

**Progettazione
Tecniche & Materiali**

Nanotecnologie in edilizia

**Innovazione tecnologica e nuovi
materiali per le costruzioni**

Contributo di Cesare Sposito

Francesca Scalisi


**MAGGIOLI
EDITORE**

FRANCESCA SCALISI

NANOTECNOLOGIE IN EDILIZIA

Innovazione tecnologica
e nuovi materiali per le costruzioni

Contributo di Cesare Sposito



ME
MAGGIOLI
EDITORE

© Copyright 2010 by Maggioli S.p.A.

Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.
Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2000

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8
Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622020
www.maggioli.it/servizioclienti
e-mail: servizio.clienti@maggioli.it

Diritto di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione
e di adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Finito di stampare nel mese di dicembre 2010
dalla Litografia Titanlito s.a.
Dogana (Repubblica di San Marino)

Indice

<i>Introduzione</i>	Pag. 7
Capitolo I – L'architettura del ferro, del vetro e del cemento armato	» 13
Capitolo II – L'architettura post-moderna	» 29
Capitolo III – L'utopia del possibile: la nanoinnovazione	» 53
Capitolo IV – La nanoarchitettura	» 75
Capitolo V – Il calcestruzzo	» 87
Capitolo VI – L'acciaio	» 93
Capitolo VII – Il legno	» 95
Capitolo VIII – Il vetro	» 97
8/1 East Hotel	» 111
8/2 Britomart Transport Centre	» 112
8/3 Glass Tree House	» 113
8/4 Museum of the Earth	» 114
8/5 Macquarie Bank Building	» 115
8/6 Deutsche Post Tower	» 117
8/7 Institute of Diplomatic Studies	» 118
Capitolo IX – I nanorivestimenti	» 121
9/1 New Museum of Contemporary Art	» 124
9.1. L'effetto loto	» 125
9/2 Museo dell'Ara Pacis	» 129
9/3 Lumenart Building	» 130
9/4 Strucksbarg House	» 131
9.2. La fotocatalisi	» 132

	9/5 Chiesa Dives in Misericordia	Pag. 138
	9/6 Air France Siège Social	» 139
	9/7 I-35W Saint Anthony Falls Bridge.....	» 140
	9/8 La Cité de la Musique et des Beaux-Arts ...	» 142
	9/9 Muhammad Ali Centre.....	» 143
	9/10 House in Senri	» 144
	9/11 G-Flat	» 145
	9/12 40 Bond Street, Apartment Building....	» 146
	9/13 Palais des Congrès.....	» 147
	9/14 Shin-Marunouchi Tower.....	» 149
9.3.	Le membrane fotocatalitiche	» 150
9.4.	Le superfici facili da pulire.....	» 150
	9/15 Tokyo Big Sight	» 152
	9/16 Busan Bando Model House	» 153
	9/17 Dallas Cowboys Stadium	» 154
	9/18 Dubai Sports City Cricket Stadium.....	» 156
	9/19 Narita International Airport Terminal 1..	» 157
	9/20 Centre Pompidou.....	» 158
	9/21 Residenza a Erlenbach.....	» 159
	9/22 Kaldewei Kompetenz Center	» 160
9.5.	Rivestimenti resistenti ai graffi.....	» 161
9.6.	Rivestimenti antibatterici.....	» 161
Capitolo X – Nanotecnologia e risparmio energetico.....		» 163
10.1.	I nanoisolanti	» 163
10.1.1.	Film sottili e vernici nanoisolanti.....	» 166
	10/1 Suvarnabhumi International Airport	» 168
10.1.2.	L'Aerogel.....	» 169
	10/2 Peter Jay Sharp Athletic and Recreation Center.....	» 173
	10/3 Edmonton Islamic Academy.....	» 174
	10/4 New York Hall of Science	» 175
	10/5 Roosevelt Elementary School.....	» 176
	10/6 X2 Warehouse.....	» 177
	10/7 Sculpture Building and Gallery, Yale University.....	» 178
10.1.3.	Isolamento termico: pannelli isolanti a vuoto (Vacuum Insulation Panels).....	» 179
	10/8 Seitzstrasse Mixed-use Building.....	» 181
10.1.4.	Materiali a cambiamento di fase (Phase Change Material).....	» 182

10.2. Il fotovoltaico	Pag. 183
10.3. I diodi emettitori di luce (Light Emitting Diode, LED) e i diodi emettitori di luce organici (Organic Light Emitting Diode, LED).....	» 191
10/9 Talee Star Palace.....	» 196
10/10 Galleria Department Store.....	» 197
Capitolo XI – Vantaggi, rischi e precauzione per i pro- dotti nanostrutturati di Cesare Sposito	» 199
<i>Bibliografia</i>	<i>» 247</i>

Introduzione

L'innovazione in edilizia segue percorsi tutt'altro che lineari e sicuramente si muove con maggiore lentezza rispetto agli altri settori. Tale ritardo è determinato dal fatto che le innovazioni nelle costruzioni vengono assorbite in tempi più lunghi, sia dal punto di vista della produzione industriale, che del progetto di architettura; affinché tali materiali siano acquisiti nella comune prassi costruttiva sono necessari processi di adattamento e di verifica delle prestazioni in condizioni d'uso che, uniti alle difficoltà tecnico-operative legate all'impiego dei materiali avanzati e all'assenza di normative specifiche, tendono a ritardarne la diffusione. Ciò dipende probabilmente anche dal fatto che tanto le tecniche costruttive quanto i materiali e i componenti tradizionali sono fortemente radicati all'interno del processo edilizio e offrono pertanto agli operatori maggiore sicurezza di applicazione e di durata.

Nel labirinto delle mutazioni che animano i sistemi economici moderni il settore delle costruzioni si misura quotidianamente con sfide che non può in alcun modo eludere o ignorare. Appare sempre più chiaro come il futuro dell'edilizia passi attraverso investimenti mirati a un rilancio dell'innovazione tecnologica. In gioco vi è la credibilità di tutta una filiera che, mediante qualità imprenditoriali virtuose, può svolgere un ruolo di capofila nella riconversione dell'economia a criteri e standard di maggiore sostenibilità ambientale.

Bilanciare i vantaggi offerti dallo sviluppo con la salvaguardia dell'ambiente e la scarsità delle risorse naturali costituisce una sfida comune ai produttori del settore edile che sempre più punteranno sul miglioramento delle prestazioni dei materiali e dell'efficienza energetica degli edifici, razionalizzando l'uso delle fonti primarie e favorendo gli interventi che riducono i consumi e utilizzano fonti rinnovabili.

Nel settore delle costruzioni è, oggi, quasi assente un'attività di ricerca e di sperimentazione autonoma, ricerca che nel campo

di materiali con prestazioni sempre più elevate costituisce una condizione imprescindibile per la realizzazione di prodotti e di sistemi sempre più efficienti. L'innovazione tecnologica edilizia deriva spesso da processi di trasferimento tecnologico da altri settori industriali, caratterizzati da forti spinte all'innovazione (principalmente quello aerospaziale, automobilistico e biomedico), che dai primi anni del 2000 ha riguardato la ricerca applicata sui materiali innovativi avanzati. Con questa definizione si indicano genericamente tutti quei materiali ceramici, metallici o polimerici progettati su misura per soddisfare una o più esigenze. Tali materiali si differenziano da quelli tradizionali non tanto perché realizzati in tempi più recenti, ma perché presentano un alto grado di funzionalizzazione, ovvero sono progettabili intervenendo sulla loro struttura fisica e chimica per variare il loro contenuto informativo ed elevarne i livelli prestazionali.

Oggi si parla tanto di nanotecnologie: ma cosa sono le nanotecnologie? Esse costituiscono un nuovo approccio che si basa sulla comprensione e la conoscenza approfondita delle proprietà della materia su scala nanometrica: un nanometro (un milionesimo di metro) corrisponde alla lunghezza di una piccola molecola. Sebbene oggi la domanda nel settore delle nanotecnologie sia piuttosto limitata, essa è destinata a un forte sviluppo. Il grande interesse suscitato in questo settore di ricerca stimola l'ulteriore messa a punto di materiali innovativi, i cui principali vantaggi diventeranno la sempre più relativa semplicità di produzione e, soprattutto, l'economicità del prezzo.

Una crescita continua ed esponenziale dunque, destinata ad ampliare notevolmente le alternative a disposizione degli operatori edilizi nella scelta dei materiali da impiegare, fino a modificare il modo stesso di concepire l'architettura grazie alle straordinarie, e talvolta inedite, proprietà che i materiali nanostrutturati presentano. Oggi disponiamo di nano compositi, mentre è possibile rivestire mediante *coating nanostrutturati* la maggior parte dei materiali comunemente impiegati nelle costruzioni, selezionando la tipologia di rivestimento in base alle prestazioni specifiche richieste: materiali ceramici di maggiore durezza e tenacità; metalli di maggiore durezza, con elevato carico allo snervamento e particolari proprietà elettriche; polimeri con maggiore resistenza meccanica, al calore, agli attacchi chimi-

ci, migliori proprietà di barriera allo scambio gassoso, migliore trasparenza, conduttività elettrica, resistenza ad agenti atmosferici e all'invecchiamento.

I materiali nanostrutturati possono anche reagire agli stimoli esterni migliorando la risposta ai fattori ambientali e la resistenza agli agenti aggressivi, fino a favorire l'ossidazione di sostanze inquinanti: uno tra tutti, la malta fotocatalitica a base di diossido di titanio TX Active, brevettata dalla Italcementi. Tuttavia per alcuni di questi materiali esistono ancora incognite circa la stabilità nel tempo delle reazioni chimiche prodotte sulla superficie, l'eventuale rilascio di sostanze tossiche nel lungo periodo, i livelli di sostenibilità nei processi produttivi su scala industriale e le modalità di dismissione.

Il rapporto tra uomo e materia, in virtù delle recenti scoperte nel campo biomolecolare, è radicalmente mutato consentendo al primo di manipolare la strutture infinitesimali della seconda, fino alla messa a punto di materiali a maggiore complessità, gestita per ottenere prestazioni molto precise e puntuali. Nuovi materiali estremamente eterogenei e per nulla classificabili secondo i tradizionali criteri si affacciano sul mercato, mutando riferimenti consolidati che per secoli avevano guidato l'uomo nella conoscenza del mondo circostante.

Parafrasando Bauman (cfr. BAUMAN Z., *Liquid Modernity*, Cambridge, Polity Press, 2000; trad. it. *Modernità liquida*, Roma-Bari, Laterza, 2002) e la dimensione liquida che l'autore attribuisce alla società postmoderna, possiamo parlare di *materia liquida*, intendendo con ciò la nuova condizione della materia, la cui perdita di identità induce a continue sperimentazioni per conferirle una riconoscibilità che è sempre più leggera e flessibile.

L'oggetto, ancor prima di essere classificato per la propria natura materica, è identificato da valori prestazionali: la materia di cui è composto non risulta derivare dalle proprietà fondamentali del materiale stesso, quanto piuttosto dalla possibilità di attribuirvi caratteristiche estranee e originali che lo rendano più performante.

Le prestazioni che oggi è possibile conferire a un prodotto dipendono dalla scala a cui si opera sulla materia. Per esempio, agendo sulla struttura atomica di un materiale è possibile intervenire sulle sue proprietà generali, che distinguono le tre grandi

famiglie di prodotti ceramici, metallici e polimerici; agendo sul tipo di distribuzione spaziale degli atomi e sull'intensità dei loro legami è possibile modificare lo stato di aggregazione da solido a liquido o gassoso, per esempio, per la creazione di nuove leghe metalliche e materiali ceramici a elevate prestazioni specifiche. Dal tipo di microstruttura derivano molte proprietà fisico-meccaniche, quali, per esempio, il tipo di cariche presenti in un polimero, e dalla macrostruttura è possibile gestire le proprietà di adesività di un composito modificando la combinazione tra quantità di fibre e di matrici presenti.

Tra i materiali innovativi avanzati, attualmente impiegati in ambito edilizio, è possibile individuare due principali famiglie: i materiali a prestazioni fisse, in cui le proprietà finali sono selezionate e predeterminate attraverso particolari conformazioni chimico-fisiche e processi di sintesi, e i materiali *smart*, in grado di variare le proprie caratteristiche in risposta a stimoli esterni. Per alcuni di questi l'applicazione in ambito edilizio è ormai consolidata (si pensi ai compositi fibrorinforzati impiegati per il consolidamento di strutture esistenti o per la realizzazione di componenti strutturali leggeri e resistenti), mentre per altri la domanda è oggi in forte crescita (vetri bassoemissivi e selettivi per il risparmio energetico, sensori e dispositivi di controllo nel campo della domotica), accanto a materiali impiegati solo in via sperimentale per i quali si intravedono tuttavia enormi prospettive nel settore delle costruzioni (materiali fotovoltaici organici o i materiali a memoria di forma).

La presente pubblicazione esplora il tema dell'innovazione edilizia confrontandosi con una questione complessa, le nanotecnologie, organizzando il volume secondo una logica di materiali e di elementi tecnici.

Andando più specificatamente ai contenuti, la pubblicazione indaga, inizialmente, sul rapporto tra innovazione tecnologica e architettura, dalla fine del XIX secolo sino ai nostri giorni, sottolineando soprattutto il forte legame tra l'uso di materiali innovativi e la progettazione architettonica, un filo che lega l'architettura all'avvento del ferro, del vetro e del cemento armato, per introdurre al tema delle nanotecnologie, forse, la nuova frontiera dell'innovazione. Successivamente, vengono illustrati i materiali nanostrutturati, con un'ampia panoramica sui ma-

teriali utilizzati in edilizia (calcestruzzo, acciaio, legno, vetro, rivestimenti) che sono stati modificati con l'apporto della nanotecnologia; un capitolo è stato dedicato al rapporto tra nanotecnologia e risparmio energetico, in quanto proprio la nanotecnologia viene considerata determinante per la progettazione di edifici sostenibili.

Capitolo I

L'architettura del ferro, del vetro e del cemento armato

"C'è un quadro di Klee che s'intitola *Angelus Novus*. Vi si trova un angelo che sembra in atto di allontanarsi da qualcosa su cui fissa lo sguardo. Ha gli occhi spalancati, la bocca aperta, le ali distese. L'angelo della storia deve avere questo aspetto. Ha il viso rivolto al passato. Dove ci appare una catena di eventi, egli vede una sola catastrofe, che accumula senza tregua rovine su rovine e le rovescia ai suoi piedi. Egli vorrebbe ben trattenersi, destare i morti e ricomporre l'infranto. Ma una tempesta spira dal paradiso, che si è impigliata nelle sue ali, ed è così forte che egli non può più chiuderle. Questa tempesta lo spinge irresistibilmente nel futuro, a cui volge le spalle, mentre il cumulo delle rovine sale davanti a lui al cielo. Ciò che chiamiamo progresso, è questa tempesta"⁽¹⁾.



Fig. 1.1 – Paul Klee: *Angelus Novus* (1920)

⁽¹⁾ BENJAMIN W., *Angelus Novus*, Torino, Einaudi, 1962, pp. 76-77.

Il rapporto fra innovazione tecnologica e architettura risulta fondamentale per comprendere le trasformazioni e le evoluzioni tipologiche conseguenza proprio dell'introduzione di nuove tecnologie costruttive ⁽²⁾. L'introduzione di nuovi materiali e tecnologie in architettura ha sempre comportato modifiche linguistiche e tipologiche. Infatti, se si guarda alla storia dell'architettura, i grandi salti concettuali coincidono con le innovazioni strutturali e tecnologiche, con la presenza di architetti *moderni*, che sono andati *oltre* i confini della tecnologia contemporanea, così come dimostra Filippo Brunelleschi nella costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze ⁽³⁾. Sempre su Brunelleschi, il Tafuri afferma che "come protagonista della prima avanguardia artistica in senso moderno, il Brunelleschi spezza la continuità storica delle esperienze figurative, pretendendo di *costruire* autonomamente una *nuova storia*. Le sue allusioni all'antichità classica non sono, conseguentemente, che un supporto – l'unico ancora accettabile. E si badi bene: si tratta di un supporto chiaramente ideologico, atto più a distaccarsi dal passato che a riaffermarlo come tradizione" ⁽⁴⁾.

Nel XIX secolo, l'introduzione nelle costruzioni di materiali nuovi ⁽⁵⁾ come il ferro, la ghisa, l'acciaio, il vetro e in seguito

⁽²⁾ Appare opportuno all'inizio di questo volume, introdurre i termini *innovazione* e *tecnologia*, data la loro centralità negli argomenti che saranno affrontati. È considerata *innovazione* l'introduzione di qualcosa di nuovo e utile, sia esso un metodo, una tecnica, un prodotto, un servizio, una soluzione organizzativa, uno strumento informativo. La differenza tra innovazione e semplice perfezionamento è che la prima causa una riorganizzazione della società, a prescindere dalla positività o negatività dei suoi risultati.

Il termine *tecnologia* è stato coniato nel XVI secolo per designare la disciplina che studia i manufatti utili che vengono costruiti e le capacità, le conseguenze e le procedure per costruirli e usarli; in pratica la scienza dei mezzi impiegati per produrre ciò che è necessario a una società. Cfr: Bocco A., CAVAGLIA G., *Cultura tecnologica dell'architettura. Pensieri e parole prima dei disegni*, Roma, Carocci, 2008 e Sposito A., *Tecnologia antica: storie di procedimenti, tecniche e artefatti*, Palermo, Dario Flaccovio, 2007.

⁽³⁾ FOSTER ASSOCIATES, *Buildings and Projects*, Volume III, Watermark, p. 14.

⁽⁴⁾ TAFURI M., *Teorie e storia dell'architettura*, Roma, Laterza, 1986.

⁽⁵⁾ Ovviamente materiali come il ferro e il vetro erano già conosciuti, ma in passato venivano utilizzati solo per la realizzazione di elementi accessori come, ad esempio, ancoraggi, tiranti o grappe.

il cemento armato, determinano una rivoluzione, consentendo uno sviluppo quasi illimitato degli elementi delle strutture tradizionali. Nuovi materiali e nuove tecniche sono strettamente connessi con la rivoluzione industriale, artefice di una vertiginosa accelerazione della tecnologia, attualmente ancora in atto, creando non pochi problemi alla stessa identità architettonica.

“Già nella prima metà del XIX secolo si profilò un influsso dell'industrializzazione sull'edilizia. Sorsero costruzioni basate sostanzialmente sull'impiego di materiali, possibilità tecniche e metodi di produzione appena scoperti: la ghisa, seguita dai profilati di ferro laminato e di acciaio. Nella costruzione in ferro, il bullone e il ribattino divennero gli elementi di giunzione normalmente usati. Dall'invenzione del cemento armato sorse la tecnica delle costruzioni omogenee: la successiva fabbricazione di cavi a grande forza di trazione rese possibili aperture fino ad allora irrealizzabili. A ciò si aggiunsero impianti di produzione di energia con i quali, mediante cinghie di trasmissione, si poterono azionare le macchine. Il cantiere si trasformò in fabbrica e da ciò derivano principi di produzione totalmente nuovi. Nelle scienze si svilupparono leggi e formule che divennero un mezzo accessibile a tutti e direttamente impiegabile per il calcolo delle forze. Il sapere empirico fu sostituito dalla scienza esatta” (6).

All'interno della produzione architettonica post-artigianale, occorre distinguere diverse fasi, già delineate da Carlo Giulio Argan (7) nel 1965 e riprese recentemente da Giorgio Giallocosta (8). L'Argan individua tre fasi nella storia dell'industrialismo moderno: la prima, di ripetizione meccanica o di spersonalizzazione dei motivi e dei processi formali dell'artigianato, che può essere identificata con la cosiddetta 'architettura dell'ingegneria'; la seconda, caratterizzata dal carattere razionale o scientifico dei processi meccanici, che si esplica sostanzialmente nel *Movimento Moderno*; la terza, in cui i processi pratici della pro-

(6) WACHSMANN K., *Una svolta nelle costruzioni*, Milano, Il Saggiatore, 1960, p. 11.

(7) ARGAN G.C., *Progetto e destino*, Milano, Il Saggiatore, 1965.

(8) GIALLOCOSTA G., *Riflessioni sull'innovazione. Architettura e produzione edilizia nei regimi di complessità delle fasi storiche di sviluppo del costruire*, Firenze, Alinea, 2004, p. 29.

duzione tendono a sormontare la razionalità tradizionale, è rappresentata dall'epoca postmoderna.

L'utilizzo dei nuovi materiali ha reso possibile la nascita dell'"architettura dell'ingegneria" con la realizzazione di prodotti edilizi anch'essi nuovi e non legati alla tradizione, come ad esempio le stazioni ferroviarie.

"Per la prima volta nella storia dell'architettura appare, col ferro, un materiale di costruzione artificiale. Esso subisce un'evoluzione il cui ritmo si accelera nel corso del secolo. Questa evoluzione riceve un impulso decisivo quando si vede che la locomotiva, con cui si sono fatti esperimenti a partire dalla fine degli anni Venti, funziona solo su binari di ferro. Il binario diventa la prima parte montabile in ferro, l'antesignano del pilone. Si evita il ferro nelle case d'abitazione, e lo si impiega nei passaggi, nei padiglioni delle esposizioni, nelle stazioni ferroviarie – tutte costruzioni a scopi transitori. Nello stesso tempo si estende il campo di applicazione architettonica del vetro. Ma le premesse sociali di una sua più ampia utilizzazione come materiale edilizio si ritrovano solo cent'anni dopo. Ancora nell'*Architettura in vetro* di Scheerbart (1914) essa appare in un quadro utopistico" ⁽⁹⁾.



Fig. 1.2 – Pritchard, Darby e Wilkinson: ponte sul Severn, presso Coalbrookdale (1779)

⁽⁹⁾ BENJAMIN W., *Op. cit.*, p. 90.

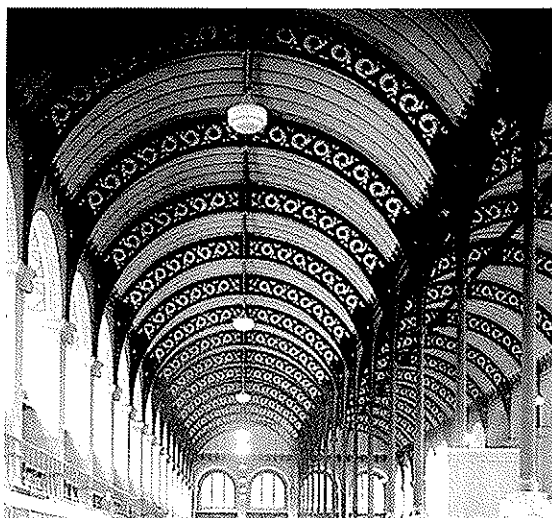


Fig. 1.3 – *Labrouste: la Biblioteca di Sainte Geneviève a Parigi (1843)*



Fig. 1.4 – *LeBaron Jenney: l'Insurance Building a Chicago (1885)*

All'interno dell'architettura dell'ingegneria, collocabile tra il 1750 e il 1880, si possono distinguere due fasi: lo sperimentalismo costruttivo e il tecnologismo ingegneresco. Il primo promuove una progettazione edile con tecniche miste, usando il repertorio ornamentale conosciuto, anche se rivisitato con materiali mai adottati prima, come nel *ponte sul Severn*, presso Coalbrookdale (Fig. 1.2), del 1779, il primo esempio di uso strutturale della ghisa, costituito da un arco di 30,5 metri, a opera di Pritchard, Darby e Wilkinson o nella *Biblioteca di Sainte Geneviève* a Parigi, di Labrouste del 1843 (Fig. 1.3); il secondo elabora importanti sistemi di costruzione, come nell'*Insurance Building* (Fig. 1.4) o nel *Crystal Palace* (Fig. 1.5)

Il *Crystal Palace* di Londra costruito in occasione della Grande Esposizione del 1851 dal giardiniere Joseph Paxton prende spunto da un metodo per la costruzione delle serre. Il *Crystal Palace* "non esprimeva una soluzione formale particolare: era piuttosto un processo costruttivo reso esplicito quale sistema totale, a partire dalla concezione, dalla fabbricazione e dal trasporto iniziali, fino alla costruzione e allo smantellamento finale" ⁽¹⁰⁾. L'*Insurance Building* venne costruito nel 1885 a Chicago dall'ingegnere William LeBaron Jenney e rappresenta il primo grattacielo a scheletro metallico.

⁽¹⁰⁾ FRAMPTON K., *Storia dell'architettura moderna*, Bologna, Zanichelli, 1986, p. 29.

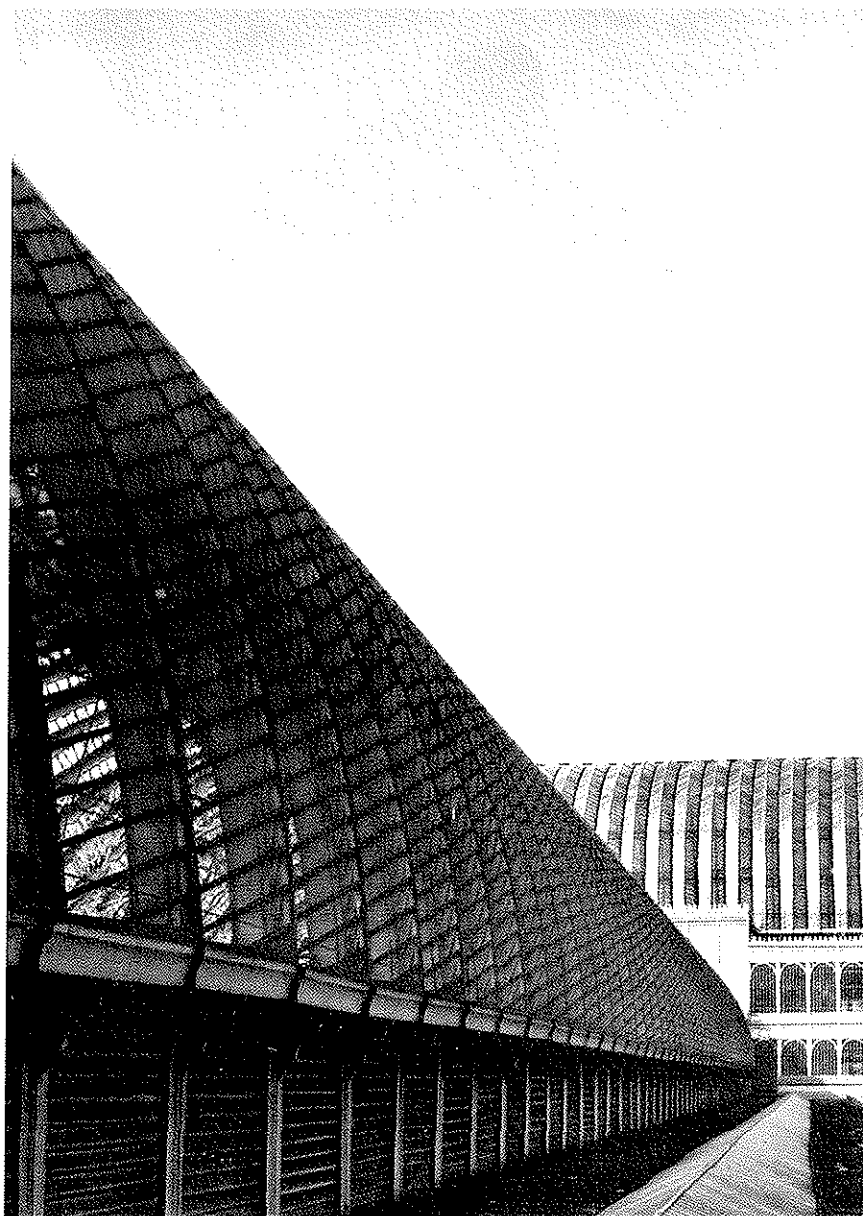


Fig. 1.5 – *Joseph Paxton: il Crystal Palace a Londra (1851)*



Fig. 1.6 – Un'immagine dal basso della Tour Eiffel, costruita nel 1889, in occasione dell'Esposizione Universale di Parigi

Molte delle innovazioni che caratterizzano lo sviluppo in ambito edilizio sono conseguenza del trasferimento tecnologico ⁽¹¹⁾: Henry Bessemer, nel 1855, durante la Guerra di Crimea, inventò il primo metodo di produzione dell'acciaio per ovviare alla debolezza delle pistole in ferro dell'esercito francese; John Smeaton sviluppò la tecnologia del calcestruzzo idraulico per consolidare la propria nave; Elisha Graves Otis nel 1854 rivoluzionò il sistema di comunicazione verticale con l'invenzione dell'ascensore, presentata durante l'Esposizione Universale di New York, e senza la quale si pensa che non sarebbe potuto nascere il grattacielo; Willis Carrier nel 1906 brevettò negli Stati Uniti l'*Apparatus for Treating Air* per il controllo sulla qualità dell'aria, dell'umidità e

⁽¹¹⁾ Il *trasferimento tecnologico* è quel processo per mezzo del quale le tecniche e i materiali utilizzati in un settore dell'industria sono applicati a un altro settore.

della temperatura. Soprattutto il calcestruzzo armato ha avuto un impatto dirompente sullo sviluppo dell'architettura, rappresentando ancora oggi il principale materiale da costruzione. La moderna tecnica del cemento armato si deve a François Hennebique, che si avvale dell'uso di sbarre a sezione circolare che potevano essere incurvate e agganciate.

Tutto ciò ha innescato una rincorsa dell'architettura verso le innovazioni tecnologiche che ha avuto un unico ed irripetibile punto d'incontro nel Movimento Moderno. Martin Pawley afferma che la più grande rivoluzione architettonica nella storia, rappresentata appunto dal Movimento Moderno, è stata resa possibile dall'utilizzo delle innovazioni tecnologiche disponibili ⁽¹²⁾. La nuova architettura è nata da importanti cambiamenti avvenuti nella società e nei suoi bisogni, e ha trovato nelle possibilità offerte dalla contemporanea tecnologia un valido strumento per esprimersi.

La frattura che i pionieri del Movimento Moderno hanno realizzato nei confronti della tradizione appare ancora oggi incredibilmente rivoluzionaria, espressione del coraggio e della determinazione di creare una nuova architettura rappresentativa dei propri tempi.

“Un vortice apparentemente così forte come non se ne ricordano di precedenti, si è avuto quando i teorici del Movimento Moderno all'inizio del secolo dichiararono, come degli ammutinati, che la scienza, la tecnologia e il socialismo avrebbero interamente cambiato il cosmo così che l'intera storia dell'architettura si sarebbe potuta racchiudere in una singola categoria chiamata il passato e gettare alla deriva in una barchetta. Gli architetti della generazione del 1914, gli ammutinati col monocolo che vissero attraverso l'invenzione dell'automobile e dell'aeroplano, furono i primi ad abbracciare la scienza e la tecnologia come un sostituto della loro eredità culturale accumulata, portandole per la prima volta nel campo principale del pensiero architettonico. Essi presero questa strada come artisti, ai quali era permesso trovare l'ispirazione dove avessero voluto, ma presto capirono

⁽¹²⁾ PAWLEY M., *Technology Transfer*, in “The Architectural Review”, n. 1087, 1987, pp. 30-39.

che quella immersione nella scienza e nella tecnologia minacciava la loro vecchia identità. Prima di morire, gli ammutinati capirono che la loro arte era stata convocata dalla macchina e non il contrario” (13).

I nuovi materiali e le nuove tecnologie, dunque, diventano determinanti per una nuova architettura. A questo proposito è possibile rileggere *I Cinque Punti dell'Architettura* di Le Corbusier e Pierre Jeanneret alla luce dell'introduzione di nuovi materiali: “La casa su *pilotis*! La casa si approfondiva nel terreno: locali oscuri e sovente umidi. Il cemento armato rende possibili i *pilotis*. La casa è nell'aria, lontano dal terreno; il giardino passa sotto la casa, il giardino è anche sopra la casa, sul tetto. Da secoli una copertura a spioventi tradizionale sopporta normalmente l'inverno col suo manto di neve, mentre la casa è riscaldata con stufe. Da quando è installato il riscaldamento centrale, il tetto tradizionale non conviene più. La copertura non deve più essere spiovente ma incavata. Deve raccogliere le acque all'interno e non più all'esterno. I giardini-terrazze diventano opulenti: fiori, arbusti e alberi, prato. Ragioni tecniche, economiche, sentimentali e di comfort ci inducono ad adottare la copertura a terrazza. Finora: muri portanti. La pianta è schiava dei muri portanti. Il calcestruzzo armato porta nella casa la pianta libera! I piani non devono più essere ricalcati gli uni sugli altri. Sono liberi. Grande economia di volume costruito, impiego rigoroso di ogni centimetro. Grande risparmio di denaro. Razionalità agevole della nuova pianta! Il cemento armato rivoluziona la storia della finestra. Le finestre possono correre da un bordo all'altro della facciata. I pilastri arretrati rispetto alle facciate, verso l'interno della casa. Le facciate sono solo membrane leggere. La facciata è libera; le finestre, senza interruzioni, possono correre da un bordo all'altro” (14).

(13) *Ibidem*.

(14) LE CORBUSIER, JEANNERET P., *Oeuvre complète 1910-1929*, Zurigo, Gir-
sberger, 1967.

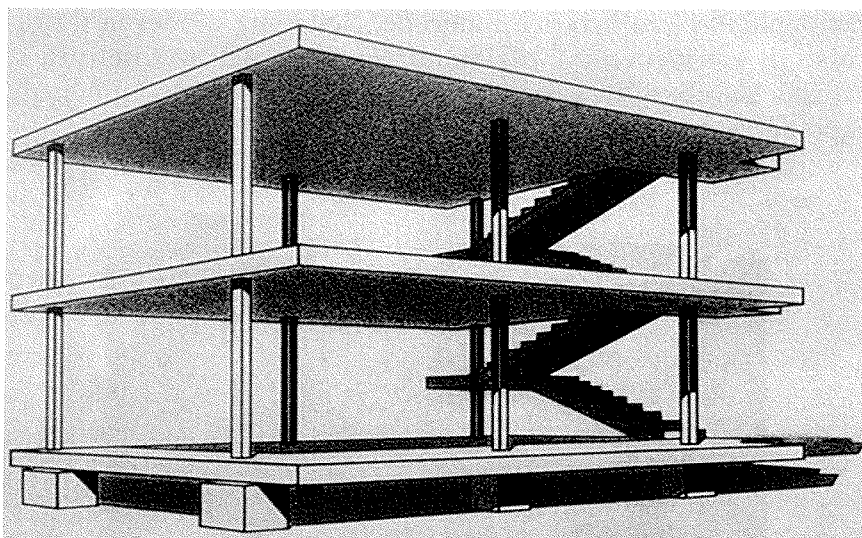


Fig. 1.7 – Le Corbusier: *Maison Dom-Ino* (1915)

E ancora Antonio Sant'Elia: "Il problema dell'architettura moderna non è un problema di rimaneggiamento lineare. Non si tratta di trovare nuove sagome, nuove marginature di finestre e di porte, non si tratta di lasciare la facciata a mattone nudo o di intonacarla, non si tratta, in una parola, di determinare differenze formali tra l'edificio nuovo e quello vecchio, ma di creare di sana pianta la casa nuova, costruita tesoreggiando ogni risorsa della scienza e della tecnica, appagando signorilmente ogni esigenza del nostro costume e del nostro spirito. Quest'architettura non può essere naturalmente soggetta a nessuna legge di continuità storica. Essa deve essere nuova come sono nuovi il nostro stato d'animo e le contingenze del nostro momento storico. L'arte di costruire ha potuto evolversi nel tempo e passare da uno stile all'altro mantenendo inalterati i caratteri generali dell'architettura, perché nella storia sono frequenti i mutamenti di moda e quelli determinati dall'avvicinarsi dei convincimenti religiosi e dal succedersi degli ordinamenti politici; ma sono rarissime quelle cause di profondo mutamento nelle condizioni dell'ambiente che scardinano e rinnovano, come la scoperta di leggi naturali, il perfezionamento di mezzi meccanici, l'uso

razionale e scientifico del materiale. Nella vita moderna il processo di conseguente svolgimento stilistico nell'architettura si arresta. L'architettura si stacca dalla tradizione; si ricomincia da capo per forza" ⁽¹⁵⁾.



Fig. 1.8 – Auguste Perret: abitazione in rue Franklyn a Parigi (1903)



Fig. 1.9 – Erich Mendelsohn: Torre Einstein a Potsdam (1917-1921)

⁽¹⁵⁾ BERNASCONI G., *Il messaggio di Antonio Sant'Elia del 20 maggio 1914*, in "Rivista tecnica della Svizzera italiana", Lugano, 1956.

Il cemento armato ha dato all'architetto una nuova libertà, anche se, da una parte, il metodo del getto suggeriva una modellazione libera, dall'altra parte, il metodo di calcolo basato sulla griglia cartesiana di travi e pilastri determinava una certa rigidità. Due grandi interpreti di queste visioni sono stati Perret e Mendelsohn: il primo, con la *Casa in rue Franklyn*, dove adotta il sistema della maglia ortogonale, il secondo, in progetti plasmati come sculture, anche se rimasti unicamente sulla carta. Anzi, quando Mendelsohn avrà la possibilità di mettere in pratica, con la *Torre Einstein*, la forza plastica della nuova tecnica, dovrà ricorrere, per ragioni pratiche, all'uso dei mattoni.

Nei decenni centrali del secolo scorso l'eredità dei primi grandi sperimentatori dà i suoi frutti nell'opera di Pier Luigi Nervi, di Felix Candela, fino ad arrivare a Santiago Calatrava, che rappresenta una felice sintesi tra la sincerità strutturale e il gusto dell'eccesso e della foga espressiva ⁽¹⁶⁾.

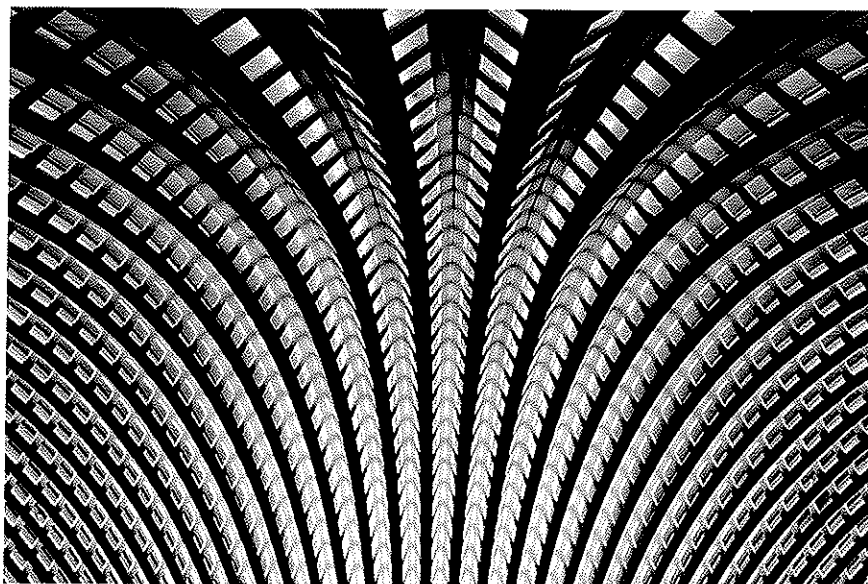


Fig. 1.10 – Pier Luigi Nervi: particolare dell'Aula Paolo VI a Roma (1966-1971)

⁽¹⁶⁾ PORTOGHESI P., Editoriale, in "Materia", n. 46, 2005, pp. 24-29.



Fig. 1.11 – Felix Candela: *Parco Oceanografico, Città delle Arti e della Scienza a Valencia (1994-2002)*



Fig. 1.12 – Santiago Calatrava: *Emisferico, Città delle Arti e della Scienza a Valencia (1998-2005)*



Fig. 1.13 – Santiago Calatrava: *Hemisfèric, Città delle Arti e della Scienza a Valencia (1998-2005)*

Capitolo II

L'architettura post-moderna

La post-modernità designa "lo stato della cultura dopo le trasformazioni subite dalle regole dei giochi della scienza, della letteratura e delle arti a partire dalla fine del XIX secolo" ⁽¹⁾. Così Jean-François Lyotard definisce, nel suo ormai celebre *La condition postmoderne*, il periodo che segue la fine della modernità. Essa è successiva all'epoca industriale, che, convenzionalmente, si data dal 1750 circa fino al 1945, corrispondendo alla fase storica che si può definire della contemporaneità. In ambito architettonico, il periodo post-moderno è riferibile alla fase cronologica che segue il Movimento Moderno.

Quasi tutti gli esperti ⁽²⁾ concordano nel far coincidere la fine del Movimento Moderno con la Seconda Guerra Mondiale. In tale situazione, per molti si è ormai compiuta la *condition post-moderne* lyotardiana, essendosi cominciato a sviluppare un consistente post-industrialismo, contrassegnato fondamentalmente da un riconoscibile cambiamento socio-economico, politico, culturale, in particolare evidenziato da una progressiva terziarizzazione e da una generale crisi istituzionale dell'ideologia e del sapere ⁽³⁾.

In ambito architettonico, assistiamo a ciò che Giorgio Giallocosta definisce "nuovi regimi di complessità" ⁽⁴⁾, ponendo soprattutto l'accento sugli aspetti tecnologici dell'architettura

⁽¹⁾ LYOTARD J.-F., *La condition postmoderne*, Paris, Les Editions de Minuit, 1979.

⁽²⁾ Tra questi ricordiamo il già citato Jean-François Lyotard, Ihab Hassan, Daniel Bell, Irving Howe e Harty Levin.

⁽³⁾ GAVINELLI C., *Post-Moderno*, in CRIPPA M.A. (a cura di), *Architettura del XX secolo*, Milano, Jaca Book, 1993, p. 95.

⁽⁴⁾ GIALLOCOSTA G., *Riflessioni sull'innovazione. Architettura e produzione edilizia nei regimi di complessità delle fasi storiche di sviluppo del costruire*, Firenze, Alinea, 2004, p. 41.

post-moderna ⁽⁵⁾, al cui interno possono distinguersi, schematicamente, un manierismo tecnologico tardo-moderno (1945-1970) ⁽⁶⁾, un alto tecnologismo o High-Tech (1960-1980-90) ⁽⁷⁾ e un pluralismo tecnico contemporaneo (1970-1990) ⁽⁸⁾.

Soprattutto la definizione *High-Tech*, o meglio *High-Tech Architecture*, ha finito per indicare, in maniera indistinta, molta parte dell'architettura del dopoguerra, contraddistinta dall'attenzione verso gli aspetti tecnologici e dalla visibilità da essi acquisita.

Il termine *high-tech* è nato in America alla metà degli anni Settanta con riferimento a uno stile di arredamento basato sull'uso di disegni dipinti sul muro, di ruote di automobili in lega al posto dei tavoli, di illuminazione industriale, di suppellettili da magazzino e di altri elementi non usualmente utilizzati in ambiente domestico ed è arrivato successivamente in Europa, per indicare quel tipo di architettura caratterizzata dall'uso di strutture portanti leggere e fortemente evidenziate, che era succeduta a quelle contrassegnate dall'impiego di telai pesanti in acciaio.

L'edificio high-tech può essere considerato un contenitore la cui forma è indipendente dalla funzione svolta al suo interno, permettendo di compiere molteplici e differenti funzioni. Oltre alla flessibilità interna, l'edificio high-tech è studiato per esse-

⁽⁵⁾ LOIK M., *Gli aspetti tecnologici dell'architettura post-moderna (1945-1990)*, in CRIPPA M.A. (a cura di), *Architettura del XX secolo*, Milano, Jaca Book, 1993, pp. 117-119.

⁽⁶⁾ Al Manierismo tecnologico tardo-moderno possono essere riferiti: lo Strutturalismo tecnicistico (Nervi, Wachsmann, Fuller, Mies), il Formalismo ibrido (Kahn, Saarinen), il Brutalismo (Smithson, Tange, Pei), la Prosecuzione modernista o tarda modernità (Stirling, Johnson, Murphy, Sadie), il Post-tradizionalismo (Pullem, Burrows, Biggin Burns). Cfr. Loik M., *Op. cit.*, p. 118.

⁽⁷⁾ All'Alto tecnologismo o High-Tech possono essere riferiti: gli Strutturalisti (Nervi, Wachsmann, Fuller, Mies, Foster), i Post-strutturalisti (Foster, Pei, Jahn), gli Utopici (Archigram, Friedman, Tange, Soleri), le Tecniche alternative (Metabolism, Murata, Ant-Farm, Grataloup). *Ibidem*.

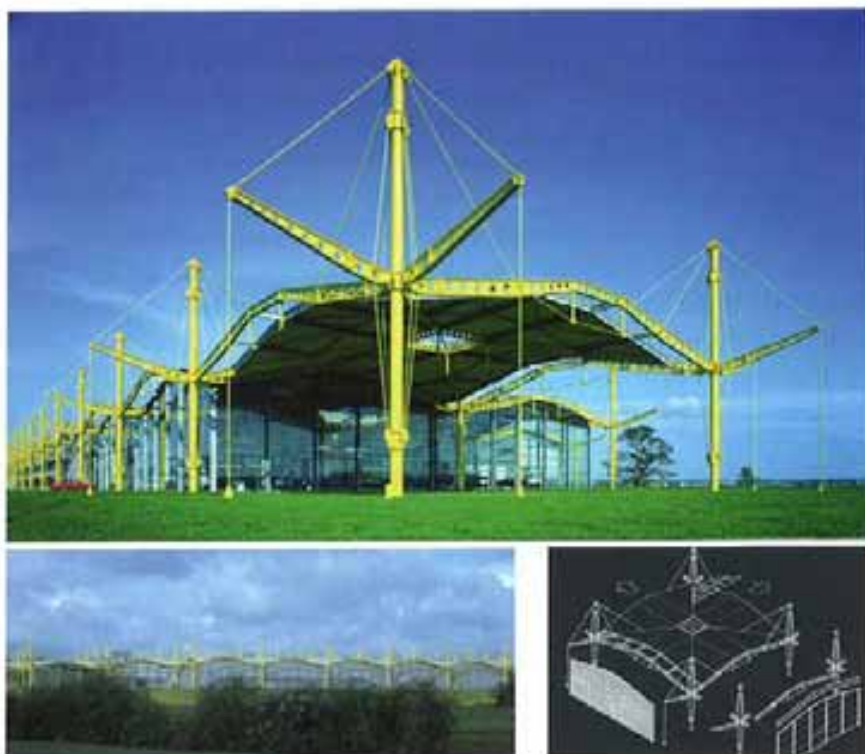
⁽⁸⁾ Al Pluralismo tecnico contemporaneo possono essere riferiti: il Post-costruttivismo (Piano-Rogers, Ungers, Chemetov), i Formalisti alto-tecnologici (Foster, Jahn, Nouvel, Fainsilber), i Formalisti post-moderni (Five, Leon Krier, Ungers), i Decostruttivisti (Gehry, Himmelblau, Libeskind). *Ibidem*.

re ripetuto modularmente ed è caratterizzato dalla trasparenza dell'involucro. Nell'approccio tecnologico, infatti, si ritiene necessario mostrare con chiarezza l'organizzazione costruttiva, in altri termini l'high-tech si deve vedere.

Tali caratteristiche si trovano in edifici come lo *Stabilimento Renault* a Swindon (Figg. 2.1) e il *Sainsbury Center* (Figg. 2.2), entrambi di Norman Foster, o la *Cupola geodetica* (Fig. 2.3), costruita con aste d'alluminio ideate e sperimentate da Richard Buckminster Fuller, la cui figura non è chiaramente inquadrabile in una determinata corrente di sviluppo ⁽⁹⁾.

Pur non essendo architetto, le sue opere hanno avuto moltissima influenza nel campo della progettazione, tanto da essere spesso assunto come riferimento da parecchi architetti contemporanei. Il suo incarico più prestigioso è senz'altro il Padiglione USA all'Expo di Montreal nel 1967 (Fig. 2.3), dove riversò tutta l'esperienza sulle costruzioni geodetiche maturata fin dagli anni Trenta. Egli realizzò un'enorme cupola alta 76 metri con una struttura in acciaio e un rivestimento trasparente acrilico, composto da una serie di lenti esagonali che, mediante opportuni filtri azionati elettronicamente controllavano l'ingresso della luce e del calore all'interno del Padiglione. Il grande successo ottenuto rese il Padiglione uno dei simboli di Montreal, tanto che, dopo un incendio nel 1976, il suo scheletro non fu rimosso, ma fu mantenuto come attrazione.

⁽⁹⁾ Prima di dedicare tutte le sue energie alla progettazione e alla realizzazione di strutture, il principale interesse del Fuller nel campo delle costruzioni fu rappresentato dalle residenze. Sono stati effettuati così gli esperimenti della *Dimaxion House* nel 1927 e, successivamente, subito dopo la fine della seconda guerra mondiale, una esperienza tra le più avanzate del XX secolo nell'ambito delle residenze temporanee: la *Wichita House*.



Figg. 2.1 – Foster Associates: Renault Distribution Centre a Swindon, UK (1980-1982)



Figg. 2.2 – Foster Associates: Sainsbury Centre for Visual Arts a Norwich, UK (1974-1978)



Fig. 2.3 – Richard Buckminster Fuller: la cupola geodetica per l'Expo di Montreal del 1967

Sempre di Norman Foster è l'*Hong Kong and Shanghai Bank Headquarters* (Fig. 2.4), mentre Richard Rogers è l'autore della *Lloyd's Bank* (Fig. 2.5). Nell'analizzare il *Lloyd's Building* di Rogers e altre architetture high-tech, ci si riferisce spesso alla *Maison de Verre* (Fig. 2.6) realizzata a Parigi da Pierre Chareau tra il 1928 e il 1932, che rappresenta uno dei capolavori dell'architettura del XX secolo. La *Maison de Verre* raccoglie in sé tutti i caratteri di modernità che sono alla base di ogni innovazione e utilizza in forma nuova materiali e tecniche costruttive sviluppate per altri scopi. Chareau accolse tutte le idee e le espressioni della cultura europea di quel tempo, rappresentante essa stessa lo spirito di modernità, e le tradusse in un'opera di architettura che, oltre a essere ancora oggi un'opera di avanguardia, è essa stessa un pun-

to di riferimento per tutta l'architettura della cosiddetta alta tecnologia. L'uso dei mattoni in vetrocemento, della gomma per la pavimentazione del grande soggiorno, del duralluminio per gli armadi spostabili, degli scaffali metallici spostabili su rotaia, come, analogamente, l'indipendenza dello spazio servito rispetto a quello di servizio (i bagni e il montacarichi si trovano tutti spostati verso l'esterno, precedendo di cinquanta anni le architetture di Richard Rogers) dimostrano ampiamente la visione incredibilmente moderna alla quale si era giunti.



Fig. 2.4 – Norman Foster: *Hong Kong and Shanghai Bank Headquarters a Hong Kong (1979-1986)*



Fig. 2.5 – Richard Rogers: *Lloyd's Bank a Londra (1978-1986)*

Infine, non si può non citare il *Centre Georges Pompidou* a Parigi di Renzo Piano e Richard Roger, in cui confluiscono molte caratteristiche dell'architettura high-tech, come la struttura, i condotti di ventilazione e le scale mobili a vista.

Alla base dell'architettura della tecnologia possono essere considerate due importanti esperienze inglesi come la cosiddetta corrente del *New-Brutalism*, che nasce e si sviluppa negli anni Cinquanta, sottolineando il rapporto tra tecnologia e architetture.

ra nella pura e semplice evidenziazione degli impianti e nell'attenzione ai materiali, e le visioni utopiche degli *Archigram*, un gruppo di architetti formato da Peter Cook, Dennis Crompton, David Greene, Ron Herron e Michael Webb, la cui attività si sviluppò essenzialmente dal 1961 al 1974.

Le innovazioni tecnologiche che si susseguirono durante gli anni Sessanta rappresentarono per gli *Archigram* una fonte di vera e propria ispirazione e, come i Futuristi, erano affascinati dal potenziale estetico della tecnologia. "Gli *Archigram* immaginavano una società nella quale la tecnologia permettesse una integrazione armoniosa tra tutti gli aspetti della vita lavorativa, il consumismo, le opportunità per il comfort e il benessere. Piuttosto che considerare la tecnologia come un feticcio, essi la trasformarono in finzione. L'*Archigram* fu un movimento di avanguardia profano" ⁽¹⁰⁾.



Fig. 2.6 – Pierre Chareau: *La Maison de Verre* a Parigi (1927)

Anche se i loro studi e progetti sono rimasti sostanzialmente sulla carta, hanno comunque offerto spunti di riflessione e di

⁽¹⁰⁾ CROMPTON D., LACHMAYER H., SHOENIG P., PASQUAL S., *A guide to Archigram 1961-74*, Londra, Academy Editions, 1995.

ricerca per tutta una generazione di architetti che si sarebbe occupata del rapporto tra architettura e tecnologia, tanto che Renzo Piano e Richard Rogers, riferendosi al progetto del *Centre Pompidou*, hanno affermato che apparteneva più agli anni Sessanta che al futuro, quasi a rappresentare la realizzazione di tutti i sogni espressi dagli *Archigram* e dai visionari di quell'epoca.

Attualmente sembra che gli architetti stiano perdendo la capacità di controllare la tecnologia, e il loro lavoro stia sempre più diventando puro stile. Oggi gli architetti non includono nei loro progetti canoni prefissati, come nelle rigorose regole dell'*International Style* o dell'architettura funzionalista, ma esprimono in tutta libertà la propria personalità, fuori da ogni tipo di vincolo. Non esiste più uno stile da seguire; ciò che importa sono l'originalità e la dimostrazione del talento umano in infinite sfaccettature.

"I teorici e progettisti della prima Età della Macchina erano favorevoli a che la tecnologia seguisse il suo corso, e credevano di sapere in che direzione andava, anche senza essersi preoccupati di conoscerla molto a fondo. Potrebbe darsi benissimo che quanto abbiamo inteso sino ad ora quale architettura e quanto cominciamo ad intendere della tecnologia siano discipline incompatibili. L'architetto che si propone di camminare di pari passo con la tecnologia sa ora che egli avrà un compagno che procede rapidissimo, e che, per mantenersi alla pari, egli forse dovrà emulare i Futuristi e mettere da parte il suo bagaglio culturale, compresa la sua veste professionale con la quale egli si può far riconoscere quale architetto. Se d'altra parte egli decide di non fare questo gli può anche toccare di scoprire che la cultura tecnologica ha già deciso di procedere senza di lui. È una scelta che i maestri degli anni fra il 1920 ed il 1930 non seppero scorgere finché essi non l'ebbero fatta per caso, ma è un caso al quale l'architettura può non essere più in grado di sopravvivere; noi possiamo credere che gli architetti della Prima Età della Macchina si siano sbagliati, ma noi della seconda non abbiamo fino ad ora motivo di sentirci superiori ad essi" ⁽¹¹⁾.

⁽¹¹⁾ BANHAM P.R., *L'architettura della prima età della macchina*, Bologna, Calderini, 1970.

La cosiddetta "rivoluzione digitale", con l'uso generalizzato del computer nella progettazione architettonica, costituisce un'autentica svolta creativa. Frank O. Gehry è il primo ad adoperare il computer: il suo *Museo Guggenheim* di Bilbao del 1997 non sarebbe mai stato concepito senza l'uso del computer (Figg. 2.8 e 2.9).



Figg. 2.7 – Renzo Piano e Richard Rogers: *Centre Georges Pompidou* a Parigi (1971-1977)



Fig. 2.8 – Frank O. Gehry: il Museo Guggenheim di Bilbao (1997)

Questo strumento oggi è l'unico in grado di gestire la complessità matematica delle superfici elaborate dall'architettura organica e decostruttivista. Nel caso del Guggenheim, è stato adoperato il software aeronautico francese Catia della Dassault Systèmes, usato per progettare gli aerei da caccia. Il programma ha permesso di tagliare e realizzare tutti i profili di acciaio delle complesse strutture del museo in officina, per poi montarle in cantiere, con un precisione assoluta, e senza gravare sul budget.

Le forme fluide e le superfici continue generate dal computer hanno invaso il nostro ambiente, con un'attenzione particolare al rivestimento, alla pelle degli edifici, che sempre più spesso prevale sulla struttura.

Alcuni esempi significativi sono il *Grande magazzino Selfridges* di Birmingham (Fig. 2.10), una galleria commerciale creata per rivitalizzare il centro della città, senza facciata, vetrina e tetto,

con una superficie fluida e continua, la cui superficie è stata realizzata con una rete di acciaio e calcestruzzo, ed è stata rifinita con uno strato di cemento blu su cui sono stati fissati 15.000 dischi di alluminio da 60 centimetri di diametro; il *Centro di Ricerca Nardini* (Figg. 2.11) formato da due bolle ellissoidali trasparenti; il *Sage* di Newcastle (Figg. 2.12), un enorme bruco in acciaio e vetro, o il *Kunsthau*s di Graz (Figg. 2.13), una bolla blu sospesa nel vuoto, dato che poggia su muri di vetro. La pelle dell'edificio è costellata da protuberanze cilindriche. La facciata est al tramonto si trasforma in un grande schermo sul quale scorrono immagini e filmati, grazie al sistema BIX, messo a punto dal gruppo *realities:united*, che prevede l'inserimento di un tubo fluorescente circolare da 40 watt dietro ogni pannello della facciata: ognuno dei 930 anelli di luce rappresenta un pixel; l'intero sistema è guidato da un computer in grado di variare l'intensità luminosa.

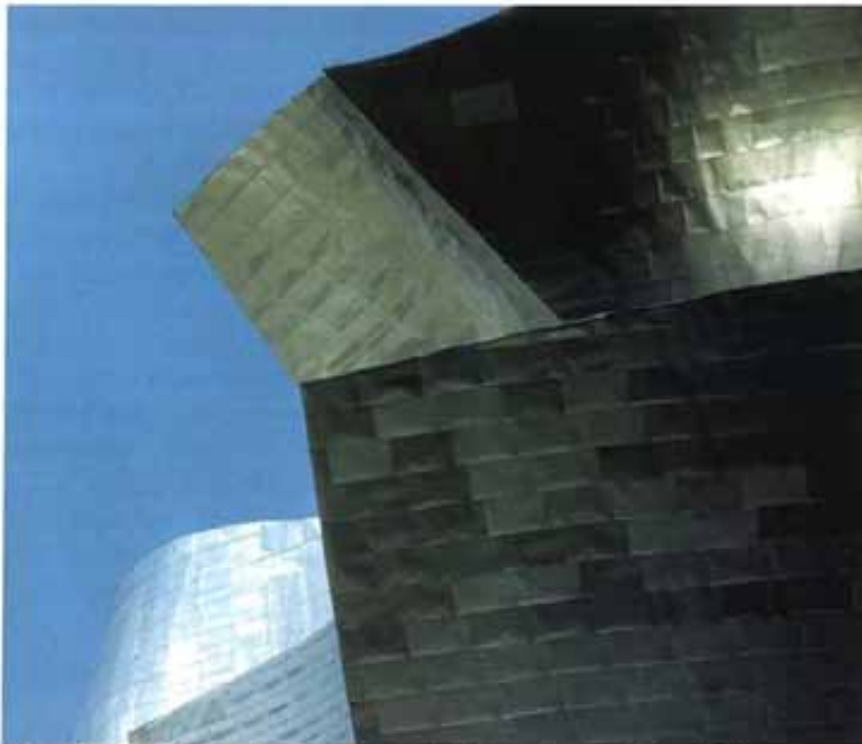


Fig. 2.9 – Frank O. Gehry: particolare del Museo Guggenheim di Bilbao

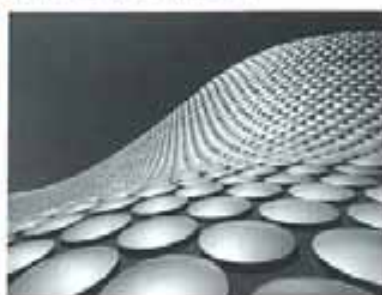
Forma e informazione sono i materiali da costruzione dell'architettura della nuova era, come dimostrano l'*Allianz Arena* di Monaco (Fig. 2.14), con una membrana che avvolge l'edificio senza soluzioni di continuità, composta da 2.874 cuscini romboidali lunghi da 4 a 8 metri, realizzati in ETFE, un fluoro polimero sintetico, e gonfiati da un flusso costante di aria sotto pressione. Inoltre di notte si illumina e cambia colore a seconda della squadra che gioca. Gli stessi cuscini gonfiabili in ETFE sono presenti nel *Watercube* (Fig. 2.15) realizzato in occasione delle Olimpiadi di Pechino del 2008, a rappresentare la struttura chimica dell'acqua e dare leggerezza e luminosità all'impianto. Sempre a Pechino si trova il *Wukesong Cultural and Sports Center Olympics 2008* (Fig. 2.16), con la sua facciata multimediale.

Nelle architetture sopra descritte sembra che abbiano preso il sopravvento i materiali innovativi, determinando non solo il risultato tecnologico, ma anche quello formale. E sono soprattutto le nuove tecnologie a svolgere un ruolo 'suadente' nei confronti dell'architetto e del suo pubblico: ammaliano con la loro carica positivista, e possono assumere "un compito propagandistico più che funzionale e tecnico, un compito che punta con qualche ingenuità su una celebrazione retorica del nuovo come promessa di felicità sociale"⁽¹²⁾.

È una delle critiche più comuni mosse al high-tech quando sia inteso come "impiego retorico delle tecniche, celebrativo del ruolo dell'industria nel settore delle costruzioni, identificato nella leggerezza, nella trasparenza, nel montaggio a secco, nella esposizione degli impianti, nelle grandi luci, con una carica espressiva che degenera, non di rado, nel fanatismo tecnologico"⁽¹³⁾. Si rischia di cadere in un fanatismo tecnologico che riproduce semplicemente format, piuttosto che ideare nuove architetture, guidati da un'industria che rende disponibili a un mercato sempre più ampio tecniche particolari, inizialmente sperimentate per edifici che sono diventati icone urbane ma che, se impiegate indiscriminatamente e non guidate da un'idea

⁽¹²⁾ THERMES L., *No tech*, in THERMES L., *Tempi e spazi. La città e il suo progetto nell'età posturbana*, Roma, Diagonale, 2000, p. 96.

⁽¹³⁾ MORABITO G., *Forme e tecniche dell'architettura moderna*, Roma, Officina, 1990, p. 198.



Figg. 2.10 – *Future Systems; Grande magazzino Selfridges (Birmingham, Gran Bretagna 2003)*



Figg. 2.11 – Massimiliano Fuksas: *Nardini Research & Multimedia Center di Bassano del Grappa (VI), (2004)*

progettuale ben definita, producono edifici di scarsa qualità architettonica e tecnologica. Non è sufficiente usare le parole trasparenza e leggerezza, non basta enfatizzare gli impianti o scegliere l'ultima novità avveniristica per pensare in termini innovativi un progetto. La trasparenza, ad esempio, è un tranello potenzialmente in agguato, specie se considerata come valore autonomo, e privilegiata anche per edifici in cui sarebbe stato opportuno non utilizzarla ⁽¹⁴⁾.

⁽¹⁴⁾ La *Biblioteca Nazionale di Francia* di Dominique Perrault è un esempio di tale ostinazione, come conferma un libro intitolato *L'effondrement de la Très Grande Bibliothèque Nationale de France*. Tra le cause del "crollo" messe in evidenza dall'autore, oltre a difficoltà con il sistema di spostamento automatico dei libri e il pericolo di cadute sulle scalinate su cui sorge l'edificio, anche il problema di proteggere dal sole i libri contenuti nelle quattro enormi torri che se da un lato rispondono al dichiarato obiettivo dell'architetto di rendere visibile e disponibile il *trésor* culturale, patrimonio di tutti, dall'altro non lo tutelano dai danni dell'irraggiamento. Perrault aveva in realtà previsto vetri fotosensibili, ma senza accertarsi che la più grande azienda francese produttrice di vetri realizzasse davvero pannelli fotosensibili delle dimensioni richieste dal progetto.



Figg. 2.12 – Foster + Partners: *The Sage Gateshead* (Newcastle, Gran Bretagna 2004)

Ci sono molti esempi di organismi edilizi già realizzati, nei quali gli sforzi congiunti dell'industria e dei progettisti ne dimostrano pienamente le potenzialità ⁽¹⁵⁾. Inoltre, la spinta alla estrema innovazione porta, paradossalmente, a un risultato che potremmo definire di industrializzazione artigianale, nel senso di utilizzare i mezzi a disposizione dell'industria per la produzione di pezzi unici. Infatti, pur se la parola industrializ-

Da qui la necessità di installare le imposte di legno *okumé*, arretrate di circa un metro dalla facciata continua in vetro per schermare l'eccesso di luce.

⁽¹⁵⁾ Ad esempio, le lastre di vetro della Saint Gobain utilizzate per la realizzazione della *Piramide* al Louvre.

zazione, sin dalla fine del Settecento, è sempre stata associata ai termini serialità, riproducibilità e standardizzazione, attualmente, in alcuni casi, per gli edifici più rappresentativi dell'edilizia industrializzata troviamo elementi progettati e costruiti appositamente, come le mensole gerberette di Peter Rice per il *Centre Pompidou*. Ciò significa che il maggiore utilizzo di tecnologie avanzate porta alla realizzazione di organismi unici e irripetibili.

Nel possibile futuro dell'architettura, le trasgressioni estetiche non basteranno: gli edifici dovranno essere energeticamente autosufficienti e produrre quello che consumano. La scarsità di risorse disponibili e l'inquinamento del pianeta, obbligano il settore delle costruzioni, tra i più grandi consumatori di energia, a ripensare l'edificio in termini di risparmio energetico, con l'ausilio di tecniche per la produzione di energia dal sole, come gli impianti fotovoltaici, e la diminuzione dell'impiego di impianti per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti, tramite l'utilizzo di isolanti e di vetri basso-emissivi o riflettenti. Con l'avvento del cemento armato e dei combustibili, "si è progressivamente passati dall'adozione di costruzioni a struttura massiccia, tipiche della cultura occidentale, a quelle di tipo energetico, praticamente trascurate fino all'avvento della rivoluzione industriale, principalmente per difficoltà di combustibile" ⁽¹⁶⁾.

⁽¹⁶⁾ BANHAM R., *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Roma-Bari, Laterza, 1993, p. XII.



Figg. 2.13 – Peter Cook e Clin Fournier: *Kunsthaus* (Graz, Austria 2003)

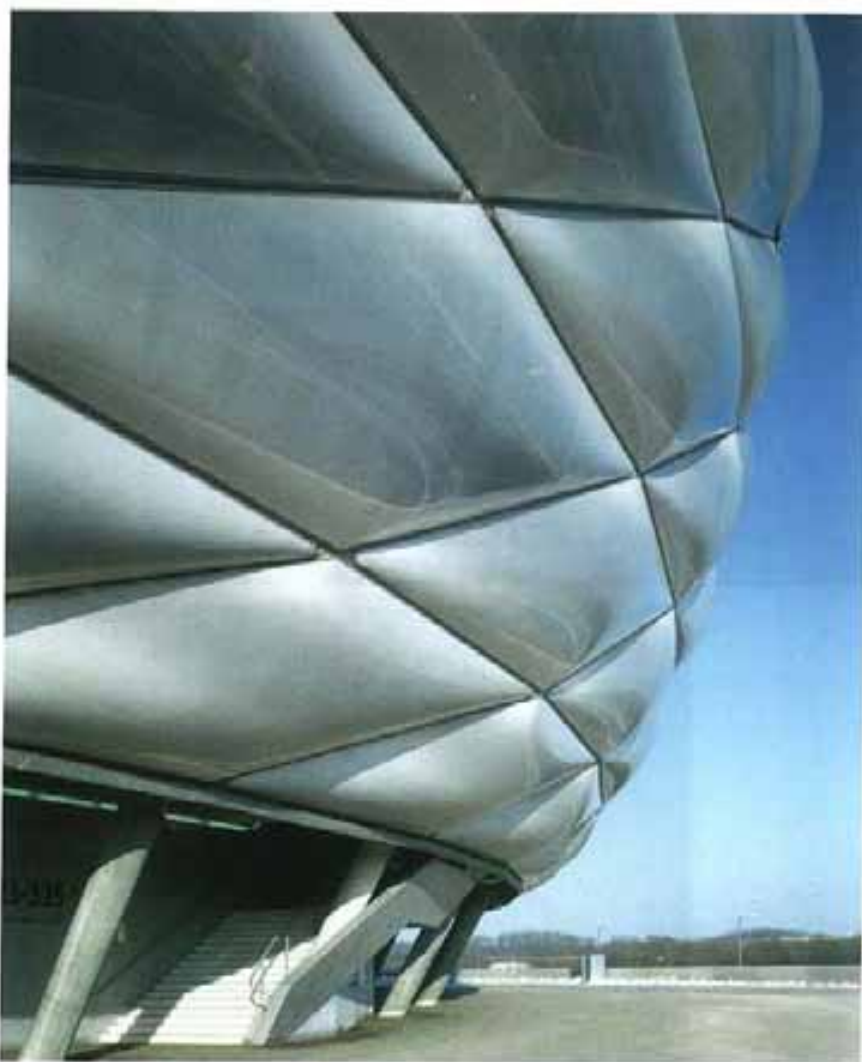


Fig. 2.14 – Herzog & de Meuron: Allianz Arena (Monaco, Germania 2005)

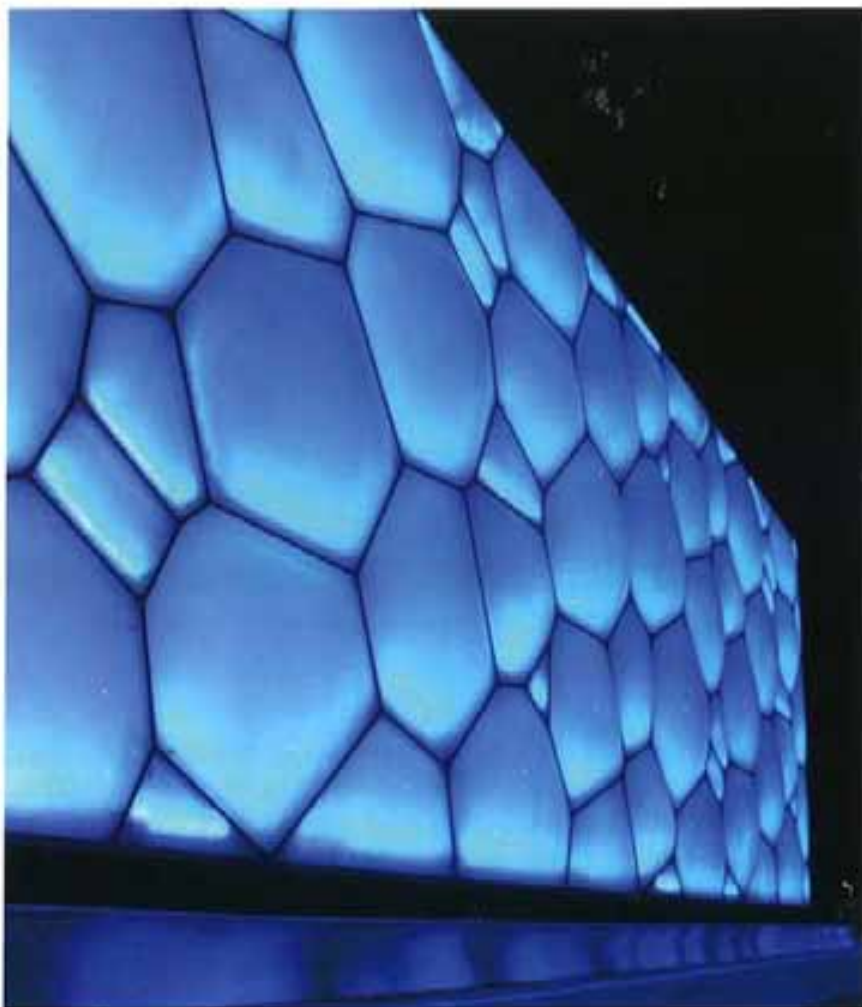


Fig. 2.15 – *PTW Architects: il Watercube National Swimming Centre a Pechino (2003)*



Fig. 2.16 – Burckhardt & partners: Wukesong Cultural and Sports Center Olympics 2008 a Pechino

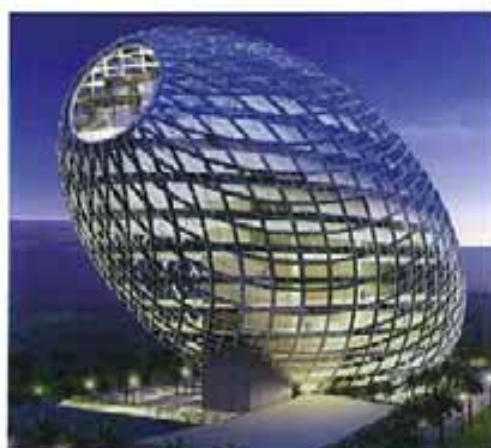
A questo proposito, un'interessante visione dell'architettura del XXI secolo è rappresentata dalla *Cybertecture*. Lanciata nel 2001 da James Law, si basa sul concetto di rispetto della sostenibilità ambientale attraverso uno stretto connubio con la tecnologia. Gli edifici non vengono creati solo dal cemento, dall'acciaio e dal vetro come avveniva nel XX secolo, ma anche da una tecnologia immateriale, fatta di multimedialità, materiali intelligenti e interattività.

Le architetture di Law, già nelle forme, fortemente simboliche, si ispirano al nostro pianeta, a voler rappresentare, nell'intenzione del progettista, un sistema organico e autosufficiente: ne sono un esempio il progetto *Cybertecture Egg* (Figg. 2.17) e la *Technosphere* (Figg. 2.18), che dovrebbe essere completata nel 2011.

Il *Cybertecture Egg* unisce progettazione ambientale e sistemi di controllo intelligenti per creare l'edificio più innovativo della città di Mumbai. La forma dell'edificio è altamente simbolica: come dice il suo nome, *Egg*, si presenta a forma di uovo. Infatti, il *Cybertecture Egg* rappresenta un organismo che si autosostiene, un ecosistema dove la vita cresce e si evolve.

Il concetto che ha ispirato la progettazione della Technosphere è sostanzialmente identico a quello dell'Egg. Si tratta di un edificio fortemente simbolico, ubicato a Dubai, che presenta una forma sferica, come il pianeta Terra, a rappresentare l'ecosistema in cui viviamo. Lo scopo è quello di creare un edificio in cui si realizzano artificialmente le caratteristiche dell'ambiente naturale.

La natura simbolica della Technosphere, è data, oltre che dalla purezza della forma, dalla dimensione enorme, che renderà l'edificio la più grande sfera del mondo, e dal fatto che la forma a sfera allude agli elementi più piccoli del nostro pianeta, le particelle atomiche e le molecole che costituiscono il nostro universo. Tecnosfera rappresenta il simbolo del potere della tecnologia, di ciò che l'uomo è in grado di realizzare a tutte le scale.



Figg. 2.17 – James Law Cybertecture International: *Egg Building a Mumbai*



Figg. 2.18 – James Law Cybertecture International: *Technosphere a Dubai*



Figg. 2.19 – James Law Cybertecture International: Atomic building

Altri tre interessanti progetti di Law sono l'*Atomic Building* (Figg. 2.19), il *Fox Hill Hotel* (Figg. 2.20) e la *Torre PAD* (Figg. 2.21). L'*Atomic Building*, è il prototipo dei futuri edifici commerciali con impianti sostenibili e intelligenti per il XXI secolo progettato per l'*Hong Kong Science and Technology Parks*. La pelle dell'*Atomic Building* è stata progettata come un elemento naturale, con le aperture che si modificano in base alla luce del sole. L'edificio è dotato di pannelli fotovoltaici in grado di fornire energia rinnovabile. L'energia solare viene convertita in energia elettrica in grado di integrare l'uso energetico giornaliero di questo edificio. Un sistema di raccolta dell'acqua piovana può irrigare le piante ed essere utilizzata per il lavaggio. Inoltre, un sistema di elica a vento è integrato con la pelle dell'edificio al livello più alto, in modo da generare elettricità. Nel *Fox Hill Hotel* in Oatar, la forma dell'edificio deriva dalle onde del mare che simboleggiano l'energia inesauribile della natura. La pelle dell'edificio è controllabile da parte del cliente per limitare l'abbagliamento indesiderato del sole. Il *Fox Hill Hotel* dovrebbe diventare il prototipo per l'albergo del futuro. La *Torre PAD* è un edificio residenziale con una serie di appartamenti con le tecnologie più innovative.



Figg. 2.20 – *James Law Cybertecture International: Fox Hill Hotel in Qatar*



Figg. 2.21 – *James Law Cybertecture International: The PAD a Dubai*

Capitolo III

L'utopia del possibile: la nanoinnovazione

L'architettura del XIX secolo rimarrà nella storia come l'architettura del ferro e del vetro, mentre il XX secolo sarà ricordato per l'architettura del cemento armato, recentemente le innovazioni apportate dal computer hanno reso possibile il calcolo di strutture estremamente complesse; il prossimo futuro sarà caratterizzato da innovazioni scaturite dall'uso di materiali innovativi, molti dei quali saranno prodotti grazie al progresso nel campo della nanotecnologia. Sicuramente assistiamo a un salto tecnico e concettuale notevole nel campo dell'innovazione, caratterizzata da un'accelerazione così rilevante, da mettere in difficoltà il rapporto uomo-tecnica.

La tecnologia opera una sottile e continua violenza, dato che i suoi ritmi di sviluppo sono notevolmente più rapidi del grado di assimilazione proprio dell'uomo che, come sostiene Mac Luhan, è stato a suo tempo colto di sorpresa dal tocco dell'elettricità e ancora non si è abituato a vivere alla velocità della luce propria delle macchine elettroniche ⁽¹⁾.

"Oggi il mezzo tecnico si è così ingigantito in termini di potenza ed estensione da determinare quel capovolgimento della quantità in qualità che Hegel descrive nella *Logica* e che fa la differenza tra la tecnica antica e lo stato attuale della tecnica". E così continua Umberto Galimberti: "Finché la strumentazione tecnica disponibile era appena sufficiente per raggiungere quei fini in cui si esprimeva la soddisfazione degli umani bisogni, la tecnica era un semplice mezzo il cui significato era interamente assorbito dal fine, ma quando la tecnica aumenta quantitativamente al punto da rendersi disponibile per la realizzazione di qualsiasi fine, allora muta qualitativamente lo scenario, perché non è più il fine a condizionare la rappresentazione, la ricerca,

⁽¹⁾ BANHAM R., *Op. cit.*, pp. XIII-XIV.

l'acquisizione dei mezzi tecnici, ma sarà la cresciuta disponibilità dei mezzi tecnici a dispiegare il ventaglio di qualsivoglia fine che per loro tramite può essere raggiunto. Così la tecnica da mezzo diventa fine, non perché la tecnica si proponga qualcosa, ma perché tutti gli scopi e i fini che gli uomini si propongono non si lasciano raggiungere se non attraverso la mediazione tecnica" ⁽²⁾.

Ma cosa si intende per nanotecnologia? Non esiste una definizione unanimemente riconosciuta, ma in base al National Science and Technology Council, essa può essere definita come la progettazione, caratterizzazione, produzione e applicazione di strutture, dispositivi e sistemi controllati alla scala nanometrica ⁽³⁾.

La nanotecnologia è una scienza che impiega metodi e tecniche per la manipolazione della materia su scala dimensionale inferiore al micrometro, normalmente tra 1 e 100 nanometri ⁽⁴⁾, e ha l'obiettivo di produrre materiali con particolari caratteristiche chimico-fisiche. Essa costituisce un ambito d'investigazione altamente multidisciplinare, coinvolgendo molteplici indirizzi di ricerca, che vanno dalla biologia molecolare alla chimica, alla scienza dei materiali e alla fisica, sia applicata sia di base, fino all'ingegneria meccanica ed elettronica. Le applicazioni attuali e future ne fanno un tema di grande attualità, riconoscendo alla nanotecnologia non solo un carattere innovativo, ma anche, in base al possibile impatto sulle applicazioni industriali e di conseguenza sulla nostra vita quotidiana, la capacità di dar vita ad una vera e propria rivoluzione industriale del XXI secolo. La sua importanza è confermata dall'interesse di quasi tutti i principali Paesi del mondo, tra cui Usa, Cina, Giappone, Corea del Sud, India, senza tralasciare ovviamente l'Europa, che promuovono programmi pluriennali dedicati esclusivamente allo sviluppo delle nanotecnologie.

⁽²⁾ GALIMBERTI U., *Psiche e techné. L'uomo nell'età della tecnica*, Milano, Feltrinelli, 1999.

⁽³⁾ Definizione del National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology, p. 5.

⁽⁴⁾ Un nanometro, nm, equivale a un milionesimo di metro.

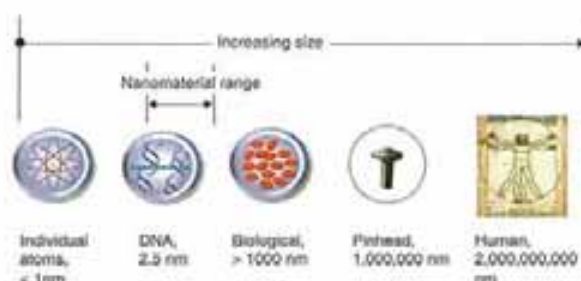


Fig. 3.1 – Sequenza che mostra i vari livelli di scala (*Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom*, Nanoscience, Engineering and Technology Council Committee on Technology, 1999)

Il termine nanotecnologia è stato impiegato per la prima volta nel 1974 da Norio Taniguchi, ricercatore dell'Università di Tokio, in riferimento all'abilità di manipolare la materia a livello nanometrico. Ma colui che viene riconosciuto unanimemente come il padre della Nanotecnologia è il Premio Nobel per la fisica Richard Feynman. In un famoso seminario tenuto al California Institute of Technology, nel dicembre 1959, dal titolo *There's plenty of room at the bottom*, ovvero "c'è molto spazio in fondo", egli parlò della possibilità fisica di manipolare la materia su scala atomica e molecolare e delle immense potenzialità offerte, anche se ciò è legato allo sviluppo di strumenti adeguati. Nel 1981 Gerd Binnig e Heinrich Rohrer svilupparono nel laboratorio svizzero IBM di Rüschlikon lo Scanning Tunnelling Microscope (STM), che permette non solo di discernere i singoli atomi ma di spostarli individualmente. Infatti, nel 1989 viene realizzata la scritta IBM componendo 35 singoli atomi (Fig. 3.2). In seguito sono stati sviluppati altri strumenti come il Microscopio a Forza Atomica (AFM), nel 1986, in grado di migliorare ulteriormente la capacità di operare su scala nanometrica.

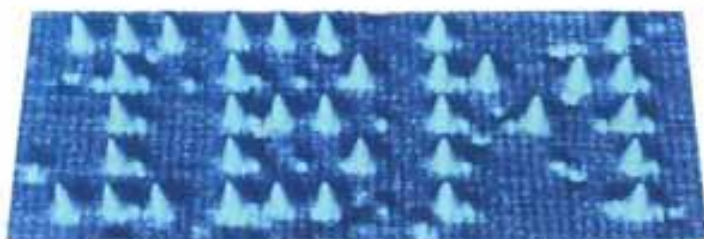


Fig. 3.2 – Il logo IBM ottenuto con 35 atomi dal fisico Don Eigler presso il laboratorio IBM dell'Almaden Research Center a San Jose, Stati Uniti d'America



Fig. 3.3 – Microcar realizzata dalla Nippondenso. L'ultimo modello ha un micromotore di 1 millimetro di diametro, alimentata elettricamente da un filo di rame di 25 micron

I nanomateriali vengono comunemente classificati in base alle loro dimensioni, per cui abbiamo (Fig. 3.4):

- i materiali zero-dimensionali, che presentano tutte e tre le dimensioni alla nanoscala: le *nanoparticelle*;
- i materiali mono-dimensionali, che presentano due dimensioni alla nanoscala: i *nanowires*, i *nanorods* e i *nanotubi*;
- i materiali bi-dimensionali, che presentano una sola dimensione alla nanoscala: i *nanocoatings* e i *nanofilms*;

- i materiali tri-dimensionali, che non presentano nessuna dimensione alla nanoscala: i *materiali nanocristallini* e i *nanocompositi* ⁽⁵⁾.

A livello nanometrico è possibile operare secondo due metodi: *bottom-up* e *top-down*.

Nell'approccio bottom-up, cioè dal basso verso l'alto, i materiali e i dispositivi sono realizzati partendo da componenti molecolari che si auto-assemblano per realizzare nanostrutture di tipo inorganico o organico-biologiche. Nell'approccio top-down, cioè dall'alto verso il basso, i dispositivi sono fabbricati da materiali macroscopici attraverso metodi fisici di miniaturizzazione.

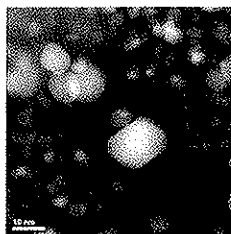
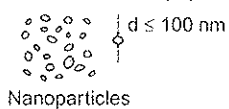
Una delle scoperte più importanti nel campo delle nanotecnologie riguarda la scoperta dei *buckyball* e dei nanotubi di carbonio. Nel 1985 Robert Curl, Harold Kroto e Richard Smalley scoprono la molecola di carbonio C₆₀ o fullerene, delle dimensioni di 0,7 nanometri, per cui riceveranno il Premio Nobel.

Il fullerene è uno dei vari allotropi del carbonio, cioè molecole composte interamente di carbonio, che prendono una forma simile a quella di una sfera vuota, di un ellissoide o di un tubolare.

⁽⁵⁾ I materiali compositi derivano dalla combinazione di due o più materiali che, rimanendo fisicamente distinti, generano un materiale con proprietà superiori rispetto a quelle dei singoli componenti di partenza; i singoli materiali che formano i compositi sono chiamati "costituenti". La maggior parte dei compositi sono formati da due tipi di costituenti: il legante o matrice, e il rinforzo. I materiali nanocompositi possiedono proprietà uniche rispetto ai convenzionali compositi grazie all'utilizzo di nanofiller.

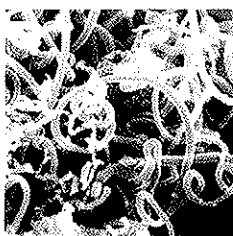
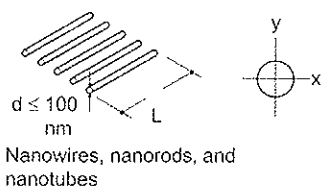
0-D

All dimensions (x, y, z) at nanoscale



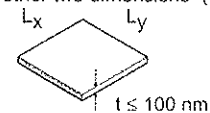
1-D

Two dimensions (x, y) at nanoscale, other dimension (L) is not

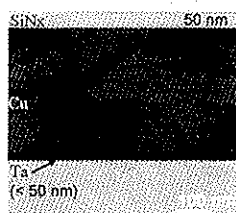


2-D

One dimension (t) at nanoscale, other two dimensions- (L_x, L_y) are not

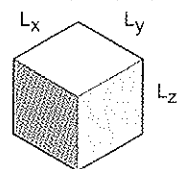


Nanocoatings and nanofilms



3-D

No bulk dimension at nanoscale



Nanocrystalline and nanocomposite materials



Fig. 3.4 – La classificazione dei nanomateriali in base alle dimensioni: zero-dimensionali, monodimensionali, bidimensionali, tridimensionali (ASHBY F., FERREIRA P.J., SCHODEK D.L., 2010)

Fino alle scoperte di Curl, Kroto e Smalley, gli unici allotropi conosciuti del carbonio erano la grafite e il diamante. Il fullerene approssimativamente sferico è denominato *buckyball* (Fig. 3.5), mentre il fullerene cilindrico è noto come nanotubo (Fig. 3.6). Il nome *buckyball* è stato dato in onore di Richard Buckminster Fuller, il progettista della cupola geodetica, la cui forma ricorda il fullerene sferico ⁽⁶⁾. Il fullerene è strutturalmente simile alla grafite, costituita da anelli esagonali collegati tra loro su un piano, ma si differenzia per alcuni anelli di forma pentagonale, e a volte ettagonale, che impediscono una struttura planare.

Il più piccolo fullerene in cui nessuna coppia di pentagoni condivide un bordo è il C_{60} , che risulta essere il più diffuso. La struttura del C_{60} è quella di un icosaedro troncato, che assomiglia a un pallone da calcio, costituiti da esagoni e pentagoni, ai cui vertici si posiziona ciascun atomo di carbonio e i cui bordi rappresentano i legami.

I nanotubi di carbonio ⁽⁷⁾ (CNTs) sono stati scoperti nel 1991 dal fisico giapponese Sumio Iijima, ricercatore presso la NEC Corporation, la nota industria elettronica giapponese.

Il diametro di un nanotubo è compreso tra un minimo di 0,7 nm e un massimo di 10 nm. L'elevatissimo rapporto tra lunghezza e diametro consente di considerarli come delle nanostrutture virtualmente monodimensionali, e conferisce a queste molecole delle particolari proprietà.

I nanotubi possono presentarsi a parte singola (Single-Wall Carbon NanoTube, SWNTs (Fig. 3.7)), costituiti da un singolo foglio grafítico avvolto su se stesso o multi-pareti (Multi-Wall Carbon NanoTube, MWCNTs), formati da più fogli avvolti coassialmente uno sull'altro (Fig. 3.9).

⁽⁶⁾ La molecola inizialmente aveva il nome di soccerene, da "soccer", vista la somiglianza della sua struttura con quella di un pallone da calcio.

⁽⁷⁾ Il corpo del nanotubo è formato da soli esagoni, mentre le strutture di chiusura sono formate da esagoni e pentagoni, esattamente come i fullereni. Per questa ragione i nanotubi possono essere considerati come una specie di fullereni giganti. Proprio per questa conformazione di esagoni e pentagoni, i nanotubi presentano spesso dei difetti strutturali o delle imperfezioni che deformano il cilindro.

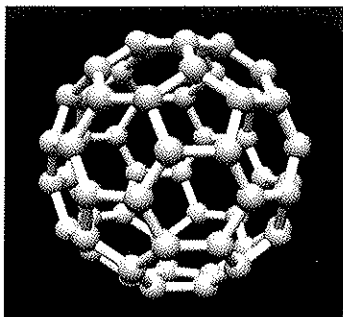


Fig. 3.5 – *Il buckyball*

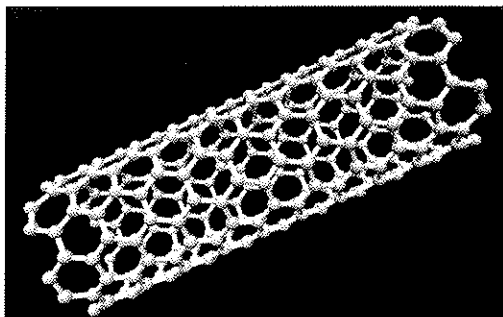


Fig. 3.6 – *Il nanotubo di carbonio*

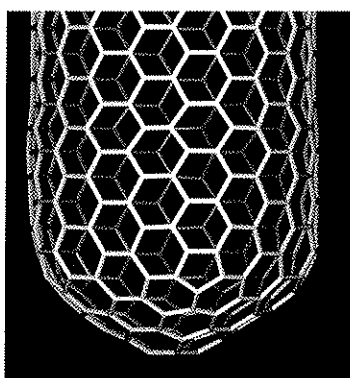


Fig. 3.7 – *Simulazione al computer di un nanotubo di carbonio a parete singola con un diametro di 1,4 nanometri*

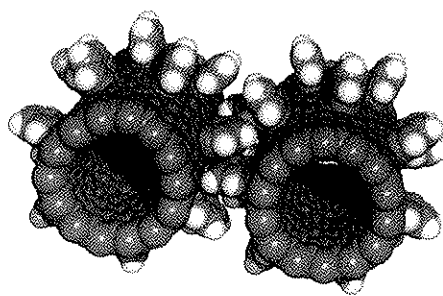


Fig. 3.8 – *Simulazione al computer di nanogears, di nanotubi di carbonio*

Il nanotubo a parete singola possiede una grande resistenza alla trazione, con una tensione di rottura paragonabile al valore teorico corrispondente al legame carbonio-carbonio in un anello benzenico, che lo rende il materiale organico più resistente al mondo ⁽⁸⁾: avrebbe una resistenza alla trazione 100 volte più

⁽⁸⁾ La resistenza meccanica di un corpo dipende da numerosi fattori, tra i quali la forza dei legami atomo-atomo del materiale costruttivo e l'assenza

grande di quella di una barretta d'acciaio, ma con un peso sei volte minore. Inoltre va ricordato che i nanotubi non sono solamente resistenti alla rottura per trazione, ma sono anche molto flessibili, e possono essere piegati ripetitivamente fino a circa 90° senza rompersi o danneggiarsi. L'estrema resistenza, unita alla loro flessibilità, li rende ideali per essere impiegati come fibre di rinforzo nei materiali compositi ad alte prestazioni, in sostituzione delle normali fibre di carbonio o delle fibre di vetro.

Alcune applicazioni, che per il momento potrebbero apparire fantascientifiche, sono l'uso dei nanotubi per la costruzione di nanomacchine oppure la realizzazione di una fune chilometrica, la cui resistenza consentirebbe di costruire un ascensore per lo spazio ⁽⁹⁾.

Inoltre, il nanotubo a parete singola possiede ottime proprietà elettriche, e può essere un conduttore di corrente, così come il metallo, o un semiconduttore, così come il silicio. Queste proprietà rendono i nanotubi molto interessanti per lo sviluppo di nanocavi o cavi quantici, che potrebbero affiancare il silicio nel campo dei materiali per l'elettronica, e consentire il passaggio dalla microelettronica alla nanoelettronica.

di difetti strutturali nel reticolo. La presenza di difetti gioca un ruolo fondamentale nei processi di rottura per trazione, dato che per rompere un corpo completamente privo di difetti sarebbe necessario vincere nello stesso istante tutte le forze di coesione di tutta la superficie perpendicolare alla direzione di trazione. Nella realtà la presenza di difetti diminuisce enormemente la forza necessaria a rompere l'oggetto. Per portare a rottura un nanotubo privo di difetti occorre quindi spezzare tutti i legami ibridizzati carbonio-carbonio che lo compongono.

⁽⁹⁾ Cfr. Sposiro A., *Nanotecnologie: stato dell'arte e prospettive per l'architettura*, in Sposiro A. (a cura di), *Nanotech for Architecture. Innovative Technologies, Techniques and Nanostructured Materials*, Atti del I Convegno Internazionale, Palermo 26-28 marzo 2009, Napoli, Luciano, 2009, p. 33.

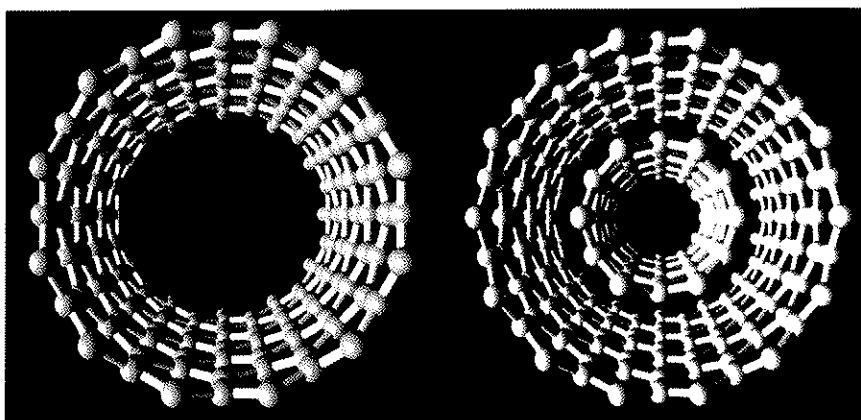


Fig. 3.9 – Nanotubi a parete singola (a sinistra) e nanotubi a parete multipla (a destra)

È stato calcolato, infatti, che un processore realizzato tramite transistor di nanotubi potrebbe facilmente raggiungere i 1000 GHz, superando tutte le barriere di miniaturizzazione e di dissipazione termica che l'attuale tecnologia al silicio impone. Per fare ciò occorrerebbe però sviluppare una tecnica di produzione di nanotubi di forme e dimensioni diverse e strettamente controllabile, cosa che al momento è ancora impossibile, oltretutto la capacità di realizzare contatti giunzioni e circuiti in enorme quantità, per ottenere economie di scala ed abbattere i costi di produzione.

Anche se i nanotubi possono ora essere prodotti relativamente in modo economico, essi sono ancora troppo costosi per l'uso in grandi quantità, per esempio come additivi per il calcestruzzo. Per essere pratici per il mercato di massa, è indispensabile che essi non solo mantengano una qualità costante e sicura, ma che siano anche disponibili a un prezzo sufficientemente basso. Prima che la produzione di nanotubi possa diventare fruibile al mercato di massa, deve anche superare alcuni ostacoli per quanto riguarda la purezza. Tuttavia, sembra che sia solo una questione di tempo prima che questi problemi siano superati. Una volta risolti questi, il futuro sarà di materiali altamente stabili per la costruzione di ponti (ad esempio, calcestruzzi ultraforti) o di grattacieli.

L'esistenza di materiali a scala nanometrica è nota fin dall'antichità. Infatti, nella Coppa di Licurgo, risalente al IV secolo a.C. e conservata al British Museum di Londra, sono presenti nanoparticelle d'oro e d'argento (Fig. 3.11).

La coppa è realizzata con un vetro dicroico, in grado, cioè, di cambiare il suo colore al variare delle modalità di illuminazione. Il colore verde opaco si trasforma in un rosso intenso quando la luce, anziché esserne riflessa, attraversa il vetro stesso. Questa particolare proprietà ottica deriva dalla presenza, all'interno del vetro, di piccole quantità, 0,01-0,1 in percentuale atomica, d'oro e d'argento, presenti sotto forma di nanoparticelle. Nel Medioevo i maestri vetrai ottenevano le splendide vetrate colorate delle chiese disperdendo nel vetro piccole quantità di oro (Fig. 3.10); così come la leggendaria resistenza delle spade di Damasco, risalenti al XVII secolo, è stata spiegata con la presenza di nanotubi di carbonio, grazie all'osservazione con il microscopio elettronico ⁽¹⁰⁾.



Fig. 3.10 – La vetrata della cattedrale di Chartres con nanoparticelle d'oro

⁽¹⁰⁾ Cfr. REIBOLD M., PAUFER P., LEVIN A.A., KOCKMANN W., PÄTZKE N., MEYER D.C., *Materials: carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre*, in "Nature", n. 444, 2006, p. 286.



Fig. 3.11 – La Coppa di Licurgo del IV secolo a.C. A sinistra si presenta con un colore verde opaco; a destra, invece, di un rosso brillante. Questo è dovuto alla presenza di nanoparticelle d'oro e d'argento

Anche in alcuni dipinti risalenti all'epoca dei Maya sono state scoperte presenze di nanoparticelle. Infatti sembra che l'intenso blu presente in alcuni dipinti di Cacaxtla, in Messico, sia dovuto a nanoparticelle di metallo sulla superficie (Figg. 3.12).

D'altronde, le nanoparticelle sono un fenomeno naturale e quindi non sorprende che le loro proprietà siano state usate più volte nel corso della storia. Attraverso la nanoscienza e la biologia molecolare stiamo imparando di più sui sistemi naturali, sugli organismi e sul comportamento dei materiali, e la nanotecnologia e la biotecnologia ci danno gli strumenti non solo per intervenire in tali sistemi, ma per crearne di nuovi. Studiando, ad esempio, la composizione molecolare della foglia di loto, gli scienziati sono riusciti a creare una nuova generazione di materiali idrorepellenti.

La natura offre infinite lezioni che potrebbero essere applicate in futuri prodotti, processi e materiali. Esaminando la struttura alla nanoscala dei piedi del geco, per esempio, gli scienziati hanno creato materiali con proprietà adesive straordinarie, così

anche le falene sono state prese come esempio per creare materiali anti-riflesso. Tutte queste lezioni offerte dalla natura ci aiuteranno a creare sistemi, materiali e dispositivi più efficienti rispetto a quelli disponibili oggi.



Figg. 3.12 – Dipinto Maya di Cacaxtla in Messico, con nanoparticelle di metallo sulla superficie. A destra, particolare del serpente



Figg. 3.13 – Particelle metalliche su un supporto di biossido di silicio (a destra) e un'immagine a risoluzione atomica di una particella che mostra la sua forma cubo-ottaedrica



Figg. 3.14 – La zampa del gecko è ricoperta di sottilissime setole, ognuna delle quali termina con una serie cuscinetti il cui diametro è di qualche nanometro



Figg. 3.15 – Sani di Tito, Il musicista degli Angeli (a sinistra). In alto a destra, un particolare prima del restauro, in basso, dopo il restauro con sistemi nano-strutturali

I settori di applicazione. Le applicazioni delle nanotecnologie interessano, potenzialmente, tutti i settori dell'economia. Infatti, le nanoscienze sono spesso considerate scienze "orizzontali", in quanto possono interessare pressoché ogni settore tecnologico. Le applicazioni attuali e future ne fanno un tema di grande attualità, riconoscendo alla nanotecnologia non solo un carattere innovativo, ma anche, in base al possibile impatto sulle applicazioni industriali e di conseguenza sulla nostra vita quotidiana, la capacità di dar vita a una vera e propria rivoluzione industriale del XXI secolo. La sua importanza è confermata dall'interesse di quasi tutti i principali Paesi del mondo, tra cui Usa, Cina, Giappone, Corea del Sud, India, senza tralasciare ovviamente l'Europa, che promuovono programmi pluriennali dedicati esclusivamente allo sviluppo delle nanotecnologie. Ad oggi i prodotti nanotecnologici presenti sul mercato mondiale sono più di un migliaio e fanno riferimento ai settori dei cosmetici, della medicina, degli articoli sportivi, del tessile, dell'elettronica, dell'energia, dell'edilizia, degli imballaggi, degli alimenti.

Il *Woodrow Wilson Center* ha realizzato il *Nanotechnology Consumer Products Inventory*, una sorta di inventario dei prodotti di consumo che utilizzano le nanotecnologie. Alla data di inizio di questo *Inventory*, che risale al 2006, si contavano 212 prodotti, nell'agosto del 2009 ne erano presenti 1.015, con un incremento del 379%. I prodotti appartengono a diverse categorie: salute e benessere presenta un totale di 605 prodotti, tra cui sono compresi anche cosmetici e creme solari; segue l'abbigliamento, con 155 prodotti, attrezzi per lo sport, con 93 prodotti, senza dimenticare il settore alimentare, i rivestimenti, l'elettronica, il tessile. Le ditte produttrici provengono da 24 Paesi diversi: la maggior parte delle aziende, circa 540, ha sede negli Stati Uniti, seguiti dall'Asia Orientale, comprensiva di Cina, Taiwan, Corea, Giappone, con 240 aziende, l'Europa, rappresentata da Regno Unito, Francia, Germania, Finlandia, Svizzera, Italia, Svezia, Danimarca, Paesi Bassi, con 154 aziende, e altre 66 aziende provenienti da altri parti del mondo come Australia, Canada, Messico, Israele, Nuova Zelanda, Singapore.

Settore tessile. Un settore in cui le nanotecnologie sono applicate con profitto è quello tessile. Infatti si possono realizzare

capi d'abbigliamento, scarpe, tovaglie, su cui i liquidi non aderiscono. È ormai possibile realizzare tessuti autopulenti, su cui lo sporco viene semplicemente decomposto per effetto della luce: ciò si ottiene introducendo nel tessuto un materiale particolare, il biossido di titanio nanocristallino, sostanza in grado di assorbire la luce del sole per velocizzare il processo di decomposizione della materia organica e uccidere i batteri. Sono già diversi i prodotti in commercio in questo settore: Nano-protex, della Nanotec Pty Ltd (Fig. 3.16), un prodotto a base d'acqua che penetra profondamente nei tessuti, rendendoli repellenti all'acqua e diminuendo l'aderenza di corpi estranei sulla superficie; l'HI-TEC, della P2i Ltd, una rivoluzione delle calzature da golf con l'introduzione della Ion Mask (Fig. 3.17); il Demron™ Full Body Suit, della Radiation Shield Technologies, un indumento che può proteggere efficacemente il corpo umano contro le radiazioni, lasciando chi lo indossa libero di muoversi; la Ladies Porter Jacket, della Canada Goose, indumento in microfibra con nanosfere; la Mipan Magic Silver Nano della Mipan, una fibra antimicrobica; l'Orca Alpha Female della Orca, una muta per piscina con rivestimento nano che assicura maggiore velocità e galleggiabilità; lo Schoeller Textiles NanoSphere della Schoeller Textiles, un tessuto autopulente; infine, il Sensatex SmartShirt System della Sensatex, una t-shirt senza fili in grado di raccogliere i segnali fisiologici e il movimento del corpo umano tramite dei sensori in fibra presenti nella maglia.



Fig. 3.16 – Tessuto idrorepellente trattato con Nano-protex



Fig. 3.17 – Il tessuto HI-Tec con Ion Mask

Settore elettronico. L'elettronica è stata la vera forza trainante della nanotecnologia per la sua ricerca nel campo della miniaturizzazione dei dispositivi, realizzando, appunto, dispositivi sempre più piccoli, più potenti e che necessitano di meno energia per il loro funzionamento.

Articoli sportivi. La nanotecnologia può essere impiegata per realizzare attrezzi utili in ambito sportivo, come occhiali con lenti in grado di riflettere la luce ultravioletta, di non appannarsi, con una montatura resa più robusta da un ricoprimento di nanopolveri o rendere gli sci molto più resistenti utilizzando leghe nanostrutturate; il tessuto di un giaccone da neve può essere reso idrorepellente e autopulente, grazie a nanoparticelle presenti nel tessuto.

Settore sanitario. Nel campo medico la nanotecnologia può offrire sviluppi straordinari, come, ad esempio, i farmaci che potrebbero essere collocati in molecole cave aggregate in strutture supramolecolari, ancora in fase di sviluppo. Queste strutture sono dei contenitori nanometrici dotati di antenne, a cui sarebbero fissate proteine-sensori simili ad anticorpi. Quando queste proteine entrano in contatto con strutture tipiche dell'agente patogeno, ad esempio la superficie esterna di cellule cancerogene o dei batteri, vi si depositano e inviano un segnale alla molecola cava che si apre e rilascia il suo contenuto. Con una nanotecnologia di questo tipo i medicinali potrebbero essere somministrati a forti dosi direttamente sul focolaio della malattia, senza effetti collaterali sul resto dell'organismo.

Inoltre, sono in fase di sperimentazione macchinari che, tramite l'utilizzo di superfici ricche di reagenti, permettano di analizzare in brevissimo tempo diverse sostanze presenti in una goccia di sangue e "nanocristalli" da utilizzare per verificare la presenza di presunte infezioni nel corpo.



Fig. 3.18 – Display con tecnologia Organic Light Emitting Device, OLED (ditta produttrice: Universal Display Corporation)



Fig. 3.19 – Moto d'acqua che utilizza il NanoXcel, un nuovo materiale ultraleggero, ad alta resistenza, che riduce il peso dello scafo del 25% e prevede un incremento delle prestazioni come accelerazione, velocità massima e maneggevolezza (ditta produttrice: Yamaha)



Fig. 3.20 – Bicicletta realizzata in fibra di carbonio unidirezionale, con i processi di produzione più avanzate, tra cui le nanotecnologie (ditta produttrice: Bianchi)

Settore automobilistico. Diverse parti delle automobili possono essere migliorate con l'ausilio delle nanotecnologie. I parabrezza possono diventare resistenti ai graffi grazie a rivestimen-

ti a base di nanoparticelle prodotte con tecniche sol/gel ⁽¹¹⁾. La vernice delle automobili potrebbe avere una struttura a foglia di loto che fa scorrere via lo sporco. L'illuminazione necessaria per un'automobile è già prodotta in larga misura con l'aiuto della nanotecnologia. Infatti, come tutti i LED, i diodi delle luci dei freni sono dotati di raffinati sistemi di strati nanometrici ad alta efficienza che convertono l'elettricità in luce. Un altro vantaggio è il fatto che i LED convertono molto rapidamente l'elettricità in luce visibile, mentre le luci dei freni con lampadine convenzionali impiegano più tempo. I LED oggi sono così luminosi che, raggruppandoli, si possono utilizzare come fari. Ci sono già sul mercato prodotti come il G-Glass Anti-Fog, prodotto dalla Green Earth Technologies, che contiene particelle di dimensioni nanometriche, e si applica sul lato interno del parabrezza, penetrando in profondità e impedendo la formazione di condensa all'interno del veicolo o il nuovo rivoluzionario pneumatico S.drive, prodotto dalla Yokohama Tire Corporation, con alte prestazioni che permettano di tenere maggiormente sotto controllo l'autoveicolo, attraverso l'uso di composti micro-flessibili, sviluppati usando le nanotecnologie.

Settore alimentare. In questo settore l'uso delle nanotecnologie riguarda sia gli imballaggi per gli alimenti, rendendoli più resistenti agli urti e agli strappi, sia gli alimenti stessi, riducendo la presenza di germi sulla loro superficie per aumentarne la conservazione o inserendo nanoparticelle direttamente negli alimenti, tramite additivi che vengono poi disciolti nei liquidi per permettere all'organismo di assimilare più velocemente aromi e vitamine (Figg. 3.21-3.23).

Settore cosmetico. Questo settore utilizza molto le nanoparticelle nel confezionamento di varie tipologie di creme, tra l'altro presenti in aziende di fama internazionale come Chanel o Lancôme (Figg. 3.24), ma soprattutto nel campo delle protezioni solari, dato che il biossido di titanio è in grado di schermare dai

⁽¹¹⁾ Il vetro rimane totalmente trasparente in quanto le nanoparticelle sono così piccole che non disperdono la luce.

raggi UV e le nanoparticelle, essendo trasparenti, evitano di rilasciare "l'effetto maschera" all'atto dell'applicazione della crema.

Settore edilizio. In ambito architettonico l'avvento di materiali nanostrutturati interessa l'edificio nella sua totalità, dalla struttura ai rivestimenti, dall'illuminazione alla produzione di energia e, cosa molto importante, viene considerato determinante per l'efficienza energetica degli edifici.



Figg. 3.21 – La Nanoflagon, per mantenere intatto l'aroma del tè



Figg. 3.22 – Contenitori con nanoparticelle d'argento antibatteriche super ermetici per la conservazione degli alimenti, riducono la presenza di batteri quasi del 90%. In questo modo il cibo potrà mantenersi fresco più a lungo, assicurando così alimenti più sani e minore spreco di denaro (ditta produttrice: BlueMoonGoods)



Fig. 3.23 – *Maternal Water*, studiata per il bambino e la mamma nel periodo di gestazione, l'acqua non presenta alcun trattamento chimico grazie alla tecnologia dei nanoioni d'argento (ditta produttrice: La Posta del Aguila)



Figg. 3.24 – Prodotti cosmetici che utilizzano nanoparticelle: le creme antirughe della Lancôme e di Chanel e il dentifricio della SH Pharma

Capitolo IV

La nanoarchitettura

La nanotecnologia può rappresentare la risorsa scientifica e tecnica necessaria per ripensare gli edifici. Questa nuova scienza ha già portato sul mercato le finestre autopulenti, il cemento mangiasmog, i nanosensori. Ma questi sono solo un anticipo di ciò che è in incubazione nei laboratori nanotecnologici di tutto il mondo, dove sono in corso ricerche sui nanocompositi sottili come il vetro, in grado di sostenere l'intero edificio, e sui rivestimenti fotosintetici che possono trasformare qualsiasi superficie di un edificio in una fonte di energia gratuita.

“Con assemblatori e disassemblatori molecolari programmati appropriatamente – secondo John Johansen – la casa assumerebbe la sua struttura fondamentale, che potrebbe realizzarsi in un tempo successivo; e potrebbe anche ripararsi le parti danneggiate con un processo di autoguarigione. Invece di un assemblaggio di parti meccaniche separate, una simile casa potrebbe simulare la continuità senza interruzioni della crescita cellulare di un tessuto vivente. Mentre, in natura, squadre di nanomacchine organizzano gli atomi nell'enorme struttura cellulosa di una sequoia, si potrebbero produrre oggetti di uguale scala in modo simile. Per quanto riguarda il tempo di produzione una casa si potrebbe fabbricare in meno di un'ora e con poco impegno da parte dell'uomo ⁽¹⁾”.

L'avvento delle nanotecnologie viene, inoltre, considerato determinante per l'efficienza energetica degli edifici, avendo il potenziale per la conservazione dell'energia, per la riduzione dei rifiuti, per il consumo di risorse non rinnovabili e per la riduzione di emissioni di anidride carbonica. I miglioramenti delle prestazioni ambientali riguardano l'isolamento, i rivestimenti esterni, la depurazione dell'aria e delle acque, seguiti

⁽¹⁾ JOHANSEN J.M., *Verso il XXI secolo*, in “Arca”, n. 99, 1995, pp. 2-9.

dai futuri progressi nella tecnologia solare e dell'illuminazione. L'attuale mercato delle applicazioni della nanotecnologia in architettura è guidato dai nanorivestimenti per l'isolamento, l'autopulizia, la protezione anti-UV, la resistenza alla corrosione e l'impermeabilizzazione. Molti di questi rivestimenti contengono nanoparticelle di biossido di titanio, per rendere le superfici non solo autopulenti, ma in grado di rimuovere gli inquinanti dall'ambiente circostante. Il nanorivestimento isolante promette un significativo risparmio di energia, in particolare per gli edifici esistenti, che possono essere difficili da isolare con materiali convenzionali. Mentre da un lato la nanotecnologia è in grado di migliorare le prestazioni dei materiali tradizionali come il cemento, l'acciaio, il legno e il vetro, dall'altro, l'introduzione di nanotubi di carbonio può rivoluzionare la concezione strutturale degli edifici di nuova costruzione. I nanotubi di carbonio sono molto più resistenti dell'acciaio. Alcuni ricercatori dell'Università di Dallas hanno prodotto dei fogli trasparenti di nanotubi di carbonio, chiamati *buckypaper*, più forti dell'acciaio e così sottili che un chilometro quadrato di fogli di nanotubi di carbonio pesano soltanto 30 chilogrammi. La prospettiva di potere realizzare fogli di materiale trasparente più forti dell'acciaio rappresenta non solo un enorme passo avanti per il risparmio energetico, ma trasforma il rapporto fra struttura e pelle dell'edificio.

Forse è solo utopia, ma questi materiali potrebbero essere utilizzati sia per la struttura, sia per la *pelle* dell'edificio, rivoluzionando il concetto di sistema strutturale tradizionale. Inoltre, questi buckypaper sono ottimi conduttori di calore e di elettricità, e potrebbero essere utilizzati come elettrodi per i Diodi Emittitori di Luce Organica (OLED).

Presso la Ball State University, in collaborazione con l'Illinois Institute of Technology, gli studenti del NanoStudio del prof. Gorge Elvin progettano edifici utilizzando nanomateriali che saranno sul mercato tra vent'anni. Essi utilizzano pannelli strutturali in nanotubi di carbonio, *quantum dot* per la illuminazione, nanosensori: i pannelli strutturali in nanotubi creano muri portanti trasparenti, privi di colonne e travi; i *quantum dot* fanno luce sulle pareti e sui soffitti o modificano il colore con un semplice interruttore, mentre i nanosensori nei componenti del-

la costruzione creano ambienti intelligenti, che costantemente si adeguano all'ambiente e agli utenti.

In futuro, l'ambiente interagirà con gli utenti. I nanosensori incorporati nei materiali da costruzione saranno presto in grado di raccogliere dati sulla temperatura, sull'umidità, sulle vibrazioni, sullo stress, sul decadimento e su una serie di altri fattori. I sensori prenderanno i dati relativi alle caratteristiche e alle preferenze degli utenti, attivando le risposte negli oggetti intelligenti che li circondano, ad esempio oscurando le luci o variando la temperatura. Gli edifici non saranno statici, ma cambieranno costantemente; questi ambienti dinamici saranno quasi organici nella loro capacità di rispondere ai cambiamenti. Pertanto gli architetti dovranno imparare a progettare per il cambiamento.

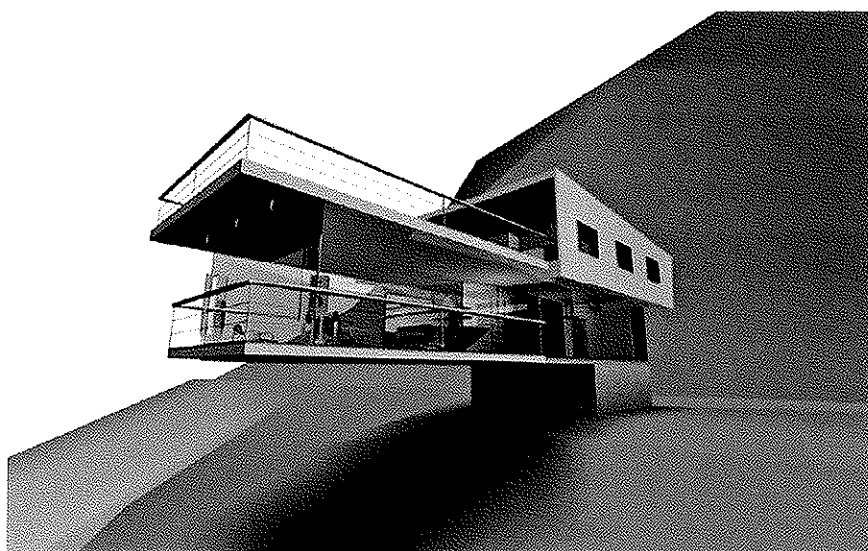
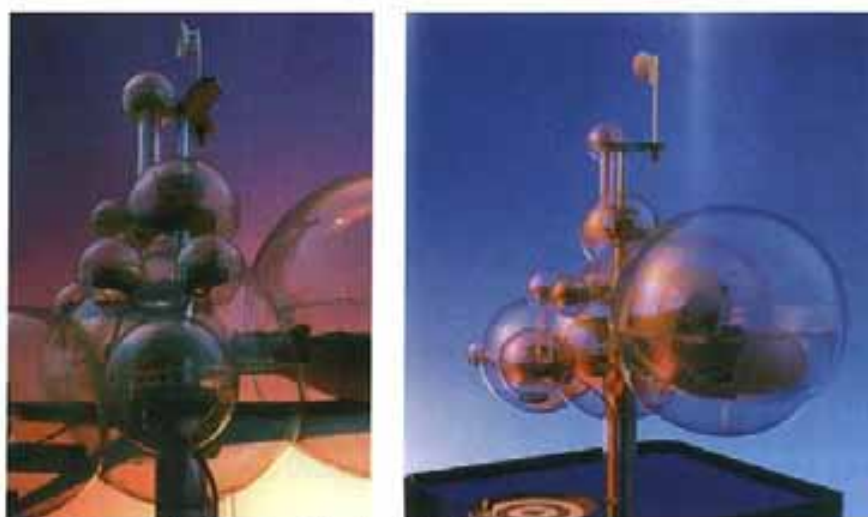


Fig. 4.1 – Progetto di edificio realizzato con l'uso delle nanotecnologie presso la Ball State University

Uno dei primi architetti ad avere avuto una visione di una nuova architettura legata al mondo della nanotecnologia è stato John Johansen, che da quarant'anni lavora sul tema dell'architettura del futuro, da lui definita una nuova specie di architettura.

ra ⁽²⁾. Egli parla di specie, perché l'architettura si sta avvicinando sempre di più a quelli che sono gli organismi viventi; gli edifici oggi si autocostruiscono, sono autostabilizzanti, si autoregolano in termini di servizi. A ciò si aggiungerà il fattore organico, ovvero la crescita. A partire dalle molecole, si arriverà alla produzione di nanorobot in grado di autoreplicarsi fino alla possibilità di disporre di una forza lavoro enorme costituita da robot assemblatori che saranno in grado di costruire praticamente tutto. Nel prossimo futuro la realizzazione di un edificio prevederà l'idea, la sua realizzazione tramite il computer e, infine, un modeling molecolare con la produzione di un codice, come accade per il Dna.

Johansen sostiene che questa svolta nelle costruzioni avverrà fra cento anni. Egli cerca di immaginare come potranno essere questi nuovi edifici, e l'ausilio della nanotecnologia concorrerà alla loro realizzazione (Figg. 4.2-4.7), e l'espressione architettonica che li caratterizzerà.



Figg. 4.2 – John Johansen: *Froth of Bubbles*

⁽²⁾ JOHANSEN J.M., *Nanoarchitecture. A new species of architecture*, New York, Princeton Architectural Press, 2002.



Fig. 4.3 – John Johansen: *Floating Conference Center*



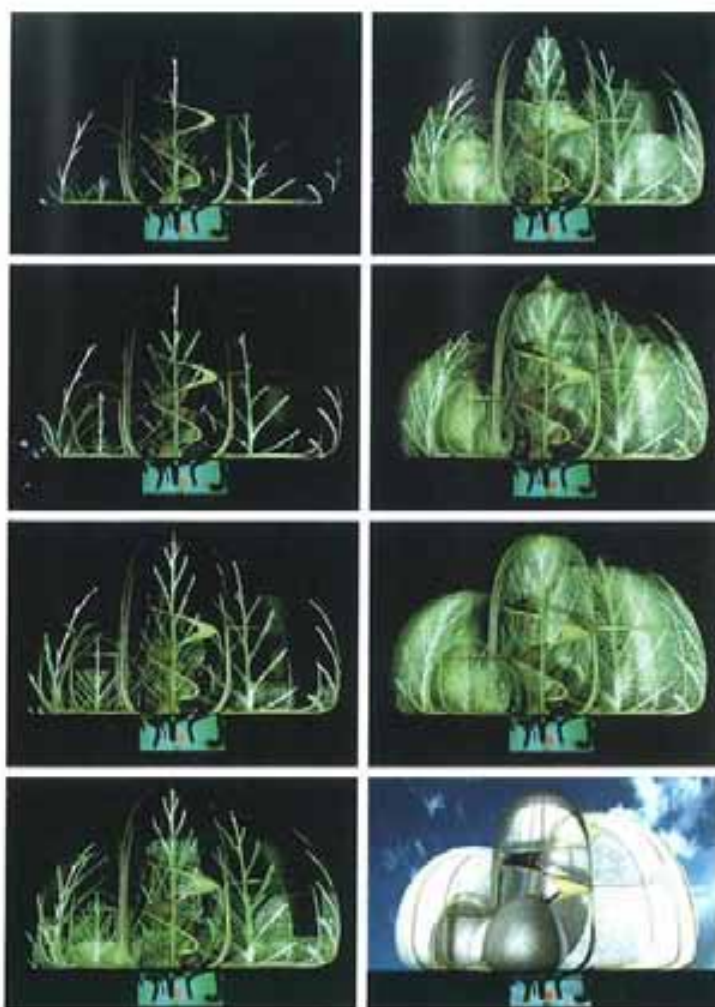
Fig. 4.4 – John Johansen: *Floating House*



Fig. 4.5 – John Johansen: *Multistory Apartment Building*



Fig. 4.6 – John Johansen: *Metamorphic Capsule*



Figg. 4.7 – John Johansen: *Molecular Engineered House* per il 2200.

Sono diversi i progetti più o meno utopistici che si basano sulle nanotecnologie che si sono succeduti negli ultimi anni. Alcuni rappresentano delle applicazioni concrete dei prodotti oggi sul mercato, come la *Nanohouse*, un'iniziativa coordinata dal prof. Carl Masens, presso l'University of Technology di Sydney, che consiste nella realizzazione di un prototipo di abitazione in cui sono applicati materiali nanostrutturati (Figg. 4.8).

Altri sono sicuramente più avveniristici, ma affascinanti nel loro modo di immaginare il futuro dell'architettura e delle nostre città.

Anche Peter Yedon, ad esempio, ha una visione di post-produzione architettonica, in cui l'architettura è auto-assemblata e può crescere come un seme in un contenitore di sostanze nutritive. Egli ha progettato *nBots*, che possono assemblarsi in forme polimorfe unendosi l'un l'altro (Fig. 4.9).



Figg. 4.8 – *La Nanohouse*



Fig. 4.9 – *nBots* di Peter Yedon

Invece, due progetti futuristici sono il *Nano Vent-Skin* e il *Hydro-Net*. *Nano Vent-Skin* (NVS) è un progetto che mira a innescare nuovi approcci al verde e più efficienza energetica delle strutture. Ideato da Agustín Otegui, un designer di Londra, il sistema NVS consiste di turbine eoliche alla micro-scala, che sono integrate in edifici e altre strutture per la generazione di energia elettrica. Ci sono tre aspetti principali nei sistemi NVS, che coinvolgono le interazioni con la luce del sole, con il vento e con il biossido di carbonio: la superficie esterna della struttura assorbe la luce del sole attraverso una pelle organica fotovoltaica e trasferisce energia elettrica attraverso nanofili all'unità di deposito alla fine di ogni pannello; piccole turbine eoliche sul pannello sono anche utilizzate per generare energia elettrica, mentre la pelle interna di ogni turbina assorbe CO_2 , quando il vento l'attraversa (Figg. 4.10-4.16).



Fig. 4.10 – *Nano Vent-Skin* impiegato in un tunnel autostradale per alimentare le luci



Fig. 4.11 – *Nano Vent-Skin* impiegato su edifici esistenti per la fornitura di energia elettrica



Fig. 4.12 – Nano Vent-Skin usato su barriere stradali per alimentare le luci, dove non c'è accesso all'elettricità



Fig. 4.13 – Nano Vent-Skin nelle gallerie utilizza il vento generato dalla velocità dei treni per alimentare le luci della stazione successiva



Fig. 4.14 – Nano Vent-Skin: modelli delle turbine eoliche

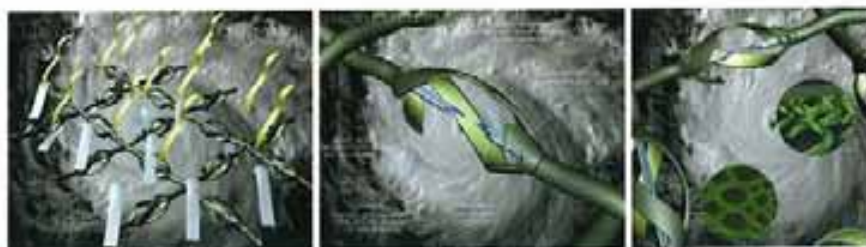


Fig. 4.15 – Nano Vent-Skin: i componenti nanostrutturati



Fig. 4.16 – Un progetto per dimostrare come Nano Vent-Skin può essere applicato per edifici di nuova concezione

Lisa Iwamoto e Craig Scott hanno prodotto una visione urbana di San Francisco, che si basa sulle nuove proprietà dei nanotubi di carbonio (CNTs). La loro proposta *Hydro-Net* è stata presentata alla giuria della History Channel's City of the Future: a Design and Engineering Challenge, San Francisco 2108. I concorrenti sono stati invitati a ripensare la città nei prossimi cento anni; essi avevano una settimana per la progettazione e tre ore per installare la loro presentazione al Ferry Building di San Francisco. Le gallerie *Hydro-Net* sarebbero fatte di CNTs, che sono anche utilizzati per immagazzinare idrogeno nelle pareti delle gallerie e per distribuirlo nelle stazioni presenti in tutta la città (Figg. 4.17-4.25).

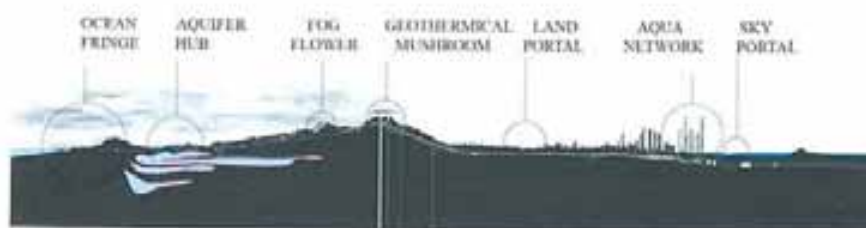


Fig. 4.17 – Sezione con gli elementi del progetto *Hydro-Net*



Figg. 4.18 – Il progetto *Hydro-Net*



Fig. 4.19 – Sezione di dettaglio degli elementi del progetto *Hydro-Net*



Figg. 4.20 – *Hydro-Net*: Fog Flower e Geothermal Mushroom



Figg. 4.21 – *Hydro-Net*: Geothermal Mushroom

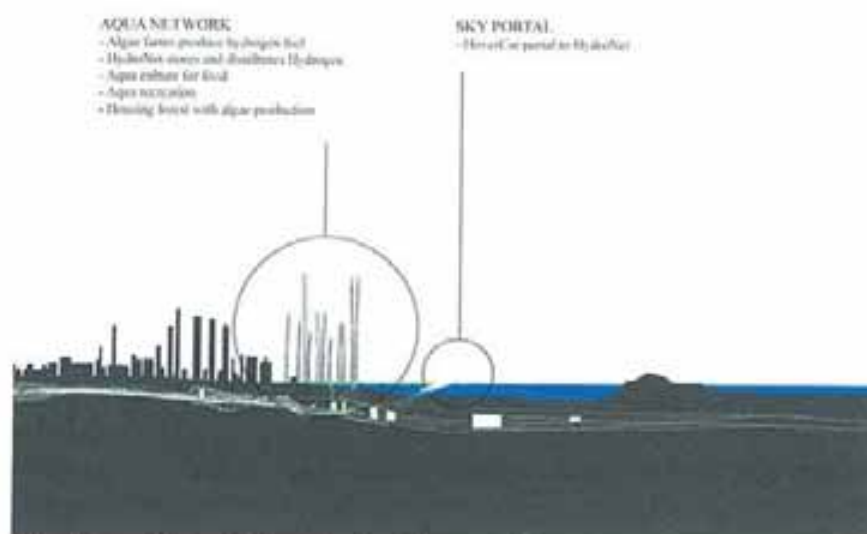


Fig. 4.22 – Sezione di dettaglio degli elementi del progetto Hydro-Net



Fig. 4.23 – Hydro-Net: Algae Tower housing



Fig. 4.24 – Hydro-Net: Algae Tower housing



Fig. 4.25 – Hydro-Net: l'ingresso della metropolitana

Capitolo V

Il calcestruzzo

Il calcestruzzo è un materiale da costruzione artificiale omogeneo, composto da legante, acqua e aggregati o inerti, scelti con una granulometria eterogenea ⁽¹⁾. I requisiti che deve possedere un buon calcestruzzo, a maturazione avvenuta (a norma di legge dopo 28 giorni), sono: l'ottima resistenza a compressione, la durabilità, la resistenza agli agenti atmosferici e alle aggressioni chimiche.

Il calcestruzzo è uno dei materiali più prodotti al mondo. Ogni anno viene prodotta circa una tonnellata di calcestruzzo per ogni essere umano (circa sei miliardi di tonnellate l'anno), rilasciando nell'atmosfera 1,3 tonnellate di CO₂ per ogni tonnellata di cemento prodotto. In tutto il mondo, la produzione di cemento genera oltre 1,6 miliardi di tonnellate di carbonio, che rappresentano oltre l'8% delle emissioni totali di anidride carbonica. Anche i rifiuti sono considerevoli, dato che il calcestruzzo rappresenta i due terzi dei rifiuti delle demolizioni, con solo il 5% attualmente riciclati. L'introduzione della nanotecnologia concorrerà a migliorare le prestazioni del calcestruzzo e a ridurre il consumo di energia.

L'uso del calcestruzzo come materiale strutturale o di riempimento ha origini molto antiche. *L'opus cementicium* di cui parla Vitruvio nel *De Architectura* è sicuramente paragonabile a quello in uso oggi, anche se questo materiale risale a epoche più antiche. Presso i Romani la tecnologia del calcestruzzo ebbe un notevole impiego, basti pensare ad architetture come il *Pantheon*.

⁽¹⁾ La dosatura normale del calcestruzzo è quella che consente di realizzare un metro cubo di conglomerato miscelando tali componenti con le seguenti quantità: cemento 300 kilogrammi; ghiaia 0,800 metri cubi (volume apparente), sabbia 0,400 metri cubi (volume apparente), acqua 120-150 litri.

Dal XIX secolo in poi assistiamo a un inarrestabile impiego di questo materiale, che ne fa oggi uno dei più usati al mondo. Le evoluzioni tecnologiche hanno accompagnato questo materiale nel tempo, basti pensare ai vari additivi che ne migliorano le prestazioni o al calcestruzzo fibrorinforzato.

In quest'ottica di miglioramento delle prestazioni si inserisce l'apporto delle nanotecnologie. L'aggiunta di nanoparticelle, ad esempio, può contribuire a migliorare la durabilità del calcestruzzo attraverso il riempimento dei pori, così come l'introduzione di nanotubi di carbonio può migliorare significativamente la forza del calcestruzzo, avendo essi il potenziale per ostacolare efficacemente la propagazione delle fessure nei cementi.

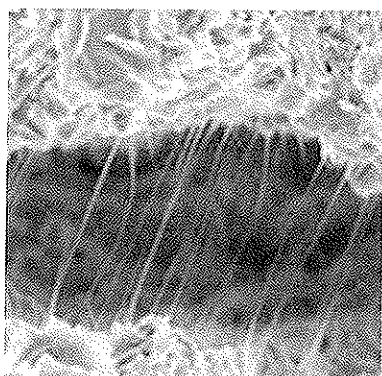


Fig. 5.1 – Immagine al SEM (Scanning Electron Microscopy) di nanotubi di carbonio che riempiono le fessure del calcestruzzo

I nanotubi di carbonio (CNT) hanno una resistenza alla trazione di gran lunga superiore all'acciaio e sono ancora più leggeri e flessibili. La loro conducibilità termica è superiore a quella di qualsiasi altro materiale conosciuto, e anche la loro conducibilità elettrica è eccellente. L'aggiunta di piccole quantità di nanotubi di carbonio può migliorare la resistenza alla compressione e alla flessione rispetto ai cementi non rinforzati, anche se il costo rappresenta un grande ostacolo al loro utilizzo. Solo l'apporto di considerevoli risorse da parte delle industrie, dei governi e del mondo accademico potranno ridurre il loro co-

sto, fino a renderli economicamente vantaggiosi. Inoltre, i ricercatori cinesi hanno creato dei sensori per monitorare il cemento armato, che possono essere incorporati nel calcestruzzo.

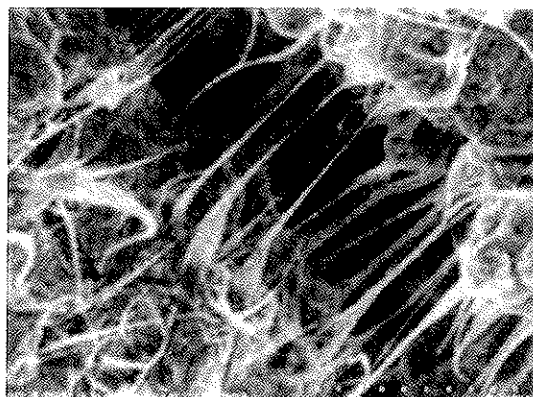


Fig. 5.2 – Immagine al SEM (Scanning Electron Microscopy) di nanotubi di carbonio che riempiono le fessure del calcestruzzo

Questi nanosensori possono raccogliere dati relativi alle prestazioni del materiale, dalla temperatura all'umidità; sono anche in grado di monitorare le condizioni esterne, quali l'attività sismica, i carichi dell'edificio e, in strada, il volume del traffico e la viabilità. Questi sono esempi di smart aggregati, ovvero aggregati intelligenti, in cui i dispositivi micro-elettromeccanici sono gettati direttamente nel calcestruzzo. È in corso, inoltre, la sperimentazione di calcestruzzi autoriparanti: quando il calcestruzzo autoriparante si fessura, si rompe una microcapsula incassata nel materiale che rilascia una sostanza (agente) nella zona danneggiata che contatta un catalizzatore, attivando una polimerizzazione in grado di chiudere la fessura. Nei test eseguiti, i compositi autoriparanti recuperano più del 75% della loro forza originale. Essi potrebbero aumentare la vita dei componenti strutturali di ben due o tre volte rispetto all'aspettativa attuale.

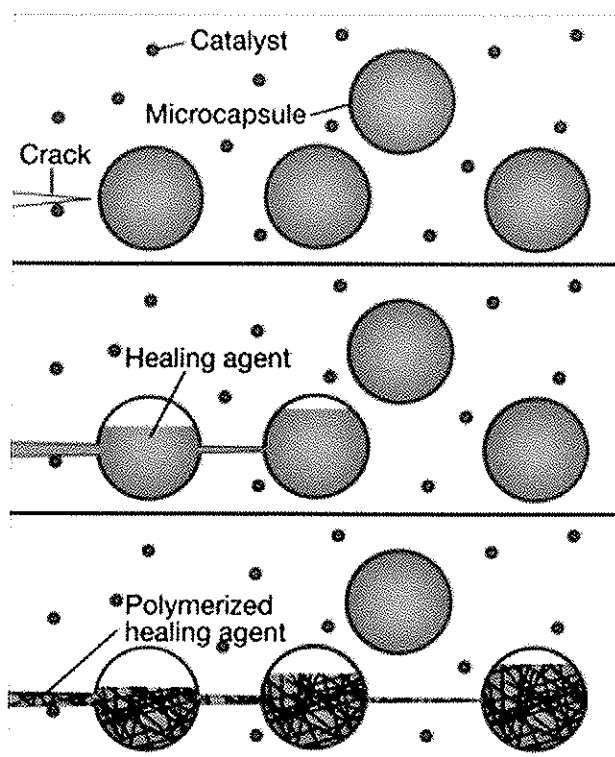


Fig. 5.3 – Microcapsule nei calcestruzzi autoriparanti
(Fonte: Scott White, University of Illinois at Urbana-Champaign)

I prodotti già in commercio sono svariati. A questo proposito riportiamo alcuni esempi significativi come quelli rappresentati dai protettivi per il cemento ⁽²⁾, dalle malte di riparazione per il calcestruzzo e dai cementi fotocatalitici ⁽³⁾. La ditta australiana Nanovations, ha messo a punto un nuovo prodotto per la protezione del cemento che può essere aggiunto direttamente al materiale, il che rende l'uso di superfici isolanti in molti casi inutili.

I cementi, anche quelli di alta qualità, contengono capillari e microfessure; questo permette all'acqua di passare attraverso la

⁽²⁾ Tale argomento verrà affrontato anche nel capitolo IX di questo volume.

⁽³⁾ I cementi fotocatalitici verranno ampiamente trattati nel paragrafo 9.3.

sua struttura. Per decenni sono state utilizzate superfici isolanti e impregnazioni penetranti per ridurre l'assorbimento d'acqua, e proteggere così il cemento. Con l'ausilio di questa nuova tecnologia, l'uso di questi prodotti può essere evitato. L'elemento, diventando permanente all'interno del calcestruzzo, può prevenire la formazione di umidità e di efflorescenze.

La ditta Degussa, con Emaco Nanocrete, è stata la prima a mettere a punto malte di riparazione nanomodificate, che garantiscono la massima efficacia e durabilità negli svariati interventi di ripristino.

L'apporto della nanotecnologia ha consentito una migliore comprensione dell'idratazione del cemento, permettendo di perfezionare la qualità e la densità delle nanostrutture nell'impasto. In questo modo si riducono i microdifetti dei sistemi, si migliora il legame tra la matrice cementizia e gli aggregati e tra la malta cementizia e il supporto, migliorando anche le proprietà fisiche come la resistenza a trazione per ridurre la tendenza alla fessurazione.

Quindi questi prodotti presentano elevata adesione al supporto, impermeabilità, resistenza alla fessurazione, compatibilità con il calcestruzzo, facilità e versatilità d'uso, rapidità d'applicazione. Possono essere impiegati in diversi tipi di intervento, come rifacimento di spigoli e sbeccatura di travi e pilastri o ripristini di manufatti in calcestruzzo faccia a vista, in generale in qualsiasi manufatto in calcestruzzo di edilizia civile, industriale o commerciale che presenti difetti o distacchi localizzati di calcestruzzo.

I cementi fotocatalitici sono un'altra categoria di materiali molto diffusa. L'effetto principale di tali rivestimenti è la notevole riduzione del grado di aderenza della sporcizia alle superfici.

Capitolo VI

L'acciaio

L'acciaio è stato ampiamente disponibile dopo la seconda rivoluzione industriale, tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo e ha svolto, da allora, un ruolo importante nel settore edile. È il componente principale del cemento armato nelle costruzioni, nonché un materiale primario da costruzione esso stesso.

L'apporto della nanotecnologia sta migliorando la resistenza alla corrosione nell'acciaio, ma non ha ancora un impatto nel mercato strutturale dell'acciaio. Tuttavia, oggi sono disponibili diverse forme di acciaio che utilizzano processi alla nanoscala. Le barre d'acciaio rinforzate per il cemento da costruzione, per esempio, sono commercializzate dalla ditta MMFX. L'acciaio MMFX è cinque volte più resistente alla corrosione e fino a tre volte più forte dell'acciaio convenzionale. I prodotti MMFX sono utilizzati in strutture nel Nord America, quali ponti, autostrade, edifici residenziali e commerciali. La forza aggiunta dell'acciaio MMFX risulta dalla diminuzione della quantità di acciaio utilizzato rispetto a quello convenzionale.

L'acciaio prodotto utilizzando la tecnologia MMFX ha una struttura laminata simile al compensato che limita la formazione della corrosione. Tale struttura rende l'acciaio molto forte e aumenta la duttilità e la tenacità.



Figg. 6.1 – Alcuni edifici in cui è stato applicato l'acciaio MMFX: il Florida Department of Transportation, l'Ameristar Casino a St. Charles, il Sacramento Regional Transit District



Fig. 6.2 - Polimero conduttivo che riduce la corrosione



Fig. 6.3 - Rivestimento nanostrutturato per prevenire i problemi strutturali

Capitolo VII

Il legno

Infine, tra i materiali strutturali, non dobbiamo dimenticare la grande opportunità rappresentata dalle nanotecnologie per il legno. Come sostiene Jerrold E. Winandy, dell'U.S. Department of Agriculture's Engineered Composites Science Project, "la nanotecnologia produrrà la prossima generazione di bioprodotto che avranno iper-prestazioni e superiore manutenzione. Questi prodotti avranno migliori proprietà, presenti, in questo momento, soltanto nei materiali compositi a base di carbonio. Questi nuovi bioprodotto con iper-performance saranno in grado di avere una vita più lunga in ambienti con gravi problemi di umidità. I miglioramenti apportati a quelli già esistenti includerà lo sviluppo di compositi legno-plastica che avranno una maggiore resistenza grazie alla presenza di fibre nanorinforzate e nanomanipolate. La nanotecnologia rappresenta una grande opportunità per il legno e i materiali a base di legno per migliorare le loro prestazioni e funzionalità, lo sviluppo di nuove generazioni di prodotti e aprire nuovi segmenti di mercato nei prossimi decenni" ⁽¹⁾.

Oggi sono presenti sul mercato alcune vernici che proteggono il legno dai raggi UV e sono anche idrorepellenti. Le nanoparticelle presenti nella vernice assicurano un'ottima protezione, rendendola trasparente.

⁽¹⁾ WINANDY J.E., *Achieving Resource Sustainability and Enhancing Economic Development through Biomass Utilization*, in "International Workshop on Prefabricated Housing From Bamboo Based Panels", November 24-25, Beijing, 2005.



Fig. 7.1 – Esempio di un edificio con involucro esterno in legno con vernice protettiva nanostrutturata

Capitolo VIII

Il vetro

Il vetro è un materiale conosciuto fin dall'antichità. Plinio il Vecchio nella *Naturalis Historia* scrive che fu scoperto per caso da alcuni mercanti fenici, che accesero il fuoco in riva al mare, in presenza di nitrato e sabbia silicea. Il suo utilizzo è attestato già dal III millennio a.C. in Mesopotamia, e nel II millennio a.C. in Egitto fu impiegato per la produzione di vari utensili.

Il vetro è il risultato del processo di solidificazione, senza giungere alla cristallizzazione, di un miscuglio omogeneo, composto da silice, soda e calce. Esso è fuso a una temperatura di circa 1.500° C, fino a ottenere una massa liquida molto viscosa. A causa del raffreddamento, la massa si solidifica senza "riorrganizzare" il reticolo cristallino dei suoi componenti e acquista una struttura amorfa, con le molecole disposte secondo una distribuzione casuale, simile a quella dei liquidi. Il prodotto è trasparente e incolore, può essere variamente colorato, aggiungendo specifiche sostanze durante la fusione, oppure può essere trattato per conferire particolari caratteristiche nell'aspetto superficiale e nella resistenza.

Le lastre che oggi si adoperano sono prevalentemente le FLO-AT, sviluppate nel 1959 dall'inglese Alastair Pilkington che mise a punto il procedimento industriale del Float Glass: esso consiste nel far colare il vetro allo stato viscoso su un bagno di stagno fuso, in atmosfera inerte; con questo procedimento, le superfici della lastra, sottoposte all'azione combinata della gravità e della tensione superficiale, risultano perfettamente piane e parallele e con difetti superficiali di gran lunga minori di quelle ottenute con gli altri sistemi. Le lastre fabbricate con questo metodo vengono usualmente dette cristalli.

La progettazione di edifici con superfici vetrate sempre più ampie sta portando, a livello strutturale, verso una smaterializzazione dell'edificio, di cui rimane visibile solo lo scheletro, avvolto da un velo trasparente. La tecnologia del vetro ha permesso

questa evoluzione architettonica, consentendo la realizzazione di edifici gestibili dal punto di vista del riscaldamento invernale e del raffreddamento estivo. L'industria del vetro è una delle più innovative nel mondo in termini di ricerca e sviluppo, e sembra aver dato particolare importanza alle prestazioni energetiche, in particolare alla possibilità di ridurre, con l'applicazione di nuovi prodotti, il fabbisogno energetico degli edifici.

Gli obiettivi principali sono stati quelli di ridurre il forte carico energetico ed economico, dovuto ai sistemi di condizionamento e di migliorare i mezzi per lo sfruttamento delle fonti d'energia rinnovabili, soprattutto dell'energia solare.

Le prestazioni principali da assicurare sono: l'isolamento termico (consumo energetico invernale per riscaldamento e picchi di carico); il controllo della radiazione solare (guadagno solare invernale, consumo energetico per raffrescamento estivo e picchi di carico); l'illuminazione (fattore di luce diurna, uniformità); l'isolamento acustico.

Uno dei problemi fondamentali legati al consumo di energia negli edifici è rappresentato dal riscaldamento invernale e dal raffrescamento estivo. La perdita e il guadagno di calore sono strettamente connessi con la presenza di superfici vetrate.

Per quanto riguarda le proprietà termiche del vetro occorre considerare il calore trasmesso dall'ambiente interno verso l'esterno, e quello trasmesso dall'esterno verso l'interno ⁽¹⁾.

Il vetro possiede un'elevata conduttività termica ⁽²⁾ che determina una dispersione verso l'esterno per conduzione del calore presente all'interno. Infatti la trasmittanza termica ⁽³⁾ del vetro

⁽¹⁾ L'apporto di energia dall'esterno (la cosiddetta energia incidente E_i) che in parte viene riflessa verso l'esterno (E_r) e va perduta, in parte assorbita dal vetro (E_a) e in parte trasmessa all'interno (E_d). La quota di energia assorbita dal vetro viene poi parzialmente trasmessa all'interno ($E_{a'}$). Per valutare l'apporto di energia attraverso il vetro si ricorre al fattore solare, che rappresenta il rapporto tra l'energia totale entrante (E_i) in un ambiente attraverso una superficie vetrata e l'energia incidente (E_i); esso varia a seconda dello spessore e delle caratteristiche del vetro.

⁽²⁾ La conducibilità termica è una misura dell'attitudine di una sostanza a trasmettere il calore e dipende solo dalla natura del materiale.

⁽³⁾ La trasmittanza misura la quantità di calore che nell'unità di tempo attraversa un elemento strutturale della superficie di 1 metro quadro in presenza

si mantiene su valori attorno a $5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, anche se lo spessore della lastra varia da 3 a 8 millimetri.



Fig. 8.1 – Richard Rogers: *Lloyd's Register of Shipping a Londra* (2000)

di una differenza di temperatura di 1 grado tra l'interno e l'esterno. La trasmittanza aumenta al diminuire dello spessore ed all'aumentare della conducibilità termica. Strutture con bassissima trasmittanza termica si caratterizzano per fornire un elevato isolamento termico.



Figg. 8.2 – Murphy/Jahn: Bayer Headquarters a Leverkusen (2002)



Figg. 8.3 – 3XNielsen: il Musiekgebouw/Bimhuis di Amsterdam (2005)



Figg. 8.4 – Coop Himmelb(l)au: l'UFA Cinema Center a Dresda (1998)



Figg. 8.5 – Massimiliano Fuksas: il Nuovo Polo Fiera a Milano (2005)

L'attitudine a contrastare il passaggio del calore aumenta invece decisamente se si impiegano determinati tipi di prodotti vetrari, come quelli costituiti da due lastre separate da un'intercapedine di aria, cioè i cristalli uniti al perimetro; in questo caso la trasmittanza termica della finestra può ridursi a $3,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Per riuscire a migliorare le caratteristiche di trasmissione, riflessione e assorbimento del calore sono nati così i vetri basso emissivi, i vetri riflettenti e quelli selettivi.

I vetri basso-emissivi, progettati per l'ottimizzazione dell'isolamento termico, limitano la dispersione del calore prodotto dagli impianti termici e dai radiatori, senza impedire, al tempo stesso, l'apporto di luce e di energia solare provenienti dall'esterno. Si definiscono basso-emissivi in quanto l'emissività della pellicola rispetto a un vetro normale o anche riflettente è molto inferiore.

Questa caratteristica fa sì che tutto il calore emesso da corpi presenti negli ambienti interni (persone e impianti termici) venga respinto verso l'interno, riducendone così la perdita. I vetri basso-emissivi vengono impiegati, soprattutto, nei Paesi con clima freddo; assemblati in vetrate isolanti, forniscono ottimi valori d'isolamento termico.

In questo modo, attraverso una drastica riduzione delle dispersioni termiche, e riflettendo calore, permettono un notevole risparmio dei costi energetici di riscaldamento. Questi vetri sono rivestiti di ossidi metallici che, una volta depositati sul vetro, ne rafforzano le proprietà di isolamento termico e di controllo solare. Il rivestimento può essere realizzato con due procedimenti differenti: il primo, è la tecnologia di deposizione chimica per pirolisi ⁽⁴⁾, il secondo, la tecnologia di deposizione fisi-

⁽⁴⁾ In questo processo la lastra di vetro viene introdotta nella camera in cui sono contenuti i metalli da depositare (catodo): Ti, Ag, Cu, Zn, ecc. e un gas di processo (Ar, O₂, N₂) a bassa pressione. In seguito all'applicazione di un voltaggio negativo al catodo, avviene la ionizzazione del gas. Gli atomi di gas ionizzato (+) così formati vengono attratti dal catodo carico negativamente con una tale forza, che gli atomi del catodo stesso vengono espulsi e si depositano sulla lastra di vetro sottostante; un campo magnetico, creato attorno al catodo, aumenta la velocità di deposizione. Il processo è tale da garantire l'eccellente uniformità della pellicola di rivestimento e, grazie, alla molteplicità degli strati che si possono depositare, una vasta gamma cromatica ed una elevata variabilità dei parametri luminosi ed energetici.

ca in campo elettromagnetico sotto vuoto spinto Magnetron Sputtering Vacuum Deposition (MSVD), noto semplicemente come *sputtering* ⁽⁵⁾. Il principale problema dei vetri basso emissivi è l'irraggiamento solare, che se di inverno apporta energia termica gratuitamente ed è quindi positivo, d'estate, a determinate latitudini e per grandi superfici vetrate, può essere un problema per il raffrescamento dell'edificio. Una soluzione per questo inconveniente possono essere i vetri a controllo solare che hanno un fattore solare (ossia la percentuale di energia che attraversa il vetro in rapporto all'energia solare incidente) basso, ma che comportano un aumento dei costi di riscaldamento in inverno. Un'altra soluzione sono i vetri selettivi che prendono il meglio degli altri due cioè nei periodi invernali trattengono il calore e nei periodi estivi lo riflettono. Infine si possono usare vetri basso emissivi con applicato un sistema di ombreggiature, tipo veneziana orientabile.

I vetri riflettenti sono stati studiati per ridurre l'apporto energetico e luminoso della radiazione solare esterna, incidente sulla superficie del vetro. Questo comportamento è dato dalla proprietà della pellicola di rivestimento di riflettere verso l'esterno la radiazione solare e di assorbirla, trasmettendola solo in parte. I vetri riflettenti trovano il loro naturale impiego in quelle situazioni in cui è prioritario il controllo della radiazione solare, dando un valido contributo alla spese d'esercizio degli impianti di condizionamento.

I cristalli riflettenti forniscono buoni valori del fattore solare, comportandosi da specchi e respingendo una parte considerevole dell'irraggiamento solare e sono tanto più efficaci contro l'irraggiamento solare quanto più intensa è la loro colorazione; ciò va però a scapito della luminosità degli ambienti. Occorre dunque mediare con buon senso tra le opposte necessità di arrestare il calore e salvaguardare la caratteristica più importante del vetro, che è la sua attitudine a lasciare penetrare la luce all'interno.

⁽⁵⁾ In questo processo si sfrutta l'elevata temperatura del vetro all'uscita dal forno di colata, o del forno di tempra, per fissare sullo stesso uno strato di ossidi di metallo. Di conseguenza, la produzione avviene in linea con il forno di produzione del vetro, oppure fuori linea lungo il forno di tempra.

I vetri selettivi o basso-emissivi-riflettenti, includono nella stessa pellicola le caratteristiche dei due vetri sopra descritti. A differenza dei vetri riflettenti permettono un maggiore passaggio del flusso luminoso a fronte di un sempre limitato apporto energetico della radiazione solare. Rispetto ai vetri basso-emissivi, essi hanno un'emissività uguale se non più bassa e, di conseguenza, presentano ottimi valori d'isolamento termico. Un comportamento analogo ai vetri selettivi si può ottenere assemblando in una vetrata isolante un vetro riflettente con un vetro basso-emissivo: in questo caso, però, il flusso luminoso viene ridotto, come nei vetri riflettenti.



Figg. 8.6 – Enric Miralles & Benedetta Tagliabue: Torre Gas Natural a Barcellona. La complessa facciata è in vetro stratificato della Du Pont-SentryGlas Plus, ad alta resistenza e rigidità per garantire una migliore sicurezza. Ogni pannello è composto da vetro interno temprato da 8 millimetri, più uno da 1,52 millimetri e da un vetro esterno temprato da 8 millimetri



Figg. 8.7 – Hascher & Jehle Architekten: KunstMuseum a Stoccarda. Le lastre, di 4,10x2,50 metri sono formate da vetro camera multistrato di spessore complessivo di 44 millimetri con vetro di sicurezza stratificato di 10 e 8 millimetri, intercapedine riempita con argon di 16 millimetri e vetro di sicurezza temprato di 10 millimetri

Attraverso la nanotecnologia, sarà possibile avere pellicole di rivestimento di qualità ancora maggiore. Oltre ad aggiungere degli additivi nella composizione del vetro per migliorarne le caratteristiche di resistenza, si potranno anche effettuare delle manipolazioni della sua struttura a livello molecolare; attraverso questa tecnologia è possibile migliorare così le proprietà meno positive del materiale. Per esempio il vetro potrebbe essere manipolato fino a diventare un materiale da costruzione paragonabile, per affidabilità, ai metalli, in modo da poterlo poi trattare e caricare come un materiale strutturale resistente, non più soggetto a facile rottura.

Inoltre, l'apporto della nanotecnologia sarà determinante per ridurre la perdita e il guadagno di calore attraverso i vetri cromogenici, ottenuti con rivestimenti di film sottili. I vetri cromogenici sono quelli in grado di assumere un comportamento che dipende dalla luce, dalla temperatura o da una differenza di potenziale elettrico applicata, e sono rappresentati dai vetri fotocromici, termocromici ed elettrocromici.

I vetri termocromici sono in grado di variare il proprio assorbimento luminoso in funzione della loro temperatura superficiale esterna, diventando opachi al di sopra di una certa temperatura critica, per poi tornare trasparenti quando la temperatura si abbassa.

I vetri fotocromici variano le proprie caratteristiche in funzione della loro esposizione ai raggi ultravioletti; maggiore è tale radiazione e più diventano scuri, al buio tornano chiari e trasparenti. Fino ad oggi sono stati impiegati principalmente come lenti per gli occhiali da sole. Questa proprietà è ottenuta incorporando nella pasta di vetro, in fase di produzione, dei materiali sensibili ai raggi ultravioletti, che possono essere organici o inorganici. Di questi ultimi, i più impiegati sono gli alogenuri metallici e in particolare quelli d'argento, con i quali vengono fabbricate anche le pellicole fotografiche.

I vetri elettrocromici si modificano in funzione di un segnale elettrico. Essi sono costituiti da più strati: un elettrolita inglobato tra due elettrodi a loro volta incorporati tra due conduttori trasparenti. Il tutto inserito tra due lastre di vetro. Quando viene applicata una tensione elettrica avviene una reazione elettrochimica e il vetro si colora. Per far tornare trasparente il vetro è necessario un nuovo impulso elettrico di segnale opposto ⁽⁶⁾. Vi sono, inoltre i vetri a cristalli liquidi costituiti, fondamentalmente, da una pellicola, posta tra due lastre di vetro, che contiene una serie di cavità sferiche con cristalli liquidi. Questi, in assenza di corrente, si orientano in maniera casuale, e la vetrata appare traslucida; creando, invece, un campo elettrico fra le due facce esterne della pellicola, i cristalli si allineano e la vetrata risulta trasparente.

⁽⁶⁾ La SageGlass produce un vetro elettrocromico che passa da chiaro a scuro spingendo un pulsante, consentendo agli architetti di progettare liberamente senza gli inconvenienti tipicamente associati all'uso delle vetrate.

La nanotecnologia è stata determinante per la creazione dei vetri autopulenti, realizzati grazie a rivestimenti con nanoparticelle di biossido di titanio (TiO_2). L'industria leader mondiale nella produzione di vetri autopulenti è la Pilkington, con il vetro Pilkington Activ™.

Si tratta di un normale vetro con un rivestimento speciale sul lato esterno che assicura una duplice azione, se esposto alla luce solare: grazie a un processo fotocatalitico il rivestimento reagisce ai raggi ultravioletti della luce solare naturale decomponendo e sciogliendo lo sporco organico; la seconda fase del processo ha luogo quando pioggia o acqua colpiscono il vetro. Poiché Pilkington Activ™ è idrofilo, l'acqua, invece di formare goccioline, si spande uniformemente sulla superficie del vetro e scivola via portando con sé le particelle di sporco. A differenza di quanto avviene con i vetri tradizionali, l'acqua si asciuga molto velocemente e non lascia macchie. Da una certa angolazione mostra un maggiore effetto 'riflettente' rispetto ai vetri comuni, con una leggera sfumatura azzurra. Altrimenti il vetro non è diverso dagli altri. Il rivestimento è molto aderente al vetro e si può danneggiare solo se si rovina anche la superficie del vetro stesso, ad esempio mediante oggetti appuntiti, detergenti abrasivi o pagliette d'acciaio. Le prove hanno dimostrato che il rivestimento ha una durata pari a quella del vetro.

Il rivestimento contiene sostanze chimiche innocue già presenti nelle abitazioni, ad esempio nel dentifricio e nelle vernici. Inoltre, richiedendo piccole quantità di detergenti, Pilkington Activ™ è il più ecologico dei vetri (7). Oltre a Pilkington Activ™

(7) Dopo l'installazione del vetro, il rivestimento impiega circa cinque giorni per attivarsi. Per ottenere i migliori risultati dopo l'installazione e la prima pulizia, eseguite dall'installatore, evitare di lavare le finestre prima che il rivestimento si sia completamente attivato.

Il rivestimento decompone anche depositi notevoli. Tuttavia, se la superficie è talmente sporca da impedire ai raggi UV di raggiungere il vetro, l'azione autopulente non potrà avere luogo. In tal caso, pulire il vetro con acqua saponata tiepida e con un panno morbido e dopo alcuni giorni il processo si riattiverà.

Normalmente è sufficiente la pioggia o un getto d'acqua sul vetro per mantenere le finestre pulite. Quando non piove, la finestra si può sempre lavare con un panno morbido e acqua saponata tiepida. Il rivestimento richiede solo una piccola quantità di raggi UV per attivarsi, per cui funziona anche nelle giornate nuvolose e l'effetto detergente dell'acqua si protrae durante la notte.

esiste anche il Pilkington Activ Suncool HP, che unisce l'azione autopulente a quella selettiva. Il vetro autopulente prodotto dalla Pilkington, trova impiego in molti edifici, tra cui si segnalano l'*East Hotel* di Amburgo (scheda 8/1), il *Britomart Transport Centre* di Auckland (scheda 8/2), la *Glass Tree House* in Australia (scheda 8/3), il *Museum of the Earth* a Ithaca, New York (scheda 8/4).

Anche la ditta australiana Nanovations produce rivestimenti per il vetro. Il prodotto Nanovations GN 1010 consiste in un rivestimento di pochi nanometri di spessore che dà al vetro un effetto estremamente idrofobo. Questo trattamento è stato applicato nel *Pinnacle Apartment* a nord di Sydney (Fig. 8.8), dove i vetri delle finestre, a causa dell'inquinamento, avevano perso gran parte della trasparenza. Dopo avere rimosso con fatica lo sporco, si è protetto il vetro con Nanovations GN 1010, che ha assicurato, con la sua funzione idrofobica, una minore deposizione dello sporco. Il prodotto è stato anche applicato nella *Macquarie Bank Building* di Sydney (scheda 8/5).

La protezione del vetro dal fuoco è un'altra applicazione della nanotecnologia. Questo è ottenuto tramite l'inserimento, tra i pannelli di vetro, di uno strato formato da nanoparticelle di Silice (SiO_2) che si trasforma in una rigida e opaca difesa contro il fuoco. La ditta Sant Gobain produce SGG Contrafflam, che è stato applicato nel *Deutsche Post Tower* di Bonn (scheda 8/6).



Fig. 8.8 – Il *Pinnacle Apartment* di Sydney, dove è stato applicato il rivestimento idrofobo Nanovations GN 1010.

<i>Destinazione d'uso</i>	Albergo e ristorante
<i>Luogo</i>	Amburgo, Germania
<i>Anno</i>	2005
<i>Progettista</i>	Jordan Mozer & Associates

<i>Prodotto applicato</i>	Pilkington Activ, vetro autopulente
<i>Ditta produttrice</i>	Pilkington

La scelta di utilizzare vetri autopulenti è stata dettata principalmente dalla destinazione d'uso dell'edificio. La manutenzione per la pulizia dei vetri è fondamentale in un albergo, e l'uso dei vetri autopulenti riduce notevolmente tale operazione, con una riduzione dei costi e un vantaggio dal punto di vista estetico.



<i>Destinazione d'uso</i>	Stazione ferroviaria
<i>Luogo</i>	Auckland, Nuova Zelanda
<i>Anno</i>	2001-2003
<i>Progettista</i>	Mario Madayag

<i>Prodotto applicato</i>	Pilkington Activ, vetro autopulente
<i>Ditta produttrice</i>	Pilkington

La ristrutturazione di questa stazione ferroviaria consiste nell'aggiunta di un grande edificio vetrato, che utilizza vetri autopulenti per motivi estetici e di manutenzione.



<i>Destinazione d'uso</i>	Abitazione
<i>Luogo</i>	MacMasters Beach, Australia
<i>Anno</i>	2005
<i>Progettista</i>	Malcolm Carver

<i>Prodotto applicato</i>	Pilkington Activ, vetro autopulente
<i>Ditta produttrice</i>	Pilkington

L'architetto australiano Malcolm Carver ha realizzato per se stesso una casa costruita interamente in vetro in modo tale da avere una veduta straordinaria dell'oceano. Al fine di mantenere tale veduta, ha utilizzato il vetro autopulente Pilkington Activ™, per ridurre al minimo il lavoro di pulizia e mantenere la struttura in ottime condizioni. Situata a MacMasters Beach sulla North Central Coast del New South Wales, la casa è arroccata su palafitte tra alberi di eucalipto, alcuni metri sopra il livello del suolo. La performance del vetro è stata definita dallo stesso Carver fenomenale, in quanto non è stato necessario pulire, anche con la salsedine che viene dal mare e i detriti e la linfa che cadono dagli eucalipti che circondano l'abitazione.



Destinazione d'uso Nuovo Museo del Paleontological Research Institution

Luogo Ithaca – New York, USA

Anno 2003

Progettista Marion Weiss, Michael Manfredi

Prodotto applicato Activ, vetro autopulente

Ditta produttrice Pilkington

Il Nuovo Museo del *Paleontological Research Institution* è situato in una collina adiacente alla struttura di ricerca esistente, ed è organizzato in due edifici paralleli e interconnessi: uno destinato a lezioni pubbliche, l'altro a una nuova sala espositiva. Insieme, queste due strutture definiscono i bordi di una nuova piazza, da cui si può godere la vista del Cayuga Lake.



MACQUARIE BANK BUILDING

8/5

<i>Destinazione d'uso</i>	Uffici
<i>Luogo</i>	Sydney, Australia
<i>Anno</i>	2005
<i>Progettista</i>	Fitzpatrick+Partners

Prodotto applicato Nanovations NG 1010

Ditta produttrice Pilkington

L'edificio della *Macquarie Bank* si trova all'interno di una delle zone vicine al porto di Sydney. L'edificio è caratterizzato dalla presenza, sulla facciata, di una griglia diagonale immediatamente identificabile, indipendentemente dal punto da cui si guarda. Essa crea un telaio strutturale esterno che racchiude i due volumi vetrate di cui è composto l'edificio.



8/5 MACQUARIE BANK BUILDING



DEUTSCHE POST TOWER

8/6

Destinazione d'uso Edificio delle Poste

Luogo Bonn, Germania

Anno 1998-2003

Progettista Murphy/Jahn

Prodotto applicato SGG Contraflam

Ditta produttrice Saint Gobain

L'interessante progetto dell'*Edificio delle Poste* a Bonn presenta una grande superficie vetrata, per la realizzazione della quale sono stati scelti particolari vetri resistenti al fuoco che aumentano la sicurezza dell'edificio.



Destinazione d'uso Istituto di Studi Diplomatici e Dipartimento Affari Consolari

Luogo Riyadh, Arabia Saudita

Anno 2010-2013

Progettista Henning Larsen Architects

Prodotto applicato Nano-glass

Il nuovo *Institute of Diplomatic Studies*, ancora in via di realizzazione, sarà composto da un grande auditorium, una biblioteca, una grande sala per i richiedenti il visto, una serie di locali per gli uffici, una caffetteria e sale per la preghiera. L'elaborata facciata darà l'impressione di guardare attraverso un velo, facendo intravedere le attività che si svolgeranno all'interno dell'edificio e l'oasi creata con la presenza della vegetazione. La facciata è stata progettata per adattarsi perfettamente alle condizioni climatiche di Riyadh. Il sistema di triangoli che sporgono dal piano verticale creeranno ombra e la disposizione angolare verso nord darà una luce ottimale, senza il calore diretto del sole. Il sistema di facciata sarà rivestito con pietra naturale per adattarsi agli edifici circostanti.



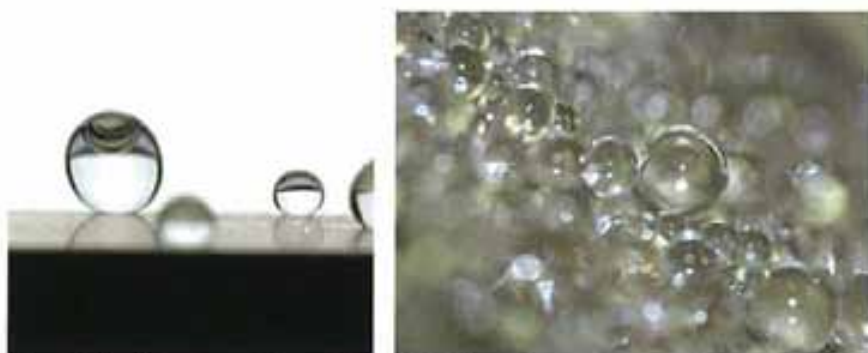


Capitolo IX

I nanorivestimenti

I nanorivestimenti costituiscono sicuramente la categoria di prodotti nanostrutturati per l'edilizia più diffusa, in quanto si applicano ai materiali già esistenti per migliorarne le prestazioni o per introdurre caratteristiche che comunemente non possiedono. Si pensi, ad esempio, alle superfici in legno, metallo, vetro o cemento rese idrofobe dall'applicazione di nanorivestimenti. Molti di questi rivestimenti contengono nanoparticelle di biossido di titanio per rendere le superfici non solo autopulenti, ma anche disinfettanti, in grado di rimuovere gli inquinanti dall'ambiente circostante. Spesso si tratta di nanorivestimenti ultrasottili e invisibili che hanno, generalmente, uno spessore tra i 5 e i 10 nanometri e le cui applicazioni sono particolarmente interessanti per i progettisti. La fabbricazione di tali rivestimenti ultrasottili si avvale del cosiddetto approccio bottom-up, ovvero sviluppa la dimensione più piccola partendo da quella più grande.

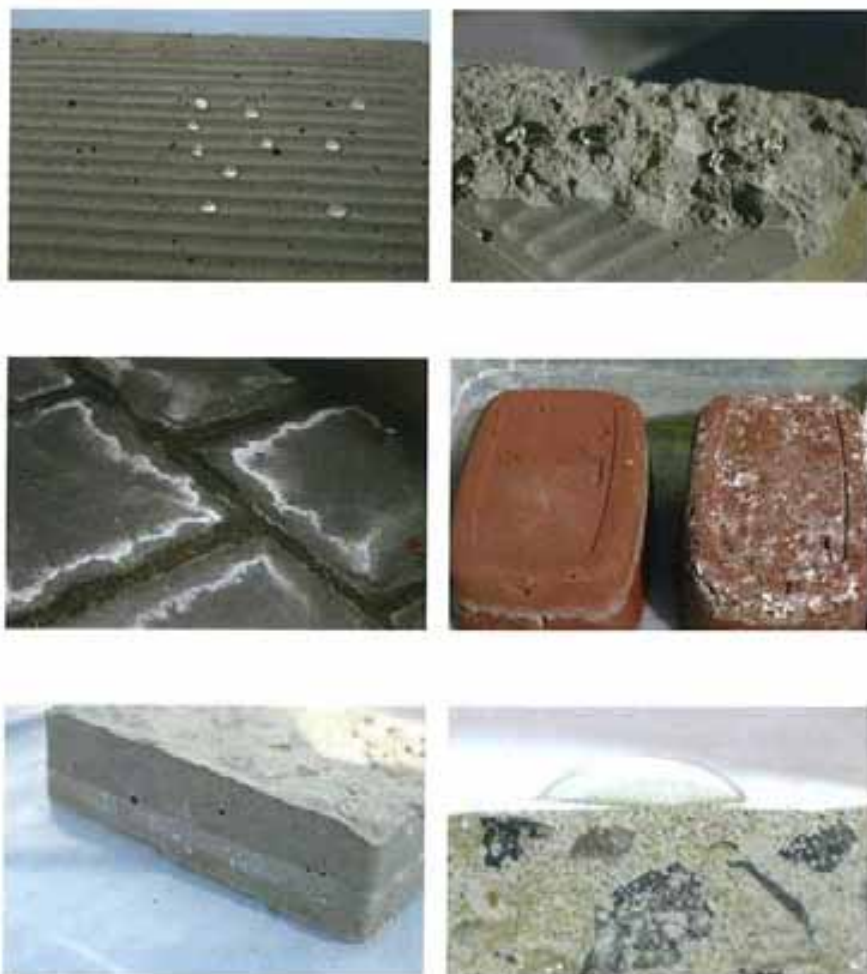
Esiste una grande varietà di nanorivestimenti: autopulenti, antigraffio, antibatterici, idrorepellenti, anticorrosione, solo per citarne alcuni. In molti casi è la natura che offre lo spunto per creare nuovi materiali, come nel caso dell'effetto loto, della fotocatalisi o dei rivestimenti anti-riflesso, creati osservando questa caratteristica negli occhi delle falene (scheda 9/1).



Figg. 9.1 – Rivestimenti superidrofobici che riducono la corrosione.



Figg. 9.2 – Legno trattato con rivestimenti idrofobici



Figg. 9.3 – Elementi in calcestruzzo e pietra protetti con Nanovations 3001, che evita le efflorescenze e l'assorbimento d'acqua

<i>Destinazione d'uso</i>	Spazio espositivo
<i>Luogo</i>	New York, USA
<i>Anno</i>	2005-2007
<i>Progettista</i>	Kazuyo Sejima e Ryue Nishizawa/SANAA

Prodotto applicato Anti-Reflection nanostructures

L'edificio si presenta costituito da sette piccoli volumi sovrapposti in maniera apparentemente disordinata; la non perfetta sovrapposizione dei volumi è l'espediente trovato per permettere di portare la luce naturale all'interno dei volumi interni quasi completamente opachi. La struttura portante è una gabbia in acciaio con tamponature verticali realizzate con un sistema sandwich leggero, assemblato a secco, che funziona anche da supporto per la lamiera in alluminio espanso anodizzato che, grazie alla sua morfologia, riflette la luce naturale creando effetti cromatici diversi che variano al variare delle ore del giorno e delle condizioni metereologiche, passando dal bianco al grigio fino alle sfumature rosate del tramonto. La foratura della lamiera permette attraverso una sapiente illuminazione radente notturna di accendere quasi l'intero volume dopo il tramonto, illuminando buona parte della zona circostante.



9.1. L'effetto loto

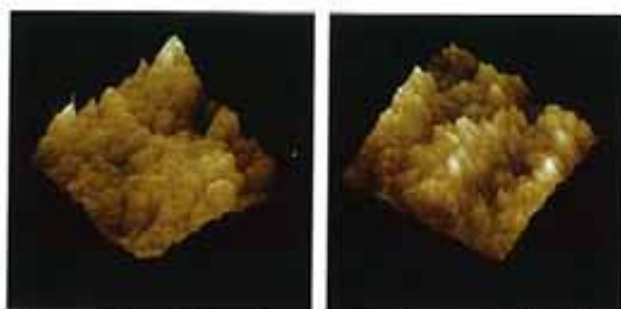
Attraverso lo studio della composizione molecolare della foglia di loto, gli scienziati sono riusciti a creare una nuova generazione di materiali idrorepellenti. Il cosiddetto "effetto loto", è la capacità, osservata appunto nelle foglie di loto, di un materiale di mantenersi pulito autonomamente. Sulle foglie del loto l'acqua non viene trattenuta (infatti queste foglie sono sempre asciutte), ma scivola via in tante goccioline che si formano per via dell'alta tensione superficiale presente sulla foglia, portando con sé la fanghiglia e i piccoli insetti che in essa si trovano (Figg. 9.4). Questo è possibile perché queste foglie di loto sono rivestite da cristalli di una cera idrofobica di dimensioni nanometriche. In questa scala, le superfici ruvide risultano più idrofobiche di quelle lisce, perché l'area di contatto reale tra la goccia d'acqua e la superficie d'appoggio è circa il 3% di quella apparente, per cui il peso della goccia la fa scivolare via. La ruvidità della foglia è utilissima anche per l'effetto autopulente, perché le gocce rotolano, mentre su una superficie liscia le gocce slitterebbero, rendendo meno efficace l'asporto dello sporco.

Il primo a studiare l'applicazione dell'effetto loto su superfici artificiali è stato il botanico Wilhelm Barthlott, presso l'Università di Heidelberg. Tale applicazione, con l'ausilio della nanotecnologia, offre la possibilità di creare, quindi, superfici autopulenti. L'effetto loto, comunque, non si può applicare a qualunque superficie, ma a quelle che sono esposte ad una certa quantità d'acqua; inoltre, la struttura di tali superfici non è idonea a sopportare un'usura meccanica e sono quindi attualmente non adatte per i pavimenti, così come essa non sopporta la pulizia con detergenti abrasivi. Le facciate degli edifici rappresentano sicuramente l'applicazione più adatta per i prodotti che promettono l'effetto loto, che, in condizioni ottimali, mantengono le loro caratteristiche invariate dopo cinque anni dall'applicazione.

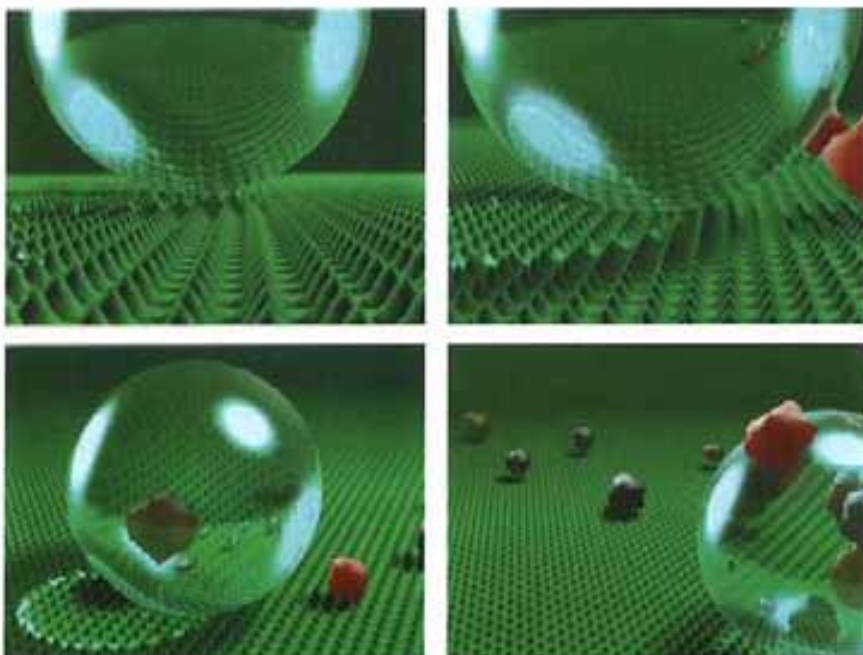


Figg. 9.4 – Le gocce d'acqua sulla foglia di loto

I prodotti in commercio che assicurano l'effetto loto non sono molti. Una delle aziende più note è la statunitense *STO* che produce *StoLotusan* e che può utilizzare ufficialmente la dicitura *Lotus-Effect*. Produce pitture e intonaci per esterni ai silossani con *Lotus-Effect*, la cui superficie è caratterizzata da microstrutture paragonabili a quelle della foglia di loto, con una superficie di contatto per le impurità e per l'acqua estremamente ridotta, assicurando così che le impurità scivolino sulla superficie insieme alle gocce di pioggia. Le superfici trattate con prodotti convenzionali sono meno idrofobe e non hanno la speciale microstruttura simile alla foglia di loto, risultando più bagnabili e consentendo alle impurità di insediarsi sulla facciata. Alcuni esempi di edifici dove sono stati applicati i prodotti della *STO* sono il *Museo dell'Ara Pacis* a Roma, il *Lumenart Building* a Pola, la *Strucksberg House* ad Amburgo (schede 9/2, 9/3, 9/4).



Figg. 9.5 – L'immagine della microstruttura di una foglia di loto ingrandita 7.000 volte registrata dal microscopio elettronico evidenzia la finissima struttura superficiale che riduce in modo ottimale la zona di contatto per l'acqua e la sporcizia. Grazie all'idrofobizzazione aggiuntiva della superficie l'acqua piovana scivola via subito, trascinando con sé le particelle di sporco depositate sulla foglia (a sinistra). La microstruttura di *StoLotusan* ingrandita 7.000 volte è virtualmente identica alla foglia della pianta di loto (a destra)



Figg. 9.6 – Schema del principio su cui si basa l'effetto loto: l'area di contatto reale tra la goccia d'acqua e la superficie d'appoggio è circa il 3% di quella apparente, per cui il peso della goccia la fa scivolare via (da S. Leydecker, 2008)



Figg. 9.7 – Le gocce di pioggia rotolano sulla superficie portandosi via anche le impurità non ben aderenti alla facciata

<i>Destinazione d'uso</i>	Museo
<i>Luogo</i>	Roma, Italia
<i>Anno</i>	2006
<i>Progettista</i>	Richard Meier & Associates

<i>Prodotto applicato</i>	Sto-Verotec, pittura autopulente
<i>Ditta produttrice</i>	Sto

L'edificio contiene l'importante monumento dell'*Ara Pacis*, ed è stato concepito per essere permeabile e trasparente nei confronti dell'ambiente urbano, senza compromettere la salvaguardia del monumento. La scelta dei materiali è finalizzata all'integrazione con l'ambiente circostante: il travertino, come elemento di continuità coloristica, l'intonaco e il vetro, in grado di offrire una compenetrazione tra interno ed esterno.

L'intonaco bianco Sto-Verotec viene impiegato su pannelli di vetro riciclato di dimensioni finora mai usate in Italia. Si caratterizza per l'estrema levigatezza, ottenuta attraverso sette strati di applicazione su rete vitrea e per la sua reazione autopulente agli agenti atmosferici.



<i>Destinazione d'uso</i>	Uffici, showroom
<i>Luogo</i>	Pola, Croazia
<i>Anno</i>	2006
<i>Progettista</i>	Rusan Architectura, Andrija Rusan
<i>Prodotto applicato</i>	Lotusan, pittura autopulente
<i>Ditta produttrice</i>	Sto

Il compito principale dell'architetto è stato quello di creare un edificio che avrebbe rappresentato l'attività del cliente, in termini di sviluppo e innovazione. L'edificio a tre piani è un cubo di cemento, con la facciata realizzata in pannelli di vetro riciclato per la costruzione in acciaio e l'applicazione di Lotusan preserva il colore bianco che domina negli interni e negli esterni come sfondo per la progettazione della luce. Inoltre, l'aspetto elementare e il suo candore si collega anche con la regione del Mediterraneo, a cui appartiene. La grande profondità della terza dimensione della facciata crea ombre che enfatizzano la plasticità del volume, contribuendo anche a una buona protezione dalla insolazione diretta.



STRUCKSBARG HOUSE

9/4

<i>Destinazione d'uso</i>	Abitazione
<i>Luogo</i>	Amburgo, Germania
<i>Anno</i>	2007
<i>Progettista</i>	Renner Hainke Wirth - RHW Architekten

Prodotto applicato Lotusan, pittura autopulente

Ditta produttrice Sto

L'edificio è composto da una serie di blocchi, di cui uno soltanto con un'altezza elevata, mentre gli altri sono bassi e terrazzati, in cui si sottolineano i balconi e le finestre attraverso delle colorazioni accese. La scelta di applicare una pittura autopulente in questo edificio, si rivela efficace anche perché la città in cui sorge, cioè Amburgo, è caratterizzata da copiose piogge.



9.2. La fotocatalisi

La fotocatalisi è un fenomeno naturale, con molte affinità con la sintesi clorofilliana, per cui una sostanza, chiamata fotocatalizzatore, attraverso l'azione della luce naturale o artificiale, attiva un forte processo ossidativo che porta alla trasformazione di sostanze organiche e inorganiche nocive in composti assolutamente innocui. La fotocatalisi è quindi un acceleratore dei processi di ossidazione già esistenti in natura, che favorisce una più rapida decomposizione degli inquinanti, evitandone l'accumulo. Le superfici disinquinanti e autopulenti sono diventate una realtà grazie ai rivestimenti fotocatalitici contenenti nanoparticelle di biossido di titanio (TiO_2). Il biossido di titanio, noto comunemente come bianco di titanio, è una polvere cristallina incolore, tendente al bianco; esso funge da catalizzatore, cioè da attivatore della reazione fotocatalitica. La sua funzione è quella di trasformare l'ossigeno dell'aria in specie chimiche molto ossidanti, che portano alla decomposizione delle sostanze organiche e inorganiche inquinanti.

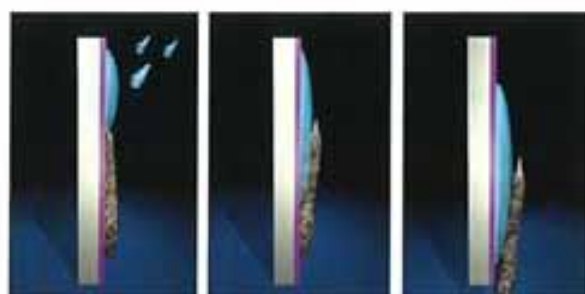
La proprietà fotocatalitica del biossido di titanio è stata scoperta nel 1967 da Akira Fujishima, ricercatore presso l'Università di Tokyo prendendo il nome di *Honda-Fujishima effect*. La prima abitazione in cui venne applicata la sostanza autopulente è stata la casa dello stesso Fujishima (Fig. 9.8).

L'effetto principale di tali rivestimenti è la notevole riduzione del grado di aderenza della sporcizia alle superfici. È importante notare che il termine autopulizia in questo contesto è fuorviante e non significa, come comunemente si pensa, che una superficie non debba essere più pulita, ma che l'intervallo tra i cicli di pulizia venga esteso in maniera significativa: un dato particolarmente rilevante nella gestione degli edifici.

Questo comporta un minore uso di detergenti, con un conseguente minore inquinamento ambientale, una minore usura dei materiali e un risparmio dei costi del personale. In linea generale, quindi, le superfici fotocatalitiche autopulenti hanno bisogno di una minore manutenzione.



Fig. 9.8 – Casa Fujishima

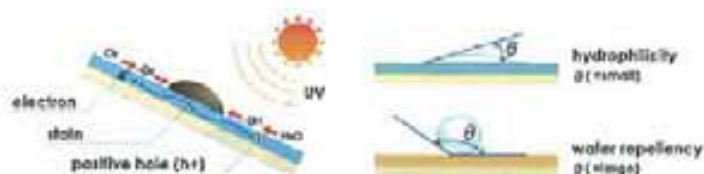


Figg. 9.9 – La rimozione dello sporco sulle superfici autopulenti per effetto della pioggia

Un ulteriore vantaggio è che si ha una migliore trasmissione della luce attraverso i vetri, in quanto la luce del giorno non è oscurata dallo sporco; di conseguenza, possono essere ridotti i costi energetici per l'illuminazione. I cementi fotocatalitici hanno anche un effetto purificante per l'aria; questo effetto ha dato a questi cementi l'appellativo di mangiasmog, riscuotendo una grande attenzione pubblica. Infatti, applicati alle pavimentazioni, alle superfici stradali, alle facciate potrebbero dare un grande contributo per la lotta all'inquinamento atmosferico.

Rispetto al rivestimento descritto nel paragrafo precedente come effetto loto, questo rivestimento è trasparente e può essere

applicato anche al vetro. I rivestimenti fotocatalitici possono essere applicati al vetro, ai cementi, alla ceramica, alle membrane. Generalmente il rivestimento è applicato con la deposizione chimica di vapore (Chemical Vapor Deposition o CVD), una tecnica che consiste nel depositare su supporto solido un film sottile di un composto (precursore molecolare), inizialmente introdotto in forma gassosa e lasciato poi decomporre allo stato solido sulla superficie del supporto stesso. I principali vantaggi che presenta l'utilizzo del processo del CVD sono l'alta velocità di deposizione, l'omogeneità e la purezza dello strato distribuito sul supporto.



Figg. 9.10 – Processo fotocatalitico di decomposizione della macchia (a sinistra): questa reazione stimola lo sviluppo di specie di ossigeno attivo, con conseguente decomposizione della macchia (materia organica) attraverso l'ossidazione. Processo fotocatalitico idrofilo (a destra)



Figg. 9.11 – Saitama (Giappone): esperimento realizzato dal maggio 1997 al maggio 1999. Il rivestimento con nanoparticelle di biossido di titanio ha mantenuto la superficie bianca (a sinistra) rispetto alla superficie dove non è stato applicato (a destra)

Sono ormai molteplici le aziende che producono rivestimenti autopulenti, utilizzati in svariati edifici, tra cui alcuni di gran-

de pregio ⁽¹⁾. Una delle più note è sicuramente l'Italcementi, che produce cementi fotocatalitici contenenti il principio attivo TX Activ, con cui possono essere realizzate pavimentazioni, intonaci e ogni tipo di struttura e rivestimento orizzontale e verticale. Le prove di laboratorio hanno mostrato come una radiazione di soli tre minuti sia sufficiente per ottenere una riduzione degli agenti inquinanti fino al 75%. Il primo edificio in cui è stato applicato il cemento fotocatalitico TX Active è la *Chiesa Dives in Misericordia* a Roma, progettata dall'architetto Richard Meier in occasione del Giubileo del 2000 (scheda 9/5). Altri numerosi e importanti edifici hanno adottato i cementi fotocatalitici della Italcementi: *L'Hotel de Police* a Bordeaux (Figg. 9.13), la *Chiesa Matrice* di Cittanova (Figg. 9.14), *l'edificio Commodore* ad Ostenda (Fig. 9.15), la *sede Ciments du Maroc* a Casablanca (Fig. 9.16), *l'edificio della Air France* a Roissy (scheda 9/6), *il ponte a Minneapolis* (scheda 9/7), *la Cité de la Musique et des Beaux-Arts* a Chambéry (scheda 9/8).

Importanti aziende mondiali in questo settore sono la Agrob Buchtal, che produce Hydrotect, rivestimento idrofobico, fotocatalitico applicato tra l'altro nell'*Ali Center*, il centro culturale dedicato a Muhammad Ali (scheda 9/9); la Toto, applicato nella *House Senry* (scheda 9/10), la SYK Corporation che produce Sagan Coat applicato nella *G-Flat* (scheda 9/11) e la Diamon-Fu-

(¹) Ai-Nano è un rivestimento non tossico, ecologico, fotocatalitico, che crea un rivestimento semipermanente invisibile sulla superficie per fornire funzioni antibatteriche, antimuffa, protezione UV, purificazione dell'aria, autopulizia. L'industria di fibra di cemento Nichiha impiega la nanotecnologia in tre linee di pannelli prefabbricati per il rivestimento esterno: Canyon Brick, Field Stone e Quarry Stone. Lavorando in collaborazione con i produttori di vernici, Nichiha ha creato una finitura auto-pulente sulla fibra dei pannelli di cemento, che permetterà ad una semplice pioggia di lavare via le macchie lasciando l'esterno come nuovo. I nanorivestimenti per autopulizia possono anche essere applicati come vernice, e in commercio è disponibile una varietà di pitture che utilizzano le proprietà del TiO₂. Herbol di Akzo Nobel, sulla base del nanoleganti della BASF, presenta meno sporco e un ottimo mantenimento del colore. Durante la produzione dei leganti COL.9, le nanoparticelle inorganiche sono incorporate in maniera omogenea nelle particelle del polimero organico in dispersioni a base di acqua. Questi poi formano una rete tridimensionale nella facciata di rivestimento che garantisce una superficie idrofila e un buon equilibrio tra la protezione dall'umidità e la trasmissione del vapore acqueo.

sion International (DFI), che produce nanorivestimenti idrorepellenti per il vetro e altre superfici, che presentano anche proprietà antigraffio, antibatteriche inibendo la crescita di muffa e batteri sulla superficie trattata, protezione dalle impronte, dai raggi UV e contro i depositi di calcio e di sodio, insieme ad una maggiore brillantezza, applicati nell'edificio a *Bond Street* a New York, nel *Palais de Congrès* a Montreal e nello *Shin-Marunouchi Center* di Tokyo (schede 9/12, 9/13, 9/14).



Figg. 9.12 – Pavimentazioni e barriere stradali realizzati con TX Active per combattere l'inquinamento



Figg. 9.13 – L'Hotel de Police a Bordeaux con il rivestimento fotocatalitico TX Active



Figg. 9.14 – La Chiesa Matrice di Cittanova (RC) con il rivestimento fotocatalitico TX Active



Fig. 9.15 – L'edificio The Commodore a Ostenda con il rivestimento fotocatalitico TX Active



Fig. 9.16 – La sede Ciments du Maroc a Casablanca con il rivestimento fotocatalitico TX Active

<i>Destinazione d'uso</i>	Luogo di culto
<i>Luogo</i>	Roma, Italia
<i>Anno</i>	1996-2003
<i>Progettista</i>	Richard Meier & Partners

<i>Prodotto applicato</i>	TX Active, rivestimento fotocatalitico
<i>Ditta produttrice</i>	Italcementi

L'edificio ricorda una nave con le vele gonfie dal vento. Le tre imponenti vele, di cui la più alta raggiunge i 26 metri, sono autoportanti, realizzate con grossi blocchi prefabbricati a doppia curvatura, formate da 256 conci prefabbricati assemblati ciascuno dei quali pesa 12 tonnellate. L'edificio si presenta di un colore bianco brillante, risultato dell'utilizzo del cemento fotocatalitico, in grado di mantenersi bianco anche dopo molti anni, resistendo allo smog e alle intemperie.



Destinazione d'uso Uffici

Luogo Roissy, Francia

Anno 2006

Progettista Valode & Pistre

Prodotto applicato TX Active, rivestimento fotocatalitico

Ditta produttrice Italcementi

L'edificio si trova all'interno dell'*Aeroporto Internazionale Roissy-Charles de Gaulle* e ospita gli uffici di Air France. La zona è caratterizzata da un'alta concentrazione di idrocarburi, come conseguenza dell'intenso traffico aereo: la scelta del cemento fotocatalitico TX Active garantisce una durata del colore della facciata nel tempo.



<i>Destinazione d'uso</i>	Ponte
<i>Luogo</i>	Minneapolis, USA
<i>Anno</i>	2008
<i>Progettista</i>	Oslund and Associates, Figg Engineering Group

<i>Prodotto applicato</i>	TX Active, rivestimento fotocatalitico
<i>Ditta produttrice</i>	Italcementi

Elementi prefabbricati realizzati con il cemento TX Active accolgono i viaggiatori all'ingresso del nuovo *ponte sul Mississippi* lungo l'Interstatale 35 Ovest, nel centro di Minneapolis. Due sculture di un bianco lucente, ognuna composta da tre colonne ondulate, si innalzano per nove metri su entrambi gli ingressi del ponte, in una interpretazione verticale del simbolo universale dell'acqua, richiamando il fiume sottostante e il fluire della vita. Il ponte è stato aperto al traffico nel settembre 2008, appena 13 mesi dopo che il ponte precedente crollò. Progettato e costruito in 11 mesi, mentre incorpora un design progressivo delle nuove tecnologie, il nuovo *I-35W Bridge* è un ponte per il futuro. Il nuovo ponte comprende molti materiali innovativi ed eco-compatibili, tra cui il primo impiego di LED a basso consumo energetico per l'illuminazione autostradale in America, il primo uso di un nuovo cemento mangiasmog negli elementi di un ponte e l'uso di una tecnologia intelligente che controlla il comportamento del ponte in tempo reale. Le forme elegantemente arcuate, i moli e le curve di colore bianco creano un elemento che si inserisce in armonia con il luogo circostante.



Destinazione d'uso Centro culturale

Luogo Chambéry, Francia

Anno 1999-2001

Prodotto applicato TX Active Millenium, rivestimento fotocatalitico

Ditta produttrice Italcementi

Situata in un'area residenziale, si compone di due edifici la cui struttura è formata da elementi prefabbricati con funzione portante che compongono l'intelaiatura della facciata a vista. Si tratta del centro culturale di riferimento della città di Chambéry.



MUHAMMAD ALI CENTER

9/9

<i>Destinazione d'uso</i>	Centro culturale
<i>Luogo</i>	Louisville, USA
<i>Anno</i>	2005
<i>Progettista</i>	Beyer Blinder Belle Architects & Planners

<i>Prodotto applicato</i>	Hydrotect, rivestimento fotocatalitico per ceramica
<i>Ditta produttrice</i>	Agrob Buchtal

Il Mac è un Centro culturale internazionale che presenta una facciata costituita da pannelli 30x60 centimetri di ceramica con un rivestimento fotocatalitico, che gli conferisce la parvenza di un mosaico.



Destinazione d'uso Abitazione

Luogo Osaka, Giappone

Anno 2005

Progettista Casa Akira Sakamoto Architect & Associates

Prodotto applicato Pittura fotocatalitica

Ditta produttrice Toto



<i>Destinazione d'uso</i>	Abitazione
<i>Luogo</i>	Tokyo, Giappone
<i>Anno</i>	2006
<i>Progettista</i>	Koh Kitayama

<i>Prodotto applicato</i>	Sagan Coat, rivestimento fotocatalitico
<i>Ditta produttrice</i>	SYK Corporation

I muri si trovano al centro di ciascun blocco residenziale, disposti in direzioni alternate rispetto agli edifici residenziali adiacenti. Essi sono strutturalmente unificati dai balconi di collegamento. I perimetri degli isolati residenziali sono completamente esenti da struttura, e ogni residenza ha una forma spaziale come una casa indipendente.



<i>Destinazione d'uso</i>	Abitazione
<i>Luogo</i>	New York, USA
<i>Anno</i>	2004-2007
<i>Progettista</i>	Herzog & de Meuron

<i>Prodotto applicato</i>	Rivestimento idrofobico
<i>Ditta produttrice</i>	Diamond Fusion International-DFI

L'edificio è costituito da ventotto appartamenti raggruppati in due tipologie principali: case con giardino accessibili direttamente dalla strada (*townhouses*) e appartamenti in blocco con affaccio principale sulla via. La facciata presenta un telaio strutturale tipico degli edifici in ghisa di New York declinata in una gabbia di vetro sagomato; i vetri curvi colorati in verde danno un effetto di leggerezza alla moderna geometria. Il trattamento del vetro con DFI rende la superficie idrorepellente e la protegge dai graffi. Inoltre, questo trattamento può essere applicato su altre superfici.

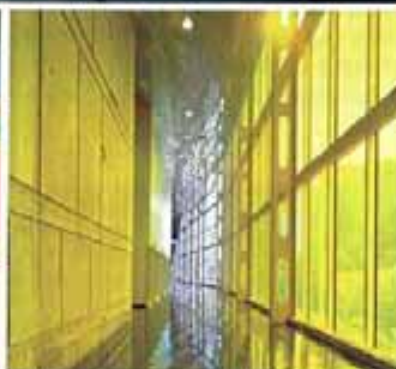


<i>Destinazione d'uso</i>	Centro Congressi
<i>Luogo</i>	Montréal, Canada
<i>Anno</i>	2002
<i>Progettista</i>	Tétreault, Parent, Languedoc and Associates, Saia and Barbarese Architects and the architects Dupuis, Dubuc and Associates (Ædifica)

<i>Prodotto applicato</i>	Rivestimento idrofobico
<i>Ditta produttrice</i>	Diamond Fusion International-DFI

La struttura del *Palais des Congrès* è stata ampliata nel 2002. L'esterno della facciata si presenta come l'insieme di tanti vetri colorati che gli sono valsi la definizione di "carnevalesco", ma la qualità degli interni, con i giochi di luce determinati proprio da questa cortina di colore, è sorprendentemente bella.





SHIN-MARUNOUCHI TOWER

9/14

Destinazione d'uso Workplace

Luogo Tokyo, Giappone

Anno 2007

Progettista Hopkins Architects

Prodotto applicato Rivestimento autopulente

L'edificio *Shin-Marunouchi* sorge su un sito molto importante in Giappone, sul viale che conduce al palazzo dell'imperatore, di fronte alla stazione di Tokyo Plaza, nota come Gateway to Japan. La struttura è divisa in tre sezioni: due torri su una base-podio e un collegamento sotterraneo alla Tokyo Station Plaza.



9.3. Le membrane fotocatalitiche

Un'interessante applicazione riguarda le membrane fotocatalitiche che possono rivestire le più svariate strutture rendendole autopulenti e consentendo loro di mantenere la bellezza e la trasmissione della luce per un lungo periodo. Le membrane fotocatalitiche, prodotte dalla giapponese Taiyo Kogyo, sono state utilizzate nel *Tianjin Haihe River Monument* in Cina (Fig. 9.18), nel *Sakurajima Floating Platform* in Giappone (Fig. 9.19), nel *Tokyo Big Sight* (scheda 9/15), nella *Busan Bando Model House* in Corea (scheda 9/16), nel *Dallas Cowboys Stadium* ad Arlington (scheda 9/17), nel *Dubai Sports City Cricket Stadium* (scheda 9/18), nel *Narita International Airport Terminal 1* in Giappone (scheda 9/19), nel *Centre Pompidou* a Metz (scheda 9/20).



Figg. 9.17 – Le membrane fotocatalitiche della Taiyo Kogyo possono essere di diversi tipi: la *Ever Fine Coat* (a sinistra), costituita da fibre di vetro rivestite in PTFE e da uno strato di TiO_2 , e le *Sky Clear Coat*, *Sky See-Through* e *Self-Max* costituite da un tessuto in poliestere rivestito da uno strato di TiO_2 .

9.4. Le superfici facili da pulire

Le superfici *easy-to-clean*, ETC, ovvero facili da pulire, sono superfici trattate con prodotti idrorepellenti spesso confusi con l'effetto loto o con la fotocatalisi. Rispetto alle superfici che presentano l'effetto loto, le ETC sono lisce, mentre, diversamente dai rivestimenti fotocatalitici, non hanno bisogno della luce per attivare la loro funzione idrorepellente.

Questa caratteristica fa sì che tali rivestimenti siano indicati anche per ambienti interni, dove vengono usati soprattutto per impianti sanitari e box docce. Ditte come la Kälín e la Kaldewei producono trattamenti idrofobi come il Samicolor NanoBois della Kälín, specifico per il legno (scheda 9/21), o i rivestimenti au-

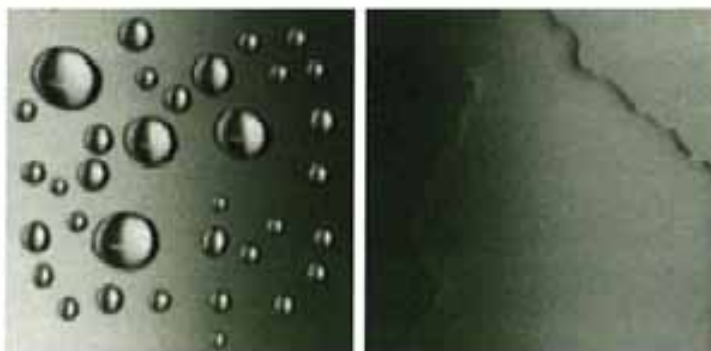
topulenti per i pannelli in acciaio prodotti dalla Kaldewei e usati, tra l'altro, nel *Kaldewei Kompetenz Center* (scheda 9/22).



Fig. 9.18 – Membrane fotocatalitiche nel Tianjin Haihe River Monument in Cina



Fig. 9.19 – Membrane fotocatalitiche nel Sakurajima Floating Platform in Giappone



Figg. 9.20 – Superfici facili da pulire prima (a sinistra) e dopo (a destra) l'esposizione ai raggi UV

<i>Destinazione d'uso</i>	Centro polifunzionale
<i>Luogo</i>	Tokyo, Giappone
<i>Anno</i>	2005
<i>Progettista</i>	AA & SUN

<i>Prodotto applicato</i>	Membrane fotocatalitiche
<i>Ditta produttrice</i>	Taiyo Kogyo Corporation



BUSAN BANDO MODEL HOUSE

9/16

Destinazione d'uso Abitazione

Luogo Corea

Anno 2006

Progettista Bando Cons.

Prodotto applicato Membrane fotocatalitiche

Ditta produttrice Taiyo Kogyo Corporation



<i>Destinazione d'uso</i>	Stadio
<i>Luogo</i>	Arlington, USA
<i>Anno</i>	2007-2009
<i>Progettista</i>	HKS Inc.

<i>Prodotto applicato</i>	Membrane fotocatalitiche
<i>Ditta produttrice</i>	Taiyo Kogyo Corporation



DALLAS COWBOYS STADIUM

9/17



Destinazione d'uso Stadio di cricket

Luogo Dubai, Emirati Arabi Uniti

Anno 2009

Progettista Dubai Sport City

Prodotto applicato Membrane fotocatalitiche

Ditta produttrice Taiyo Kogyo Corporation



NARITA INTERNATIONAL AIRPORT TERMINAL 1

9/19

<i>Destinazione d'uso</i>	Aeroporto
<i>Luogo</i>	Narita, Giappone
<i>Anno</i>	1995-2006
<i>Progettista</i>	Nikken Sekkei Ltd
<i>Prodotto applicato</i>	Membrane fotocatalitiche
<i>Ditta produttrice</i>	Taiyo Kogyo Corporation

Il *Narita International Airport Terminal 1* è stato realizzato nel 1978 come il primo terminal di passeggeri internazionali in Giappone. Dopo il completamento del Terminal 2, Nikken Sekkei è stato continuamente impegnato nella progettazione e supervisione del servizio di espansione e di lavori di ristrutturazione per migliorare la funzione e la capacità del Terminal 1, entrato in piena operatività nel 2006.



Destinazione d'uso Spazio espositivo

Luogo Metz, Francia

Anno Work in progress

Progettista Shigeru Ban

Prodotto applicato Membrane fotocatalitiche

Ditta produttrice Taiyo Kogyo Corporation

Il complesso culturale comprende 6.000 metri quadri di spazio espositivo, tutti contenuti sotto il tetto: tre spazi rettangolari, con parti a sbalzo in un ambiente con un clima controllato.



RESIDENZA A ERLENBACH

9/21

<i>Destinazione d'uso</i>	Residenza privata
<i>Luogo</i>	Erlenbach, Svizzera
<i>Anno</i>	2005
<i>Progettista</i>	Burkhalter Sumi Architekten

Prodotto applicato Rivestimento easy-to-clean

Ditta produttrice Kälín

L'edificio si presenta come un volume compatto, minimalista, con un involucro in listoni di legno. Per proteggere il legno dalle intemperie e per mostrare la sua graduale colorazione, è stato applicato il prodotto della Kälín, idrofobico e trasparente.



Destinazione d'uso Showroom e centro informazioni

Luogo Ahlen, Germania

Anno 2004-2005

Progettista Bolles + Wilson

Prodotto applicato Rivestimento easy-to-clean

Ditta produttrice Kaldewei



9.5. Rivestimenti resistenti ai graffi

La sensibilità dei metalli, del legno, delle materie plastiche, dei polimeri e del vetro ai graffi possono limitare le loro potenziali applicazioni in molti aree. I nanorivestimenti possono ridurre notevolmente l'usura e i graffi superficiali. I nanorivestimenti antigraffio sono già utilizzati nell'industria automobilistica; infatti nel 2007 la serie Mercedes-Benz SL, per esempio, mostrava un nanorivestimento protettivo che fornisce un notevole miglioramento della resistenza della verniciatura.

Presso l'Università dell'Illinois è stato messo a punto un sistema che permette alle superfici graffiate di autoripararsi. Si tratta di un sistema costituito da due tipi di microcapsule: una riempita con polimeri, l'altra con un catalizzatore. Le capsule sono realizzate in poliuretano, che ha la capacità di mantenere le sostanze intatte al suo interno, e può essere mescolato a una vasta gamma di rivestimenti. Quando le superfici vengono graffiate, le capsule si aprono e il loro contenuto fluisce nella fessura, riparandola.



Fig. 9.21 – Sistema antibatterico con microcapsule

9.6. Rivestimenti antibatterici

Molti nanorivestimenti sono multifunzionali e includono proprietà antibatteriche. Altri sono commercializzati in particolare per le loro proprietà antibatteriche. I prodotti antibatterici sono commercializzati in spray, liquidi, polveri concentrate e gas. I convenzionali prodotti antibatterici possono contenere sostanze dannose per l'ambiente e per l'uomo.

I nanorivestimenti antibatterici offrono i vantaggi degli antibatterici convenzionali senza creare preoccupazioni per l'ambiente e per la salute dell'uomo. La Bioni, ad esempio, produce nanorivestimenti che presentano proprietà antibatteriche insieme a una bassa conduttività termica capace di riflettere fino al 90% dei raggi del sole. In questo modo si riduce l'assorbimento di calore nelle pareti rivestite, con un conseguente risparmio nel consumo di energia.

I rivestimenti antibatterici trovano grande diffusione nei mezzi di trasporto pubblici. Le superfici che molte persone toccano ogni giorno in una metropolitana sono veicoli per migliaia di germi e di batteri. Hong Kong è stata tra le prime città ad applicare nanorivestimenti di biossido di titanio e argento negli interni delle carrozze della metropolitana. I test preliminari mostrano che il disinfettante riduce la presenza di batteri del 60%.

I ricercatori della Auburn University hanno sviluppato un materiale antibatterico che combina le proprietà antibatteriche della lisozima con la resistenza meccanica dei nanotubi di carbonio. La lisozima è un prodotto naturale che si può trovare, ad esempio, negli albumi e viene usata in alcuni prodotti di uso comune come il collutorio, ma non è meccanicamente robusto. Al contrario, i nanotubi di carbonio sono il materiale più resistente al mondo.



Fig. 9.22 - Rivestimento antibatterico con nanotubi di carbonio.

Capitolo X

Nanotecnologia e risparmio energetico

La nanotecnologia offre occasioni di ricerca e suggerisce nuovi processi operativi con cui affrontare le sfide imposte dai cambiamenti climatici e contribuire a ridurre le emissioni di gas serra nel prossimo futuro. La prima fase del protocollo di Kyoto ⁽¹⁾ terminerà nel 2012 e le emissioni di CO₂ di tutto il mondo dovranno essere dimezzate entro il 2050. L'efficienza energetica delle costruzioni è quindi indispensabile, in quanto esse rappresentano uno dei maggiori produttori di emissioni di CO₂. Gli architetti sono chiamati a trovare soluzioni innovative per rallentare il cambiamento climatico, combinando le esigenze abitative con l'efficienza energetica. La nanotecnologia può contribuire al miglioramento delle prestazioni degli isolanti e dei pannelli fotovoltaici, e con i LED e gli OLED può far diminuire il consumo di energia elettrica.

10.1. I nanoisolanti

Gli isolanti vengono utilizzati nelle costruzioni per ridurre lo scambio di calore tra l'interno e l'esterno; l'isolante termico utilizzato per raggiungere tale obiettivo deve fornire un elevato livello di prestazioni di resistenza al passaggio del calore e, inserito all'interno di un sistema di involucro edilizio, è in grado di contribuire al raggiungimento del benessere termico interno e alla riduzione delle dispersioni termiche con la conseguen-

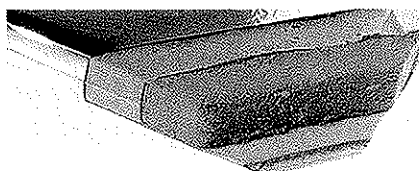
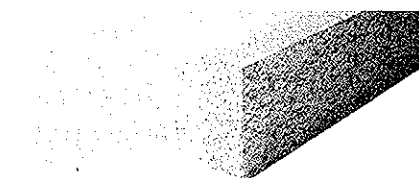
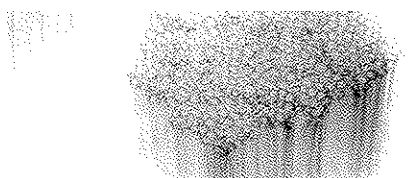
⁽¹⁾ Il protocollo di Kyoto è un trattato internazionale in materia ambientale riguardante il riscaldamento globale sottoscritto nella città giapponese di Kyoto l'11 dicembre 1997 da più di 160 Paesi ed è entrato in vigore il 16 febbraio 2005. Il trattato prevede l'obbligo per i Paesi industrializzati di operare una riduzione delle emissioni di elementi inquinanti in una misura non inferiore al 5% rispetto alle emissioni registrate nel 1990, nel periodo 2008-2012.

te riduzione del fabbisogno energetico dell'intero edificio. Ciò si determina in base alla conducibilità termica del materiale, espressa in $W/m \cdot K$, che indica, appunto, il flusso di calore che, in condizioni stazionarie, passa attraverso uno strato unitario di materiale in presenza di una differenza unitaria di temperatura tra le due facce opposte del materiale considerato. La conduttività dipende dalla porosità e dal contenuto igrometrico del materiale.

La trasmittanza termica ($U=W/m^2K$), o coefficiente globale di trasmissione del calore interno-esterno è definita come il "flusso di calore che passa da un locale all'esterno (o a un altro locale) attraverso una parete per m^2 di superficie della parete stessa e per K di differenza tra la temperatura del locale e la temperatura esterna, o del locale contiguo"⁽²⁾. La resistenza termica ($R=m^2K/W$) totale di una parete, che è l'inverso della trasmittanza termica, è data dalla somma delle differenti resistenze che il flusso di calore incontrerà lungo il percorso dall'elemento più caldo a quello più freddo.

	Tipo di materiale	Conducibilità termica (W/mK)
Isolanti convenzionali	Argilla cruda	0,132
	Fibre di legno	0,045
	Sughero espanso	0,040
	Lana di roccia	0,040
	Lana di vetro	0,040
	Polistirene	0,040
	Polistirene espanso	0,035
	Poliuretano	0,030
Nanoisolanti	Aerogel	0,017-0,0042
	VIP	0,005
	Hydro-NM-Oxyde:	0,017

⁽²⁾ Norma UNI 7357.

**Fig. 10.1** – Pannello isolante in sughero**Fig. 10.2** – Pannello isolante sottovuoto (VIP)**Fig. 10.3** – Polistirene**Fig. 10.4** – Isolamento termico traslucido

I rivestimenti isolanti rappresentano un ambito di notevole importanza per l'applicazione delle nanotecnologie, il cui apporto promette la creazione di materiali in grado di avere un'azione isolante maggiore rispetto agli isolanti convenzionali ma con uno spessore minore.

È da rilevare che gli edifici sono responsabili di un quarto delle emissioni di carbonio dell'Unione europea, circa il 70% delle quali proviene dalle esigenze di riscaldamento. Realizzando economie sul riscaldamento degli spazi attraverso un migliore isolamento, l'Unione europea potrebbe ridurre le emissioni di anidride carbonica di 100 milioni di tonnellate di metri cubi all'anno, facendo in modo che la sola Europa possa centrare l'obiettivo di ridurre le emissioni di carbonio del 25% entro il 2010 ⁽³⁾. La nanotecnologia promette di rendere più efficienti gli isolanti, meno dipendenti dalle risorse non rinnovabili e meno tossici.

I produttori stimano che i materiali isolanti derivati dalla nanotecnologia saranno circa il 30% più efficienti di quelli con materiali convenzionali. Una delle più importanti caratteristiche

⁽³⁾ Tali dati sono riportati dall'European Insulation Manufacturers Association in un rapporto dal titolo *Climate Change*, 2006.

dei nanorivestimenti isolanti è la loro applicabilità a superfici esistenti per migliorarne l'isolamento; essi possono essere applicati direttamente alle superfici degli edifici esistenti, mentre l'aggiunta post-costruzione dei materiali isolanti convenzionali come fibre di cellulosa, fibra di vetro, polistirene è estremamente invasiva. La loro applicazione a strutture esistenti potrebbe portare a un enorme risparmio di energia ed essi non sembrano rappresentare una preoccupazione per l'ambiente e per la salute come le fibre di vetro o il polistirene.

I nanoisolanti possono essere sotto forma di film sottili, vernici, aerogel, i pannelli isolanti a vuoto (Vacuum Insulation Panels – VIP) che contengono al loro interno i nanoisolati come Aerogel, e i materiali a cambiamento di fase (Phase Change Material – PCM).

10.1.1. *Film sottili e vernici nanoisolanti*

I nanoisolanti a film sottili o sottoforma di vernice offrono il grande vantaggio di un maggiore potere isolante rispetto a quelli convenzionali ma con uno spessore notevolmente inferiore. Tali film possono essere applicati anche alle finestre, come nel caso di quelle prodotte dalla ditta Vanceva, in cui viene inserito un film sottile isolante tra due lastre di vetro. Le vernici nanoisolanti oggi in commercio sono diverse. Le producono ditte come la Nanoseal, il cui rivestimento isolante è stato anche utilizzato per rivestire i serbatoi della birra Corona, la NanoPore Incorporated e la Nansulate.

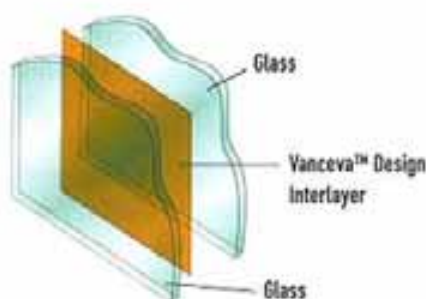
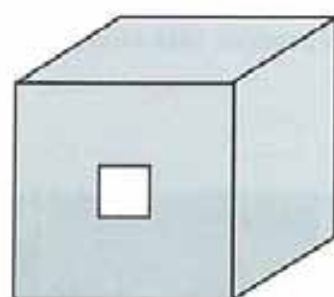


Fig. 10.5 – Il sistema di finestre Vanceva: un film sottile nanoisolante inserito tra due lastre di vetro

I prodotti Nansulate® Translucent sono vernici industriali ecologiche, semplici da applicare: un sottilissimo strato di vernice offre non solo un elevato potere isolante ma anche un'efficace protezione dagli agenti corrosivi e antimuffa. Tutto questo si traduce in un risparmio di tempo e di costi di manutenzione, nonché in un incremento di efficienza e sicurezza degli edifici e degli impianti. Una somma di opportunità che aiuta a comprendere i vantaggi che la nanotecnologia sta apportando in generale all'economia delle risorse umane, energetiche e ambientali. Il componente che fornisce le caratteristiche di isolamento termico del Nansulate® Translucent è l'abbinamento di Hydro-NM-Oxide, che presenta una particolare struttura porosa, di dimensioni nanometriche, con un bassissimo valore di conducibilità termica. Grazie alla struttura nanoporosa, il Nansulate può esprimere i suoi valori assoluti con uno spessore minimo: non sono infatti prescritte più di 3 mani di vernice per la sua applicazione, circa 0,18 millimetri di spessore.

Tale spessore inconsistente del Nansulate produce un notevole risparmio di spazio rispetto all'impiego di altri materiali isolanti che hanno nella misura dello spessore uno dei principali requisiti di efficienza. Il Nansulate Translucent è stato applicato ai pannelli di alluminio che formano il soffitto nel nuovo *Suvarnabhumi International Airport* di Bangkok (scheda 10/1).



expanded polystyrene



nanopore

Fig. 10.6 - 7.000 centimetri cubi di polistirene espanso (a sinistra) hanno la stessa conducibilità termica di 330 centimetri cubi di NanoPore Thermal Insulation (Etyon G., 2007)

<i>Destinazione d'uso</i>	Aeroporto
<i>Luogo</i>	Bangkok, Thailandia
<i>Anno</i>	1996-2006
<i>Progettista</i>	Murphy/Jahn Architects
<i>Prodotto applicato</i>	Nansulate® Translucent PT
<i>Ditta produttrice</i>	Nansulate

Il *Suvarnabhumi International Airport* avrà il terminale più grande al mondo con la capacità di servire 30 milioni di passeggeri all'anno e inizialmente su ulteriori fasi di espansione, tra cui altre due piste, potrebbe servire oltre 100 milioni di passeggeri all'anno. Nansulate PT è stato applicato a pannelli di alluminio utilizzati per costruire il tetto del ponte di collegamento aereo grazie alla sua capacità di fornire un isolamento superiore e una protezione a lungo termine alla corrosione rispetto ai prodotti tradizionali. Sette piani e un seminterrato danno al terminale una superficie totale di oltre 563.000 metri quadri, che la rende la più grande al mondo. Un traliccio sul tetto, progettato per ombreggiare l'edificio contro l'intenso sole tropicale e ridurre i costi di condizionamento d'aria, sarà il più grande del suo genere. I materiali principali della struttura sono acciaio e vetro.



10.1.2. L'Aerogel

L'Aerogel, noto come "fungo ghiacciato", è un solido nanoporoso costituito da una matrice di diossido di silicio (SiO_2) per il 4-5% e da aria per il restante 95-96%. I pori all'interno degli Aerogel hanno dimensioni comprese tra i 2 e i 50 nanometri; solo una piccola parte ha dimensioni inferiori ai 2 nanometri. Un materiale nanoporoso ha una grande superficie interna, espressa dalla somma della superficie di tutti i suoi nanopori. Un cubetto di Aerogel a base di carbonio, delle dimensioni di 1 centimetro cubo, può avere una superficie interna di oltre 1.000 metri quadri. L'Aerogel è la sostanza solida meno densa conosciuta, ovvero la più leggera per metro cubo: è un ottimo isolante termico, un buon isolante acustico e non produce rifiuti pericolosi.

Tab. 1 – Le proprietà dell'Aerogel

Densità apparente	0,003-0,35 g/cc
Area superficiale interna	600-1.000 m ² /g
Diametro principale dei pori	~20 nm
Diametro delle particelle primarie	2-5 nm
Conducibilità termica	0,017-0,0042 W/mK

L'Aerogel è stato ottenuto a livello sperimentale nel 1931 da Steven Kistler, che ipotizzò la possibilità di eliminare la parte liquida da un gel per ottenere una struttura solida delle stesse dimensioni del gel bagnato. L'operazione era accompagnata da un elevato ritiro con conseguente distruzione della parte solida, a causa delle elevate tensioni superficiali. Occorreva portare il gel in condizioni supercritiche per evitare passaggio di fase liquido-vapore. Nel 1970 è stata introdotta la chimica del Sol-Gel ⁽⁴⁾ attraverso cui si ottiene l'attuale Aerogel.

⁽⁴⁾ La chimica del Sol-Gel consiste nell'idrolisi degli alcossidi di: TMOS (ortosilicati tetrametilici) e di TEOS (ortosilicati tetraetilici). La chimica del Sol-Gel evita la formazione dei sottoprodotti indesiderati, come ad esempio



Figg. 10.7 – La forma in cui si presenta l'Aerogel

Gli Aerogel sono dei materiali che trovano diverse applicazioni. I primi esempi di applicazione di compositi in equipaggiamenti sportivi si hanno intorno al 2000, con il primo giubbotto progettato e realizzato in Italia, Absolute Zero. La NASA ha utilizzato l'Aerogel per intrappolare le particelle di polvere interstellare durante la missione della sonda Stardust. Queste particelle vaporizzano per impatto con solidi e passano attraverso i gas, ma possono essere intrappolate negli Aerogel. La NASA ha utilizzato l'Aerogel anche per l'isolamento termico del Mars Rover e delle tute spaziali. L'esempio serve a comprendere i vantaggi di utilizzo dell'Aerogel negli svariati campi d'applicazione dove l'isolamento termico è di importanza fondamentale.



Fig. 10.8 – L'Aerogel in forma granulare

i Sali. Dopo il raggiungimento del punto di gel, si effettua l'invecchiamento; questo consiste nell'impregnare il gel in una miscela di alcol-acqua (50%-50%) ad un pH di 8-9 (ammoniaca). Dopo l'invecchiamento del gel, tutta l'acqua ancora contenuta all'interno dei pori deve essere rimossa; ciò può essere fatto andando ad impregnare il gel con alcol puro fino a che tutta l'acqua non sia stata rimossa.

Date le sue caratteristiche, l'Aerogel è idoneo come materiale per l'isolamento termico degli edifici. L'Aerogel può trovarsi in forma granulare o monolitica: nel primo caso è caratterizzato da una scarsa trasparenza, con la vetrata che presenta un aspetto traslucido e i contorni nebbiosi, ma con buoni valori di isolamento termico; il secondo caso è quello più adatto per il suo impiego come vetro nelle finestre, poiché risulta trasparente e le sue caratteristiche di isolamento restano invariate, raggiungendo una trasmittanza di circa $0,5 \text{ W/mqK}$.



Fig. 10.9 – L'Aerogel in pannelli traslucidi utilizzati negli edifici

Attualmente, le principali aziende di Aerogel includono la Cabot Corporation (produttori di Nanogel), la Aspen Aerogels, la Kalwall (utilizzando Cabot's Nanogel) e la TAASI (produttori di Pristina Aerogels).

Tali prodotti sono principalmente impiegati per realizzazioni di edifici pubblici e sportivi (schede 10/2, 10/7) e per le sue caratteristiche di diffusione luminosa, senza generare ombre e senza utilizzo di schermature applicate esternamente. I pannelli sandwich tipo Kalwall trattengono il calore e danno un'illuminazione naturale diffusa. Essi hanno una struttura portante interna in alluminio a taglio termico o una griglia che traspare

dalle superfici esterne, in fibra di vetro rinforzata e intercapedine completamente riempita con Nanogel, con una trasmittanza termica di $0,28 \text{ W/mqK}$ con uno spessore di soli 70 millimetri. Questo valore di trasmittanza è decisamente maggiore di quello di una vetratura tradizionale, essendo assimilabile a una parete opaca ma avendo uno spessore molto più ridotto. Utilizzando questa tecnologia si realizzano grandi superfici permeabili alla luce naturale, capaci di garantire elevati livelli di isolamento e di risparmio energetico.

PETER JAY SHARP ATHLETIC AND RECREATION CENTER

10/2

Destinazione d'uso Centro sportivo

Luogo New York, USA

Anno 2009

Progettista RMJM

Prodotto applicato Kalwall+Nanogel

Ditta produttrice Kalwall

Il Centro sportivo fa parte dell'*Accademia di Mount Saint Vincent*, fondata nel 1847. I progettisti hanno utilizzato i pannelli Kalwall non solo perché altamente isolanti, ma anche perché assicurano una buona illuminazione, riducendo l'utilizzo della luce artificiale. Ciò riveste una grande importanza in una palestra dove si svolgono partite di basket, perché evita l'abbagliamento; inoltre, i pannelli sono dei buoni isolanti acustici, sono resistenti agli atti vandalici e autopulenti.



<i>Destinazione d'uso</i>	Scuola
<i>Luogo</i>	Edmonton, Canada
<i>Anno</i>	2006
<i>Progettista</i>	Barr Ryder Architects & Interior Designers and Gulzar Haider Design Group

Prodotto applicato Kalwall+Nanogel

Ditta produttrice Kalwall

L'edificio rappresenta un ponte tra la cultura canadese e quella musulmana. Il muro esterno è costituito da una chiusura immensa traslucida, che illumina naturalmente il cortile interno e che si integra perfettamente con l'adiacente zona di preghiera. Per l'atrio sono stati utilizzati pannelli Kalwall bianchi e blu, che formano la grande scritta "Nel nome di Dio" in caratteri arabi, riflettendo la natura profondamente religiosa della struttura. Allo stesso tempo, l'edificio possiede una buona efficienza energetica. I pannelli Kalwall offrono il vantaggio di eliminare i punti caldi e il riverbero del sole, comuni alle zone dove si utilizza il vetro, permettendo un migliore svolgimento delle attività scolastiche.



<i>Destinazione d'uso</i>	Galleria
<i>Luogo</i>	New York, USA
<i>Anno</i>	2007
<i>Progettista</i>	Polshek Partnership LLP

<i>Prodotto applicato</i>	Kalwall+Nanogel
<i>Ditta produttrice</i>	Kalwall

Il *Museo della Scienza* è un luogo di ricerca, di formazione e di sperimentazione, dove la scelta di adottare pannelli traslucidi per la facciata, si inserisce nella necessità di avere costantemente luce naturale per le attività scientifiche che si svolgono al suo interno. L'uso dei pannelli Kalwall coniuga questa esigenza con l'efficienza energetica.



10/5 ROOSEVELT ELEMENTARY SCHOOL

<i>Destinazione d'uso</i>	Scuola
<i>Luogo</i>	Elkhart, USA
<i>Anno</i>	2006
<i>Progettista</i>	Fanning Howey Associates
<i>Prodotto applicato</i>	Kalwall+Nanogel
<i>Ditta produttrice</i>	Kalwall

La scuola elementare Roosevelt è stata uno dei primi nuovi edifici energeticamente efficienti, grazie alla riduzione dei costi energetici per l'aria condizionata, il riscaldamento e l'illuminazione artificiale.

La scuola presenta una forma compatta, con un grande spazio al centro illuminato dalla luce naturale che entra dal lucernario realizzato con i pannelli Kalwall. Per il progetto del lucernario sono state impiegate le strutture dei sistemi Kalwall Unlimited, autoportanti, in alluminio, per campate oltre i 150 metri, in cui sono inseriti i pannelli sandwich Kalwall traslucidi per formare un sistema complessivo composito. Con questo sistema è stato realizzato il lucernario piramidale più grande al mondo che incorpora Kalwall+Nanogel. Il sistema di illuminazione diurna Kalwall+Nanogel migliora anche le prestazioni acustiche riducendo al minimo i rumori indesiderati.



<i>Destinazione d'uso</i>	Uffici e magazzini
<i>Luogo</i>	Heathrow Airport, Gran Bretagna
<i>Anno</i>	2008
<i>Progettista</i>	Cornish Architects

<i>Prodotto applicato</i>	Verti-Kal
<i>Ditta produttrice</i>	Kalwall

L'edificio è il primo deposito a più piani realizzato in Gran Bretagna. È stato realizzato come deposito merci per l'aeroporto di Heathrow, uno dei più trafficati d'Europa. La scelta di avvalersi di un deposito a più piani nasce dall'impossibilità di avere una vasta area di terreno su cui costruire. D'altronde tali tipi di costruzioni sono da tempo una realtà a Hong Kong, in Giappone e a Singapore, dove le aree sono molto costose. L'edificio X2 utilizza pannelli traslucidi Verti-Kal. Come tutti i sistemi Kalwall traslucidi, Verti-Kal assicura la diffusione della luce naturale in tutto il magazzino, anche nelle giornate nuvolose, riducendo notevolmente la quantità di luce artificiale necessaria per lo svolgimento delle varie attività. Verti-Kal può essere fornito in pannelli fino 1,5 metri di larghezza e 3 metri di altezza. Al di là del risparmio energetico, Verti-Kal è una scelta particolarmente adatta per gli ambienti aeroportuali in termini di manutenzione, in quanto si tratta di pannelli autopulenti.



<i>Destinazione d'uso</i>	Galleria d'arte
<i>Luogo</i>	New Haven, USA
<i>Anno</i>	2008
<i>Progettista</i>	Kieran Timberlake Associates
<i>Prodotto applicato</i>	Kalwall+Nanogel
<i>Ditta produttrice</i>	Kalwall

L'edificio è la sede del celebre *Sculpture Department* di Yale. Tradizionalmente, un muro solido si ritiene sia il modo migliore per ridurre al minimo la perdita di calore. Ma l'eliminazione della luce naturale ispira poco per la creazione di opere d'arte, e anche le finestre più efficienti non consentirebbero l'efficienza energetica che l'Università di Yale si è posta come obiettivo. I pannelli traslucidi Kalwall assicurano prestazioni termiche che possono rivalleggiare con una parete solida e trasmettere la luce del giorno. In questo edificio, inoltre, i pannelli isolanti traslucidi Kalwall+Nanogel sono stati combinati con un sistema frangisole esterno per ridurre il guadagno di calore solare all'interno. L'edificio rappresenta un punto di riferimento per l'agenda verde di Yale; infatti si è guadagnato il LEED Platinum.



10.1.3. Isolamento termico: pannelli isolanti a vuoto (*Vacuum Insulation Panels*)

I Vacuum Insulation Panels (VIP) sono dei pannelli isolanti sottovuoto opachi, costituiti da un nucleo di materiale a bassa conducibilità termica in grado di essere sottoposto a un'elevata pressione, mentre l'involucro è realizzato con plastiche o metalli flessibili e resistenti. Le ricerche hanno evidenziato la necessità che il materiale del nucleo centrale, oltre a una grande resistenza alla compressione e una bassa conducibilità termica, deve essere caratterizzato da un'elevata porosità, per facilitare l'aspirazione dell'aria; importante è, quindi, la dimensione dei pori, che deve essere inferiore ai 100 nanometri per evitare fenomeni di conducibilità termica gassosa ⁽⁵⁾.

Lo spessore dei VIP varia da 2 millimetri a 40 millimetri, rendendo i pannelli adatti a essere utilizzati sia nelle nuove costruzioni sia negli edifici già esistenti. La durata di un VIP è generalmente stimata tra i 30 e i 50 anni, a condizione che l'involucro del pannello non venga danneggiato e che il prodotto venga installato correttamente. Una volta dismessi, i pannelli possono essere riciclati. I VIP possono esseri applicati con successo non soltanto negli edifici, ma anche negli oleodotti o nel campo dell'elettronica.

Tra le principali ditte produttrici di VIP c'è la va-Q-tec, che produce pannelli isolanti adatti per essere usati negli edifici sia in facciata sia sui pavimenti (scheda 10/8), con le seguenti caratteristiche:

Colore della superficie	Grigio
Forma	Rettangolare
Densità	Da 180 a 210 kg/m ³
Conducibilità termica	< 0,005 W/mK
Dimensioni standard	1.000 x 600 mm – 500 x 600 mm
U-value	0,25 W/(m ² K)
Spessore	da 10 mm a 40 mm

⁽⁵⁾ Le ricerche sono portate avanti soprattutto dal *Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung* (ZAE Bayern) di Würzburg (prof. Ulrich Heinemann) e dal *Fraunhofer-Institut für Bauphysik* (IBP) nelle sue sedi di Holzkirchen e Stoccarda (prof. Klaus Sedlbauer), in collaborazione con ditte chimiche e produttrici di isolanti e di infissi.



Figg. 10.10 – *Il Vacuum Insulation Panels (a sinistra) e l'installazione del pannello (a destra)*

SEITZSTRASSE MIXED-USE BUILDING

10/8

<i>Destinazione d'uso</i>	Abitazione
<i>Luogo</i>	Monaco, Germania
<i>Anno</i>	2004
<i>Progettista</i>	Pool Architekten
<i>Prodotto applicato</i>	Vacuum Insulation Panels
<i>Ditta produttrice</i>	va-Q-tec

Si tratta del primo edificio privato interamente isolato con i VIP. Si calcola che lo spessore dei pannelli utilizzati sia stato il 50% in meno rispetto agli isolanti tradizionali. I VIP sono stati utilizzati anche sul terrazzo e sul tetto per ridurre ulteriormente il passaggio di calore tra interno ed esterno. L'edificio ha vinto il German Building Physics Prize e il Bavarian Energy Prize.



10.1.4. *Materiali a cambiamento di fase (Phase Change Material)*

I materiali a cambiamento di fase (PCM) sono accumulatori di calore, che sfruttano il fenomeno della transizione di fase per assorbire i flussi energetici entranti, immagazzinando un'elevata quantità di energia e mantenendo costante la propria temperatura. I PCM sono solidi a temperatura ambiente che si liquefanno quando la temperatura sale, accumulando calore che viene sottratto all'ambiente. Quando la temperatura scende, il materiale si solidifica e cede calore. I PCM sono costituiti da sali idrati e paraffina, con un diametro compreso tra 2 e 20 nanometri, racchiusa in una guaina di plastica sigillata, e possono essere integrati nei materiali da costruzione.

I primi tentativi per utilizzare i PCM negli edifici sono stati compiuti negli Stati Uniti nel 1940. L'applicazione diffusa dei PCM è diventata fattibile con la produzione di microcapsule ⁽⁶⁾, che ha rappresentato una pietra miliare nello sviluppo dei PCM. In seguito la NASA ha intrapreso la ricerca per sviluppare indumenti per gli astronauti in grado di sopportare le temperature estreme dello spazio. Nell'ambito edilizio la principale area di applicazione è per la conservazione di energia.

I materiali che contengono i PCM possono essere diversi: cartongesso, legno, intonaco, plexiglas, e possono essere applicati anche in soluzioni impiantistiche, quali il riscaldamento, il raffrescamento, i collettori solari e gli scambiatori di calore.

⁽⁶⁾ Più precisamente si tratta di materiali a cambiamento di fase micro-incapsulati – MPCM.



Fig. 10.11 – Un'immagine al microscopio di Micronal PCM della BASF

La ditta BASF produce pannelli PCM che contengono microcapsule Micronal, capaci di combinare un'elevata inerzia termica e una bassa conducibilità, pur avendo uno spessore molto ridotto, circa 15 millimetri, con una conducibilità termica di $0,18 \text{ W/mK}$ (Fig. 10.11). Si tratta di capsule di cera di dimensioni microscopiche contenute in uno strato di intonaco, che si comportano da accumulatori di calore latente, che viene assorbito durante la fusione della cera stessa, ed è rilasciato quando la cera si solidifica. Queste microcapsule di cera sono protette da un involucro di plastica, in modo da non fuoriuscire dall'intonaco durante il cambiamento di fase.

10.2. Il fotovoltaico

La tecnologia fotovoltaica offre l'opportunità di produrre energia elettrica utilizzando l'energia solare, e quindi rappresenta un aiuto rilevante per il sistema energetico futuro. La conversione della radiazione solare in corrente di elettroni avviene nella cella fotovoltaica, un dispositivo costituito da un sottile strato di materiale semiconduttore, molto spesso silicio, mono

o policristallino ⁽⁷⁾. Più celle assemblate e collegate tra loro in un'unica struttura formano il modulo fotovoltaico ⁽⁸⁾. Una tipica cella fotovoltaica è di forma quadrata, ha uno spessore complessivo compreso tra 0,25 e 0,35 millimetri e una superficie compresa tra 100 e 225 centimetri quadri.

Un'altra interessante tecnologia è quella delle celle a film sottile che utilizzano il silicio amorfo, prodotto in assenza d'aria mediante deposito catodico su lastre di vetro di colore bruno.

In commercio si possono trovare diverse tipologie di moduli fotovoltaici, dai pannelli flessibili alle tegole solari, in grado di essere integrati sia negli edifici di nuova costruzione, sia negli edifici esistenti.



Fig. 10.12 - Cella fotovoltaica con vetro isolante



Fig. 10.13 - Modulo in vetro stratificato con celle CIS (rame-indio-selenio) a film sottile

⁽⁷⁾ Il silicio monocristallino si presenta sottoforma di singolo cristallo con superficie omogenea e colore nero; il silicio policristallino con struttura di cristallo e colore blu brillante.

⁽⁸⁾ Il modulo fotovoltaico tradizionale è costituito dal collegamento in serie di 36 celle, per ottenere una potenza in uscita pari a circa 50 watt, oggi ci sono sul mercato moduli costituiti da un numero di celle più alto e quindi di più elevata potenza.



Fig. 10.14 - Cella policristallina in vetro stratificato

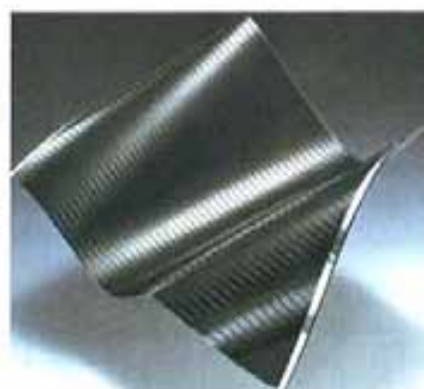


Fig. 10.15 - Modulo fotovoltaico flessibile: silicio amorfo su foglio di metallo

Una delle più grandi installazioni di fotovoltaico al mondo è rappresentata dalla sede dell'*Accademia di Mont-Cenis*, in Germania, progettata da Francois Helene Jourda, con 600.000 celle solari. Sempre in Germania, la nuova *Stazione Centrale Lehrter Bahnhof* di Berlino presenta una copertura con moduli fotovoltaici (Figg. 10.17).



Fig. 10.16 - L'impianto fotovoltaico dell'Accademia di Mont-Cenis in Germania



Figg. 10.17 - L'impianto fotovoltaico sulla copertura della Stazione Centrale Lehrter Bahnhof di Berlino

La presenza di moduli fotovoltaici negli edifici, oltre a rappresentare una fonte sostenibile per la produzione di energia, inizia a offrire degli spunti per essere utilizzato come un vero e proprio materiale da costruzione e, come tale, a dare un contributo anche estetico all'edificio. A questo proposito, un'interessante progetto realizzato dall'architetto Simone Giostra è il

GreenPix Zero Energy Media Wall, il primo involucro multimediale a impatto zero. Il progetto consiste nell'applicare all'involucro dell'*Entertainment Center Xicui* a Pechino il più esteso schermo a colori LED al mondo abbinato a un sistema fotovoltaico creando così un edificio che agisce come un sistema organico autosufficiente, producendo energia solare durante il giorno e usandola per illuminare lo schermo di notte ⁽⁹⁾.

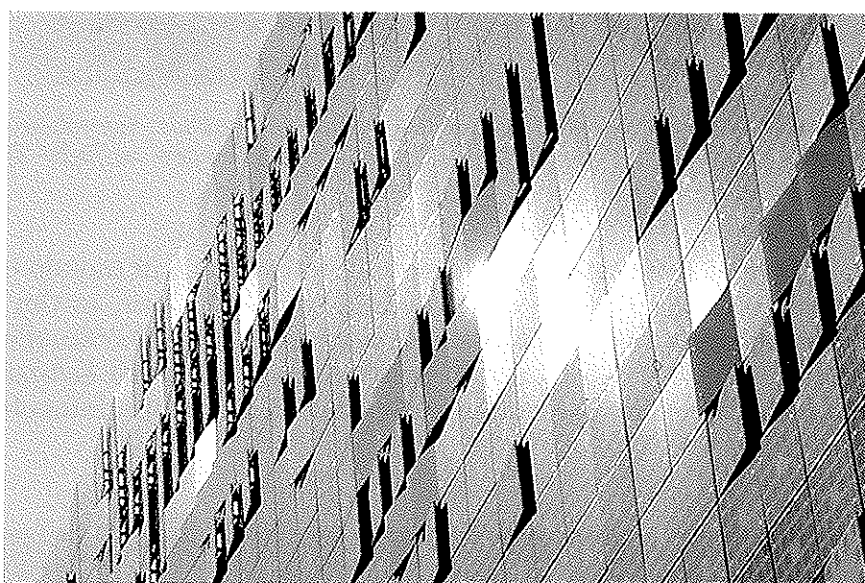


Fig. 10.18 – Il progetto *GreenPix Zero Energy Media Wall*

⁽⁹⁾ Lo Studio Arup ha fornito la consulenza per il progetto luci e l'ingegneria della facciata.



Fig. 10.19 – Il progetto *GreenPix Zero Energy Media Wall*



Fig. 10.20 – Il progetto *GreenPix Zero Energy Media Wall*

Le celle solari a base di silicio hanno un costo elevato, e questo può rappresentare un ostacolo alla diffusione della tecnologia per la produzione di energia solare. La nanotecnologia può rappresentare un'alternativa al solare basato sul silicio, soprattutto grazie alla produzione di film sottili con semiconduttori nanostrutturati.

La ditta Konarka produce il Power Plastic, basato sul fotovoltaico organico (OPV), una tecnologia estremamente leggera e flessibile. L'OPV è un film sottile composto da più strati di semiconduttori nanostrutturati; esso potrà rivoluzionare il settore dell'energia solare in quanto può essere fabbricato a basso costo, usando tecniche come il getto d'inchiostro e la serigrafia (Fig. 10.21).

Film sottili organici, o celle solari di plastica, usano materiali economici basati principalmente su nanoparticelle e polimeri. Sono formati su substrati di polimero poco costoso che possono trarre vantaggio da metodi di produzione relativamente poco costosi, il cosiddetto *roll-to-roll*, utilizzato per le presse dei giornali. L'altro vantaggio dei film sottili organici è la loro flessibilità, che consentirà la loro integrazione negli edifici.

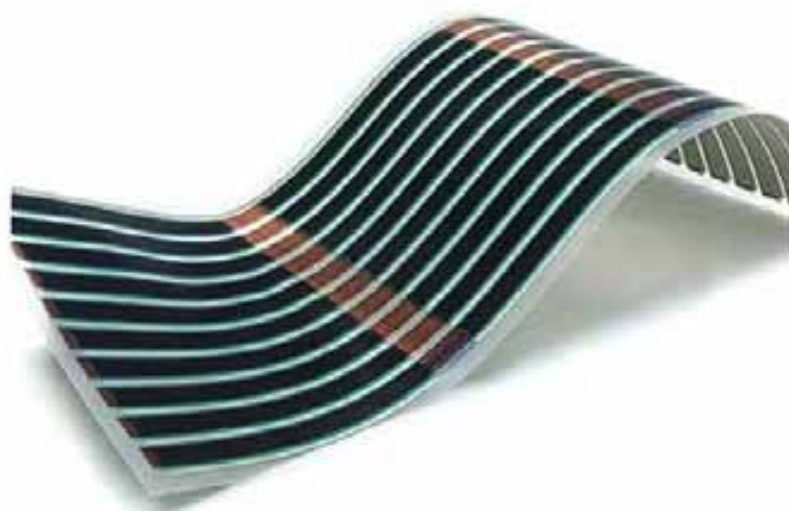
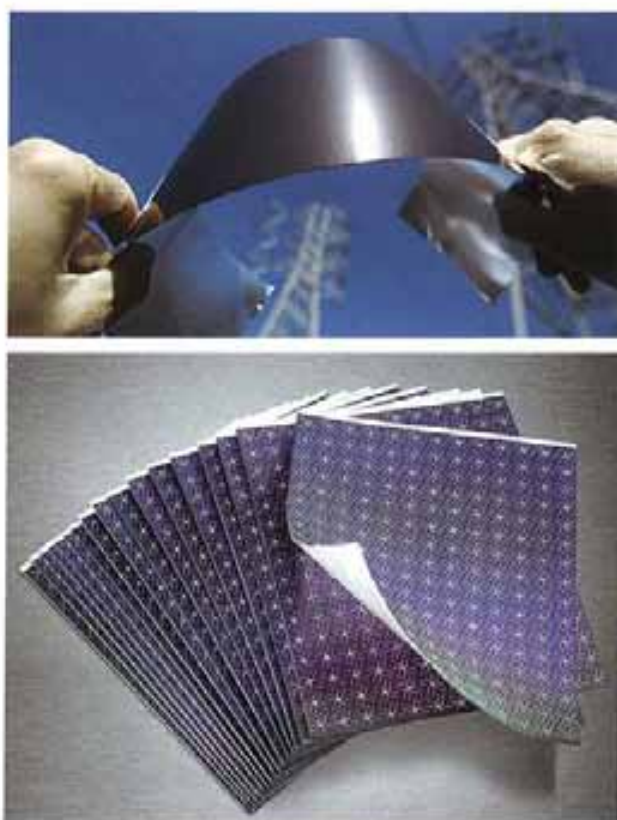


Fig. 10.21 – Fotovoltaico organico (OPV) Power Plastic prodotto dalla Konarka

La Nanosolar ha reinventato la progettazione e la fabbricazione di sistemi fotovoltaici, depositando uno strato sottile di un semiconduttore, molto più veloce di un procedimento sottovuoto

convenzionale di alto livello, per creare una cella fotovoltaica efficiente e di lunga durata, a un costo più basso (Figg. 10.22).

La cella è caratterizzata da un semiconduttore in CIGS (rame, indio, gallio, selenio) stampato su un foglio di metallo conduttivo a basso costo. Viene quindi creato un contatto sulla parte posteriore attraverso un sistema chiamato Metal-Wrap-Through utilizzando un procedimento di deposito del materiale su rotolo continuo; in questo modo si possono utilizzare i macchinari dell'industria della stampa per produrre in tempi rapidi un film fotovoltaico. Queste celle fotovoltaiche sono leggere, pieghevoli, facilmente collegabili, di dimensioni modificabili e capaci di sopportare fino a 25 ampere di corrente per cella.



Figg. 10.22 – Cella fotovoltaica a film sottile prodotta dalla Nanosolar

10.3. I diodi emettitori di luce (Light Emitting Diode, LED) e i diodi emettitori di luce organici (Organic Light Emitting Diode, OLED)

L'illuminazione e gli elettrodomestici consumano circa un terzo dell'energia utilizzata negli edifici. Non solo l'illuminazione consuma elettricità, ma produce calore che può aggiungersi ai costi di raffreddamento dell'edificio. Le luci fluorescenti usano meno energia e producono meno calore, ma contengono tracce di mercurio. Il potenziale di risparmio energetico con un'illuminazione più efficiente è quindi enorme.

Una delle tecnologie più promettenti per il risparmio di energia nel settore dell'illuminazione è rappresentato dai diodi emettitori di luce (LED), data la loro efficienza nettamente superiore rispetto all'illuminazione convenzionale. I LED sono uno speciale tipo di diodi, formati da un sottile strato di materiale semiconduttore ⁽¹⁰⁾. I LED sono sempre più utilizzati in ambito illuminotecnico in sostituzione di alcune sorgenti di luce tradizionali. Il loro utilizzo nell'illuminazione domestica, quindi in sostituzione di lampade a incandescenza, alogene o fluorescenti compatte, è oggi possibile con notevoli risultati raggiunti grazie allo sviluppo di tecniche innovative. Il potenziale di risparmio energetico dai LED è stimato dall'82 al 93% rispetto alle convenzionali lampade incandescenti e fluorescenti ⁽¹¹⁾. Il principale ostacolo a una maggiore adozione di LED, tuttavia, è il costo; essi attualmente costano almeno 10 volte in più rispetto alle luci fluorescenti. Attualmente i LED vengono utilizzati nei semafori, ma anche nelle facciate degli edifici, come nel *Gran Lisboa Hotel*

⁽¹⁰⁾ La dissipazione del calore può essere un problema con LED luminoso di lunga durata. L'azienda nanotecnologica Celsia sta lavorando con le principali aziende per sviluppare soluzioni per il raffreddamento del LED. Questi includono plastificazione della loro tecnologia NanoSpreader con PCB film, in modo che il circuito LED possa essere collegato per formare un refrigerante integrato.

⁽¹¹⁾ Wal-Mart prevede di risparmiare 2,6 milioni di dollari di costi in energia e ridurre le emissioni di anidride carbonica di 35 milioni di sterline l'anno utilizzando diodi emettitori di luce (LED) con display refrigerato; ci si aspetta un risparmio energetico del 6% in confronto alla tecnologia fluorescente.

a Macau (Fig. 10.23), la *Galleria Department Store* a Seul (scheda 10/10) e nel *Talee Star Place* a Taiwan (scheda 10/9). I LED si prestano alla realizzazione di facciate multimediali, che stanno trasformando il concetto di involucro architettonico.



Fig. 10.23 – Gran Lisboa Hotel a Macau con la facciata completamente illuminata con oltre 59.000 ProPixe diodi emettitori di luce (LED)

Questo tipo di operazione viene già realizzata con le lampade fluorescenti, come nell'installazione *Spots*, realizzata da realities:united⁽¹²⁾, che ha trasformato uno storico complesso per uffici situato in Potsdamer Platz a Berlino nella più grande facciata "mediatica" d'Europa, uno schermo televisivo al plasma con una superficie di 1.350 metriquadri. La facciata mediatica, ancorata alla struttura preesistente, è costituita da un doppio involucro composto da un pannello vetrato e da una superficie luminosa integrata nell'intercapedine esterna. Sono presenti 1.774 lampade fluorescenti di cui 1.014 circolari e 760 lineari (Figg. 10.24).

⁽¹²⁾ Hanno anche collaborato alla realizzazione della *Galleria Shopping Mall* a Seul e al *Talee Star Place* a Taiwan.



Figg. 10.24 – L'installazione *Spots*, realizzata da *realities:united* a Potsdamer Platz a Berlino

Tra le più promettenti nanotecnologie per il risparmio di energia nel settore dell'illuminazione ci sono i diodi emettitori di luce organici (OLED). La loro introduzione nel mercato è stato finora limitata alle piccole componenti elettroniche come il display del cellulare, ma la loro applicazione continuerà a crescere.

Gli OLED permettono di realizzare display a colori con la capacità di emettere luce propria. A differenza dei display a cristalli liquidi, i display OLED non richiedono componenti aggiuntivi per essere illuminati (i display a cristalli liquidi vengono illuminati da una fonte di luce esterna), ma producono luce propria; questo permette di realizzare display molto più sottili e addirittura pieghevoli e arrotolabili, che richiedono minori quantità di energia per funzionare ⁽¹³⁾. La tecnologia OLED ha grandi vantaggi: bassa tensione di alimentazione, ottimo contrasto, brillantezza dei colori; tuttavia presenta ancora dei limiti. Primo fra tutti il costo ancora elevato del processo produttivo. In secondo luogo gli schermi OLED hanno una durata molto inferiore agli schermi a cristalli liquidi e agli schermi al plasma. Il materiale organico di cui sono composti, infatti, tende a perdere la capacità di emettere luce dopo poche migliaia di ore di esercizio.

Gli OLED potrebbero essere applicati a qualsiasi superficie piana o curva, per renderla una sorgente luminosa. La Universal

⁽¹³⁾ In questo caso il materiale organico è ad esempio un polimero conduttivo elettroluminescente simile alla plastica (in questo caso si può parlare più correttamente di POLED: Polymer Organic LED) oppure materiali organici non polimerici di peso molecolare relativamente basso. Un elemento viene definito organico in quanto contenente una struttura costituita prevalentemente da carbonio. Da qui il nome di LED organico. Normalmente, gli strati organici sono in grado di emettere solo luce bianca, ma con opportuni drogaggi (di composti elettrofosforescenti) è possibile renderli in grado di emettere luce rossa (drogante fluorescente a base di perilene dicarbossammide), verde (cumarina) o blu: essendo questi i colori primari, è possibile combinarli per produrre tutti i colori dello spettro visibile, in modo analogo a quanto accade in qualunque display a colori: ogni punto di un'immagine è costituito da 3 microdisplay affiancati, che producono luce rossa, verde e blu; visto da lontano, ogni elemento composto da tre microdisplay appare all'occhio umano come un singolo punto, il cui colore cambia secondo l'intensità della luce di vari colori emessa dai singoli microdisplay.

Display Corporation ha sviluppato una tecnologia flessibile e trasparente che può essere applicata ai displays sottili. Dal momento che gli OLED quando sono spenti risultano trasparenti, i dispositivi potrebbero anche essere installati nelle finestre o nei lucernari per simulare la sensazione della luce naturale o essere utilizzati come un televisore a schermo piatto.

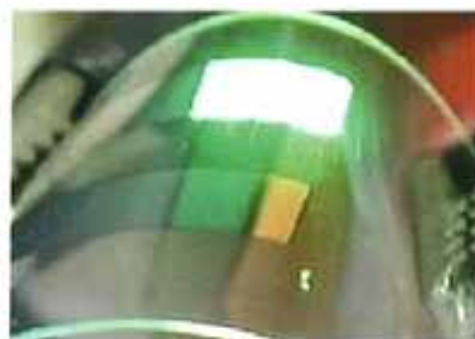


Fig. 10.25 – OLED Flessibile e trasparente della Universal Display Corporation

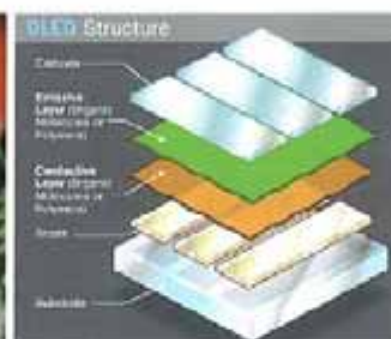


Fig. 10.26 – La struttura dell'OLED

Destinazione d'uso Centro commerciale multilivello

Luogo Kaohsiung, Taiwan

Anno 2006-2008

Progettista UNstudio

Prodotto applicato LED

L'edificio presenta una facciata vetrata curva con lamelle orizzontali e alette di vetro verticali. La posizione e la dimensione di ciascuno degli elementi di facciata derivano da un sistema a telaio curvo, che è legato alla organizzazione interna dell'edificio. La facciata concava dell'edificio mostra diverse forme fluide, viste da distanze varie. L'illuminazione diffonde colori tenui sulla facciata di notte. Il controllo dell'intensità degli effetti di luce e di colore aggiungono un senso di fluidità alla pelle dell'edificio.



GALLERIA DEPARTMENT STORE

10/10

Destinazione d'uso Centro commerciale multilivello

Luogo Seul, Corea del Sud

Anno 2003-2004

Progettista realities:united

Prodotto applicato LED

La *Galleria Department Store* presenta una nuova facciata con una superficie in continua evoluzione formata da 4.330 dischi di vetro montati sulla parete esistente in cemento. Ogni disco di vetro è illuminato con luci a LED in grado di essere programmate per creare una moltitudine di effetti.



Capitolo XI

Vantaggi, rischi e precauzione per i prodotti nanostrutturati

Cesare Sposito

È da più parti riconosciuto che le nanotecnologie rappresentano uno degli orizzonti dell'innovazione tecnologica: manipolare la materia alla scala nanometrica consente di ottenere proprietà e caratteristiche nuove, eccezionali, diverse da quelle che gli stessi materiali hanno allo stato naturale e tali da poter incidere non poco sul nostro quotidiano. Già utilizzati in moltissimi prodotti e in vari settori, i nanomateriali potrebbero risultare – a detta di qualcuno – una “bolla tecnologica”, un flop: sebbene siano già stati investiti miliardi di dollari nella ricerca e nella produzione, ancora non si sa molto sull'eventuale impatto sanitario che possono avere sull'uomo e sull'ambiente, né più in generale sulla responsabilità etica che grava su queste ricerche. Il termine “nano” è un enigma nebuloso, che indica qualsiasi ricerca o manipolazione a scala nanometrica (un milionesimo di metro), per qualcuno una vasta operazione di marketing per ribattezzare, sotto la seducente bandiera delle “frontiere dell'infinitamente piccolo”, la fisica e la chimica dei materiali.

Una cosa è certa: i nanomateriali sono già tra di noi, commercializzati sotto forma di nanotubi di carbonio, di nanolaser nei lettori dvd, di nanochip per la diagnosi biologica, sono già negli edifici, nelle macchine, nell'ambiente; e si pensa a costruire *fabbriche molecolari* con vettori, bracci articolati o nastri trasportatori di una dimensione centomila volte più piccola del diametro di un nostro capello. Certo è che osservare la materia e lavorarla a scala atomica costituisce un affascinante orizzonte per promettenti innovazioni; il sogno è quello di “rifare ciò che la vita ha fatto, ma a modo nostro”, secondo Jean Marie Lehn, premio Nobel per la chimica nel 1987. Di contro altri scienziati smorzano l'entusiasmo e ipotizzano tristi scenari: ad esempio,

Eric Drexler teme il peggio, allorquando ipotizza che l'uomo possa perdere il controllo sui nanorobot, capaci di riprodursi e di divorare lo spazio.

In effetti, l'idea di manipolare gli atomi è diventata realtà con il microscopio a effetto tunnel messo a punto nel 1982; questo strumento ha permesso sia uno "zoom nell'universo dell'atomo" che sulla "ingegneria lillipuziana", capace di spostare gli atomi a comando ⁽¹⁾. Le prospettive di una "manifattura molecolare", ventilate da Eric Drexler in *Engines of creation* ⁽²⁾, si sono aperte: si cominciano a fabbricare carriole, aspiratori, auto molecolari, transistor a un solo atomo, computer quantici, capaci di effettuare un miliardo di calcoli in parallelo o di distruggere qualsiasi codice segreto. Brevemente: mentre a scala macroscopica predomina l'effetto collettivo di miliardi di atomi, isolando nano-oggetti, cioè oggetti fatti solo da pochi atomi, si possono manifestare comportamenti particolari e prestazioni diverse, quali l'aumento delle superfici di scambio (maggiore reattività), il miglioramento della resistenza meccanica, il potenziamento delle funzioni ottiche, elettromagnetiche o termiche: più che la natura chimica del materiale, è l'organizzazione spaziale degli atomi che diventa determinante. Già oggi tutti i grandi settori di produzione, l'elettronico, il tessile, il sanitario, l'agroalimentare, l'energetico o l'edilizio, sono toccati da questo entusiasmo tecnologico. Ma soffermiamoci a descrivere alcune meraviglie dell'innovazione tecnologica.

Quali prodotti innovativi e quali ricerche. Molti dei prodotti esistenti sul mercato sono nanostrutturati o impiegano componenti a dimensione nanometrica. Di alcuni lo sappiamo, di altri, che costituiscono la maggior parte, nessuno o pochi sanno. Di seguito riferiamo di prodotti, sperimentazioni e progetti che nascono dalle nanotecnologie e che investono molti settori del nostro quotidiano. Il gruppo automobilistico Daimler-Benz vende veicoli dotati di rinforzi ai freni o pezzi di motore fabbricati

⁽¹⁾ Questo microscopio valse il premio Nobel 1996 ai suoi inventori Richard Smalley, Harry Kroto e Robert Curl.

⁽²⁾ L'articolo è stato pubblicato in inglese nel 1986, trad. it. online all'indirizzo: www.venetonanotech.it/pballegati/Engines%20of%20Creation_ITA.pdf.

con nanotubi di carbonio, cento volte più resistenti dell'acciaio, ma sei volte più leggeri; la IBM produce transistor centomila volte più sottili di un capello; i ricercatori dell'Università di Cornell, negli Stati Uniti, o dell'Institut Curie, in Francia, realizzano motori molecolari. Anche l'industria cosmetica, da qualche anno, utilizza nanoparticelle in ossido di zinco per produrre rossetti più resistenti, in ossido di titanio per filtrare i raggi ultravioletti o in ossido di zirconio per gli smalti delle unghie. Per le grandi industrie, la produzione a scala submicrometrica è condizione di sopravvivenza: la Sony e la St. Microelectronics, associata alla Motorola e alla Philips Semiconductors International Bv, hanno investito 1,5 miliardi di euro per la produzione di semiconduttori lavorati a meno di 90 nanometri; nel settore tessile i progetti riguardano fibre metallizzate capaci di contenere energia o integrare sensori. I nanomateriali possono anche migliorare il rendimento dei sistemi energetici, permettere di stoccare l'idrogeno o fornire efficaci barriere termiche. Per quanto riguarda la salute, le nano-biglie possono costituire nuovi veicolatori di materia attiva, liberabile *in situ* per riscaldamento a infrarossi o campo magnetico.



Figg. 11.1 – La nanoradio



Figg. 11.2 - 1 nanochip

Un gruppo di ricercatori della Irvine University of California, guidati da Peter Burke, ha costruito il più lungo cavo conduttore mai realizzato con nanotubi di carbonio, impiegando nanoparticelle di ferro e di oro, lungo quattro millimetri; tale risultato migliora di dieci volte il record precedente e apre la strada alla realizzazione di memorie ultradense per computer e biosensori, basati sulle nanotecnologie capaci di rivelare sostanze tossiche ⁽³⁾. Recentemente la Applied Digital ha ricevuto l'approvazione della Food and Drug Administration, l'autorità americana in materia di medicinali, per una "chip medica incorporata", che s'impianta sotto la pelle e che trasmette, tramite la tecnica RFID (Radio Frequency Identification), tutta la storia medica del paziente. Gli economisti Stephen Baker e Adam Aston spiegano che "la nano-industria non è un'industria emergente, ma un ventaglio di mezzi per manipolare la materia e rendere dei materiali già esistenti adattativi (intelligenti) e ibridi, come quelli elettronici, per metà silicei e per metà organici" ⁽⁴⁾. Ciò dovrebbe dare spazio a nuovi campi di ricerca e permettere di ristrutturare molti settori industriali, come è successo con l'informatica, con l'elettronica e con le biotecnologie. I primi progressi interesseranno biomateriali, catalizzatori, diagnostica ed elettronica; pertanto diverse discipline dovrebbero fondersi per

⁽³⁾ *Tecnologie e Business*, in "Il Sole 24 Ore", 20 ottobre 2004.

⁽⁴⁾ *The business of Nanotech*, in "BusinessWeek online", 14 febbraio 2005.

agire meglio nell'interfaccia tra materia vivente e materia inanimata, con un approccio congiunto fra discipline come la chimica, la fisica, l'elettronica, la genetica e le scienze neurologiche.

Oggi è possibile trovare le nuove tecnologie in prodotti di vari settori: negli elettrodomestici (frigoriferi, lavatrici, umidificatori, condizionatori, ecc.), in cui le nanoparticelle di argento posseggono proprietà deodoranti e antibatteriche; negli imballaggi, con le pellicole contenenti ossido di zinco per sterilizzare la superficie del cibo o nelle bottiglie realizzate con materiali idonei per l'isolamento termico; nei nanocutici, sostanze con valore nutritivo ridotte in forma di nanoparticelle o racchiuse in nanostrutture che ne facilitano l'assorbimento da parte delle mucose (per esempio nanogoccioline contenenti fitosteroli o vitamine); nella cosmesi con le creme solari contenenti ossidi di zinco e titanio, che assicurano una *texture* più fine e meno grassa, con le creme antirughe alle nanoparticelle di silicio e con quelle antinvecchiamento con fullereni e dentifrici remineralizzanti con nanocristalli di idrossiapatite; nello sport, con attrezzature dalle altissime prestazioni di resistenza, di rigidità o, al contrario, di morbidezza, conferite da ossidi di metalli, leghe con nanoparticelle metalliche o nanotubi di carbonio per sci, piccozze e ramponi, racchette da tennis, canne da pesca e mazze da golf; nel tessile, con capi d'abbigliamento dalle proprietà antinfeltrenti, idrorepellenti, antistatiche, antimacchia e antipiega o con calze antiodore dalle nanoparticelle d'argento; nell'elettronica, soprattutto, con memorie più efficienti, processori più veloci e monitor a LED; nella farmaceutica, con oltre 240 prodotti nanotecnologici in sperimentazione o già entrati nelle *pipeline* produttive; nella diagnostica per i laboratori chimici e biologici con i cosiddetti *lab on a chip*, che sono laboratori miniaturizzati dalle dimensioni di un francobollo.

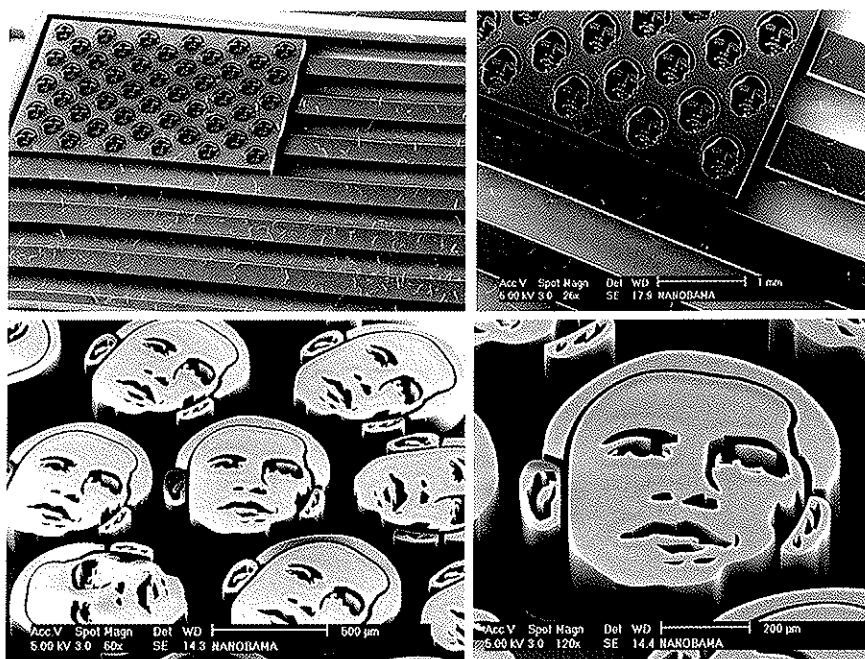
E se tutto ciò può generare stupore, allora cosa dire dei nuovi tessuti in fase di sperimentazione, resistenti all'urto o capaci di cicatrizzare le ferite per i tessuti computerizzati, in grado di monitorare parametri vitali, come il battito cardiaco e la glicemia? Cosa dire delle future batterie, dei sistemi di fotosintesi artificiale per produrre energia pulita, dei sistemi per lo stoccaggio dell'idrogeno, delle celle solari fotovoltaiche più efficienti e meno costose, dei nano-robot che sono in grado di entrare nelle cellule per riparare o sostituire eventuali strutture danneggiate?

Nel 2007 Giuliano Altiffi ha raccolto alcune proposte innovative, che puntano sull'infinitamente piccolo: la nanoradio, il nanochip, i nanovaccini, i nanoalimentatori ⁽⁵⁾. Un nanotubo di carbonio riceve dei segnali, li amplifica e li rimanda: pur con qualche crepitio, la colonna sonora di *Guerre stellari* si distingue nella registrazione effettuata dai ricercatori della University of California a Berkeley: la musica giunge dal radioricevitore più piccolo della storia, un nanotubo di carbonio lungo 700 nanometri e 10 mila volte più sottile di un capello. "Finora eravamo riusciti a costruire solo i singoli componenti della radio," dice Alex Zettl, fisico di Berkeley, "ma non sapevamo come integrarli in un unico strumento. La soluzione trovata è semplice: un nanotubo è già una radio completa, perché può funzionare come antenna, sintonizzatore, amplificatore e demodulatore". Una differenza di potenziale tra due elettrodi vicini al nanotubo carica la sua punta di elettricità negativa, rendendola sensibile a oscillazioni come le onde radio: in loro presenza il nanotubo vibra e si sintonizza con la radiofrequenza identica a quella delle sue vibrazioni, fungendo da sintonizzatore; agendo sui due elettrodi si possono sottrarre cariche elettriche negative dalla punta del nanotubo, rendendolo capace di vibrare con varie frequenze e di captare più di una stazione. La nano-radio, che per ora riceve ma può essere modificata anche per trasmettere, in futuro potrà essere "inserita nel canale uditivo di una persona che sente poco, può amplificare i suoni," prevede il ricercatore Zettl, "e all'interno di una cellula può agire da terminale di raccolta per le informazioni".

Più di dieci anni fa, delle semplici tecniche a basso costo hanno migliorato il design e la produzione dei microchip, con numerose metodologie di produzione, con una vasta gamma di applicazioni e con l'impiego di nuovi dispositivi ottici, biologici ed elettronici. L'uso congiunto della nanoelettronica, della fotolitografia e dei nuovi biomateriali ha permesso di ottenere la tecnica di produzione necessaria ai nanorobot per le comuni applicazioni mediche, come la strumentazione chirurgica, la diagnosi e la consegna dei farmaci. La Hitachi ha annunciato

(5) ALTIFFI G., *La Radio più piccola del mondo*, in "Panorama", n. 47, 22 novembre 2007.

di aver sviluppato il più sottile microchip del mondo, un nanochip che può essere inserito nella carta per rintracciare pacchi o per provare l'autenticità di un documento; il circuito integrato è sparuto come un granello di polvere. I nanoelettrodi impiantati nel cervello sono sempre più utilizzati per gestire i disturbi neurologici. Mohammad Reza Abidian, un giovane ricercatore del Dipartimento U-M di Ingegneria Biomedica, ha detto che i polimeri dei nanotubi "sono biocompatibili e hanno conduttività sia ionica che elettronica"; ha inoltre dichiarato che "questi materiali sono dei buoni candidati per applicazioni biomediche come le interfacce neurali, i biosensori e i sistemi di rilascio di farmaci". A seconda degli obiettivi di questi studi, la ricerca potrebbe teoricamente aprire la strada agli elettrodi di registrazione intelligenti, in grado di rilasciare farmaci per influenzare positivamente o negativamente la risposta immunitaria.



Figg. 11.3 – Una particolare realizzazione del Presidente degli Stati Uniti d'America: i 'nanobama', la cui struttura è stata realizzata con nanotubi di carbonio e le immagini scattate con microscopi ottici ed elettronici

Un altro avanzamento: i ricercatori della École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), in un articolo del 2007 per la rivista *Nature Biotechnology*, hanno reso noto di avere sviluppato “una nanoparticella in grado di rilasciare i vaccini in modo più efficace, con minori effetti collaterali e a una frazione del costo delle attuali tecnologie per i vaccini”. L’articolo proseguiva con il descrivere gli effetti del loro passo in avanti: “Con soli 25 nanometri, queste particelle sono talmente piccole che una volta iniettate, scorrono attraverso la matrice extracellulare della pelle, precipitandosi verso i linfonodi. In pochi minuti essi raggiungono una concentrazione migliaia di volte superiore rispetto alla pelle”. In questo settore la Russia ha annunciato un nuovo impianto di produzione, che sarà destinato rigorosamente a produrre nanovaccini; i programmi di ricerca includono, tra le altre iniziative, lo sviluppo di vaccini per l’influenza umana e l’influenza aviaria e di biofarmaci utili a rafforzare il sistema immunitario e ad aumentare l’efficacia di farmaci antibatterici e antivirali. Per il fatto che il corpo umano è molto resistente alle nanoparticelle che tentano d’invadere le cellule umane, alcuni ricercatori stanno intensamente indagando sui metodi per *perturbare* gli enzimi umani che possono degradare le nanoparticelle; esperti dell’Università di Liverpool hanno trovato un modo per aggirare questo ostacolo, che potrebbe significare farmaci topici più efficaci nel futuro, capaci di agire nel complesso più velocemente di quelli attualmente in uso.

E ancora: nuovi nanoalimentatori in ossido di zinco sono in grado di produrre elettricità dal movimento più lieve, come il battito cardiaco, e promettono di farci dimenticare le batterie. Potranno far funzionare gli Mp3 senza alcun bisogno di batterie e ci permetteranno di ricaricare il cellulare grazie a un semplice movimento della mano. In altri termini, si sta affinando la tecnologia degli alimentatori, convertendo l’energia meccanica o proveniente da vibrazioni a bassa frequenza – come quella generata dal flusso sanguigno o dal battito del cuore – in energia elettrica. Così un nuovo tipo di alimentatore alla nanoscala, basato sulle proprietà di nanofili in ossido di zinco, è stato presentato, nel marzo 2007, alla 237^a edizione del meeting annuale dell’American Chemical Society, da Zhong Lin Wang della School of Material Science and Engineering presso il Georgia Institute of

Technology. In altri termini, questi alimentatori producono elettricità in virtù del fatto che sono piezoelettrici, ovvero generano corrente elettrica se sottoposti a sollecitazioni meccaniche, dato che si crea una differenza di potenziale ai due estremi dei fili; ciascun nanofilo, del diametro paragonabile a quelle di un capello umano, ha gli apici collegati ad elettrodi metallici. Se sottoposti a pressione, i nanofili si contraggono, vengono attraversati da un flusso di elettroni e rilasciano energia ai circuiti esterni; quando la pressione termina, i nanofili si rilassano e così l'alternanza di contrazione e di rilassamento consente il fluire di energia in modo alternato.

Rispetto alle passate generazioni, in questo tipo di alimentatori il rendimento dei nanofili integrati risulta notevolmente migliorato, anche grazie ai numerosi studi sul design, che ne hanno aumentato la robustezza e la stabilità. "Il voltaggio è stato incrementato di un minimo 15 volte rispetto agli attuali nanogeneratori," spiega Wang a Galileo, "abbiamo infatti raggiunto un voltaggio pari a 0,2 volt e in cinque anni pensiamo di poter raggiungere gli 0,5 volt". Sperimentalmente i ricercatori hanno osservato che, con un movimento ritmico regolare all'indice, si ha un voltaggio in uscita pari a 25 millivolt, e una corrente pari a 150 ampere per ogni singolo filo; inoltre, questi nuovi nanogeneratori, sono compatibili con molti materiali, dalla ceramica ai tessuti, perché sono rivestiti di un polimero flessibile, che li rende adatti per essere impiantati all'interno di materiali soffici, e perché possono operare anche esposti all'aria o immersi nei liquidi ⁽⁶⁾.

Quali rischi per l'uomo e per l'ambiente. Abbiamo accennato a tanti prodotti nanostrutturati, a molti progetti di ricerca, alle nano-macchine. Abbiamo visto che i nanomateriali sono piccoli, piccolissimi, praticamente invisibili a occhio nudo, ma sono penetranti, si trovano ovunque, dalla barretta di cioccolato ai calzini, dalle creme solari ai telai per le biciclette; noi tutti li mangiamo, li indossiamo, li spalmiamo sul viso, li respiriamo anche inconsapevolmente. La *tecnologia dell'infinitesimamente*

⁽⁶⁾ Tratto da www.galileonet.it, 30 marzo 2009.

piccolo ha attratto da sempre considerevoli investimenti: dal 1998 al 2003, gli investimenti pubblici sono stati moltiplicati per sei in Europa, per otto negli Stati Uniti e in Giappone. Nel 2005, lo sforzo mondiale per le nanotecnologie è stato stimato in nove miliardi di dollari dall'americana National Nanotechnology Initiative (NNI), secondo una ripartizione quasi uniforme tra i Paesi asiatici, europei e nordamericani; il mercato mondiale, sollecitato da queste nuove tecnologie dovrebbe raggiungere, secondo la National Science Foundation (NSF) americana, i 1.000 miliardi l'anno nel 2010 ⁽⁷⁾. Il treno delle nanotecnologie è dunque partito; tuttavia, si ignora ancora tutto sull'impatto che queste tecnologie potranno avere sulla salute ⁽⁸⁾. Cosa succede quando i nanotubi di carbonio dispersi nell'aria vengono inalati o quando particelle di ossidi di titanio vengono applicate sulla pelle come schermo solare? I nanomateriali non costituiscono un gruppo omogeneo di sostanze: le particelle, infatti, possono variare per dimensione, forma, superficie, composizione chimica o persistenza biologica, ma in ogni caso esse sono sempre molto reattive.

Lo studio dei rischi nuovi, che emergono nel mondo del lavoro, è stato oggetto di attenzione in questi ultimi anni ⁽⁹⁾; molte ricerche hanno monitorato, ai fini di una migliore prevenzione, sia le nuove tendenze degli incidenti sul lavoro, sia e soprattutto le malattie professionali. Ad esempio, l'Osservatorio europeo del Rischio ha pubblicato nel 2009 uno studio sui rischi nuovi ed

⁽⁷⁾ LE MAROIS G., DOMINIQUE CARLAC'H D., *Les nanomatériaux au cœur de la galaxie nano*, in "Les Nanotechnologies", Les Annales des Mines, serie "Réalités industrielles", febbraio 2004.

⁽⁸⁾ *Nanomonde: et si l'on parlait de sécurité sanitaire*, in CIOLELLA A., BROWAEYS D., *Alertes Santé, Experts et citoyens face aux intérêts privés*, Parigi, Fayard, 2005. Si legga anche *Nanotechnologies: une analyse préliminaire des risques*, disponibile su http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/events_risk_en.htm.

⁽⁹⁾ Rapporto III(1B) alla Conferenza Internazionale del Lavoro, giugno 2009 – *General Survey concerning the Occupational Safety and Health Convention*, 1981 (n. 155), the Occupational Safety and Health Recommendation, 1981 (n. 164) and the Protocol of 2002 to the Occupational Safety and Health Convention, 1981 in: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---relcont/documents/meetingdocument/wcms_103485.pdf.

emergenti sul lavoro nell'Unione europea ⁽¹⁰⁾, che possono essere originati dalle innovazioni tecniche o da cambiamenti sociali o aziendali, rilevando tre gruppi di novità, che condizionano i rischi di malattie e di incidenti: 1) le nuove tecnologie e i nuovi processi di produzione, le nanotecnologie e le biotecnologie; 2) le nuove condizioni di lavoro, quali carichi di lavoro più elevati, più lavoro a causa di una riduzione del personale, cattive condizioni associate alla migrazione in cerca di lavoro e lavoro nell'economia informale; 3) le nuove forme d'impiego, tra cui la libera professione, l'esternalizzazione, i contratti a termine,

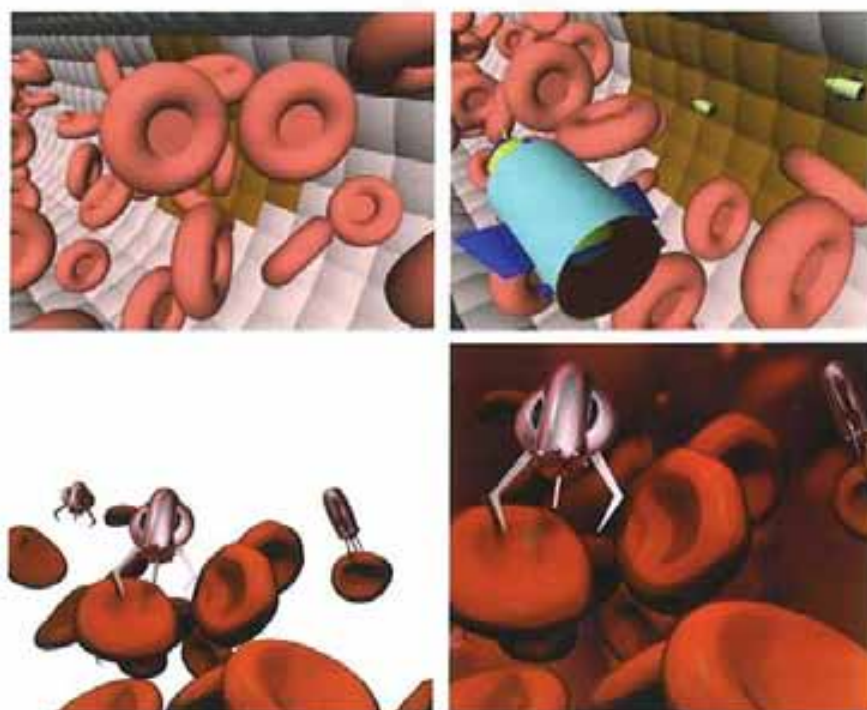


Fig. 11.4 – Utilizzo di nanorobot per ottimizzare l'assorbimento dei farmaci all'interno del corpo umano

⁽¹⁰⁾ *New and emerging risks in occupational safety and health*, Osservatorio europeo del Rischio, Agenzia europea per la Sicurezza e l'Igiene del Lavoro, dicembre 2009, http://osha.europa.eu/en/publications/outlook/en_te8108475enc.pdf.

Il fatto è che, a livello mondiale, sempre più si riscontrano preoccupazioni sui rischi, prima non avvertiti, che comportano le nuove tecnologie, i nuovi processi operativi, i cambiamenti strutturali e i nuovi materiali, timori per danni, pericoli o eventuali perdite che potrebbero essere causati dai nanomateriali. Solitamente oggi le nuove scoperte vengono applicate e prodotte dall'industria prima ancora che siano stati studiati e che siano ben chiari i loro effetti sulla salute e sulla sicurezza. Con la globalizzazione del mercato mondiale e la vertiginosa crescita di molti Paesi, i cambiamenti tecnologici e produttivi investono contemporaneamente sia i Paesi sviluppati che quelli in via di sviluppo; così i nuovi processi di produzione, che fanno uso di nanotecnologie e di biotecnologie, investono sempre più il nostro pianeta, incuneandosi nei settori della sanità, delle biotecnologie, della produzione di energia pulita, delle comunicazioni, della chimica, dell'industrie elettroniche e militari, dell'agricoltura e dell'edilizia; si prevede che entro il 2020 il 20% circa di tutti i prodotti fabbricati nel mondo impiegheranno una certa quota di nanotecnologia. Tuttavia, i rischi di questa tecnologia emergente, associati alla produzione e all'utilizzo di nanomateriali, sono per lo più sconosciuti e non sono valutabili. Inoltre, dato l'uso intensivo e altamente diversificato che l'industria fa dei nanomateriali, è difficile effettuare una stima del numero di lavoratori esposti; anche se si sa poco sull'impatto di questi nuovi materiali sulla salute e sull'ambiente, è probabile che siano i lavoratori i primi ad esservi esposti in modo rilevante.

Molti Stati, diverse amministrazioni pubbliche, enti di ricerca, consorzi industriali e associazioni private, interessati alla tutela della salute e dell'ambiente, alla ricerca sulle nanotecnologie, alla produzione e al commercio di nanoprodotto, hanno istituito task force nazionali e industriali per valutare l'impatto che i nanomateriali possono determinare sulla salute umana e sull'ambiente, in modo da classificare i rischi e valutarne le implicazioni normative. Molte ricerche sono in corso; ad esempio, il Consiglio dell'OCSE ha istituito un gruppo di lavoro sui "Nanomateriali di Fabbricazione" per studiare le pratiche dei Paesi membri sulla sicurezza dei nanomateriali e per definire la necessaria metodologia di valutazione. Enti regolatori, come l'Agenzia per la Protezione Ambientale negli USA e la Direzione

per la Tutela della Salute e dei Consumatori per la Commissione europea, hanno in corso indagini sui potenziali rischi delle nanoparticelle, in modo da poterli comprendere e gestire efficacemente; inoltre, un team di esperti per l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Istruzione, la Scienza e la Cultura (UNESCO) sta valutando gli aspetti etici delle nanotecnologie. Ma vediamo quali sono i principali rischi ad oggi rilevabili.

Innanzitutto, l'impiego dei nuovi materiali può comportare *rischi biologici*, in quanto essi possono colpire i lavoratori di vari settori: gli operatori nel campo della sanità e della gestione per le emergenze e i soccorsi, i conduttori agricoli, gli addetti allo smaltimento di rifiuti, i lavoratori delle industrie biotecnologiche. Negli ultimi decenni sono diventati più evidenti alcuni rischi, come le nuove malattie infettive SARS e l'influenza H1N1, le malattie infettive resistenti ai farmaci, come la tubercolosi e la malaria, la continua epidemia di HIV/AIDS, malattie che comportano rischi gravi per gli operatori del settore sanitario, particolarmente esposti nei casi in cui la forma di trasmissione della malattia non è ben compresa e nei casi in cui gli equipaggiamenti di protezione personale sono inadeguati o indisponibili; anche la gestione dei rifiuti infettivi può porre seri problemi alla salute degli operatori, in quanto possono essere compresi oggetti taglienti o acuminati, come siringhe e bisturi.

Anche gli agricoltori e gli allevatori possono essere esposti a rischi biologici: l'esposizione ad agenti, quali microbatteri, leptospirosi, *bacillus anthracis* e allergeni biologici, nel lavoro agricolo è molto diffusa nei Paesi in via di sviluppo; inoltre, in agricoltura si è spesso esposti a organismi resistenti agli antimicrobici, agli escrementi animali e alle endotossine associate a vari tipi di allevamenti al chiuso. Secondo l'OMS, metà della popolazione mondiale rischia di essere infettata dalla malaria, una delle prime dieci cause di mortalità nei Paesi a basso reddito: si stima che 243 milioni di casi hanno portato a 863.000 decessi nel 2008; inoltre, per l'industria biotecnologica è stato rilevato che può essere particolarmente a rischio chi lavora allo sviluppo di nuovi prodotti e di organismi geneticamente modificati. Molte autorità governative impongono *iter* di approvazione severissimi, prima di poter intraprendere tali attività; ma se le lavorazioni sono esternalizzate a Paesi dalle normative meno

severe, come potrà verificarsi più spesso in futuro, risulterà più difficile non solo valutare il rischio, ma anche controllare la produzione.

Oltre a quelli di natura biologica, anche gli *agenti chimici* sono largamente impiegati con effetti sia positivi che negativi tanto sulla salute umana quanto sull'ambiente. Nonostante i significativi progressi conseguiti nella regolazione e nella gestione di tali agenti, a livello internazionale e nazionale, quello chimico rimane comunque un settore a rischio per la salute dei lavoratori. L'uso di sostanze allergene, sensibilizzanti, cancerogene e mutagene, e di sostanze tossiche per il sistema riproduttivo è causa di crescente preoccupazione: molti pesticidi possono provocare il cancro, mettere a repentaglio la capacità riproduttiva e influire negativamente sul sistema nervoso, immunitario o ormonale; piombo, mercurio e altri metalli pesanti, così come i pesticidi, non sono sotto stretto controllo in molti Paesi in via di sviluppo. Nell'ultimo ventennio è cresciuto enormemente il numero degli agenti chimici impiegati nell'industria, molti dei quali non sono stati adeguatamente testati; ma non essendo possibile testare sistematicamente tutti i nuovi materiali, può darsi che non ci si accorga dei rischi fino a quando non si ravviseranno pericoli, minacce o fatti dannosi per la salute umana e per l'ambiente. Ad oggi esistono molti esempi di impatti per esposizioni note ad agenti misti, come i pesticidi multipli, i fumi di gasolio o di altri carburanti, le miscele di solventi; ma siamo ancora abbastanza lontani dal comprendere il potenziale impatto di esposizioni chimiche miste e la loro possibile interazione con esposizioni di natura non lavorativa, come il fumo di sigaretta.

Ne consegue che, ai fini della sicurezza chimica, è importante stabilire un idoneo sistema nazionale, non solo per valutare e per classificare gli agenti chimici, ma anche per assicurare che produttori e importatori informino correttamente gli utenti con etichette e schede, contenenti dati sulla sicurezza chimica. Per una migliore prevenzione sul lavoro, tali informazioni dovrebbero comprendere rischi e precauzioni di sicurezza, comprese le misure di controllo e di emergenza, oltre ai requisiti di legge a livello nazionale; i lavoratori dovranno essere adeguatamente informati sui rischi potenziali e dovrebbero essere effettuati opportuni controlli tecnici per limitare la loro esposizione; se

necessario dovranno essere messi a disposizione dispositivi di protezione individuale, anche se in genere questa misura viene considerata come estrema *ratio*, dopo l'adozione di altre precauzioni per limitare i rischi; infine, dovrà puntarsi su di un'efficace gestione degli agenti chimici, per evitarne gli effetti dannosi, e ogni prodotto chimico dovrà essere opportunamente identificato prima di arrivare sul mercato.

È qui da segnalare che gli studi sperimentali sulle nanoparticelle di carbonio (PNC) sono ancora agli esordi ⁽¹¹⁾; tuttavia Achille Marconi dell'Istituto Superiore di Sanità riferisce come alcuni risultati preliminari indichino un'attività tossica, differenziata in relazione alla specifica forma, analogamente con quanto si conosce sulle fibre minerali. Infatti, i nanotubi di carbonio a singola parete, instillati nei polmoni di animali, hanno prodotto fibrosi, granulomi e tossicità nell'interstizio polmonare, con effetti infiammatori più o meno transitori. Nei luoghi di lavoro, l'esposizione a nanoparticelle è connessa alle lavorazioni finalizzate alla loro produzione, al loro utilizzo e alle lavorazioni che comportano la produzione dei "nano-sottoprodotti", i più diffusi sono: ad esempio, la saldatura e il taglio termico, l'impiego di motori diesel, la brasatura, la smerigliatura e la fusione di metalli che producono particelle ultrafini (PUF). Queste nanoparticelle possono essere assorbite dal corpo umano per inalazione, per ingestione e per via dermica; nei luoghi di lavoro, la via di esposizione principale è quella inalatoria. Il loro comportamento biologico dipende da numerose caratteristiche, tra cui le dimensioni, la biosolubilità, l'area superficiale e la reattività.

Pertanto, una corretta valutazione dell'esposizione ai PNC e alle PUF ⁽¹²⁾ dovrà tener conto della massa delle nanoparticelle, della loro caratterizzazione, del numero, della distribuzione

⁽¹¹⁾ Queste nanoparticelle re-ingegnerizzate o costruite (PNC) sono il prodotto delle nanotecnologie, cioè derivano dalla produzione, ricerca e applicazione di strutture e materiali a scala nanometrica. MARCONI A. (2007), *Nanoparticelle e nanotecnologie: una nuova frontiera di ricerca multidisciplinare incentrata sulle implicazioni sanitarie*, in "Notiziario dell'Istituto Superiore di Sanità", 2009, pp. 13-17.

⁽¹²⁾ Le PUF sono nanoparticelle che derivano da processi di cottura e che combustione e vengono più propriamente denominate *particelle ultrafini*.

dimensionale e dell'area superficiale; inoltre, occorre considerare che le nanoparticelle tendono a formare aggregati che, una volta inalati e depositati all'interno degli alveoli polmonari, possono disaggregarsi e mobilitarsi singolarmente. Tutti questi fattori pongono rilevanti problemi tecnici sui metodi di prelievo e di quantificazione delle particelle nanometriche; ciò condiziona fortemente la corretta valutazione del rischio e, pertanto, le nanoparticelle comportano un rischio lavorativo possibile ma di difficile indagine, proprio per quanto sin qui detto e perché ancora le attività e i prodotti non sono disciplinati da una specifica normativa. Comunque l'attenzione rimane alta, grazie anche al principio di precauzione da tutti adottato, di cui parleremo in seguito, dato che diverse istituzioni governative e non governative hanno avviato ricerche e progetti a ciò mirati.

Già nell'ottobre 2004 l'HSE e il NIOSH hanno organizzato il Primo Simposio Internazionale sull'Impatto dei Nanomateriali sulla Salute Occupazionale, nelle cui conclusioni sono riportate raccomandazioni per emanare norme che regolino il controllo dell'esposizione ai nanomateriali ⁽¹³⁾. Anche l'Unione europea ha posto grande attenzione alle nanotecnologie e ai rischi associati, sia ambientali che lavorativi; in particolare, con la Comunicazione 338 del 2004, una Commissione ha preso atto di come le nanotecnologie rappresentino, oggi, una nuova sfida per valutare e gestire i rischi, dato che, per certi versi, la manipolazione di una sostanza, che ricorre alle nanotecnologie, equivale a creare un nuovo prodotto chimico. Nell'ottica di garantire un elevato livello di protezione della salute pubblica, della sicurezza, dei lavoratori, dell'ambiente e dei consumatori, la Commissione europea ha sottolineato la necessità di attuare una molteplicità di azioni, tra cui quella di sostenere la produzione di dati tossicologici ed ecotossicologici, di valutare l'esposizione potenziale dell'uomo e dell'ambiente, e ha invitato gli Stati membri ad adeguare, se necessario, i metodi di valutazione del rischio, per tener conto delle specificità delle applicazioni basate sulle nanotecnologie. In particolare con *Nanoscienze e nanotecnologie*:

⁽¹³⁾ <http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/>.

un piano d'azione per l'Europa 2005-2009 ⁽¹⁴⁾, la Commissione ha ravvisato l'opportunità di effettuare adeguate valutazioni dei rischi *ex ante* e di elaborare in anticipo procedure di gestione dei rischi, prima di avviare, ad esempio, la produzione dei nanomateriali.

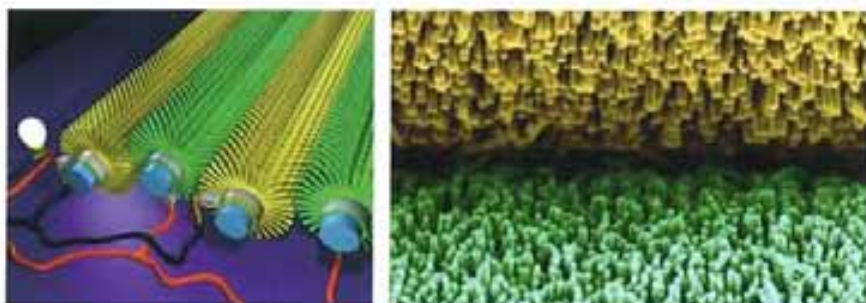
Uno studio pubblicato su Environmental Science & Technology nel 2005 ha dimostrato come le nanoparticelle di zinco fossero tossiche per le cellule umane dei polmoni, anche a basse concentrazioni; altri studi riferiscono che le nanoparticelle di argento uccidono le cellule del fegato e del cervello nei ratti. "Queste particelle così infinitesime sono più reattive e bioattive, e possono penetrare facilmente negli organi e nelle cellule. I consumatori dovrebbero almeno essere avvertiti dall'etichetta sulla presenza di queste sostanze. Inoltre la loro presenza nei prodotti alimentari è probabilmente sottostimata" ⁽¹⁵⁾. I ricercatori dell'Università di Bristol hanno pubblicato su Nature Nanotechnology i risultati di uno studio ⁽¹⁶⁾, secondo cui le nanoparticelle danneggiano il DNA di cellule *in vitro* esposte a tali sostanze, con conseguenze estremamente negative, come ad esempio il cancro: lo sostiene l'American Association for Cancer Research, basandosi su un altro studio condotto all'Università del Massachusetts ⁽¹⁷⁾. Ed è proprio uno degli autori dello studio, Sara Pacheco, a dirsi "estremamente preoccupata perché di continuo sempre nuove nanoparticelle vengono sviluppate senza una regolamentazione".

⁽¹⁴⁾ Ulteriori materiali e informazioni sono disponibili nel sito dedicato <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/home.html>.

⁽¹⁵⁾ www.nanotechproject.org/inventories/consumer/.

⁽¹⁶⁾ Vedi: www.physorg.com/news176657350.phpl.

⁽¹⁷⁾ www.aacr.org/home/public-media/aacr-press-releases/press-releases-2007.aspx?d=748.



Figg. 11.5 – I nanofili piezoelettrici messi a punto dal team del professor Zhong Lin Wang, presso il Georgia Institute Of Technology, in grado di trasformare i più piccoli movimenti, dal soffio del vento al battito cardiaco, in energia elettrica

Nel 2007 l'Environmental Protection Agency ha pubblicato un comunicato stampa ⁽¹⁸⁾, asserendo che era riuscita a delineare "una nuova strategia di ricerca per capire meglio come i nanomateriali prodotti possano nuocere alla salute umana e all'ambiente". Infatti, molte aziende pubblicizzano l'uso di tali componenti su scale di un milionesimo di metro come metodi validi consolidati, il che implica che gli ingredienti ultra-piccoli sarebbero una cosa intrinsecamente buona. Essi non lo sono, né le dimensioni fanno necessariamente questi materiali peggiori di altri. A questo punto è proprio imprevedibile ciò che le nanotecnologie faranno. I fautori delle nanotecnologie sono molto critici verso le misure di regolamentazione che possono intralciare la loro progressione; molti di questi critici hanno fermamente respinto le preoccupazioni come ingannevoli, esagerate e angosciante teorie, basate sulla fantascienza.

I nanotubi di carbonio sono in fase di sperimentazione in molte applicazioni tecnologiche, grazie alle loro proprietà elettriche e meccaniche. La forma cilindrica è però simile a quella delle fibre di amianto; ed è proprio questa somiglianza strutturale ad aver spinto il tossicologo Ken Donaldson e un gruppo di ricercatori del Dipartimento di Tossicologia Respiratoria all'Università di Edimburgo in Gran Bretagna, a verificare se,

⁽¹⁸⁾ ALTIERI G., *La nanotecnologia è un rischio per la salute? Sì! Specie i vaccini nanotecnologici!*, in "Panorama", n. 47, 22 novembre 2007.

come succede per le fibre di minerali appartenenti al gruppo dei silicati, possa provocare formazioni cancerogene nello strato cellulare che ricopre la superficie del torace e della cavità addominale. Il Donaldson ha effettuato, così, alcune comparazioni tra tipologie di nanotubi di diverse dimensione e le fibre di amianto, scoprendo che i nanotubi lunghi e a parete multipla possono determinare l'inibizione delle cellule macrofaghe del sistema immunitario, con la conseguente formazione di lesioni nei polmoni delle cavie. Analoghe evidenze, tuttavia, non sono state riscontrate per quanto riguarda i nanotubi più piccoli: fatto, questo, che a detta dello stesso Donaldson rende necessari altri approfondimenti, prima di poterne denunciare la reale pericolosità. Afferma Andrew Maynard, coautore della ricerca: "Il nostro studio servirà a garantire la sicurezza e lo sviluppo responsabile delle nanotecnologie [...] Se, da una parte, non è possibile pensare di non sfruttare le incredibili opportunità offerte dai nanotubi, dall'altra non si deve ripetere l'errore commesso in passato proprio con l'amianto" ⁽¹⁹⁾.

Nell'ottobre 2009 l'Ufficio Federale Tedesco per l'Ambiente (UBA) ha pubblicato uno studio sulle nanoparticelle ⁽²⁰⁾, secondo cui sono già 800 le aziende tedesche che le inseriscono nei loro prodotti; ma cosa succede quando delle particelle mille volte più piccole del diametro di un capello penetrano nel nostro corpo? Gli effetti sull'organismo non sono ancora chiari, ma nel frattempo l'UBA consiglia di evitare l'utilizzo di prodotti che contengono e che possono liberare nanoparticelle; siccome queste sostanze vengono inserite in un crescente numero di prodotti, l'Ufficio Federale richiede una scritta sull'etichetta per informare l'utente. La nota marca Lancôme ha ritirato alcuni prodotti dal mercato. I rischi per l'ambiente sono ancora sconosciuti, ma non sono da escludere: ad esempio, le nanoparticelle vengono inserite nelle calze per uccidere i batteri, riducendo così gli odori; ma ad ogni lavaggio una parte delle nanoparticelle presenti nei calzini finisce nelle acque di scarico, dove però sono

⁽¹⁹⁾ Tratto da www.galileonet.it, del 30 marzo 2009.

⁽²⁰⁾ ZOJA E., *Nanoparticelle ovunque, quali rischi per la salute e l'ambiente?*, in http://www.terranauta.it/a1512/salute_e_alimentazione/nanoparticelle_ovunque_quali_rischi_per_la_salute_e_l_ambiente.html.

controproducenti, in quanto la presenza di batteri è necessaria per decomporre sostanze indesiderate. Non è poi chiaro cosa succeda quando le nanoparticelle entrano nel concime e successivamente nelle piante. Ma se da una parte l'UBA sconsiglia di comprare calze che promettono di rimanere inodori, dall'altra i cinesi bevono orgogliosamente il *nano-milkshake* e il *nano-tè*, prodotti che non hanno molta probabilità di arrivare in Europa, dato che l'Unione europea consente l'uso di nanomateriali solo in casi di dimostrata necessità; inoltre un decreto dell'UE prevede la contrassegnazione di tutti i nanocosmetici entro il 2012. È stato osservato che l'accumulo di nanomateriali nel nostro corpo, in particolare nei polmoni, nella milza e nel fegato, è già iniziato da tempo e non sappiamo quali complicazioni determineranno.

Di recente, un ennesimo allarme sulle nanotecnologie è stato lanciato in occasione dell'ottava edizione della Conferenza Internazionale LOHA su salute, sicurezza ambientale e lavoro, organizzata dall'AIDII (Associazione Italiana degli Igienisti Industriali) con INAIL e ISPESL, tenutasi a Roma dal 28 settembre al 2 ottobre 2010, all'Università Urbaniana ⁽²¹⁾. Come spiega Sergio Lavicoli, direttore del Dipartimento di Medicina del Lavoro dell'ISPESL, "i nuovi cicli tecnologici causeranno anche nuove esposizioni dei lavoratori impegnati nelle produzioni". Non a caso il 2009 è stato un anno record per le malattie professionali in Italia, con più di 34.000 denunce; il dato è dell'INAIL e deve farci riflettere. Secondo Michele Casciani, presidente dell'AIDII e organizzatore del Convegno, "troppo spesso ci si preoccupa del numero degli infortuni, trascurando le malattie professionali, che sono in aumento proprio perché esposte a nuove insidie nei sistemi di lavoro e produzione, come le nanotecnologie. Per fortuna l'Italia e i nostri ricercatori sono all'avanguardia in campo internazionale sui temi dell'ambiente e della salute, e la nostra conferenza lo ha testimoniato ampiamente".

Per gli esperti intervenuti alla Conferenza, il 30% delle denunce di malattie professionali riguarda le ipoacusie e quelle

⁽²¹⁾ GIANNI M.P., *L'invasione delle nanoparticelle: ultimo rischio per la nostra salute*, in "Il Giornale", lunedì 4 ottobre 2010, p. 17.

causate da amianto e silicio; non mancano le nuove patologie muscolo-scheletriche e quelle legate allo stress. Altro dato allarmistico: uno studio sull'inquinamento acustico, secondo il quale il rumore urbano, associato ad aeroporti o al traffico delle auto, fa aumentare la pressione sanguigna, le malattie cardiovascolari e il rischio d'infarto. Per dirimere questa guerra tra ambientalisti e fautori della tecnologia presto sarà pronto un d.m. per censire le aziende che utilizzano nanostrutture sul territorio nazionale. C'è da confidare nella norma sulle responsabilità sociale delle imprese, la ISO 26000, che ha raccolto il più ampio consenso internazionale da parte degli scienziati e che fornirà alle organizzazioni pubbliche e private una guida armonizzata e universalmente applicabile alle pratiche di responsabilità sociale.

Ottimismo, pessimismo e raccomandazioni diverse. In un articolo intitolato *Nanotecnologie: facciamo attenzione a dove stiamo andando?*, che presenta i lavori tossicologici realizzati su nanooggetti, il tossicologo americano Ernie Hood riporta risultati preoccupanti ⁽²²⁾: come alcune reazioni infiammatorie nei tessuti polmonari esposti a nanoparticelle di carbonio, studiate dal ricercatore Günter Oberdörster dell'Università di Rochester negli Stati Uniti da cui emergono due timori: 1) le nanopolveri, estremamente sottili, possono diffondersi in tutti gli spazi del corpo, alveoli polmonari, sangue e attraversare la barriera emato-encefalica che protegge il cervello, mentre le nanoparticelle di oro possono *oltrepassare* la barriera placentare e così trasportare dei composti dalla madre al feto; 2) la forma dei nanoprodotto può provocare effetti tossici, così come le fibre di amianto, mentre i nanotubi di carbonio potrebbero fissarsi negli alveoli polmonari e provocare tumori; i nanotubi già commercializzati sembrano avere effetti infiammatori tanto più gravi quanto meno sono purificati. Ciò che complica la caratterizzazione degli eventuali impatti sanitari è che non si conoscono

⁽²²⁾ *Environmental Health Perspectives*, vol. 112, n. 13, settembre 2004, National Institute of Environmental Health Sciences, Arley (Carolina del Sud), settembre 2004; <http://ehp.niehs.nih.gov/cgi-bin/simpleprint.pl>.

con precisione i nanoprodotto che vengono fabbricati, composti spesso da un miscuglio di nanofibre e nanoparticelle, o da diversi catalizzatori quali l'alluminio e il ferro.

La fisica inglese Ann Bowling, che ha diretto il rapporto della Royal Society e della Royal Academy of Engineering, dedicato alle nanotecnologie e pubblicato nel luglio 2004, ha chiesto agli industriali di "restringere le esposizioni ai nanotubi, di divulgare i test tossicologici in loro possesso e di fare ricerche approfondite per studiare gli impatti biologici" ⁽²³⁾. Per ora, una ventina di società nel mondo sviluppano già una produzione pilota di nanotubi di carbonio, prendendo precauzioni varie: "Lavoriamo in tuta, incappucciati sotto atmosfera depressurizzata e sotto cappa", spiega Pascal Pierron, dirigente della Società Nanoledge con sede a Montpellier, mentre la direzione del settore ricerca della Saint-Gobain pensa di bloccare i lavori considerati troppo rischiosi; di contro, Patrice Gaillard, responsabile per Arkema del progetto nanotubi e responsabile di un progetto pilota a Pau, nel gennaio 2005 annunciava: "nel 2007 inizieremo a produrne molte centinaia di tonnellate l'anno" ⁽²⁴⁾. Anche alcuni centri di ricerca britannici hanno affrontato il problema, fornendo diverse raccomandazioni; gli autori del rapporto hanno chiesto di evitare la disseminazione di nanoparticelle e di nanotubi, ma anche di raccogliere dati sugli effetti tossici, bioaccumuli ed esposizione specifica delle popolazioni in ambienti diversi, di raccomandare e di sensibilizzare i ricercatori e il personale di laboratorio sui rischi etici e sociali, coinvolgendo i cittadini, di intervenire sul piano legislativo, per un adeguato controllo sulle nanotecnologie. Ma il problema si presentava complesso e delicato, visto quanto era difficile, per il settore della chimica, repertoriare gli effetti tossici; infatti, alcune richieste del Regolamento europeo REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals) di cui si parlerà in seguito, relative alla valutazione dell'incidenza su salute o ambiente su trentamila sostanze chimiche (cioè sul 30%

⁽²³⁾ Dalla Conferenza tenuta il 26 maggio 2005 sul tema "Le développement responsable des nanotechnologies", presso l'Ambasciata della Gran Bretagna a Parigi.

⁽²⁴⁾ La dichiarazione è stata fatta nel corso del Seminario dell'Observatoire des Micro et Nanotechnologies del 27 gennaio 2005 a Parigi.

dell'insieme dei prodotti industriali), sono state riviste al ribasso, presumibilmente per volontà delle varie *lobby*.

Infatti, i criteri di autorizzazione delle sostanze, che si basano unicamente sulla descrizione della composizione chimica dei prodotti, dovranno essere profondamente rivisti, perché è l'organizzazione spaziale degli elementi atomici nei nanomateriali che può scatenare effetti biologici e cancerogeni. Le Società di assicurazione, peraltro, rilevano quanto sia grande l'incertezza e quindi il rischio: nel 2004, la Compagnia Swiss-Re ha messo in guardia contro la corsa alle nanotecnologie, ricordando "la natura imprevedibile dei rischi che possono comportare e le perdite ricorrenti e cumulative che possono produrre" ⁽²⁵⁾. Anche i lobbisti si rendono conto del rischio che un "incidente che implichi nanoparticelle scateni un riflesso difensivo non solo nei confronti del materiale in questione, ma forse anche rispetto alle nanotecnologie in generale" ⁽²⁶⁾; e dato che sono già stati effettuati investimenti colossali, tutti vogliono credere che i rischi siano minimi e soprattutto controllabili.

Alla Rice University di Houston negli Stati Uniti, centro nevralgico per la tematica sull'impatto delle nanotecnologie, la ricercatrice Kristen Kulinowski si è dichiarata ottimista: "Se riusciamo a controllare le proprietà di superficie, potremo evitare gli effetti tossici"; così anche Sean Murdock, direttore dell'organizzazione industriale americana NanoBusinessAlliance, il quale riconosce che "i rischi ci sono, sono reali, ma sono gestibili". È vero che a livello europeo e americano sono stati avviati moltissimi programmi sui rischi sanitari, ma è certo che questi non andranno oltre il 6% del budget nano. Alcuni, come il sociologo Francis Chateauraynaud, si interrogano sulle possibili convergenze tra biotecnologie, fisica, chimica, informatica e scienze cognitive: "Resta da sapere se tutte queste operazioni non coabitino fondamentalmente per la sola magia della parola e per la garanzia offerta dai discorsi ufficiali", afferma nel suo rapporto *Nanosciences e Tecnoprofezie* ⁽²⁷⁾; altri, al

⁽²⁵⁾ *Nanotechnology: Small matter, many unknowns*, Zurigo, Swiss Reinsurance Company, 2004, in: <http://www.swissre.com>.

⁽²⁶⁾ *Nouvelle Cordis*, 8 luglio 2005; <http://dbs.cordis.lu>.

⁽²⁷⁾ CHATEAURAYNAUD F., *Nanosciences et Technoprophéties. Le nanomonde dans la matrice des futurs*, Parigi, Gspr-Ehess, aprile 2005.

contrario, parlano di BANG, acronimo di Byte, Atomi, Neuroni e Geni, per designare questo confronto interdisciplinare, che potrebbe consentire fenomeni di auto-organizzazione o di replicazione.

Per alcuni ricercatori si aprono orizzonti lontani, ignoti e imprevedibili. All'affascinante prospettiva, gli americani assegnano l'obiettivo di *migliorare le performance umane*. In un rapporto sulle Nano-Bio-Info-Cogniciences (NBIC), apparso nel giugno 2002, la NSF descrive le tecnologie convergenti come un mezzo per "consentire a livello universale il benessere materiale e spirituale, l'interazione pacifica e mutuamente vantaggiosa tra esseri umani e macchine intelligenti, la completa scomparsa di ostacoli alla comunicazione generalizzata, in particolare quelli che nascono dalla diversità delle lingue, l'accesso a fonti di energie inesauribili, la fine delle preoccupazioni legate alla degradazione ambientale" (28). Un tale obiettivo si alimenta con una potente "economia della promessa" e, ideologicamente, è iscrivibile nella corrente trans-umanista, sostenuta da uno degli autori, William Sims Bainbridge, sociologo delle religioni e direttore dell'informazione e dei sistemi di controllo per la NSF. Tale movimento trans-umanista difende la libertà nell'uso di droghe e di medicinali, la crio-conservazione dei corpi, il doping genetico o cerebrale; impiega la tecnica come panacea per risolvere problemi sociali e umani, sempre più medicalizzati.

A fronte di tali problematiche posizioni, assunte ufficialmente da ricercatori americani, nel settembre 2004 la Comunità europea ha pubblicato una "risposta" in un rapporto dal titolo *Tecnologie convergenti per una Società europea della Conoscenza* (29), i cui autori sostengono che le nanotecnologie devono avere finalità umane e non economiche, contribuire a costruire la "società della conoscenza, facilitare i trasporti e creare *collaboratori* a servizio

(28) ROCO M.C., SIMS BAINBRIDGE W. (a cura di), *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive Science*, Arlington (Virginia), National Science Foundation, giugno 2002.

(29) NORDMANN A., *Converging technologies: Shaping the future of european societies*, Commissione europea, 26 luglio 2004. Si veda anche BIBEL W., ANDLER D., DA COSTA O., KÜPPERS G., PEARSON I., *Converging technologies and the natural, social and cultural world*, Commissione europea, 26 luglio 2004.

dell'interesse generale". Bernadette Bensaude-Vincent, docente di filosofia delle scienze a Paris X e autrice di una riflessione sui fantasmi che si aggirano attorno alle nuove tecnologie ⁽³⁰⁾, insiste sull'ambivalenza degli scienziati, che sostengono di controllare i propri prodotti nello stesso momento in cui ricercano sostanze inedite, incontrollate e incontrollabili, e reputa urgente ragionare sul possibile e valutare gli effetti dei nanoprodotto che sono ancora virtuali, cioè non ancora realizzati.

Questa *fiction*, che abbiamo menzionato e che crea degli scenari in presa diretta, con i discorsi di ricercatori visionari, ottimisti, pessimisti o catastrofisti, è significativa del dibattito culturale di questi ultimi anni. Così, è stata minacciata la creazione di nanorobot, di impianti o macchine auto-organizzati e auto-replicanti, che abbiamo visto ingannare gli assemblatori e riprodursi in *Engines of Creation* di Eric Drexler, o riuscire a prendere il controllo del cervello di un ipotetico avversario per una distruzione telecomandata, come nel romanzo *L'Age du diamant* di Neal Stephenson, o ancora trasformarsi in una "gelatina grigia", che divora tutto in *Preda* di Michael Crichton ⁽³¹⁾. Di fronte ai rischi etici e sanitari, l'associazione canadese Erosione, Tecnologia e Concentrazione (ETC Group) ha chiesto la costituzione di una Convenzione Internazionale per la Valutazione delle Nuove Tecnologie (ICENT) sotto l'egida delle Nazioni Unite. In un rapporto sulla nanogeopolitica, apparso nel luglio 2009, Pat Mooney, direttore del citato gruppo, ha sostenuto che bisogna porre fine al "ciclo di crisi" e concepire con l'ICENT "un sistema di allarme o di controllo preventivo, capace di testare qualsiasi nuova tecnologia importante" ⁽³²⁾; aveva già lanciato l'allarme sui brevetti che, nel campo delle nanotecnologie, possono inevitabilmente scivolare verso "l'accaparramento, da parte di alcune industrie private, degli elementi costitutivi della materia".

Sviluppandosi senza un ampio, partecipato e adeguato dibattito, le nanotecnologie corrono il grosso rischio di essere

⁽³⁰⁾ BENSAUDE-VINCENT B., *Se libérer de la matière? Fantômes autour des nouvelles technologies*, Inra coll., in "Sciences en questions", Parigi, 2004.

⁽³¹⁾ STEPHENSON N., *L'Age de diamant*, Parigi, Rivages/Futur, marzo 1996; CRICHTON M., *Preda*, Milano, Garzanti, 2003.

⁽³²⁾ Vedi: http://www.odontotecnicanaturale.it/forum/topic.asp?TOPIC_ID=962.

ostacolate dai movimenti di contestazione, come a Grenoble, dove l'ex-giornalista di *Actuel*, Yannick Blanc, promotore del gruppo *Pièces et Main d'Oeuvre* (PMO), denuncia l'espropriazione tecnologica; infatti, seguendo l'esempio della strategia di seduzione del pubblico, già utilizzata con gli organismi geneticamente modificati (OGM), sempre più spesso si tesse l'elogio delle nanotecnologie al servizio dei Paesi sottosviluppati ⁽³³⁾. Di contro, in proposito è da dire, come rilevato da qualche parte, che i produttori dei Paesi in via di sviluppo potrebbero essere svantaggiati dalla sostituzione di prodotti naturali, come il caucciù, il cotone, il caffè e il tè, a causa degli sviluppi attuati in nanotecnologia; questi prodotti naturali sono importanti per l'esportazione nei Paesi in via di sviluppo, e molti agricoltori che vivono in un'economia di sussistenza dipendono da essi. È stato sostenuto che la loro sostituzione con nanoprodotto industriali potrebbe avere un impatto negativo sulle economie dei Paesi in via di sviluppo, tradizionalmente dipendenti da queste coltivazioni di esportazione.

Molti dei punti critici fin qui menzionati sono stati trattati nella piattaforma intergovernativa, fondata nel giugno 2004 ad Alexandria in Virginia, per volontà della NSF e del Meridian Institute; in questa occasione, circa sessanta rappresentanti di venticinque Paesi, tra cui Cina, Giappone, Russia, Australia, Israele, India e Sudafrica, si sono riuniti per costituire un Ufficio consultivo internazionale per una nanoscienza responsabile. Françoise Roure, rappresentante per la Francia, nel febbraio 2005 ha consegnato ai Ministri dell'industria e della ricerca un rapporto, scritto insieme al filosofo Jean-Pierre Dupuy, intitolato *Éthique et Prospective Industrielle*, dove ha proposto diverse raccomandazioni, tra cui la necessità di un osservatorio europeo per i fenomeni sociali che le nanotecnologie comportano. Tra le raccomandazioni: "I modelli di società, con i loro valori, il senso degli obiettivi che si danno e le priorità e i limiti che si fissano, sono vulnerabili alla meta-convergenza industriale. La trasformazione artificiale della natura ha mostrato i limiti della

⁽³³⁾ SINGER P.A., *Nanotechnology and the developing world*, San Francisco, Public Library of Science, vol. 2, n. 5, 2005.

sua accettabilità con le reazioni talvolta violente contro gli OGM [...] Che dire del processo della naturalizzazione dell'uomo [...] se dovessimo diventare artifici, prodotti scientifici che possono essere trasformati, migliorati, economizzati, sfruttati utilizzando le leggi della natura?".

Di contro, si registra la presenza di affascinati dalla tecnica, come il fisico Ray Kurtzweil o il filosofo trans-umanista Nick Bostrom, nei *think tank* destinati a guidare il futuro, come il Centro per una Nanotecnologia Responsabile⁽³⁴⁾. Sul piano militare, il potere dei nanostrumenti o dei sistemi, capaci di provocare la morte in modo autonomo, costituisce un reale pericolo di dominazione: quasi la metà degli investimenti pubblici americani è stata destinata, direttamente o indirettamente, a scopi militari, come i rivestimenti che proteggono o alleggeriscono, le nanoarmi, l'intelligenza installata; e in ciò si è mobilitata anche la Cina, che a Shanghai dispone di un Centro di nanoricerche forte di duemila ricercatori. Secondo il fisico tedesco Jürgen Altmann, i rischi maggiori nascono da una parte dalle crepe nelle procedure di mutua dissuasione, data l'impossibilità di controllare armi irrinviabili, dall'altra dalle capacità autoreplicanti dei nano dispositivi⁽³⁵⁾.

Una ricerca dell'Università La Sapienza di Roma. L'inquinamento atmosferico è composto sia da particelle attualmente misurate e per le quali esiste una soglia massima, sia da nanoparticelle che nessuno misura e per le quali non sono stati fissati tetti massimi di esposizione; questo aspetto è stato studiato da un team dell'Università La Sapienza di Roma⁽³⁶⁾. "Recenti studi epidemiologici mostrano un'associazione tra l'aumento della tossicità conseguente all'esposizione ad agenti inquinanti e il diminuire delle dimensioni delle particelle aerodisperse inalate",

⁽³⁴⁾ Questo Centro, creato nel dicembre 2002, si trova a New York ed è diretto da Mike Treder e Chris Phoenix, ingegneri e uomini d'affari. Cfr. www.ernano.org.

⁽³⁵⁾ ALTMAN J., GUBRUD M., *Risks from military uses of Nanotechnologies*, 2002; http://www.ep3.ruhr-uni-bochum.de/bvp/RiskMilNT_Lecce.pdf.

⁽³⁶⁾ <http://w3.uniroma1.it/medicinadellavoro/Struttura/Articoli/Nuova%20cartella/nanoparticelle.pdf>.

spiegano gli autori dello studio; “le fonti sono diverse: processi di combustione, fumi di metalli e di polimeri, processi di fotosidazione atmosferica, che avvengono in presenza di basse temperature e basse pressioni di saturazione di vapore. Le particelle nanometriche e i composti da esse generati possono, attraverso la via inalatoria, digestiva e cutanea, giungere nella circolazione sistemica e migrare successivamente in diversi organi e tessuti, interagendo con i sistemi biologici ed esercitando la loro tossicità. Quando la via di penetrazione è quella inalatoria, l'apparato respiratorio rappresenta il primo organo bersaglio. Le nanoparticelle si depositano nelle vie respiratorie e riescono ad attraversare le membrane biologiche”, arrivando a provocare flogosi polmonare, bronchite cronica, disturbi della coagulazione, ischemia e infarto del miocardio.

Se invece le nanoparticelle raggiungono il fegato, si possono avere processi flogistici, necrosi e lesioni istologiche. “Dall'analisi della letteratura si evince anche la capacità neurotossica delle particelle nanometriche”, si legge ancora nello studio. “Sono presenti due ipotesi differenti circa la modalità con cui le particelle possono penetrare nel sistema nervoso centrale; la prima prevede l'ingresso attraverso il nervo olfattorio, la seconda mediante la barriera ematoencefalica”, cioè la membrana che avvolge il cervello. I danni a carico del sistema nervoso possono essere la degenerazione della mucosa e del bulbo olfattivo, la morte delle cellule cerebrali e l'insorgenza di placche. “Un'altra via di penetrazione è la pelle”, continua lo studio. “La capacità delle particelle nanometriche, soprattutto dei nanotubi di carbonio, di attraversare la pelle è determinata primariamente dal loro potenziale dermatotossico e dalla capacità di penetrare lo strato corneo, per poter esercitare la tossicità negli strati più profondi”. Le particelle nanometriche possono entrare nell'organismo anche per via digestiva, in seguito all'ingestione di acque o di cibi contaminati o prodotti farmaceutici che li contengano. “Una volta assorbite le particelle dalle placche linfatiche di Peyer e dai linfonodi mesenterici possono migrare in altri organi e tessuti, quali fegato, milza, sangue, rene e midollo osseo. Alcuni studi indicano che le particelle nanometriche possono indurre effetti tossici a carico del corredo genetico”.

La ricerca romana ha puntato il dito essenzialmente contro i nanotubi di carbonio, che oggi sono oggetto di un'intensa ricerca per potenziali applicazioni nell'industria, benché la loro diffusione sia documentata come tossica. "Hanno una struttura simile a quella delle polveri fibrose come l'amianto", spiega Marcel Jost, responsabile della medicina del lavoro della SUVA, società svizzera di diritto pubblico che assicura contro gli infortuni e le malattie lavorative. "Questa similitudine geometrica" continua il Jost "suscita preoccupazioni riguardo al fatto che i nanotubi potrebbero avere effetti simili a quelli dell'amianto". Indizi della loro cancerogenicità sono stati forniti da alcune sperimentazioni, recentemente pubblicate, su animali: i ricercatori hanno riscontrato delle alterazioni infiammatorie simili a quelle associate all'amianto, dopo avere immesso dei nanotubi nello stomaco delle cavie; in un esperimento sui topi si sono invece manifestati dei tumori maligni del peritoneo. Per valutare i pericoli a carico dei lavoratori nell'applicazione industriale delle nanotecnologie occorrerà stabilire se i nanotubi di carbonio siano generalmente classificabili come cancerogeni e, se sì, in quali dosi, con quale geometria e con quale biopersistenza" ⁽³⁷⁾.

Ma a prescindere dalle classificazioni, i primi morti sono già comparsi: in Cina, nell'agosto scorso, le prime vittime sono state due donne che lavoravano in una fabbrica mal ventilata, dove si verniciava con prodotti contenenti nanoparticelle; le vittime avevano inalato particelle nanometriche per mesi e queste si erano infiltrate nei polmoni e nella pelle provocando alla fine uno shock respiratorio. A concordare sulla estrema pericolosità delle nanoparticelle è anche Paul Connet, docente di chimica alla Saint Lawrence University di New York: "Sono pericolose perché estremamente piccole; non solo sono in grado di sfuggire ai moderni sistemi di controllo di inquinamento, ma possono facilmente penetrare negli alveoli polmonari ed entrare in circolo nel sangue. Alla stessa maniera possono penetrare in qualsiasi tessuto del corpo, compreso il cervello. Tutte le fonti di combustione producono nanoparticelle, ma quelle prodotte dagli ince-

⁽³⁷⁾ www.suva.ch/it/unternehmen/spezialthema/nanotechnologie.php;
www.nature.com/nnano/journal/v3/n7/abs/nnano.2008.111.phpl.

neritori di rifiuti sono le più nocive; questo perché l'immondizia contiene tutti i tipi di agenti tossici che usiamo in commercio".

La carenza normativa e il principio di precauzione. Alla luce di quanto sopra esposto, date le limitate conoscenze sui prodotti nanostrutturati esistenti nel nostro mercato, dichiarati o meno e a causa della mancanza di un'unità di misura tossicologica adeguata, in Europa si può solo delineare un quadro di potenziale esposizione ai nanomateriali ingegnerizzati ⁽³⁸⁾. Di conseguenza, è impossibile completare la caratterizzazione del rischio, che deriva dalla produzione e dall'uso di nanoparticelle e che necessita di alcune conoscenze, di seguito elencate: 1) *definizioni*: è necessario stabilire definizioni universalmente riconosciute, al fine di permettere una chiara diffusione delle informazioni e un'univoca interpretazione dei risultati da parte di ricercatori, produttori, legislatori e utenti; 2) *unità di misura*: è un aspetto fondamentale che incide tanto sull'interpretazione degli studi scientifici, quanto sul futuro quadro normativo; infatti, sembra ormai chiaro che le dosi e i limiti tossicologici dei nanomateriali non possono essere espressi in unità di massa o di volume, come per le sostanze chimiche convenzionali; 3) *caratterizzazione dei nanomateriali*: dato che essi mostrano proprietà chimiche e fisiche diverse, rispetto ai materiali di dimensione convenzionale, è necessario riuscire a caratterizzare queste proprietà in modo da poter determinare l'esposizione dei consumatori ai pericoli indotti dai nanomateriali e, di conseguenza, a caratterizzare meglio il rischio; 4) *tecniche analitiche*: è necessario sviluppare nuove tecniche per l'isolamento e la caratterizzazione dei nanomateriali, sia in forma primaria, sia all'interno delle matrici alimentari e dei tessuti biologici; 5) *effetti dei nanomateriali ingegnerizzati*: la cinetica dei nanomateriali si differenzia da quella delle sostanze chimiche convenzionali; quando ci sono evidenze di un loro assorbimento, la distribuzione dei nanomateriali all'interno dell'organismo deve essere studiata in

⁽³⁸⁾ D'AURELIO R., OLIVIERI V., PITTIA P., *Valutazione del Rischio dei Nanomateriali negli Alimenti: stato dell'arte*, in "Argomenti", Organo ufficiale del S.I.Ve.M.P., n. 4, dicembre 2009.

modo dettagliato; in particolare, devono essere studiati la distribuzione e l'effetto indotti sugli apparati protetti da barriere, quali la barriera emato-encefalica e quella placentare; 6) *esposizione ai nanomateriali*: è necessario studiare quali e quanti siano i prodotti contenenti nanomateriali e presenti sul mercato o che sono in fase di sviluppo; in particolare è opportuno determinare quale sia la loro biodisponibilità e quali misure adottare per quantificarli all'interno delle matrici alimentari.

Circa gli aspetti normativi sui nanomateriali, sono da menzionare molti studi, condotti per valutare l'adeguatezza delle attuali normative in merito alla gestione dell'impiego delle nanotecnologie in campo alimentare; anche sotto questo aspetto, emergono alcune mancanze, nella legislazione sia europea che di altri Paesi. Infatti, i sistemi normativi statunitense, europeo, giapponese, australiano e di molti altri Paesi non riconoscono i materiali nanostrutturati come una nuova famiglia di sostanze potenzialmente in grado di manifestare nuove proprietà e nuovi rischi per la salute sia dell'uomo che dell'ambiente. Due Convegni a Bolzano nel 2008 e 2009 hanno dibattuto le questioni sui rischi e sulla prevenzione per l'impiego di materiali nanostrutturati. Tra tutte le relazioni presentate sul tema, ci riferiamo a quella presentata da Castellet y Ballarà e Kunkar della Direzione Generale INAIL, Ufficio Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione. Lo studio del citato Ufficio premette alcune considerazioni che brevemente si riportano. La nanotecnologia manipola alla scala subatomica la materia costituita da particelle nanometriche (PN), dette anche ingegnerizzate o costruite; questa tecnologia ha la capacità di modificare molte industrie ed essere applicata in molti campi, dalla medicina al manifatturiero. Nuovi materiali sono stati prodotti e sono state fatte scoperte sorprendenti sulle loro proprietà: oltre 800 prodotti contenenti nanomateriali sono stati inventariati dal Woodrow Wilson Center's Project on Emerging Nanotechnologies.

I nanomateriali sono conosciuti anche come nanooggetti o materiali nanostrutturati in accordo alle definizioni riportate nei documenti della Commissione ISO TC 229 Nanotecnologie. I nanooggetti sono materiali confinati in una, due o tre dimensioni in scala nanometrica; tipici sono la nanolastra, la nanoasta, il nanofilamento, il nanotubo, il punto quantico e la nano particella

(PN). Con poche eccezioni, la maggior parte delle sostanze immesse sul mercato ricade nella classificazione del REACH, che richiede una valutazione del rischio chimico dei nanomateriali, effettuata sulla base di test concepiti per materiale in scala differente; ma l'applicazione di tali test risulta attualmente di difficile realizzazione. Vari studi indicano che le PN aerodisperse possono presentare, se inalate, rischi per la salute e che tale rischio non è adeguatamente monitorato da metodi convenzionali di valutazione dell'esposizione. Evidenze scientifiche suggeriscono che le nanoparticelle possono essere biologicamente più reattive di quelle più grandi, di composizione chimica simile per unità di massa, e quindi possono presentare un rischio maggiore se inalate. Diversi studi su animali suggeriscono che è possibile attendersi patologie polmonari (come cancro, infiammazioni, formazione di granulomi, fibrosi e difficoltà respiratorie) per esposizione a nanopolveri di ossidi metallici e a nanotubi di carbonio.

La presenza dei nanomateriali costruiti nei luoghi di lavoro e nell'ambiente di vita rappresenta quindi un'immediata sfida su come gestire effettivamente la salute e la sicurezza negli ambienti. Ancora poco si conosce su quali possono essere i rischi immediati o su come gestirli; e ancora meno si conosce sulle strategie per prevedere e gestire i rischi derivanti dall'applicazione di queste tecnologie nei prossimi anni. Secondo il Regolamento REACH sulle sostanze chimiche, i produttori hanno l'obbligo di garantire che l'uso di tali sostanze non arrechi danno alla salute umana o all'ambiente. Anche se il REACH non si riferisce in modo specifico alle sostanze in scala nanometrica, tuttavia, visto che il Regolamento riguarda tutte le sostanze in qualsiasi dimensione, forma o stato fisico, le sue disposizioni dovranno essere applicate anche ai nanomateriali. Ma le incertezze ancora presenti, in merito ai potenziali rischi per la salute e la sicurezza associati ai nanomateriali, come anche l'assenza di standard specifici per l'esposizione lavorativa e per i test tossicologici riguardanti le nanoparticelle, non facilitano al momento l'applicazione del REACH, mentre suggeriscono un *approccio precauzionale* per controllare la produzione, l'uso, lo stoccaggio e la manipolazione di tali particelle.

Nel giugno 2007 è entrato in vigore il Regolamento della Commissione europea n. 1907/2006, noto come REACH 2006 (Regi-

stration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances), che istituisce un nuovo quadro normativo in materia di immissione in commercio delle sostanze chimiche, abrogando in gran parte il regolamento precedente; esso si applica non solo ai produttori e agli importatori di sostanze chimiche, ma anche agli utenti, sia ai lavoratori impiegati nei processi di lavorazione, sia al cittadino in quanto utilizzatore finale. L'obiettivo principale del Regolamento è quello di assicurare un livello più elevato di protezione per la salute umana e per l'ambiente, garantendo la competitività dell'industria chimica europea; tale obiettivo sarà raggiunto attraverso l'obbligo di registrazione delle sostanze e la richiesta di informazioni relative alla loro sicurezza (*no data, no market*). In fase quindi di valutazione verrà applicato il principio di precauzione, che suggerisce l'adozione di azioni cautelative allorquando le conoscenze scientifiche siano insufficienti.

Tale principio di precauzione è stato definito dall'art. 7 del Regolamento CE 178/2002 che così recita: 1) Qualora, in circostanze specifiche a seguito di una valutazione delle informazioni disponibili, venga individuata la possibilità di effetti dannosi per la salute ma permanga una situazione d'incertezza sul piano scientifico, possono essere adottate le misure provvisorie di gestione del rischio necessarie per garantire il livello elevato di tutela della salute che la Comunità persegue, in attesa di ulteriori informazioni scientifiche per una valutazione più esauriente del rischio. 2) Le misure adottate sulla base del paragrafo precedente sono proporzionate e prevedono le sole restrizioni al commercio che siano necessarie per raggiungere il livello elevato di tutela della salute perseguito nella Comunità, tenendo conto della realizzabilità tecnica ed economica e di altri aspetti, se pertinenti. Tali misure sono riesaminate entro un periodo di tempo ragionevole a seconda della natura del rischio per la vita o per la salute individuato e del tipo di informazioni scientifiche necessarie per risolvere la situazione di incertezza scientifica e per realizzare una valutazione del rischio più esauriente.

Il REACH prevede la registrazione di tutte le sostanze prodotte o importate nell'Unione europea in quantità superiore a una tonnellata all'anno; alla domanda di registrazione devono essere allegate informazioni tecniche riguardanti le proprietà,

l'uso, la classificazione delle sostanze e una guida per l'utilizzo in condizioni di sicurezza. Per i quantitativi superiori alle dieci tonnellate per anno deve essere allegato un documento di valutazione sulla pericolosità della sostanza e, nel caso in cui risulti classificata *persistente*, *bioaccumulabile* o *tossica*, devono essere indicati gli scenari di esposizione e una valutazione del rischio. Inoltre, ai fini della valutazione della sostanza, l'Agenzia Europea per le Sostanze Chimiche (ECHA) può richiedere qualsiasi informazione indipendentemente dalle prescrizioni minime stabilite dal REACH. È da rilevare che le disposizioni contenute in tale regolamento non si riferiscono esplicitamente alle sostanze in scala nanometrica, anche se queste rientrano nella definizione di sostanza data dal Regolamento. La mancanza di una precisa definizione nell'ambito del REACH, riferita ai nanomateriali, sottolinea la necessità di definire e uniformare la terminologia in ambito europeo e internazionale. E proprio per questo, è stata pubblicata di recente la norma ISO/CEN TS 27687, proprio sulla terminologia e sulle definizioni dei materiali nanometrici, che potrà far chiarezza e aiutare i produttori e gli importatori già in fase di registrazione delle sostanze in scala nanometrica (ISO, International Standardization Organisation, 2008).

Ai sensi del Regolamento REACH, la registrazione delle sostanze alla scala nanometrica, quando è necessaria, deve contenere tutte le informazioni per l'identificazione della sostanza. Nella maggior parte dei casi una sostanza è completamente identificata per mezzo della sua composizione chimica, come nel caso di un mono o multi componente ben definito. Tale semplice identificazione può valere per la maggior parte delle sostanze, ma non risulta adeguata nel caso di alcune sostanze in scala nanometrica, dove per la loro corretta identificazione possono essere necessarie nuove informazioni sulla caratterizzazione, forma e proprietà fisico-chimiche. Il comportamento e gli effetti sanitari delle sostanze nanometriche dipendono da numerose caratteristiche, che comprendono le dimensioni, la concentrazione numerica delle particelle, l'area di superficie, la carica e la reattività superficiale, necessarie per valutarne i rischi. Per identificare i pericoli specifici, possono essere richieste informazioni supplementari.

Tutte le informazioni, relative alle sostanze in scala nanometrica, devono anche essere condivise con altri produttori e importatori della stessa sostanza. Le sostanze incluse in un articolo devono inoltre essere registrate e devono essere date informazioni se è prevedibile un rilascio di tali sostanze in condizioni normali d'impiego. Il dichiarante ha l'obbligo di aggiornare i dati della registrazione, nel caso di nuove informazioni in merito alle quantità prodotte o importate, all'impiego e sui rischi per la salute umana e per l'ambiente. Se una sostanza chimica già esistente sul mercato in forma convenzionale viene immessa in forma nanometrica, dovrà essere aggiornato il fascicolo di registrazione con le informazioni specifiche di tale sostanza. Attualmente la carenza di informazioni e conoscenze relative alle nanotecnologie non permette però una completa identificazione e classificazione per tali particelle nanometriche.

Le sostanze registrate possono essere soggette a valutazione. In base al REACH ci sono due tipi di valutazione: la *valutazione del dossier* e la *valutazione della sostanza*. La valutazione del dossier è condotta dall'Agenzia ed esamina le proposte dei test, garantendo che siano evitati test su animali non necessari e verifica la conformità delle risposte fornite in base alle richieste. La valutazione delle sostanze è invece proposta dalle Autorità competenti degli Stati membri, quando esiste un sospetto che la sostanza presenta un rischio per la salute umana o per l'ambiente; sulla base della valutazione l'ECHA può richiedere ulteriori informazioni non incluse nel REACH. Infine, l'autorizzazione assicura il buon funzionamento del mercato interno e garantisce che i rischi delle sostanze più pericolose (le cancerogene, le mutagene o le tossiche per la riproduzione, le persistenti e le bio-accumulabili) siano opportunamente controllati e che queste sostanze siano progressivamente sostituite da sostanze o tecnologie alternative e sostenibili. Nel caso dei nanomateriali la procedura di autorizzazione e di restrizione consente di adottare misure in presenza di rischio legato alla fabbricazione, all'uso e all'immissione sul mercato; queste procedure si applicano indipendentemente dai quantitativi fabbricati o commercializzati. In base alle informazioni sulla produzione, commercializzazione e alle nuove evidenze scientifiche, potrà essere necessario

modificare le attuali indicazioni sulle caratteristiche e sui test tossicologici o sulle proprietà fisico-chimiche.

Così concludono Castelet y Ballarà e Kunkar, richiamando i dati della Lux Research relativi al 2009: "Con l'aumento mondiale degli investimenti per la ricerca e sviluppo dei prodotti nanotecnologici è previsto che dal 2015 il valore globale raggiungerà i 2,5 trilioni di dollari e che saranno coinvolti dai 2 ai 10 milioni di lavoratori. Le incertezze ancora presenti in merito ai potenziali rischi per la salute e sicurezza associati ai nanomateriali e l'assenza di standard di esposizione lavorativa specifici per le nanoparticelle suggeriscono un approccio precauzionale per controllare la produzione, l'uso, lo stoccaggio e la manipolazione di tali particelle. La gestione dei rischi professionali deve quindi sforzarsi nella protezione dei lavoratori coinvolti nello sviluppo e produzione di queste nuove tecnologie così come per gli eventuali consumatori [...] All'interno del REACH il principale problema riguardante lo sviluppo delle nanotecnologie e dei nanomateriali è la garanzia della loro sicurezza per la salute umana e per l'ambiente durante l'intero ciclo di vita. Ciò costituisce un prerequisito per un uso sostenibile delle nanotecnologie e per il loro successo in termini di sviluppo del mercato e per un favorevole consenso della società". E per finire, rilevano: "Le incertezze ancora presenti in merito ai potenziali rischi per la salute e sicurezza associati ai nanomateriali, l'assenza di standard di esposizione lavorativa specifici per le nanoparticelle, l'incerta valutazione del rischio chimico basata attualmente su test concepiti per le sostanze in scala differente non facilitano l'applicazione del regolamento REACH a tali sostanze".

La ricerca dell'Università di Pavia sui rischi dell'esposizione a materiali nanostrutturati. Sui rischi, relativi ad alcuni tipi di materiali nanostrutturati, ha indagato il team coordinato da Luigi Manzo della Università degli Studi di Pavia, con una ricerca finanziata con fondi PRIN ⁽³⁹⁾ della durata di ventiquat-

⁽³⁹⁾ Il titolo della ricerca è *Rischi dell'esposizione a materiali nanostrutturati: studi chimico-fisici e di tossicità su modelli in vivo e in vitro per la caratterizzazione dei meccanismi fisiopatologici e del profilo cinetico delle particelle.*

tro mesi, di cui ancora non conosciamo le risultanze; ma ne presentiamo l'articolato, di notevole interesse, indicandone le premesse, lo stato dell'arte, gli obiettivi e le risultanze attese. Con il crescente interesse per le nanotecnologie nel settore della medicina, aumenta il consenso sul fatto che occorre riservare maggiore attenzione sulla sicurezza dei nanomateriali. Le prime esperienze in questa area indicano che i metodi tossicologici tradizionali sono poco opportuni. D'altra parte vi sono molte incertezze su strategie di studio alternative più idonee utilizzabili per la caratterizzazione tossicologica. Il problema riguarda non solo le particelle di interesse medico o tecnologico, ma anche quelle del settore ambientale. Studi recenti indicano che particelle ultrafini sono misurabili nel particolato e in composti nanostrutturati e potrebbero svolgere un ruolo importante nelle patologie cardiopolmonari, legate all'inquinamento. In tale contesto occorre considerare anche i rischi professionali legati alla liberazione di *nanoparticelle* (NP) nell'ambiente di lavoro, in cui si producono i nanomateriali.

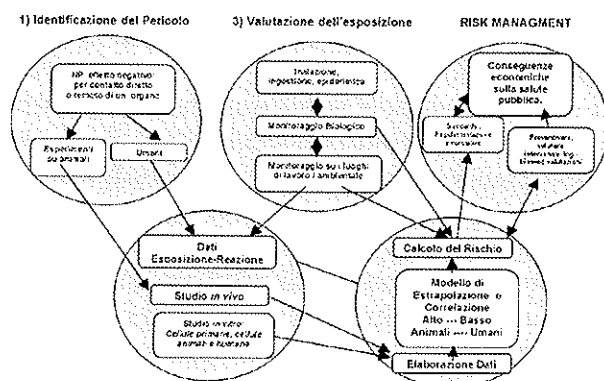


Fig. 11.6 – Schema sulla valutazione del rischio relativo alle nanoparticelle (Di MATTEO A., RIZZOTTO G., 2005)

È noto che esiste una correlazione tra potenziale tossico e caratteristiche chimico-fisiche delle NP; a ciò si aggiunge l'evidenza che le caratteristiche nanometriche modificano la biocinetica delle NP, per quanto concerne l'*uptake* cellulare e il trasfe-

rimento dalla sede di contatto, per esempio le vie respiratorie, al circolo sanguigno e a organi distanti. Tra le varie tipologie di nanomateriali, appaiono promettenti in molti settori commerciali i nanotubi di carbonio (CNT), che rappresentano una classe di materiali nanostrutturati con elevate aspettative commerciali, e le NP di silice, che possono incorporare metalli, tra i quali il cadmio e il cobalto, noti per indurre effetti pneumotossici per via inalatoria: la loro manipolazione può provocare il rilascio di particelle ultrasottili nell'aria con un possibile rischio di assorbimento da parte dei lavoratori ⁽⁴⁰⁾. Nella ricerca sono stati adottati criteri multidisciplinari per valutare la tossicologia di nanomateriali-modello formati da CNT o NP di silice, che incorporano o meno sali di cadmio o cobalto. Un obiettivo del progetto è stato quello di definire i rapporti tra proprietà chimico-fisiche, profilo cinetico e tossicologico di nanomateriali modello. Le NP di silice, con proprietà strutturali definite, sono state prodotte in uno dei laboratori partecipanti al programma e sono state caratterizzate dal punto di vista morfologico e microstrutturale con microscopia a forza atomica e SEM.

Le NP sono state studiate anche sulla base dell'area e carica superficiale, dimensione, idrofilicità, presenza di specie radicaliche e speciazione dei metalli. Sono stati condotti esperimenti *in vitro* e *in vivo*, con singole somministrazioni intratracheali in roditori, per definire il profilo tossicologico e il comportamento biocinetico dei nanomateriali oggetto di studio. Diversi tipi di cellule di tessuto polmonare e nervoso sono stati utilizzati per valutare citotossicità, espressione genica e *uptake* cellulare dei nanomateriali test. La capacità di attraversare la barriera emato-encefalica è stata esaminata in modelli di colture di astrociti, periciti ed endotelio. La capacità dei nanomateriali di generare radicali liberi e di indurre stress ossidativi è stata studiata in vari preparati *in vitro*. *In vivo*, è stata analizzata la traslocazione dei nanomateriali dal polmone ad altri organi, quali cuore, fega-

⁽⁴⁰⁾ Le NP di silice e i CNT differiscono, oltre che per la composizione chimica, per alcune proprietà chimico-fisiche quali forma, biopersistenza, idrofilia/idrofobia, e generazione di radicali liberi; a causa di queste differenze è verosimile che i suddetti materiali inducano effetti biologici diversi e si distribuiscano in modo differente all'interno dell'organismo.

to, rene, cervello, e in matrici biologiche accessibili, come sangue e urine. Sul tessuto polmonare sono stati valutati i profili di espressione genica e una vasta gamma di eventi post-trascrizionali, che si associano all'infiammazione, e allo stress ossidativo. Su liquido di lavaggio bronco-alveolare sono stati misurati in vivo indici precoci di danno polmonare, comprendenti *marker* di stress ossidativo e il profilo proteomico. La valutazione complessiva dei risultati, incluso il confronto vivo-vitro, ha fornito nuove informazioni sugli effetti dei nanomateriali e al tempo stesso ha verificato l'adeguatezza della strategia per valutare il rischio tossicologico.

Obiettivi della ricerca: 1) sviluppare una strategia di ricerca multidisciplinare per l'accurata valutazione delle caratteristiche di sicurezza dei nano materiali; 2) definire criteri e standard per la caratterizzazione chimico-fisica dei nanomateriali destinati a studi tossicologici; 3) determinare indici quantitativi di misura applicabili alla valutazione del rischio, per quanto riguarda sia il comportamento biocinetico, sia gli effetti prodotti dalle nanoparticelle nei sistemi biologici. Per raggiungere questi obiettivi, sono state sintetizzate particelle di silice contenenti o meno cadmio o cobalto, e sono stati anche utilizzati nanotubi di carbonio (CNT); poi è stata effettuata una caratterizzazione chimico-fisica di tutti i suddetti materiali. Un'ampia gamma di test biologici in vitro e in vivo è stata impiegata per definirne la tossicità e per stabilire se quest'ultima è correlabile alle caratteristiche delle particelle test e al loro contenuto di metalli. Globalmente, trascurando qui per brevità gli specifici esiti, si attende che i risultati forniscano una valutazione integrata di nanomateriali modello, in termini di caratterizzazione chimico-fisica, destino cinetico e profilo tossicologico.

In quanto a tutt'oggi sono scarsi gli studi che hanno analizzato gli effetti tossici dei nanomateriali e allo scopo di valutare il rischio dell'esposizione, la ricerca ha indicato una strategia integrata per l'analisi quantitativa dell'esposizione, della dose interna, degli effetti e delle relazioni dose-risposta a particelle ultrasottili ben caratterizzate per le proprietà chimico-fisiche. La strategia di screening proposta è stata focalizzata su nanoparticelle di silice contenenti metalli e CNT. Lo stesso approccio è risultato utile per studiare altri tipi di nanomateriali ingegne-

rizzati, di cui si ritengano possibili l'assorbimento nell'organismo e la capacità di produrre effetti riferibili specificamente alle caratteristiche nanostrutturali. Elementi di preoccupazione, per la sicurezza, la salute e la qualità dell'ecosistema, interessano l'intera durata del ciclo vitale dei nanomateriali, a partire dalla loro produzione, manipolazione, utilizzo da parte del consumatore o del paziente, fino all'eliminazione nell'ambiente. Il tema è importante anche per le sue implicazioni economiche e sociali. Al pari degli organismi geneticamente modificati, il futuro delle nanotecnologie dipenderà molto da come il pubblico riterrà accettabile i rapporti rischi/benefici. Al di là di questo problema, la storia e le esperienze fatte con l'utilizzo di materiali "miracolosi", come l'amianto, suggeriscono opportune cautele nell'uso di nuovi prodotti di cui non siano stati pienamente valutati i rischi per la salute.

L'esposizione umana a particolato ultrasottile o nanostrutturato è oggetto di crescente attenzione in risposta al rilascio di nanoparticelle da sorgenti antropogeniche e al rapido sviluppo delle nanotecnologie. Caratteristiche tipicamente legate alla nanostruttura (proprietà chimiche, meccaniche, ottiche, elettriche, magnetiche, e biologiche) rendono spesso vantaggiosi tali materiali per applicazioni mediche, tecnologiche, industriali. Tuttavia, le stesse proprietà nanostrutturali possono determinare effetti biologici indesiderati; così mentre le nanotecnologie si vanno straordinariamente sviluppando nella prospettiva degli attesi benefici, si pone con maggiore insistenza il problema della sicurezza. Un motivo di allarme risiede nel fatto che le NP, una volta inalate, possano essere trasferite in diversi organi, inclusi sistema circolatorio e SNC. È dimostrato che certe NP possiedono marcata reattività a causa delle loro nanodimensioni. I dati disponibili sulla tossicità dei CNT sono per ora frammentari e spesso contraddittori probabilmente a causa della grande variabilità strutturale.

Ad esempio i CNT, a strato singolo o multiplo, possono differire per tipo e quantità di difetti, tipo di funzionalizzazione alla superficie e quantità di metalli residui. È stato dimostrato che alcune proprietà chimico-fisiche, quali il tenore di metalli incorporati, le dimensioni, il grado di ossidazione e d'idrofilia, ne modulino la tossicità in misura considerevole. Occorre altre-

sì considerare che le NP di silice e i CNT differiscono tra loro per alcune proprietà chimicofisiche: a) *per forma*: le NP di silice sono isometriche, mentre i CNT hanno una forma fibrosa; b) *per biopersistenza*: i CNT sono fortemente biopersistenti, mentre le NP di silice possono essere, almeno in parte, solubilizzate nei fluidi biologici; c) *per idrofilia/idrofobia*: la capacità di legare acqua influenza l'assorbimento delle molecole organiche alla superficie e di conseguenza la risposta cellulare; l'idrofilia, inoltre, modula la distribuzione delle particelle nell'organismo ⁽⁴¹⁾; d) *per generazione di ROS*: essi sono implicati nel meccanismo d'azione della silice; la reattività della silice è dovuta alla presenza di ROS in superficie dovuta alla rottura dei legami covalenti durante i processi di macinazione e alla presenza di metalli di transizione (principalmente ferro) alla superficie; i CNT non sembrano invece indurre stress ossidativi, come dimostrato in diverse linee cellulari.

Sia le NP di silice che i CNT possono contenere metalli impuri. Le conseguenze sulla tossicità sono ancora poco studiate: è stato ipotizzato che le NP assorbite nell'organismo agiscano da trasportatori di metalli tossici nei vari tessuti; è verosimile, in ogni caso, che questi materiali determinino effetti biologici diversi e si distribuiscano diversamente all'interno dell'organismo, se incorporano metalli nella loro composizione. Le NP di silice, che incorporano cadmio (*Cd*) o cobalto (*Co*), sono state sviluppate anche per possibili applicazioni in campo biomedico (ad esempio per il rilascio controllato di farmaci) e informatico. *Quantum dots* fluorescenti, radio-opachi e paramagnetici a base di cadmio solfuro sono stati prodotti per il possibile impiego come sonde multifunzionali applicabili negli studi di *bioimaging*.

Le NP contenenti *Co* e silice possono essere rilasciate da biomateriali, ad esempio materiali di porcellana usati in odontoiatria. Sia il *Cd* che il *Co* sono tossici per l'apparato respiratorio e per altri organi; entrambi questi metalli possono generare spe-

⁽⁴¹⁾ La silice è un materiale idrofilo a causa della presenza alla superficie di silanoli, mentre i CNT, a eccezione di quelli appositamente funzionalizzati, sono idrofobici.

cie reattive dell'ossigeno e dell'azoto e attivare meccanismi che modificano tanto l'espressione genica, quanto i processi della crescita cellulare, con potenziali implicazioni per la tossicità e la cancerogenesi. In sintesi, i nanomateriali sono entità chimiche e fisiche, il cui meccanismo d'azione non è assimilabile a quello delle sostanze chimiche tradizionali; pertanto la loro caratterizzazione tossicologica deve essere effettuata con criteri e metodi specifici. Le metodologie convenzionali, in uso per lo studio della tossicità delle sostanze chimiche, non sono del tutto applicabili ai nanomateriali; pertanto, in questa ricerca è stata adottata una strategia integrata, che ha compreso test *ad hoc* di tossicità, studi di biocinetica e di caratterizzazione delle proprietà chimico-fisiche delle nanoparticelle nei sistemi biologici.

Il Dossier dell'Agenzia Francese AFSSET. Tra i più recenti documenti, riportiamo la lettura di Roberto La Pira sul dossier dell'Agenzia Francese per la Sicurezza nella Sanità, nell'Ambiente e nel Lavoro (AFSSET) relativo ai rischi correlati alla presenza di nanoparticelle nei prodotti di consumo ⁽⁴²⁾. In sostanza, il report si conclude con una sospensione di giudizio: gli elementi di valutazione – spiegano i numerosi esperti coinvolti – sono insufficienti, pochissimi gli studi, soprattutto condotti su animali da laboratorio, e si richiamano, alla fine, le autorità europee e i consumatori affinché adottino, in assenza di certezze, il principio di precauzione; Achille Marconi, un funzionario del Dipartimento Ambiente dell'Istituto Superiore di Sanità, così commenta: “La questione va affrontata senza allarmismi. L'aria inquinata contiene decine di migliaia di nanoparticelle per centimetro cubo provenienti dalle emissioni delle automobili e ritenute concausa di patologie polmonari, cardiovascolari, cerebrali. Secondo alcuni ricercatori gli effetti negativi delle nanoparticelle sulla salute sarebbero paragonabili a quelli dello smog metropolitano, ma vi sono differenze che vanno sottolineate: la maggior parte dei nanomateriali dei prodotti di consumo non

⁽⁴²⁾ LA PIRA R., *Sicurezza: Primo Rapporto francese sullo smog da microtecnologie: l'inquinamento è nano, ma quanto grande è il rischio? Le fonti: il cemento, lo zucchero e persino i calzini*, in “Corriere della Sera”, 18 aprile 2010, p. 60.

si disperde immediatamente nell'ambiente, come accade invece per le nanoparticelle da inquinamento; nessuno conosce, però come agiscono nell'organismo e qual è il loro destino quando sono immessi nell'ambiente, in virtù dell'estrema reattività della loro superficie, fattore determinante nella valutazione della tossicità". E Roberto La Pira continua: "In Europa si stima ci siano 150 prodotti con nanoparticelle: si va dalle palline da tennis, ai lettori di musica, ad applicazioni nella diagnostica, nella medicina rigenerativa e nei sistemi per il rilascio dei farmaci. In Italia sono pochi i prodotti che dichiarano nei messaggi pubblicitari l'utilizzo di nanoparticelle, tra questi un dentifricio con cristalli nanometrici di idrossiapatite, oltre a cosmetici che utilizzano nanosomi. L'AFSSET ha focalizzato l'attenzione su quattro categorie merceologiche, molto diverse tra loro: le calze antibatteriche, il cemento autopulente, le creme solari, lo zucchero. Nelle calze, l'abbinamento di nanoparticelle d'argento alle fibre tessili impedisce la crescita di batteri, di funghi e di altri microrganismi. Gli esperti non ritengono trascurabile l'esposizione per via cutanea, anche se, sulla base delle attuali conoscenze, si dichiarano non in grado di valutare eventuali rischi dovuti al passaggio delle nanoparticelle oltre la barriera cutanea. Il rapporto sottolinea anche il problema della dispersione ambientale: si stima che tonnellate di nanoparticelle d'argento finisca nei fiumi francesi in seguito ai lavaggi". Come esempio, grazie all'aggiunta di nanoparticelle di biossido di titanio, il cemento autopulente di produzione italiana, che cattura e degrada le componenti dello smog, s'impiega per rivestire le pareti esterne degli edifici. Secondo l'AFSSET il rischio che queste nanoparticelle possano finire nei polmoni è suggerito da esperimenti condotti su ratti esposti a dosaggi molto elevati; ma tali risultanze non sono sufficienti per formulare dei giudizi tossicologici.

Nanoparticelle di biossido di zinco e di titanio sono utilizzate da anni in molte creme solari, per migliorare la protezione dai raggi; le ditte produttrici sostengono che le nanoparticelle non superano la barriera cutanea, tesi che concorda con la maggior parte delle ricerche, anche se alcuni studi condotti con il biossido di titanio suggeriscono che possono arrivare all'epidermide, superando lo strato corneo superficiale. In attesa di ulteriori ricerche, il documento non esclude che ci possano essere dei ri-

schi. Per il settore alimentare, in assenza di aziende che dichiarano esplicitamente la presenza di componenti nanostrutturati nei prodotti, l'Agenzia Francese ha considerato l'impiego di nanoparticelle di silice in alcuni tipi di zucchero, per evitare l'agglomerazione dei granelli, e nelle salse, per migliorarne la viscosità. Studi condotti su ratti, a cui sono stati somministrati dosi massicce di nanoparticelle di silice, hanno evidenziato lesioni al fegato, ma nessuna ricerca è stata finora condotta sull'uomo.

Così commenta François Rossi dell'Unità di Nanobioscienze presso l'Istituto per la Salute e la Protezione del Consumo al Joint Research Center di Ispra: "Si tratta di una sperimentazione iniziata nel 2009 in oltre venti Paesi tra cui Cina, Stati Uniti e diversi stati dell'UE. Si stanno testando quattordici nanoparticelle usate dall'industria, con prove in vitro su cellule per valutare il meccanismo di azione, e in vivo su animali per valutare la tossicità. Ed è la prima volta che i laboratori usano le stesse nanoparticelle, per poter confrontare i risultati e giungere a conclusioni comuni". Così l'AFSSET auspica una normativa europea, invita le imprese a indicare sulle etichette la presenza e il tipo di nanoparticelle, consentendone la tracciabilità, e sottolinea l'opportunità di valutare bene il rapporto rischio-beneficio prima di utilizzare nuovi nanomateriali nei beni di consumo.

Conclusioni

Resta da citare un recente documento del Centro per la Nanotecnologia Responsabile in cui si riscontra che la lavorazione molecolare permette una creazione di prodotti incredibilmente potenti e si chiede: *quanti di questi prodotti vogliamo veramente e quali danni ambientali faranno?* E si ipotizza: "La gamma di possibili danni è vasta, dai velivoli supersonici personali che volano a bassa quota e che danneggiano un gran numero di animali onde poter catturare energia solare su scala sufficientemente vasta da modificare l'albedo del pianeta e affliggere direttamente l'ambiente. I materiali più resistenti permetteranno la creazione di macchine molto più grandi, in grado di scavare o comunque distruggere vaste aree del pianeta a una velocità molto sostenuta". È troppo presto per dire se ci saranno incentivi economici per

farlo; tuttavia, dato il gran numero di attività che danneggerebbero l'ambiente, se portati all'estremo, e considerata la facilità di portarli all'estremo tramite la fabbricazione molecolare, è giusto che questo problema sia sollevato. Alcune forme di danno possono derivare da un certo numero di azioni individuali, ciascuna quasi innocua di per sé. Tale danno è molto difficile da prevenire con la persuasione, e spesso nemmeno le leggi funzionano a tale scopo; la restrizione focalizzata sulla tecnologia stessa può essere una parte necessaria della soluzione. Infine, considerata l'estrema compattezza dei macchinari nanofabbricati, si tenterà di usare prodotti molto piccoli, che possono facilmente trasformarsi in nanorifiuti, difficili da eliminare, e che potrebbero causare problemi ulteriori alla salute ⁽⁴³⁾.

Per concludere. Abbiamo fin qui considerato una serie di prodotti e materiali innovativi, esistenti sul mercato internazionale, progetti e ricerche sviluppati in diversi ambiti e che riguardano l'ambiente costruito e la nostra vita quotidiana. Abbiamo poi indicato alcuni rischi di diversa natura, che la lavorazione, l'uso, l'impiego o il consumo, la manipolazione e lo stoccaggio di materiali o di prodotti nanostrutturati comportano per la salute, sia dei lavoratori che degli utenti, e per l'ambiente: *rischi chimici*, derivanti dall'impiego di alcuni metalli (piombo, mercurio, carbonio, zinco, argento, cadmio, cobalto, silice, oro) e dalla presenza di inquinanti come i fumi di carburanti o le miscele di solventi; *rischi fisici*, dovuti al fatto che queste particelle infinitesime sono trasportate dal vento e dall'acqua in punti lontanissimi e possono investire soggetti inconsapevoli e ambienti impensabili, i soggetti (uomini e animali) mediante inalazione, ingestione, contatto o per via dermica, l'ambiente per assorbimento della flora e del terreno; *rischi biologici*, causati da sostanze tossiche, allergene, sensibilizzanti, cancerogene e mutagene, che investono molti organi degli esseri viventi. Abbiamo altresì fatto riferimento a vari studi, ricerche, progetti, regolamenti, direttive e pareri, documentati da riviste e quotidiani, oltre che da una ricerca sitografica, focalizzando alcuni rapporti americani, francesi, tedeschi, inglesi, italiani e comunitari.

⁽⁴³⁾ <http://www.crnano.org/dangers.htm>.

Inoltre ci siamo soffermati a descrivere il Regolamento della Commissione europea sulla registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione di sostanze chimiche (REACH 2006), rilevandone: a) la presenza di incertezze in merito ai potenziali rischi per la salute e la sicurezza, associabili ai nanomateriali; b) la mancanza di standard per l'esposizione lavorativa, specifici per le nanoparticelle; c) l'incerta valutazione dei rischi chimici, fisici e biologici, attualmente basati su test concepiti per sostanze che presentano una dimensione diversa (non la nanometrica, ma la millimetrica o la micrometrica).

La nanotecnologia offre degli orizzonti di grande interesse per la competitività nel mercato globale, tra i diversi Paesi, soprattutto per l'Italia che ad oggi non occupa posizioni favorevoli, pur avendo creato una nuova generazione di prodotti nel settore dell'architettura, di grande interesse e di considerevole riscontro. Sulla scorta degli Atti del Primo Convegno Internazionale, tenutosi a Palermo nel marzo 2009, sul tema *Nanotech for Architecture, Innovative Technologies, Techniques and Nanostructured Materials*, e in relazione alle proposte e pareri che sono stati qui riportati, è possibile avanzare considerazioni, critiche, prospettive sul tema dei nanomateriali che, oltre a investire l'ambiente naturale e costruito, coinvolgono l'uomo, gli utenti, i lavoratori, gli abitanti tutti ⁽⁴⁴⁾.

In primo luogo è da constatare che la nanotecnologia o meglio le nanosienze che pensano, progettano e lavorano alla scala nanometrica costituiscono un vasto ambito di ricerca e di convergenza multidisciplinare, che si caratterizza per un *approccio congiunto*, data la convergenza di ambiti scientifici che comprendono varie discipline: la chimica inorganica e organica, la scienza dei materiali, la fisica dello stato solido, la biologia molecolare, la tossicologia, la medicina, l'ingegneria, l'architettura, ecc. In secondo luogo è necessario che sulle tematiche nanotecnologiche e nanometriche, relative a temi, ricerche, prodotti, valutazioni e norme, si richieda e si verifichi la convergenza e la compartecipazione di

⁽⁴⁴⁾ Sposito A. (a cura di), *Nanotech for Architecture: Innovative Technologies, Techniques and Nanostructured Materials*, Atti del I Convegno Internazionale di Palermo 26-28 marzo 2009, Napoli, Luciano, 2009.

istituti pubblici di ricerca, di società e di associazioni private, di grandi, piccole e medie imprese, di utenti e di cittadini interessati alla tutela della salute e dell'ambiente. Poi è da rilevare che la ricerca sulle nanotecnologie si presenta con un livello internazionale e, pertanto, essa risulta più efficace se vi partecipano istituzioni e ricercatori provenienti da diversi Paesi europei o extraeuropei.

Inoltre risulta necessario: che temi ed esiti di ricerca, progetti, sperimentazioni, prodotti e applicazioni nei diversi settori siano disseminati, tempestivamente pubblicizzati, allo scopo di informarne sia la comunità scientifica, sia il mondo della produzione; che i prodotti siano palesemente testati nell'etichetta, in quanto i consumatori dovrebbero essere avvertiti della presenza di sostanze o componenti nanostrutturati, che sono presenti nel prodotto. Né è da trascurare il ruolo che svolge l'informazione indirizzata ai giovani, ricercatori, studenti, utenti o cittadini, come base per migliorare i processi conoscitivi e partecipativi. Poi, rilevando la carenza e l'inadeguatezza della normativa esistente nei vari Paesi, sulla tutela delle persone e dell'ambiente, risulta urgente il varo di leggi, regolamenti e codici utili alla tutela e alla salvaguardia della vita e dell'ambiente.

Infine, dato che molti rischi sono paventati ed effetti delle nanoparticelle sull'organismo umano sono possibili, il principio di precauzione dovrà costituire un imperativo e dovrà essere applicato per evitare danni alla salute umana e all'ambiente; in tutti i casi in cui si riscontra incertezza scientifica, sperimentale o produttiva si renderà necessario studiare, avviare, eseguire procedure di valutazione, adottare misure preventive. E come il principio di precauzione, anche i principi generali di valutazione e di contenimento dei rischi assumono dimensioni complementari e integrate, utili ad adottare misure preventive e per limitare i rischi per la salute e per l'ambiente a un minimo livello; in particolare, l'orizzonte del principio di precauzione non è costituito dal breve e dal medio termine, in quanto la sua portata temporale è il lungo periodo che investe le generazioni future ⁽⁴⁵⁾. C'è anche un altro principio che potrebbe essere in-

⁽⁴⁵⁾ COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, *Communication from the Commission on the Precautionary Principle*, Bruxelles, 2 febbraio 2000.

vocato, in assenza di una idonea normativa, cioè il *principio di responsabilità*, ovvero la consapevolezza, da parte di un ricercatore o di un produttore, di una scelta da fare, di un comportamento da assumere o di un procedimento da attivare, in quanto ricerche e attività importino e sottintendano l'accettazione di conseguenze dal punto di vista culturale, morale, economico o giuridico ⁽⁴⁶⁾.

E allora: che la ricerca continui con l'innovazione tecnologica, di progetto e di prodotto, ma anche che si acceleri la costituzione di un adeguato quadro normativo, condiviso a livello internazionale, per valutare rischi e danni, che potrebbero comportare i nanomateriali, e per tutelare l'essere umano e l'ambiente.

⁽⁴⁶⁾ SPOSITO A., RUGGIRELLO V.L., *Problematiche e rischi ambientali per i materiali nanostrutturati*, in A. SPOSITO, *Nanotecnologie e Nanomateriali per l'Architettura*, Napoli, Luciano, 2009, pp. 275-281.

Bibliografia

- ADDINGTON D.M., SCHODEK D.L., *Smart Materials and New Technologies: for the Architecture and Design Professional*, Amsterdam, Elsevier, 2005
- ALTIFFI G., *La nanotecnologia è un rischio per la salute? Sì! Specie i vaccini nanotecnologici!*, in "Panorama", n. 47, 22 novembre 2007
- ALTIFFI G., *La Radio più piccola del mondo*, in "Panorama", n. 47, 22 novembre 2007
- ANGELETTI L., *Innovazione tecnologica e architettura*, Roma, Gangemi, 1998
- ASHBY M.F., *Materials selection in mechanical design*, Amsterdam, Elsevier, 2005
- ASHBY M.F., FERREIRA P.J., SCHODEK D.L., *Nanomaterials, nanotechnologies and design*, Boston, Elsevier, 2009
- ASHBY M.F., JOHNSON K., *Materials and design: the art and science of material selection*, Oxford, Elsevier, 2002
- BAGLIONI P., RODORICO G., *Soft and hard nanomaterials for restoration and conservation of cultural heritage*, The Royal Society of Chemistry, 2006
- BALL P., *Designing at the molecular world: chemistry at the frontier*, Princeton, Princeton University Press, 1994
- BANHAM R., *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Roma-Bari, Laterza, 1993
- BANHAM R., *Architettura della Seconda Età della Macchina. Scritti 1955-1988* (a cura di BIRAGHI M.), Milano, Electa, 2004
- BAUMAN Z., *Modernità liquida*, Roma-Bari, Laterza, 2002
- BENJAMIN W., *Angelus Novus*, Torino, Einaudi, 1962
- BERNASCONI G., *Il messaggio di Antonio Sant'Elia del 20 maggio 1914*, in "Rivista tecnica della Svizzera italiana", 1956
- BOCCO A., CAVAGLIA G., *Cultura tecnologica dell'architettura. Pensieri e parole prima dei disegni*, Roma, Carocci, 2008
- BROOKES A.J., POOLE D., *Innovation in Architecture*, New York, Spon Press, 2004
- BROWNELL B., *Transmaterial 3*, New York, Princeton Architectural Press, 2010
- CASTELLET Y BALLARÀ G., KUNKAR C., MARCONI A., *Control Banding: un mezzo efficace per la gestione del rischio di esposizione a nanoparti-*

- celle in una situazione di incertezza, XV Convegno Corvara (BZ), 1-3 aprile 2009
- CHATEAURAYNAUD F., *Nanosciences et Technoprophéties. Le nanomonde dans la matrice des futurs*, Parigi, Gspr-Ehess, 2005
- CHIU-WING L., JAMES J.T., MCCLUSKE Y.R., HUNTER R.L., *Pulmonary Toxicity of Single-Wall Carbon Nanotubes in Mice 7 and 90 Days after Intratracheal Instillation*, in "Toxicological Science", n. 77, 2004, pp. 126-134
- CICOLELLA A., BROWAEYS D., *Alertes Santé, Experts et citoyens face aux intérêts privés*, Parigi, Fayard, 2005
- CRIPPA M.A. (a cura di), *Architettura del XX secolo*, Milano, Jaca Book, 1993
- CROMPTON D., LACHMAYER H., SHOENIG P., PASOUAL S., *A guide to Architecture 1961-74*, Londra, Academy Editions, 1995
- D'AURELIO R., OLIVIERI V., PITTIA P., *Valutazione del Rischio dei Nanomateriali negli Alimenti: stato dell'arte*, in "Argomenti", Organo ufficiale del S.I.Ve.M.P., n. 4, 2009
- DE POORTER C., *Atlante dell'architettura contemporanea in Europa*, Milano, Mondadori, 2008
- DELMONTE J., *Origins of materials and process*, Lancaster-Basel, Technomic Publishing, 1985
- DI MATTEO A., RIZZOTTO G., *Nanotecnologia, Nanomateriali e Nanotubi: una sfida etica e ambientale*, in "AIM Magazine", vol. 60, n. 2-3, 2005
- DONALDSON K., AITKEN R., TRAN L., STONE V., DUFFIN R., FORREST G., ALEXANDER A., *Carbon nanotubes: a review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety*, in "Toxicological Science", n. 92, 2006, pp. 5-22
- DREXLER E., *Engines of Creation. The coming era of nanotechnology*, New York, Anchor Books, 1987
- DREXLER E., *Nanosystems: molecular machinery, manufacturing and computation*, New York, John Wiley & Sons, 1992
- DRINGOLI M., FIAMMA P., *Architecture from nanotechnologies research vision*, in SPOSITO A. (a cura di), *Nanotech for Architecture. Innovative technologies, techniques and nanostructured materials*, Atti del I Convegno Internazionale, Palermo, 26-28 Marzo 2009, Napoli, Luciano, 2009
- EDELSTEIN A.S., CAMMARATA R.C., *Nanomaterials: synthesis, properties and applications*, Bristol and Philadelphia, Institute of Physics Publishing, 1996
- EGGEMAN A.S., PETFORD-LONG A.K., DOBSON P.J., WIGGINS J., BROMWICH T., DUNIN-BORKOWSKI R., KASAMA T., *Synthesis and characterization of silica encapsulated cobalt nanoparticles and nanoparticle chains*, in "Magnetism Magnet Mater", n. 301, 2006, pp. 336-342

- EIVIN G., *Nanotechnology for Green building*, Green technology forum, 2007
- FOSTER ASSOCIATES, *Buildings and Projects*, vol. III, Watermark
- FRAMPTON K., *Storia dell'architettura moderna*, Bologna, Zanichelli, 1986, p. 29
- GALIMBERTI U., *Psiche e technè. L'uomo nell'età della tecnica*, Milano, Feltrinelli, 1999
- GANN D., *A Review of Nanotechnology and its Potential Applications for Construction*, Science and Technology Policy Research, 2002
- GAVINELLI C., *Post-Moderno*, in CRIPPA M.A. (a cura di), *Architettura del XX secolo*, Milano, Jaca Book, 1993
- GIALLOCOSTA G., *Riflessioni sull'innovazione. Architettura e produzione edilizia nei regimi di complessità delle fasi storiche di sviluppo del costruire*, Firenze, Alinea, 2004
- GIANNI M.P., *L'invasione delle nano-particelle: ultimo rischio per la nostra salute*, in "Il Giornale", 4 ottobre 2010
- JOHANSEN J.M., *Nanoarchitecture. A new species of architecture*, New York, Princeton Architectural Press, 2002
- JOHANSEN J.M., *Verso il XXI secolo*, in "Arca", n. 99, 1995
- KREYLING W.G., SEMMLER M., ERBE F., MAYER P., TAKENAKA S., SCHULZ H., OBERDÖRSTER G., ZIESENIS A., *Translocation of ultrafine insoluble iridium particles from lung epithelium to extrapulmonary organs is size dependent but very low*, in "Toxicol Environ Health", n. 65, 2002, pp. 1513-1530
- LA PIRA R., *Sicurezza: Primo Rapporto francese sullo smog da microtecnologie: l'inquinamento è nano, ma quanto grande è il rischio? Le fonti: il cemento, lo zucchero e persino i calzini*, in "Corriere della Sera", 18 aprile 2010
- LAI C.Y., TREWYN B.G., JEFTINIJA D.M., JEFTINIJA K., XU S., JEFTINIJA S., LIN V.S., *A mesoporous silica nanosphere-based carrier system with chemically removable CdS nanoparticle caps for stimuli-responsive controlled release of neurotransmitters and drug molecules*, in "Am Chem Soc", n. 125, 2003, pp. 4451-4459
- LAM C., JAMES J.T., MCCLUSKEY R., AREPALLI S., HUNTER R.L., *A review of carbon nanotubes toxicity and assessment of potential occupational and environmental health risks*, in "Crit Rev Toxicol", n. 36, 2006, 189-217
- LE CORBUSIER, JEANNERET P., *Oeuvre complète 1910-1929*, Zurigo, Girsberger, 1967
- LEYDECKER S., *Nanomaterials in Architecture, Interior Architecture and Design*, Berlino, Birkhäuser, 2008
- LOIK M., *Gli aspetti tecnologici dell'architettura post-moderna (1945-1990)*, in CRIPPA M.A. (a cura di), *Architettura del XX secolo*, Milano, Jaca Book, 1993

- MAGREZ A., KASAS S., SALICIO V., PASQUIER N., SEO J. W., CELIO M., CASCAS S., SCHWALLER B., FORRO L., *Cellular toxicity of carbon-based nanomaterials*, in "Nano Lett", n. 6, 2006, pp. 1121-1125
- MANN S., *Nanotechnology and Construction*, Nanoforum, 2006
- MANTOVANI E., PORCARI A., *Secondo Censimento Italiano delle Nanotecnologie*, Roma, AIRI/Nanotech, Das Print, 2006
- MASPOLI R., *La concretizzazione dell'immaginario tecnologico delle avanguardie*, in SPOSITO A. (a cura di), *Nanotech for Architecture. Innovative technologies, techniques and nanostructured materials*, Atti del I Convegno Internazionale, Palermo, 26-28 Marzo 2009, Napoli, Luciano, 2009
- McLENNAN J.F., *The Philosophy of Sustainable Design*, Kansas City, Ecotone, 2004
- NEL A., XIA T., LI N., *Toxic potential of materials at the nanolevel*, in "Science", n. 311, 2006, pp. 622-627
- OBERDÖRSTER G., OBERDÖRSTER E., OBERDÖRSTER J., *Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles*, in "Environ Health Perspect", n. 113, 2005, pp. 823-839
- PAWLEY M., *Technology Transfer*, in "The Architectural Review", n. 1087, 1987
- POOLE C.P., OWENS F.J., *Introduction to Nanotechnology*, New York, Wiley, 2003
- PORTOGHESI P., Editoriale, in "Materia", n. 46, 2005
- REIBOLD M., PAUFLE P., LEVIN A. A., KOCKMANN W., PÄTZKE N., MEYER D.C., *Materials: carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre*, in "Nature", n. 444, 2006
- ROCO M.C., WILLIAMS R.S., ALIVISATOS P., *Nanotechnology research directions: IWGN Workshop report – Vision for Nanotechnology in next decade*, New York, Springer Science, 2000
- SAGER T.M., PORTER D.W., ROBINSON V.A., LINDSLEY W.G., SCHWEGLER-BERRY D.E., CASTRANOVA V., *Improved method to disperse nanoparticles for in vitro and in vivo investigation of toxicity*, in "Nanotoxicology", 2007, pp. 118-129
- SCALISI F., *I materiali nanostrutturati nel settore edilizio*, in SPOSITO A. (a cura di), *Agathòn*, Palermo, Offset Studio, 2008, pp. 37-40
- SCALISI F., *La nanotecnologia per l'innovazione architettonica*, in SCALISI F. (a cura di), *Nanotech for Architecture. Innovative technologies, techniques and nanostructured materials*, Atti del I Convegno Internazionale, Palermo, 26-28 Marzo 2009, Napoli, Luciano, 2009, pp. 93-100
- SCHULTE J., *Nanotechnology: Global Strategies, Industry Trends and Applications*, New York, John Wiley & Sons, 2005

- SERVICE R.F., *Calls rise for more research on toxicology of nanomaterials*, in "Science", n. 310, 2005, p. 1609
- SINGER C., WILLIAMS T.I., *A history of technology: the industrial revolution c. 1750 to c. 1850*, Clarendon Press, 1984
- SINOPOLI N., TATANO V. (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione tra tecniche e architettura*, Milano, Franco Angeli, 2002
- SPOSITO A., *Tecnologia antica: storie di procedimenti, tecniche e artefatti*, Palermo, Dario Flaccovio, 2007
- SPOSITO A. (a cura di), *Nanotech for Architecture. Innovative technologies, techniques and nanostructured materials*, Atti del I Convegno Internazionale, Palermo, 26-28 Marzo 2009, Napoli, Luciano, 2009
- SPOSITO A. (a cura di), *Nanotecnologie & nanomateriali per l'architettura*, Napoli, Luciano, 2009
- SPOSITO A., RUGGIRELLO V.L., *Problematiche e Rischi ambientali per i Materiali nanostrutturati*, in SPOSITO A., *Nanotecnologie & Nanomateriali per l'Architettura*, Napoli, Luciano, 2009
- SPOSITO A., SPOSITO C., *Architettura sistemica*, Rimini, Maggioli, 2008
- TAFURI M., *Teorie e Storia dell'Architettura*, Roma-Bari, Laterza, 1986
- ULRICH K.T., EPPINGER S.D., *Product Design and Development*, Watsoville, McGraw-Hill, 1995
- WACHSMANN K., *Una svolta nelle costruzioni*, Milano, Il Saggiatore, 1960
- WINANDY J.E., *Achieving Resource Sustainability and Enhancing Economic Development through Biomass Utilization*, in "International Workshop on Prefabricated Housing From Bamboo Based Panels", Pechino, 24-25 novembre 2005
- YACAMAN M.J., RENDON L., ARENAS J., SERRA PUCHE M.C., *May Blue Paint: An Ancient Nanostructured Material*, in "Science", n. 273, 1996, pp. 223-225
- YEDON P., *Year 2050: Cities in the Age of Nanotechnology*, 2005

Progettazione Tecnica & Materiali

La nanotecnologia impiega metodi e tecniche per la manipolazione della materia su scala dimensionale inferiore al micrometro, normalmente tra 1 e 100 nanometri, e ha l'obiettivo di produrre materiali con particolari caratteristiche chimico-fisiche. Essa costituisce un ambito d'investigazione altamente multidisciplinare, coinvolgendo molteplici indirizzi di ricerca, che vanno dalla biologia molecolare alla chimica, alla scienza dei materiali e alla fisica, sia applicata sia di base, fino all'ingegneria meccanica ed elettronica. Le applicazioni attuali e future ne fanno un tema di grande attualità, riconoscendo alla nanotecnologia non solo un carattere innovativo, ma anche, in base al possibile impatto sulle applicazioni industriali e di conseguenza sulla nostra vita quotidiana, la capacità di dar vita ad una vera e propria rivoluzione industriale del XXI secolo. Essa può rappresentare la risorsa scientifica e tecnica necessaria per ripensare gli edifici.

La presente pubblicazione esplora il tema dell'innovazione edilizia confrontandosi con una questione complessa, quale quella rappresentata dalla *nanotecnologia*, indagando sul rapporto tra innovazione tecnologica e architettura dalla fine del sec. XIX sino ai nostri giorni, sottolineando soprattutto il forte legame tra l'uso di materiali innovativi e la progettazione architettonica, un filo che lega l'architettura all'avvento del *ferro*, del *vetro*, del *cemento armato*, per introdurre al tema delle *nanotecnologie in edilizia*, forse, la nuova frontiera dell'innovazione.

Francesca Scalisi, (Palermo, 1973) architetto, Dottore di Ricerca in "Recupero e Fruizione dei Contesti Antichi", è titolare di Assegno di Ricerca sul tema "Sperimentazione dei materiali nanostrutturati nei siti archeologici di Agrigento, di Morgantina e nella Villa Romana del Casale", presso il Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia dell'Università degli Studi di Palermo. Docente del Modulo di *Progettazione dei sistemi costruttivi* presso la Facoltà di Architettura di Palermo e del Modulo *Gli elementi e i materiali dell'architettura* presso la Facoltà di Architettura di Palermo - sede di Agrigento, svolge da anni un'intensa attività di ricerca nell'ambito del recupero dell'architettura e delle nanotecnologie applicate ai Beni Culturali e agli edifici di nuova costruzione, collaborando a diversi Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale - PRIN, con diverse pubblicazioni in ambito nazionale e internazionale.

In copertina
Particolare del Deutsche Post Tower di Murphy/Jahn a Bonn.

€ 40,00

ISBN 978-88-387-5752-6



QUADRATO
EDIZIONI