

LA STEREOTOMIA IN SICILIA E NEL MEDITERRANEO



a cura di
Marco Rosario Nobile



Edizioni Caracol

Il volume è stato realizzato nell'ambito del progetto Lithos, co-finanziato dall'Unione Europea, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale. Copia gratuita.

Il contenuto della presente pubblicazione è di esclusiva responsabilità del curatore e degli autori e può non rispecchiare le posizioni ufficiali dell'Unione Europea.



Tracciati. Storia e costruzione nel Mediterraneo. Collana diretta da Marco Rosario Nobile

Comitato scientifico:

Dirk De Meyer (Ghent University)

Alexandre Gady (Université de Paris IV - Sorbonne)

Javier Ibáñez Fernández (Universidad de Zaragoza)

Arturo Zaragoza Catalán (Generalitat Valenciana, Real Academia de Bellas Artes San Carlos de Valencia)

In copertina: Scicli. Cappella di Sant'Antonio, cupola (foto di M. Craparo).

Dove non diversamente indicato, le foto e i disegni sono a cura degli autori.

© 2013 Caracol, Palermo

ISBN 978-88-98546-02-2

Edizioni Caracol s.n.c.

via Mariano Stabile, 110, 90139 Palermo

e-mail: info@edizionicaracol.it

www.edizionicaracol.it

Vietata la riproduzione o duplicazione con qualsiasi mezzo.

INDICE

- 7 VOLTE IN PIETRA.
ALCUNE RIFLESSIONI SULLA STEREOTOMIA TRA ITALIA MERIDIONALE E MEDITERRANEO IN ETÀ MODERNA
Marco Rosario Nobile

SCHEDA

- 59 CASTELLAMMARE DEL GOLFO
La scala a chiocciola e il portale obliquo nel castello • *Giuseppe Antista*
- 62 COMISO
La cappella Naselli nella chiesa di San Francesco • *Annalisa Cappello*
- 65 MAZARA DEL VALLO
La cupola della chiesa di Sant'Egidio • *Federica Scibilia*
- 68 MILAZZO
Le scale a chiocciola nel duomo • *Giuseppe Antista*
- 72 MILITELLO IN VAL DI CATANIA
La cappella maggiore della chiesa di Sant'Antonio • *Annalisa Cappello*
- 75 MODICA
La cappella dei Confrati in Santa Maria di Betlem • *Sabina Montana*
- 78 La volta della cappella dell'Immacolata nella chiesa di San Pietro • *Antonella Armetta*
- 80 NOTO
Il portale di palazzo Bongiorno • *Maria Mercedes Bares*
- 82 I portali carenati di villa Nicolaci (Eleonora) • *Maria Mercedes Bares*
- 84 La volta a botte in curva nel palazzo senatorio • *Maria Mercedes Bares*
- 87 PALERMO
Il portale obliquo nel palazzo Abatellis • *Emanuela Garofalo*
- 90 La scala a chiocciola nella chiesa di Santa Maria dei Miracoli • *Mirco Cannella*
- 92 La scala del palazzetto Agnello • *Mirco Cannella*
- 94 RAGUSA
La chiesa dell'Addolorata • *Antonella Armetta*
- 96 SCICLI
La cappella di Sant'Antonio • *Sabina Montana*

- 99 Il portale della chiesa di San Michele Arcangelo • *Antonella Armetta*
- SIRACUSA
- 101 Il portale obliquo della cappella di Santa Lucia nel duomo • *Emanuela Garofalo*
- 104 Le volte dell'atrio del palazzo senatorio • *Antonella Armetta*
- TRAPANI
- 106 La cappella dei Marinai nel santuario dell'Annunziata • *Federica Scibilia*
- 110 La facciata della chiesa di San Lorenzo • *Giuseppe Antista*
-
- 113 LINEE GUIDA SU UNA METODOLOGIA INNOVATIVA PER IL RILIEVO E LO STUDIO DEL
PATRIMONIO ARCHITETTONICO
Mirco Cannella
-
- 128 L'ALLESTIMENTO DEL MUSEO DELLA STEREOTOMIA NEL PALAZZO LA ROCCA A RAGUSA IBLA
Simona Zichichi

LINEE GUIDA SU UNA METODOLOGIA INNOVATIVA PER IL RILIEVO E LO STUDIO DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO

Mirco Cannella

L'approccio multidisciplinare allo studio del patrimonio architettonico è ormai una realtà consolidata. Il solo connubio tra “saperi” differenti fornisce gli strumenti necessari per conoscere, salvaguardare e valorizzare i beni architettonici. Gli studi storici e socio-culturali, la diagnostica delle costruzioni, l'analisi strutturale e petrografica delle murature, i rilievi e la rappresentazione architettonica sono attività di indagine afferenti a discipline diverse ma con l'obiettivo comune di fornire una lettura critica e coerente di manufatti architettonici.

In questa sede vengono indagati il ruolo e i cambiamenti metodologici che hanno interessato il rilievo e la rappresentazione architettonica soprattutto nell'ultimo decennio e sono brevemente descritte le peculiarità e le articolazioni di tali metodi, al fine di evidenziare alcuni nodi concettuali legati al rapporto tra misura, interpretazione e rappresentazione: il costante perfezionamento degli strumenti a scansione laser e la rinascita digitale della fotogrammetria hanno dato vita a una evoluzione metodologica operativa che sotto molti aspetti ha notevolmente facilitato le fasi di acquisizione, specie in termini di tempo impiegato, ma ha generato nuove problematiche che verranno descritte in seguito.

In letteratura è ormai consolidata la distinzione tra “rilevamento” e “rilievo”, intendendo con il primo termine il processo di acquisizione dei dati metrici (e cromatici) dell'opera rilevata, e con il secondo il processo

che, a partire dai dati metrici, conduce a una lettura critica e approfondita dell'opera stessa.

I metodi di rilevamento si distinguono in diretti e indiretti: i primi, che consentono di conoscere in tempo reale il valore dimensionale di una misurazione effettuata, presuppongono la lettura *in situ* delle caratteristiche formali dell'opera attraverso la redazione di eidotipi sui quali sono annotate le misure; gli eidotipi sono spesso prefigurazioni degli elaborati grafici che saranno in seguito redatti, e pertanto la scelta dei piani di sezione e delle misure da eseguire viene effettuata contestualmente all'acquisizione delle misure.

Nei metodi indiretti (topografici, laser scanning e fotogrammetrici) la conoscenza delle proprietà metriche del manufatto è demandata all'elaborazione in laboratorio dei dati acquisiti *in situ*.

Come si è già accennato, i moderni strumenti topografici e laser scanning, oltre a consentire di misurare zone del manufatto difficilmente raggiungibili con i tradizionali metodi diretti, permettono di ridurre drasticamente i tempi di acquisizione: ciò si deve soprattutto all'utilizzo degli scanner laser di ultima generazione che consentono di rilevare in pochi minuti estese superfici con una precisione millimetrica.

Il principio di funzionamento degli scanner laser è simile a quello impiegato dalle stazioni totali dove la misura delle coordinate di un punto è data dalla misura dell'angolo azimutali e zenitale e della distanza del punto dallo strumento. Tuttavia, a differenza della stazione totale, che permette di misurare un punto ben preciso grazie ad una collimazione effettuata tramite un cannocchiale ottico, uno scanner laser può acquisire migliaia di punti al secondo: è sufficiente stabilire il passo di scansione, ovvero la mutua distanza tra i punti acquisiti ad una determinata distanza, e un'area di scansione.

Generalmente gli scanner laser vengono classificati, in base alla tecnologia impiegata per la misura delle distanze, in scanner laser "a tempo di volo" e "a differenza di fase".

Nei primi la distanza di un punto è ricavata dalla misura dell'intervallo di tempo impiegato dal raggio laser per raggiungere la superficie da rilevare e tornare verso lo strumento dopo essere stato riflesso: un orologio stabilizzato al quarzo permette infatti di misurare con precisione questo intervallo e, considerato che l'onda elettromagnetica si sposta alla velocità della luce (300.000 km/s), basta un semplice calcolo per determinare la distanza.

Negli scanner laser "a differenza di fase", la distanza di un punto è calcolata, invece, misurando lo sfasamento tra l'onda elettromagnetica emessa e quella riflessa.

Le differenze tra le due tipologie di scanner risiedono essenzialmente nella "portata" e nella velocità di acquisizione. La portata corrisponde alla distanza massima di acquisizione ed è maggiore negli scanner "a tempo di volo" (da 100 a 2.000 m rispetto ai 180 m di uno "a differenza di fase"). Per quanto riguarda la velocità di acquisizione, uno scanner laser "a differenza di fase" riesce ad acquisire, al secondo, circa 500.000 punti, rispetto ad uno "a tempo di volo", che nello stesso intervallo ne acquisisce, al massimo, 50.000.

Il prodotto digitale di una scansione laser è un insieme definito in genere "nuvola di punti": ad ogni punto, definito nello spazio da una terna di coordinate (xyz), è associata un'informazione cromatica che può essere ricavata da un'immagine fotografica, acquisita da una camera interna o esterna allo scanner (componente cromatica definita dai valori RGB). Un'altra informazione cromatica è data, inoltre, dal valore d'intensità con cui il raggio laser ritorna allo strumento dopo essere stato riflesso dalla superficie rilevata¹.

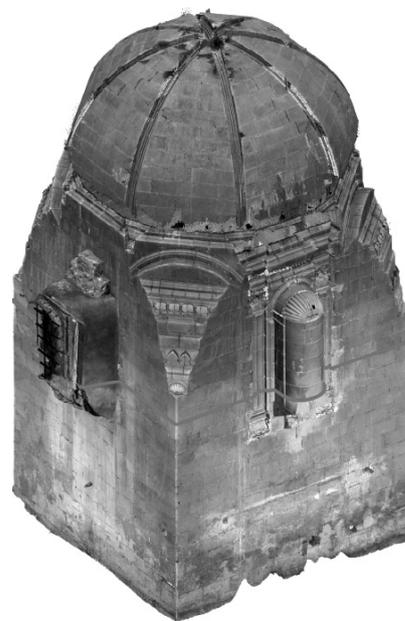
Durante le fasi di scansione di un manufatto architettonico occorre inoltre tenere conto degli elementi che s'interpongono tra lo scanner e la superficie da rilevare: la loro presenza può generare delle zone d'ombra in cui non si avrà nessuna informazione, rendendo pertanto necessario eseguire più scansioni da punti di stazione distinti. Le diverse nuvole di punti sa-

ranno successivamente mosaicate e riferite ad unico sistema di riferimento spaziale² ottenendo così un “simulacro digitale”³ del manufatto architettonico rilevato. E in laboratorio, a partire da tale simulacro, vengono eseguite tutte le operazioni di “rilievo”, intendendo con tale termine la lettura critica del manufatto: le informazioni metriche vengono ricavate grazie all'estrazione dalla nuvola di punti di sezioni piane, ognuna delle quali si configura come un insieme di punti, distribuiti sul piano, che descrivono il profilo cercato.

La prima operazione critica di discretizzazione delle forme rilevate consiste nel ridisegno della sezione: ad esempio per gli spigoli che, in quanto astrazione geometrica, non vengono individuati dallo scanner, si procede all'identificazione delle rette che convergono verso lo spigolo e alla loro intersezione. Il ridisegno delle sezioni ha altresì la funzione di definire eventuali elementi di dettaglio (p. es. modanature di cornici) che risultano rilevati in modo inadeguato nelle scansioni, o ancora, consente di interpretare le discontinuità fra i punti della sezione dovute alle zone d'ombra presenti nella scansione (sottosquadri di cornice, ecc.) [fig. 1].

Chiaramente la lettura di un manufatto deve presupporre, da parte di chi la esegue, la capacità di riconoscerne gli elementi costitutivi, nonché le regole e le gerarchie di composizione: lo studio di un manufatto deve tener conto del clima culturale, del periodo storico, del contesto geografico in cui esso è stato costruito, ma anche dei caratteri stilistici, delle tecniche costruttive e delle modificazioni nella struttura e negli usi del manufatto stesso. Tale lettura ovviamente non può avere carattere di oggettività, condizionata com'è dalla formazione e dalle capacità di chi esegue l'interpretazione, ma può tuttavia assumere carattere di scientificità laddove lo studioso dichiara esplicitamente i riferimenti e i procedimenti che lo hanno condotto a formulare la sua ipotesi interpretativa.

Se è possibile ricavare dalle nuvole di punti una rappresentazione classica bidimensionale di un manufatto architettonico (piante, sezioni e prospetti) o studiarne le matrici geometriche, è nella costruzione di modelli digitali



I.

I. Vista assonometrica della nuvola di punti della cappella di Sant'Antonino a Scicli; in rosso l'estrazione di una delle sezioni orizzontali utilizzate per la costruzione del modello 3D.

tridimensionali che emergono pienamente le reali potenzialità di un rilievo condotto con strumentazione laser scanning. Lo sviluppo di specifici software di modellazione 3D ha consentito di gestire nuvole di punti di grandi dimensioni all'interno di un unico spazio di lavoro, e inoltre di ottenere un controllo costante sull'errore intrinseco a ogni operazione di discretizzazione, quello cioè dovuto principalmente allo scostamento tra il modello discreto e la forma rilevata sotto forma di nuvola di punti.

Accanto ai sistemi a scansione laser, è sempre maggiore, per il rilievo di manufatti, il ricorso alle nuove tecniche fotogrammetriche digitali, che consentono di ricavare le informazioni metriche a partire da una o più immagini fotografiche di un elemento fisso presente sulla scena.

Sebbene già in uso agli inizi del Novecento, è solo in anni recenti, grazie allo sviluppo e alla diffusione di fotocamere digitali sempre più performanti, che la fotogrammetria si può considerare una valida alternativa alla tecnologia a scansione laser. Un aspetto niente affatto trascurabile, e che ha contribuito notevolmente alla diffusione delle metodologie fotogrammetriche, è quello riguardante i costi della strumentazione necessaria (fotocamere digitali, obiettivi, accessori e relativi software) decisamente inferiori rispetto a quelli di cui necessita una metodologia scanner laser. Di contro un sapiente uso della fotogrammetria digitale è vincolato alla competenza e all'esperienza dell'operatore, che deve essere abile sia nell'acquisizione degli scatti fotografici, sulla base di un preliminare progetto fotogrammetrico, sia nella gestione ed elaborazione delle immagini.

La fotogrammetria è classificata in base alla distanza di presa rispetto all'oggetto del rilievo: in architettura si ricorre comunemente alla fotogrammetria terrestre (detta anche fotogrammetria architettonica) in cui la distanza di ripresa è in genere abbastanza contenuta; si ricorre alla fotogrammetria aerea invece nel caso del rilevamento del territorio, allorché, per eseguire gli scatti fotografici da una certa quota, sia necessario l'utilizzo di aeromobili, satelliti o droni.

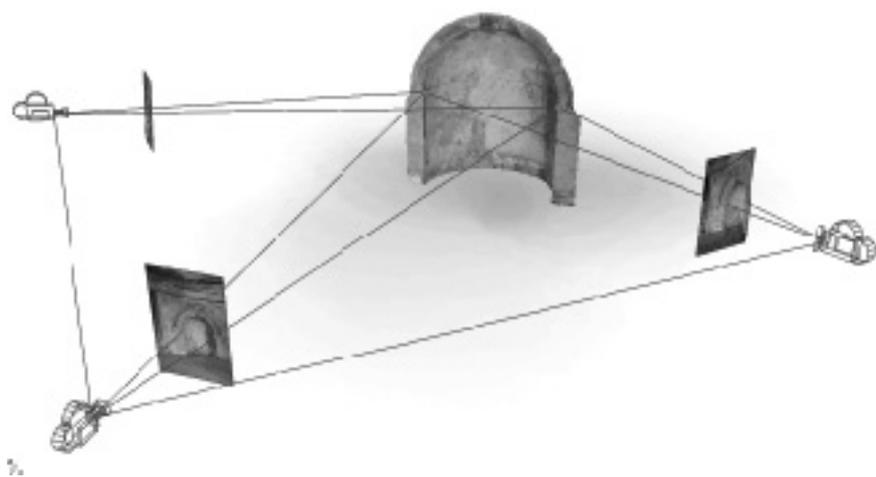
Da una singola immagine fotografica, sfruttando i principi della geometria

proiettiva, è possibile realizzare un “fotopiano”, un elaborato utile alla documentazione metrica di estese superfici piane come prospetti, soffitti o pavimentazioni. La realizzazione di un fotopiano si basa sulla trasformazione di un fotogramma da una proiezione prospettica a una proiezione ortografica. Affinché tale trasformazione sia possibile è necessario identificare nello spazio la posizione di almeno cinque punti, e che essi siano riscontrabili sia sul fotogramma che sull’oggetto rilevato: tali punti, indicati da opportuni segnali (*marker*) o identificati da punti naturali, vengono generalmente misurati con strumentazioni topografiche.

Un’ulteriore condizione necessaria per la realizzazione di un fotopiano metricamente corretto è data dalla conoscenza dei parametri intrinseci della fotocamera come la distanza focale e la posizione del punto principale⁴, la dimensione del fotogramma, le distorsioni indotte dalle lenti dell’obiettivo ecc. Spesso è la stessa casa produttrice della fotocamera a fornire i parametri intrinseci (nel caso delle fotocamere metriche), ma quando ciò non avviene essi possono essere calcolati attraverso appositi processi di calibrazione⁵.

In casi, assai frequenti, in cui la distanza di presa non sia sufficiente ad acquisire con un unico fotogramma l’intero elemento architettonico nella sua estensione, si rende necessario il ricorso al fotomosaico, realizzato mediante la giustapposizione di più fotopiani.

Per il rilievo di superfici complesse o spazi architettonici articolati si fa ricorso alla “fotogrammetria stereoscopica” che consente di ricavare le coordinate spaziali (xyz) di un punto se questo è visibile contemporaneamente in almeno due o più fotogrammi scattati da altrettanti distinti punti di ripresa. La fotogrammetria stereoscopica si definisce, in base alla metodologia di ripresa dell’oggetto, in fotogrammetria con prese “ad asse parallelo”, quando la fotocamera viene orientata mantenendo l’asse di mira parallelo tra una scatto e l’altro, e fotogrammetria “a prese convergenti”, quando gli scatti sono eseguiti spostandosi attorno a un oggetto e mantenendo il punto di mira rivolto costantemente verso quest’ultimo [fig. 2].



2. Schema delle riprese fotografiche in progetto fotogrammetrico stereoscopico a prese convergenti.

2.

119



3. Costruzione del modello 3D con tecniche di fotomodellazione dell'Oratorio del SS. Sacramento presso la chiesa di Santa Caterina a Zejtun (Malta).

3.

I risultati di un progetto fotogrammetrico stereoscopico sono molteplici: è possibile estrarre le coordinate di singoli punti, generare nuvole di punti dense, realizzare un'ortofoto⁶ o elaborare un modello 3D integrando tecniche fotogrammetriche e tecniche di modellazione convenzionali (fotomodellazione)⁷ [fig. 3].

Negli ultimi anni l'attenzione di ricercatori e di responsabili delle *software house* si è rivolta in modo particolare alla fotogrammetria, soprattutto allo scopo di generare nuvole di punti dense con una sempre maggiore precisione metrica e con margini di errore sempre più contenuti. La costruzione di modelli 3D a partire da immagini fotografiche è inoltre comune obiettivo di ricerca di una tecnologia informatica, definita *computer vision*, che da alcuni anni si affianca alla fotogrammetria rafforzandone principi e potenzialità. I ricercatori specializzati in questa scienza sono costantemente alla ricerca di nuovi algoritmi e software per il processamento automatico di generici blocchi fotografici di un medesimo soggetto: le tecniche di calcolo, definite *Structure from Motion* (SfM), si basano sulla ricostruzione della forma 3D di un oggetto a partire dalla collimazione automatica di punti omologhi ricavati da più prese fotografiche acquisite da diverse angolature e convergenti tutte verso l'oggetto⁸. Sebbene nella *computer vision* la precisione metrica non costituisca un parametro di rilevanza fondamentale, questa tecnologia ha il grande vantaggio di poter utilizzare, per l'elaborazione del modello, immagini fotografiche di qualsiasi tipo: si può ricorrere a immagini acquisite in periodi differenti, con diverse fotocamere o da diversi operatori, e pertanto si può attingere a qualsiasi *database*, come quello, potenzialmente infinito, fornito dalla rete web, che accoglie gli scatti di migliaia di fotografi professionisti e non.

Negli ultimi anni la distinzione tra fotogrammetria e *computer vision* è sempre meno marcata: il passaggio di conoscenze tra una disciplina e l'altra è costante e biunivoco e ha condotto o sta conducendo allo sviluppo di software in grado di garantire una completa documentazione dei manufatti

con un alto livello di precisione metrica. In questa direzione operano, ad esempio, alcuni dei più importanti gruppi di ricerca europei, impegnati nella definizione di procedure e *tools* fotogrammetrici finalizzati in particolare alla digitalizzazione del patrimonio archeologico e architettonico⁹. Sin qui sono state descritte brevemente le innovative tecniche di rilevamento introdotte e sviluppate negli ultimi anni e si è fatto cenno al cambiamento del *modus operandi* che dal “rilevamento” conduce al “rilievo” e alla “rappresentazione”. Ma prima di parlare in termini più precisi dell’evoluzione digitale della rappresentazione architettonica occorre fare alcune considerazioni sulle finalità di un rilievo architettonico e sul loro ruolo nella definizione delle procedure e degli apparati strumentali per l’acquisizione delle misure, nonché nella scelta dei metodi e della scala di rappresentazione.

Le finalità del rilievo di un manufatto architettonico possono essere molteplici: dalla documentazione dello stato di conservazione, allo studio delle matrici geometriche, all’analisi dei fenomeni strutturali, alla riconfigurazione congetturale di uno stato precedente di una fabbrica, ecc.

Non è certamente il maggiore o minore grado di evoluzione tecnologica di uno strumento o l’innovatività di una tecnologia a determinarne la scelta nell’esecuzione di un rilievo. Spesso, infatti, l’uso di tecniche fotogrammetriche può dipendere, ad esempio, dalla necessità di documentare in modo accurato l’aspetto cromatico delle superfici, così come l’utilizzo dello scanner laser è più indicato al rilevamento di spazi architettonici complessi o al rilievo per l’analisi e il monitoraggio delle deformazioni strutturali.

Talvolta inoltre è necessario integrare l’utilizzo di più tecniche di rilevamento¹⁰ a causa delle peculiarità di determinati manufatti architettonici, come quelli caratterizzati dalla presenza di ricchi apparati decorativi o da una complessa morfologia e geometria degli spazi. È il caso delle complesse opere di stereotomia per le quali le metodologie laser scanning, utilizzate per il rilievo delle superfici, vanno integrate con i metodi diretti, più appropriati per il rilievo di dettagli e modanature.

Alla luce di quanto detto si può affermare pertanto che non esiste una modalità operativa da preferire a scapito di un'altra e che sia standardizzata e univoca per qualsiasi rilievo di un manufatto architettonico, ma è opportuno, caso per caso, progettare la migliore strategia di rilevamento, programmando le diverse fasi e scegliendo gli apparati strumentali più idonei e le relative tecniche di rappresentazione.

Ed è intorno al tema della rappresentazione che possono essere fatte nuove osservazioni sul rapporto tra “rilievo” e “rappresentazione” e sul concetto di *mimesis* che li lega.

Come evidenziato da Vittorio Ugo, la *mimesis* non può essere considerata una banale “riproduzione”, o un procedimento puramente tecnico o proiettivo, ma assume il valore di una teoria, «la rappresentazione, cioè, presuppone l'assunzione dell'opera di architettura (sia essa costruita o progettata) tramite la selezione e l'interpretazione degli elementi e dei rapporti ritenuti effettivamente caratterizzanti, ovvero tramite una riduzione a modello; l'oggetto del processo mimetico di riproduzione sarà pertanto un modello; ed ancora un modello ne sarà l'esito»¹¹.

Se dunque il manufatto che ci apprestiamo a rilevare è da considerare un modello, così come sarà un modello anche la sua rappresentazione, il processo di discretizzazione delle forme rilevate assume un ruolo di fondamentale importanza nelle fasi di costruzione di un modello digitale tridimensionale.

Un modello digitale tridimensionale può essere realizzato utilizzando principalmente due tecniche di modellazione, quella poligonale e quella definita NURBS (*Non Uniform Rational Basis-Splines*).

Un modello di tipo poligonale è caratterizzato da superfici costituite da una maglia di elementi piani (triangoli o quadrilateri) la cui posizione spaziale è definita dalle tre coordinate *xyz* dei singoli vertici. Esso può essere elaborato o con la generazione automatica di superfici da “nuvole di punti”, o costruito mediante un processo criticamente controllato che, a partire dalla manipolazione di geometrie semplici (piani, cubi, cilindri, sfere



4.

4. Modellazione poligonale: processo di trasformazione dei poligoni di base attraverso estrusioni e manipolazione di vertici e spigoli.

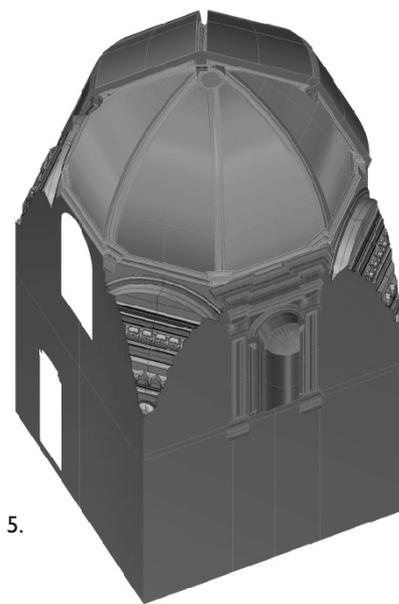
ecc.), permette di ottenere modelli più complessi attraverso processi di addizione e/o sottrazione di poligoni¹² [fig. 4].

La modellazione poligonale è dunque basata su un processo iterativo che, al pari di quanto si è detto circa le tecniche di discretizzazione basate sull'estrazione di sezioni piane, è fortemente condizionata dall'esperienza e dalla sensibilità dell'operatore, più che dall'abilità di quest'ultimo nell'utilizzo del software.

In un modello NURBS, definito anche "analitico", in quanto descrivibile da funzioni matematiche, la costruzione delle superfici è determinata da operazioni di estrusione di profili lungo una o più curve o dalla rivoluzione di curve di profilo attorno a un asse, o ancora da superfici generate mediante l'interpolazione di curve: è possibile pertanto troncare o estendere le superfici, creare delle intersezioni, proiettare linee, ecc. Generalmente un modellatore NURBS permette di gestire con elevata accuratezza sia il disegno vettoriale sia la modellazione, e di integrare modelli analitici e poligonali (nel caso dei cosiddetti modelli "ibridi") [fig. 5].

Una volta costruiti, i modelli 3D possono essere ulteriormente arricchiti con informazioni cromatiche e materiche: a ogni superficie può essere associato un cosiddetto "materiale" che consente di caratterizzarne l'aspetto materico come il colore, la rugosità, la riflessione, la rifrazione e più in generale tutti quei fenomeni ottici che caratterizzano i materiali presenti in natura. Il colore di un materiale può essere reso o da una precisa tinta definita attraverso le componenti RGB o da una *texture*. Spesso i beni architettonici si caratterizzano per i materiali preziosi di cui sono costituiti o per particolari trame murarie o ancora per la presenza di pitture, affreschi e decorazioni musive: una documentazione completa di tali peculiarità si traduce in una realizzazione di un modello 3D "mimetico", in cui a ogni superficie è associata una *texture* proiettata su di essa ed elaborata a partire da una o più prese fotografiche della superficie corrispondente nel manufatto architettonico.

I modelli 3D, così realizzati, possono essere impiegati per la produzione



5.

5. Modello NURBS della Cappella di Sant'Antonino a Scicli (RG).

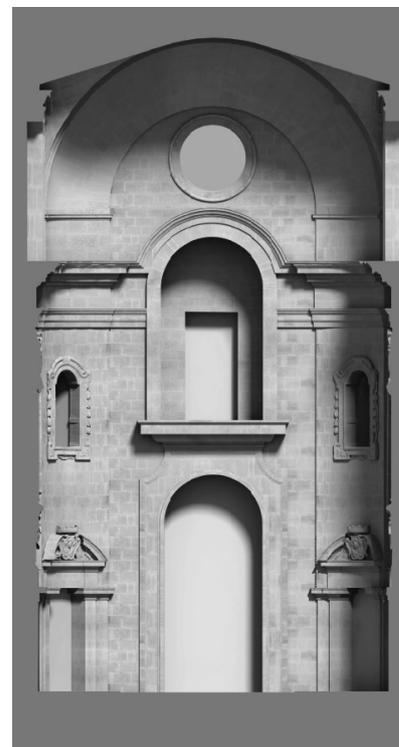
di immagini (*rendering*) e animazioni, per la fruizione interattiva e la costruzione di database o per la prototipazione rapida di modelli fisici in scala. Attraverso i processi di *rendering* è possibile produrre viste ortografiche, assonometriche o prospettiche o un'animazione video da un modello 3D. Gli applicativi deputati alla trasformazione di una vista di un modello in immagine¹³, denominati “motori di *rendering*”, consentono di produrre sia immagini fotorealistiche, simulando il comportamento naturale della luce e dei materiali, sia viste concettuali [fig. 6].

Altri motori di *rendering*, definiti *real time*, sono invece impiegati per la fruizione di mondi virtuali, e consentono di calcolare e sintetizzare istante per istante delle immagini in modo tale che il fruitore possa interagire con un modello 3D.

L'interazione con l'ambiente virtuale oggi è accessibile a chiunque ed è affidata a una gamma di dispositivi sempre più ampia, come ad esempio, solo per citare i più diffusi, *kiosk*, PC, tablet, smartphone e video guide.

Nell'ambito della fruizione virtuale, e assai spesso in riferimento ai beni architettonici, si fa ricorso ai cosiddetti modelli “multimodali”, ossia a modelli tridimensionali dotati di collegamenti a contenuti digitali di natura diversa. Utilizzati come una sorta di “porta di accesso” a un database informativo, i modelli multimodali si rivelano tra gli strumenti più efficaci per la visualizzazione di un manufatto e soprattutto per la fruizione di tutte quelle informazioni che si vogliono comunicare in merito a esso. Tali modelli consentono inoltre di osservare il manufatto da punti di vista fisicamente inaccessibili o ancora, attraverso un “salto nel tempo”, di riproporre una ricostruzione congetturale in un determinato momento della sua esistenza. Questa ricostruzione si rivela di fondamentale importanza soprattutto nei casi in cui il corso del tempo e degli eventi storici nei secoli ha determinato delle trasformazioni del manufatto o la perdita della sua configurazione originaria.

Non è di minore interesse l'eventualità di applicare le ricostruzioni virtuali a ruderi o a manufatti non più esistenti, e che grazie alla realtà virtuale



6.

6. Sezione trasversale (render) dell'oratorio del SS. Sacramento presso la chiesa di Santa Caterina a Zejtun (Malta).

possono nuovamente rivivere: è il caso della fruizione dei parchi archeologici o di città perdute in cui è possibile, a esempio, riproporre *in situ* l'anastilosi di templi o edifici, e visualizzarli orientando semplicemente un dispositivo mobile, quasi fosse una finestra temporale sulle rovine.

Il tema delle ricostruzioni virtuali e di modelli congetturali che abbiano un fondamento scientifico pone in primo piano quanto già detto, ovvero la necessità di integrare tra loro studi afferenti a diverse discipline. L'evoluzione degli strumenti e delle metodologie ha infatti permesso di potenziare il contributo del rilievo per lo studio del patrimonio architettonico e di divulgarne gli esiti attraverso il linguaggio della rappresentazione architettonica.

Note

¹ Il valore d'intensità varia in funzione della superficie rilevata: la diversa consistenza dei materiali e il colore possono determinare un maggiore o minore assorbimento della luce laser e quindi un ritorno più o meno intenso del raggio verso il ricevitore dello strumento.

² Per facilitare le operazioni di orientamento, durante le fasi di scansione vengono acquisiti o target fisici, visibili contemporaneamente da due o più punti di stazione, o estese superfici di sovrapposizione tra una scansione e l'altra, sulle quali rintracciare in seguito punti omologhi necessari per le operazioni di mosaicatura.

³ Cfr. F. AGNELLO, *Rilievo e Rappresentazione del soffitto della navata centrale della Cappella Palatina*, in *La Cappella Palatina di Palermo*, Modena 2010, pp. 295-352.

⁴ Il punto principale è il centro in cui i raggi visivi si intersecano prima di essere ri-proiettati sul sensore digitale; la distanza dal sensore corrisponde alla lunghezza focale dell'obiettivo.

⁵ In questo caso si procede dapprima all'acquisizione di specifiche prese di adeguate griglie o marker e successivamente alla risoluzione software dei parametri di orientamento interno della fotocamera.

⁶ Un'ortofoto è un'immagine geometricamente corretta e metricamente misurabile, esito di una proiezione ortogonale di un modello tridimensionale su un piano di riferimento. A differenza di un fotopiano, che può essere elaborato solo per superfici planari, un'ortofoto può essere generata a prescindere dalle geometrie della superficie dell'oggetto.

⁷ Sulla fotomodellazione si rimanda a L. DE LUCA, *La Fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*, Palermo 2011.

⁸ Y. FURUKAWA, J. PONCE, *Accurate, Dense, and Robust Multi-View Stereopsis*, in «IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence», 32, August 2010, pp. 1362-76.

⁹ Si tratta dell'Institut Géographique National di Parigi, il MAP-Gamsau Lab (CNRS/MCC) di Marsiglia e la Fondazione Bruno Kessler - 3DOM di Trento, nell'ambito del progetto di ricerca TAPeNADe (*Tools and Acquisition Protocols for Enhancing Artifacts Documentation*), sito web www.tapenade.gamsau.archi.fr.

¹⁰ Cfr. F. AGNELLO, M. LO BRUTTO, *Integrated surveying techniques in cultural heritage documentation*, Proceedings of the 2nd ISPRS International Workshop 3D-ARCH

2007 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures ETH Zurich, Switzerland, 12-13 July 2007, in «International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XXXVI-5/W47, pp. 47-52 e S. F. EL-HAKIM, J.A. BERARDIN, *Detailed 3d Reconstruction of Monuments Using Multiple Techniques*, in *Proceedings of the International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording - Complementing or Replacing Photogrammetry*, National Research Council Canada, Corfù 2002, pp. 58-64.

¹¹ Cfr. V. UGO, *Mimesi*, in *Temi e codici del disegno di architettura*, a cura di R. De Rubertis, A. Soletti, V. Ugo, Roma 1992, pp. 9-23.

¹² L'addizione di poligoni è generalmente eseguita attraverso l'estrusione di facce o spigoli: il nuovo poligono, così ottenuto, può essere a sua volta trasformato modificando la posizione dei vertici, e le facce o gli spigoli di esso possono essere utilizzati per ulteriori estrusioni. L'operazione di estrusione permette di aumentare il numero complessivo delle facce dell'oggetto per ottenere forme complesse.

¹³ Nel caso di un'animazione video si generano più *rendering* necessari a soddisfare la durata e il *frame rate* ovvero dalla sequenza di fotogrammi al secondo necessari per una velocità di riproduzione alta tale da produrre l'illusione del movimento.