato il 12 Maggio 2020 <https://www.dezeen.com/2018/01/02/burning-man-2018-temple-galaxia-arthur-mamou-mani-university-westminster/>.
- Jalcinkaya, G. 2018. "World's first 3D-printed steel bridge unveiled at Dutch Design Week" visitato il 14 Aprile 2020 <https://www.dezeen.com/2018/10/22/worlds-first-3d-printed-steel-bridge-completed-mx3d-technology/>.
- Labarre, S., 2019. "How this CEO transformed a small architectural shop into a cutting-edge international megafirm" visitato il 10 maggio 2020 <https://www.fastcompany.com/90343345/most-creative-people-2019-bjarke-ingels-group-sheela-sogaard>.
- Lo Campo, A., 2019. "Un po' treno un po' aereo. Torino-Milano in 7 minuti" visitato il 7 ottobre 2020 <https://www.lastampa.it/topnews/primo-piano/2019/10/07/news/un-po-treno-un-po-aereo-il-viaggio-del-futuro-sta-per-diventare-realta-torino-milano-in-7-minuti-1.37710911>.
- Lu, J., 2019. "How can we bring transparency to urban tech? These icons are a first step." visitato il 9 ottobre 2020 <https://medium.com/sidewalk-talk/how-can-we-make-urban-tech-transparent-these-icons-are-a-first-step-f03f237f8ff0>.
- Lunden, I., 2014. "Flux Emerges From Google X And Nabs \$8M To Help Build Eco-Friendly Buildings" visitato il 13 luglio 2020 <https://techcrunch.com/2014/05/06/flux-the-first-startup-to-spin-out-of-google-x-nabs-8m-for-its-eco-home-building-platform/>.
- Lynch, P., 2016. "Casa Brutale is Getting Built, and Here's Why (Hint: The Internet)" visitato il 10 maggio 2020 <https://www.archdaily.com/786550/casa-brutale-is-getting-built-and-heres-why-hint-the-internet>.
- Mairs, J., 2016. "Norman Foster reveals vaulted Droneport prototype at Venice Architecture Biennale" visitato il 12 Aprile 2020 <https://www.dezeen.com/2016/05/27/norman-foster-partners-vaulted-drone-port-prototype-medical-supplies-remote-africa-venice-architecture-biennale/>.
- Marchese, K., 2019. "kanye west's yeezy sneaker will be made using algae in new 'seed to sole' concept" visitato il 12 giugno 2020 <https://www.designboom.com/design/kanye-west-yeezy-clog-algae-seed-to-sole-11-08-2019/>.
- Massey, J., 2013. "Risk Design" visitato il 20 maggio 2020 <http://we-aggregate.org/piece/risk-design>.
- Mings J., 2016. "Yes, Autodesk is Finally Ending T-Splines" visitato il 3 aprile 2019 <https://www.solidsmack.com/cad/yes-autodesk-finally-ending-t-splines/>.
- Mufson, B., 2016. "10 Totally Unintentional 'Pokémon Go' Effects on Society" visitato il 4 febbraio 2020 https://www.vice.com/en_au/article/mgpye4/pokemon-go-10-totally-unintentional-effects.
- Negri della Torre, A. 2019. "Trustworthy AI – Un contributo europeo sullo sviluppo dell'intelligenza artificiale (IA)" visitato il 24 Luglio 2020 www.diritto24.ilsolo24ore.com/art/avvocatoAffari/mercatoImpresa/2019-04-12/trustworthy-contributo-europeo-sviluppo-intelligenza-artificiale-ia-105426.php.
- Open Design Alliance, 2020. ".dwg Toolset" visitato il 10 Luglio 2020 <https://www.opendesign.com/solutions#dwg-toolset>.
- Pintos, P., 2019a. "Beijing Daxing International Airport, Zaha Hadid Architects" visitato il 16 Aprile 2020 <https://www.archdaily.com/925536/beijing-daxing-international-airport-zaha-hadid-architects>.
- Pintos, P., 2019b. "The Shed, a Center for the Arts / Diller Scofidio + Renfro" visitato il 08 Maggio 2020 <https://www.archdaily.com/914639/the-shed-a-center-for-the-arts-diller-scofidio-plus-renfro>.
- Price, R., 2020. "Facebook is wrongly blocking news articles about the coronavirus pandemic" Visitato il 7 Luglio 2020 <https://www.businessinsider.com/facebook-blocking-coronavirus-articles-bug-2020-3?IR=T>.
- Raymond, E. S., 1998. "Goodbye, free software; hello, open source" visitato il 16 luglio 2020 <http://www.catb.org/~esr/open-source.html>.
- Rhinoceros, 2019. "open Nurbs initiative" visitato il 6 luglio 2020 <https://www.rhino3d.com/opennurbs>.
- Rhinoceros, 2020. "Rhino.Inside" visitato il 15 luglio 2020 <https://www.rhino3d.com/inside>.
- Sidewalk Labs, 2017. "the Master Innovation and Development plan" visitato il 6 ottobre 2020 https://sidewalk-toronto-ca.storage.googleapis.com/wp-content/uploads/2019/06/23135500/MIDP_Volume0.pdf.
- Simon, J., 2019. "Evolving Floorplans" visitato il 15 Settembre 2020 https://www.joelsimon.net/evo_floorplans.html.
- Stefanescu, D., 2020. "Speckle 2.0: Vision & FAQ" visitato il 2 luglio 2020 <https://speckle.systems/blog/speckle2-vision-and-faq/>.
- Stevens, P., 2019a. "zaha hadid architects completes 'leeza SOHO tower' in beijing" visitato il 20 maggio 2020, <https://www.designboom.com/architecture/zaha-hadid-leeza-soho-tower-beijing-china-11-19-2019/>.
- Stevens, P., 2019b. "city of london approves foster + partners' tulip-shaped tower" visitato il 15 maggio 2020, <https://www.designboom.com/architecture/tulip-london-tower-approved-norman-foster-partners-04-02-2019/>.
- Sullivan, D., 2016. "Google now handles at least 2 trillion searches per year." visitato il 21 gennaio 2019 <https://searchengineland.com/google-now-handles-2-999-trillion-searches-per-year-250247>.
- Tedeschi, A., 2018. "Oyster, first VR designed furniture with Mindesk" visitato il 18 giugno 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=kQYKZBwwEX4>.
- Towsend, A. 2017. "On the Spline: A Brief History of the Computational Curve" visitato il 6 maggio 2019 <http://www.alatown.com/spline-historyarchitecture>.
- Transport for London, 2016. "2016 pilot of Wi-Fi data collection" visitato il 17 maggio 2019 <https://tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/wifi-data-collection>.
- Van Es, K., 2019, "Interview with Steven Chilton: On Design, China, & Fortnite" visitato il 12 giugno 2002 <https://www.avontuura.com/interview-with-steven-chilton-on-design-china-fortnite/>.
- Wade, S. 2019. "Ambiguous By Massimo Colonna" visitato il 12 giugno 2020 <https://www.ignant.com/2018/09/14/ambiguous-by-massimo-colonna/>.
- Walsh, N. P., 2019. "BIG, UNStudio and Squint/Opera Launch AR Design Tool" visitato il 5 Maggio 2020 <https://www.archdaily.com/919404/big-unstudio-and-squint-opera-launch-ar-design-tool>.
- Whitney, V., Ho, B., 2019. "Introducing our generative design tool, which can help generate millions of planning scenarios — and identify options that best reflect local priorities." visitato il 16 settembre 2020 <https://www.sidewalklabs.com/blog/a-first-step-toward-the-future-of-neighborhood-design/>.
- Yu, M., Du, G., 2019. "Why Are Chinese Courts Turning to AI?" visitato il 24 luglio 2020 <https://thediplomat.com/2019/01/why-are-chinese-courts-turning-to-ai/>

INDICE DEI NOMI

- Ackley D. 347
Aish R. 289
AKTII 161-2, 179, 180
Alberti L. B. 82, 138
Alexander C. 1, 4, 13-4, 17-8, 91, 102, 203-4, 238-9, 357, 393-4, 409
Allen S. 15-6, 129-30, 131, 145, 215, 218, 399, 400,
Alphabet 68, 241-2, 367, 370
American Institute of Architects 291
American National Standard Institute 285
Anders G. 57-58, 371
Anderson D. 255-6
Ando Vassiliou L. 256-7
Apple 285, 297, 352
Archdaily 251-2
Archilovers 253-4
Architectural Association 121, 132-3, 135, 149, 277, 359
Arup 152, 217, 220-1, 222, 258-9
Asuni 305
Augé M. 11-2, 13, 31, 61, 63-4, 65, 67, 71
Autodesk 137, 271-2, 274, 275-6, 287-8, 289, 294, 297, 300, 304, 305, 307, 309, 311, 313, 315, 318, 320, 327, 330, 332, 413, 415
- Backrub 68
Bacone F. 51, 53-4, 56, 389,
Barabási A. 45, 46
Barbaro M. 53
Barlett School of Architecture 148-9
Bauman Z. 11-2, 27-8, 30, 35, 63,
Bayes T. 343, 350, 351-2, 354,
Bentley Systems 289, 297, 305, 307, 310, 314, 315
Bernini G. L. 95, 393-4
Bezier P. 269, 282, 283, 285
- BIG Ideas 183-4, 213, 216
BIG Bjarke Ingels Group 145, 161-2, 169, 170, 172, 179, 181, 184, 206, 207-8, 213, 216, 249
Block research group 143
Block P. 16, 142-3, 150,
Boeing 223-4, 225-6, 227-8, 283, 285, 407
Bofill Levi R. 115, 260-1
Boltzmann L. 347
Borromini F. 95, 393-4
Brandi C. 19, 247-8
Brooks F. 17-8, 241-2, 243-4, 247-8, 325, 409, 410-1, 416
Brown N. O. 81
Brunelleschi F. 97, 203-4
Buildingsmart 221, 314
Burning Man 189, 190
Buro Happold 161, 320, 416-7
Burry M. 307
- Cache B. 15-6, 131, 138, 399, 400
Calatrava S. 31
Candela F. 14-5, 94
Canetti E. 130
Carpo M. 1, 2, 15-6, 18, 95, 100, 124-5, 128, 138-9, 140, 150, 397-8, 399
Castells M. 11-2, 29
Catmull E. 285-6, 287
Ceccato C. 17, 168, 223-4, 225-6, 227-8, 230, 302, 407
Center for digital built Britain 299
Center for strategic and International Studies 47
Chaillou S. 363
Chaos Group 273, 305
Charles River Software 272
Chilton S. 161, 167, 189, 219, 258, 260, 310, 372, 377,

378

Ciastellardi M. 3, 4, 37, 45

Citroen 281, 282

Cityscape 201-2, 220

Clark J. 285-6, 287

Colonna M. 260-1

Cook P. 127, 128,

Coop Himmelb(l)au 117

Copernicus N. 51, 356

Darwin C. 132, 348, 356

Dassault M. 269

Dassault Systèmes 271, 298, 312, 320

Davis D. 161, 162, 180, 217-8, 232, 302, 310, 372, 378

DBox 200, 202

de Boissieu A. 161-2, 165, 169, 170, 177, 195, 199, 240, 298, 310, 312, 331, 372

de Boor C. 283

De Carlo G. 13, 17, 91, 203, 393

de Casteljaou P. 281, 282, 283, 284

de Kestelier X. 161-2, 167-8, 175, 193, 194, 197, 198, 213-4, 232, 301, 310, 317, 327, 372, 373, 378

Deleuze G. 119, 126, 131, 339, 400

Delminio C. 12, 42, 43, 45, 389, 390

Derrida J. 1, 15, 116, 121, 397

Descartes R. 51, 119, 356

Designboom 251-2

Dezeen 251-2

Diller Scofidio + Renfro 177, 179

Dok Architecten 173, 174

Domingos P. 5, 6, 21, 343, 345, 353-4

Domus 251-2

Eastman C. 5, 6, 289, 290

Eckersley O'Callaghan 175, 176

Eco U. 157, 158, 247, 248

Eisenman P. 3, 15, 16, 116-8, 120, 125, 137, 261, 262, 397, 398

Epic Games 259, 273

Eraclito 49

Erasmus da Rotterdam 43

Eschilo 49

Facebook 34, 241, 243, 253, 256, 325, 341, 353, 355, 372, 411

Fisher A. 161, 169, 170, 211, 217, 219, 220, 241, 310, 320, 321, 372, 375

Fisher R. 349

Fix E. 353

Floridi L. 12, 21, 44, 47, 355-6, 382, 389, 390, 421, 422

Ford 57, 135, 138, 269

Foster N. 115, 143, 255-6

Foster and Partners 59, 60, 161-2, 173, 181-6, 200-2, 207-8, 210, 267, 273

Foster Gage M. 151,

Foucault M. 13, 68-71, 85, 93, 391-2

Fournier C. 127

Frazer J. 15, 95, 132, 150, 399, 400

Free Software Foundation 324

Freud S. 48, 356

Fuller B. 14-5, 94, 101-8, 111, 395-6,

Galilei G. 51, 68, 141, 391

Galimberti U. 13, 48-9, 51, 56-9, 341, 356, 389

Galois E. 97, 393-4

Gaudí A. 14-5, 94, 133, 150, 171, 174

Gehlen A. 48

Gehry F. O. 11-2, 15-6, 35, 37, 115, 120-1, 123-4, 126, 134, 147, 228-9, 269, 272, 275, 280, 397-8

Gehry Technologies 298

Gelernter D. 299

General Motors 269, 283

Gensler 161-2, 181-2

Giotto 95, 393-4

GMW Computers 289

Google 10-3, 19, 20, 31, 44, 68, 72-4, 140, 159, 179, 235-6, 241, 303-5, 307, 309-11, 318, 325, 341, 351-2, 367, 372, 389-92, 402-3, 413-6, 419-20

Gramazio F. 16-7, 143-4

Graphisoft 272, 289, 297, 305, 309, 315

Gregotti V. 13-4, 18-9, 31, 81, 84, 87-8, 132, 159, 231-2, 247-8, 261-2, 321

Grimshaw 161-2, 169-70, 209, 212, 312, 332

Hadid Z. 15, 117, 135, 267, 276, 397, 400

Hassell 161-2, 175-6, 232

Harvard Graduate School of Design 363

Hawking S. 342

Heatherwick T. 230-1

Heatherwick studio 161-4, 179, 189-90, 312

Hebb D. 345
 Hegel G. W. F. 12-3, 55
 Heidegger M. 12-3, 48, 57
 Hensel M. 132
 Hewlett J. M. 101
 Hinton G. 347-8
 Hobbes T. 48
 Hodges J. 353
 Holland J. H. 349
 Hollein H. 115
 Huang W. 363
 Hume D. 353
 Hyper Loop 28

 Ibbs H. 161-2, 164-5, 171-2, 193-4, 198-9, 209-10, 215, 217-8, 248-9, 287, 372, 293, 310, 312, 333, 375
 IBM 241-2
 Ingels B. 183-4, 249-50. 255-6
 Instagram 253-6
 Institute for Computational Design 16-7, 133, 141-2, 399
 Ippodamo di Mileto 49
 Isler H. 94
 Istituto per la Ricerca Matematica e Operativa applicata all'Urbanistica 96
 Izenour S. 114

 Johnson P. 92, 115, 117, 125
 Jobs S. 285
 Jencks C. 302
 Jasak H. 331

 Kahn L. 88, 112
 Kampouropoulos P. 257-8
 Kant I. 51, 353
 Keough I. 307, 330
 Klok Pedersen A. 145, 161-6, 169-72, 177-8, 193-4, 200-1, 204-5, 249-50, 273, 299, 301, 310, 372, 379
 Kohler M. 16-7, 143-4
 Koolhaas R. 64, 117, 139, 183-4, 561
 Korzybski A. 84
 Koza J. 349
 Krier L. 115
 Krier R. 115

 Laplace P. 350
 Le Corbusier 114, 137-8
 Leibniz G. W. 126, 267-8, 270
 Leonidov I. 121
 Lévy P. 67
 Libeskind D. 117
 Lichtenstein R. 113
 LinkedIn 181-2, 253-4
 Locke L. 353
 Lotto L. 43
 Lucas Film 285
 Luhmann N. 18-9, 96, 135, 247-8
 Lynn G. 123, 126-9, 272, 276, 280, 287, 327, 397-9, 400
 Lyotard J. 35, 112

 Mackey C. 330
 MacLeamy P. 159-60
 Mamou-Mani A. 161-2, 171-2, 189-90, 213-4, 217-20, 271, 310, 372, 379
 Markov A. 351, 352
 Marramao G. 56
 Marx K. 12-3, 55
 Maxwell J. C. 143
 Mc Carthy J. 342, 344
 Mc Neel and Associates 271, 320, 322, 327, 416, 417
 McCulloch W. S. 347
 McLeod V. 256-7
 McLuhan M. 69, 87
 Menges A. 132-3, 136, 141, 150
 Michalski R. 344
 Michelangelo 95, 393-4
 Microsoft 147, 260-1, 288, 297, 307, 325, 345
 Mies van der Rohe L. 11-2, 35, 103, 113, 115, 249-50
 Miller N. 319
 Mindesk 279,
 Mks dtech 320, 322
 Moore C. 115
 Moretti L. 14-5, 94-5, 96-101, 107, 111, 113, 129, 142, 150-1, 189-90, 275, 311, 357, 374, 393-6
 Moussavi F. 127
 Munari B. 13-4, 85-6, 91-2, 393-4,
 Musmeci S. 14-5, 94
 Muss M. 271
 MX3D 145-6

Nancy J. 88
 National Aeronautics and Space Administration 175-6, 299
 Negroponte N. 41
 Netflix 341
 Newton I. 141, 343
 Nemetschek Group 297, 304-5
 Next limit technologies 305
 Nietzsche F. 353
 Norberg-Schulz C. 63
 North Atlantic Treaty Organization 409-10
 Nouvel J. 176-8
 Novak M 11-2, 37-9, 382, 387-90

 Office for Metropolitan Architecture 183-4
 Open Design Alliance 313, 327, 414-5
 Orwell G. 33
 Otto F. 3-4, 14-5, 17-8, 94, 107-11, 132-3, 137, 142, 150, 158, 171, 174, 203-4, 276, 309, 329, 357, 395-400
 Oxman R. 19-20, 274-5, 277, 279

 Page L. 351
 Pareto V. 359
 Parnell S. 151
 Paterson G. 361, 418-9
 Pearl J. 352
 Piano R. 115
 Piker D. 329
 Pitts W. 347
 Pixar 285-6, 288, 305, 327
 Platone 48, 56-7
 Pollini G. 87
 Portoghesi P. 115
 Proving Ground 319-20, 329

 Rauch J. 112
 Raymond E. 20-1, 325, 416-7
 Relational Urban 150
 Renault 269, 282
 Render Legion 305
 Reynolds G. 129
 Rogers R. 115
 Rosenblatt F. 347

 Rossi A. 115
 Roudsari M. S. 329
 Rumelhart D. 348
 Rutten D. 273, 370, 358

 Saarinen E. 94, 228-9
 Sabiu M. 332
 Scanlab 148-9
 Schoenberg I. J. 283
 Schumacher P. 94-6, 110, 121, 134-5, 137, 149-51, 197-8, 247-8, 311, 399-400
 Scott Brown D. 112, 114
 Sejnowski T. 347
 Sennett R. 12-3, 33, 59, 369, 61, 142, 419-20
 Serlio S. 43
 Severino E. 55-6
 Sidewalk labs 21-2, 367-8, 370, 419-20
 Simon J. 365-6
 Simondetti A. 220-1
 Smith A. 55
 Smith A. R. 285
 Soja E. 45
 Space Syntax 187, 190, 473
 Spyropoulos T. 150, 152
 Squint Opera 169-70, 172
 Stallman R. 323-4
 Stefanescu D. 319
 Stirling J. 115
 Sutherland I. E. 269-70

 Taylor M. 35, 37
 TDM Solutions 288
 Tedeschi A. 278
 Tekla 315, 359
 Thom R. 126
 Tibuzzi E. 161-2, 170-1, 174-5, 178-9, 181-2, 185-8, 195-6, 205-6, 217-8, 229-30, 301, 310, 321, 371, 372
 Torricelli E. 51
 Torroja E. 94
 Torvalds L. 324-5
 Transport for London 185
 Trimble 134, 294, 304
 Tripadvisor 73
 Tschumi B. 116-7

Turing A. 342, 344, 356, 362
Twitter 42, 73, 253-6
T-spline inc. 294

Unity Technologies 273
University College London 148, 187, 190
UNsense 183-4
UNstudio 169, 183-4

Van Berkel B. 183-4
Van Rossum G. 332
Vander Wall T. 41
Vapnik V. 354
Vecellio T. 43
Venturi R. 11-2, 15-6, 35-6, 112-4, 118, 125, 397-8,
Versprille K. 271, 285
Vitruvio 43, 48, 83, 97, 138

Wallbank B. 332
Walker J. 271

Warhol W. 113
Weckert S. 73-4, 392-3
Weinstock M. 132
Welbourn D. 269
Weller H. 331
West K. 261-2
WeWork 161-2, 179-80, 233-4, 419-20
Wigley M. 117, 125
Wikipedia 325, 416-7
Williams P. 261, 262

Zaera-Polo A. 127
Zaha Hadid Architects 121-3, 134, 136-7, 147-9, 151-2,
161-2, 166-8, 181-4, 209-11, 215, 218, 223, 228-
30, 268, 287, 312, 327, 332, 399
Zamorano P. 161-4, 171-2, 183-4, 187-8, 195-6, 209-
10, 310, 312, 318, 327, 372-3
Zamperini A. 57
Zheng H. 363

RINGRAZIAMENTI

Giunto alla conclusione di questo percorso di ricerca mi rendo conto di come la molteplicità di cui è imbevuto il progetto architettonico contemporaneo sia estendibile alle voci e ai diversi contributi, anche apparentemente invisibili, che hanno arricchito il mio percorso. Allo stesso modo, i miei ringraziamenti vanno a tutti coloro che durante questi tre anni, in un modo o nell'altro, hanno reso possibile il mio lavoro.

Voglio esprimere la mia sincera gratitudine nei confronti del professor Giovanni Francesco Tuzzolino, tutor della ricerca, che mi ha supportato, guidato spingendomi ad affrontare la mia tesi come un progetto, orientandola verso una composizione coerente con le radici del progetto architettonico, Ringrazio il Dr. Fulvio Wirz, co-tutor di questa tesi, che mi ha permesso di toccare con mano la complessità della progettazione digitale contemporanea, ospitandomi presso la University of East London e fornendomi innumerevoli indicazioni e suggerimenti volti al continuo approfondimento della mia ricerca.

La mia gratitudine va quindi al prof. Giuseppe Pellitteri, con cui ho iniziato questo percorso, per avermi incoraggiato e sostenuto nello studio e nella sperimentazione degli strumenti digitali per la progettazione architettonica, così come a tutti i membri del collegio di dottorato in architettura arti e pianificazione del dipartimento d'architettura dell'università degli studi di Palermo, dal coordinatore, il professor Filippo Schilleci, sino a tutti i docenti che si sono dedicati con passione all'educazione alla ricerca di noi dottorandi. Ringrazio i professori del collegio di indirizzo in progettazione architettonica teoria e tecnologia, e in particolare le professoresse Rossella Corrao e Maria Luisa Germanà per aver arricchito le prospettive del mio percorso, così come la professoressa Tiziana Campisi per il grande supporto dimostratosi. Ringrazio la University of East London che mi ha accolto nel 2019 e in particolare il professor Carl Callaghan, i docenti Maria Segantini, e Isaie Bloch per l'interesse dimostrato verso la mia ricerca e per i diversi momenti di confronto e apprendimento che hanno caratterizzato la mia permanenza presso la UEL. Grazie inoltre ai professori Julie Wall e Sin Wee Lee, del dipartimento computer science della University of East London, per le indicazioni e i chiarimenti sui metodi di machine learning.

I risultati di questa ricerca non sarebbero mai stati raggiunti senza le interviste a Steven Chilton, Daniel Davis, Aurelie de Boissieu di Grimshaw Architects, Xavier de Kestelier di Hassell, Al Fisher di Buro Happold, Harry Ibbs di Gensler, Arthur Mamou-

Mani, Andreas Klok Pedersen di BIG Bjarke Ingels Group, Edoardo Tibuzzi di AKTII e Pablo Zamorano di Heatherwick studio, che mi hanno dedicato ore o addirittura intere giornate, mostrandomi vantaggi e limiti dell'utilizzo di strumenti digitali per la progettazione architettonica. A loro e ai loro studi va la mia gratitudine, così come a Patrik Schumacher e ai ragazzi dello studio Zaha Hadid Architects che mi hanno accolto in diverse occasioni. Ringrazio allo stesso modo Irene Gallou che mi ha permesso di indagare l'utilizzo della simulazione all'interno dello studio Foster and Partners, e Bjarke Ingels per la sua disponibilità nei miei confronti. Grazie ai professori Roberto Bottazzi, Mario Carpo, Silvio Carta, Davide Lombardi, Micheal Weinstock, Luca Molinari e agli altri accademici che ho avuto la fortuna di incontrare durante convegni o presso le loro università, e che in diversi momenti mi hanno fornito osservazioni o preziosi suggerimenti.

Voglio al contempo esprimere la mia riconoscenza nei confronti dell'architetto Lorenzo Vianello di T&V Architects, che in più momenti mi ha fornito importanti occasioni per lo sviluppo della mia ricerca nella capitale britannica. Grazie a Francesco per la sua amicizia incondizionata, per il suo apporto a questa tesi e per i suoi instancabili suggerimenti, grazie a Marita che oltre ad aver condiviso la mia esperienza londinese mi ha aiutato nella revisione dei testi, scovando e imbarazzanti refusi o imprecisioni nelle traduzioni e a Gaetano e Milena per la loro disponibilità e affetto. Grazie ai miei colleghi dottorandi e in particolare a Marco e Ruggero, per i numerosi momenti di confronto, a Piero e Nicola, colleghi dello studio Mirabilia, per la pazienza e il supporto.

Dedico questo mio progetto, con profonda gratitudine, alla mia famiglia, a mia sorella e ai miei genitori, che da sempre mi incoraggiano e sostengono le mie scelte, spingendomi ad affrontare con impegno e coraggio ogni occasione di crescita.