# Architettura e modellazione solida

*Federico Fallavollita*

**Abstract**

Grazie alla rivoluzione informatica, oggi possiamo disegnare e modellare le forme dell'architettura direttamente in uno spazio virtuale. Lo strumento adottato per il disegno architettonico è, in primo luogo, il computer e ai metodi della rappresentazione classica (il disegno in pianta e alzato, l'assonometria e la prospettiva) si sono affiancati quelli della rappresentazione informatica (matematica e numerica). Nonostante ciò, l'uso del modello plastico non è stato abbandonato, bensì è stato esaltato dalla tecnica della prototipazione rapida, in altre parole la stampa 3D di modelli.

Se è vero che il disegno è stato, almeno nel passato, lo strumento principale dell'architetto progettista, è altrettanto vero che l'esigenza di vedere direttamente i volumi nella tridimensionalità non è mai venuta meno. La percezione umana delle forme richiede un controllo diretto nello spazio per poter essere convincente; l'uso del plastico, sia come strumento proprio del progettista che come strumento particolarmente efficace perché il committente possa comprendere lo spazio e la tridimensionalità dell'architettura. In questa idea di tridimensionalità vanno fatte rientrano tutte le peculiarità della forma architettonica, dalla sua caratteristica di nascere e svilupparsi nello spazio alla sua necessaria consistenza fisica, alla sua materialità.

La fisicità dell'architettura è un aspetto che deve essere considerato attentamente quando si affronta la modellazione informatica. Bisogna saper simulare la fisicità dei corpi: ad esempio, rappresentare il muro di un edificio con diverse superfici, perfino non aderenti fra loro, è un errore concettuale oltre che tecnico; e ancora: intersecare due solidi trascurando la potenziale fisicità di entrambi porta ad avere modelli non corretti con possibili conseguenze sia estetiche (rendering inefficaci) e sia fisiche (stampe 3D inesatte o addirittura non realizzabili).

In queste pagine, si tenterà perciò di descrivere sinteticamente la metodologia della modellazione architettonica attraverso il metodo della rappresentazione matematica in relazione al problema della fisicità dei corpi e di chiarire perché alcune questioni, apparentemente soltanto tecniche, nascondano, invece, concetti essenziali per una buona esecuzione dei modelli.

a cura di **Piero Albisinni** | **Laura De Carlo**

scritti di
Piero Albisinni | Andrea Aleardi | Laura De Carlo | Roberto Fuda | Lara Vinca Masini | Corrado Marcetti | Franco Purini
Leonardo Baglioni | Laura Carlevaris | Federico Fallavollita | Alessandro Micucci | Alessio Tommasetti

GANGEMI EDITORE

# architettura | disegno | modello

## VERSO UN ARCHIVIO DIGITALE DELL'OPERA DI MAESTRI DEL XX SECOLO

GIOVANNI MICHELUCCI MAURIZIO SACRIPANTI LEONARDO SAVIOLI

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Volume stampato con il contributo del Dipartimento
di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

Cura redazionale
Laura Carlevaris

©
Proprietà letteraria riservata
Gangemi Editore spa
**Piazza San Pantaleo 4, Roma**
www.gangemieditore.it

Nessuna parte di questa
pubblicazione può essere
memorizzata, fotocopiata o
comunque riprodotta senza
le dovute autorizzazioni.

ISBN 978-88-492-2098-8

# architettura | disegno | modello

## VERSO UN ARCHIVIO DIGITALE DELL'OPERA DI MAESTRI DEL XX SECOLO

GIOVANNI MICHELUCCI MAURIZIO SACRIPANTI LEONARDO SAVIOLI

a cura di **Piero Albisinni | Laura De Carlo**

scritti di
Piero Albisinni
Andrea Aleardi
Leonardo Baglioni
Laura Carlevaris
Laura De Carlo
Federico Fallavollita
Roberto Fuda
Corrado Marcetti
Lara Vinca Masini
Alessandro Micucci
Franco Purini
Alessio Tommasetti

GANGEMI EDITORE

# Indice


7 | **Introduzione**
*Piero Albisinni, Laura De Carlo*

**Verso un archivio digitale di architetture d'autore**

11 | Un futuro per gli archivi di architettura
*Andrea Aleardi*

19 | Il linguaggio dello spazio nei disegni di Michelucci
*Corrado Marcetti*

33 | Maurizio Sacripanti e il disegno di architettura
*Franco Purini*

45 | Il fondo Leonardo Savioli
presso l'Archivio di Stato di Firenze
*Roberto Fuda*

49 | Leonardo Savioli: il segno generatore di forma-spazio
*Lara Vinca Masini*

## La rappresentazione digitale dell'architettura: metodi e strumenti


L'analisi grafica dell'architettura: dall'analogico al digitale | 65
*Piero Albisinni*

Il digitale per la de-costruzione geometrica della forma | 77
*Laura De Carlo*

Il modello strutturato | 87
*Leonardo Baglioni*

Luce, superficie, visione: il modello come metafora | 97
*Laura Carlevaris*

Architettura e modellazione solida | 109
*Federico Fallavollita*

Il ri-disegno come progetto | 117
*Alessandro Micucci*

Il progetto della comunicazione | 129
*Alessio Tommasetti*


## Galleria dei modelli

*a cura di Alessandro Micucci*


Giovanni Michelucci. Il linguaggio della materia | 141

Maurizio Sacripanti. Visioni di frontiera | 169

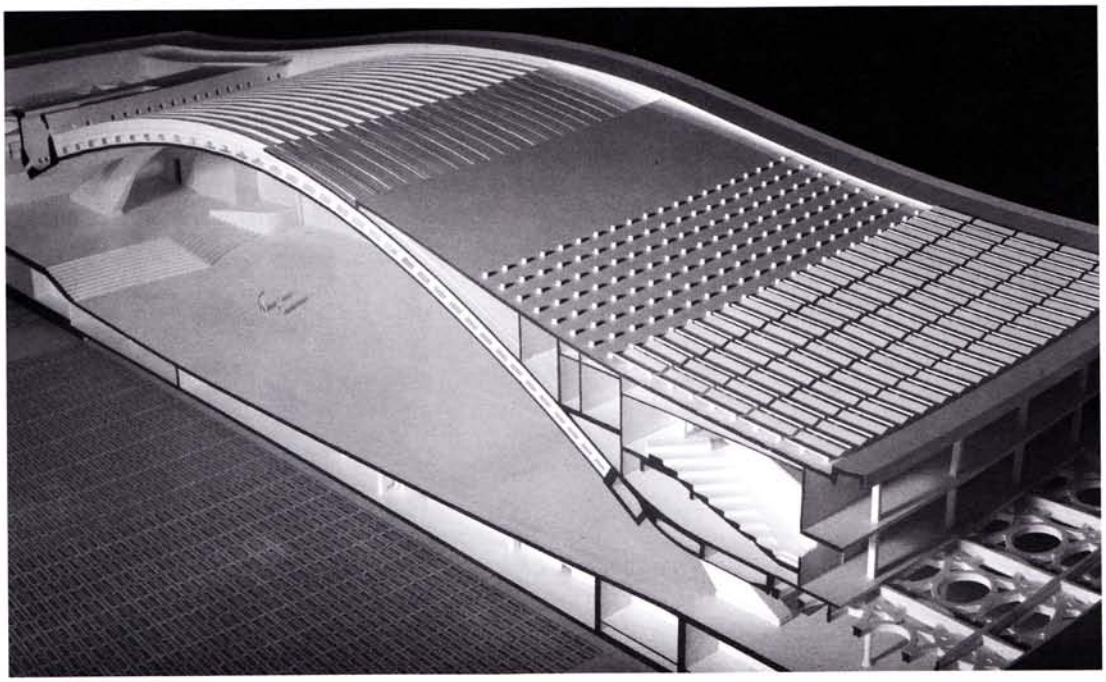
Leonardo Savioli. Il segno generatore della forma | 203

# Architettura e modellazione solida

*Federico Fallavollita*

Grazie alla rivoluzione informatica, oggi possiamo disegnare e modellare le forme dell'architettura direttamente in uno spazio virtuale. Lo strumento adottato per il disegno architettonico è, in primo luogo, il computer e ai metodi della rappresentazione classica (il disegno in pianta e alzato, l'assonometria e la prospettiva) si sono affiancati quelli della rappresentazione informatica (matematica e numerica)[1]. Nonostante ciò, l'uso del modello plastico non è stato abbandonato, bensì è stato esaltato dalla tecnica della "prototipazione rapida"[2] (fig. 1), in altre parole la stampa 3D di modelli informatici[3].

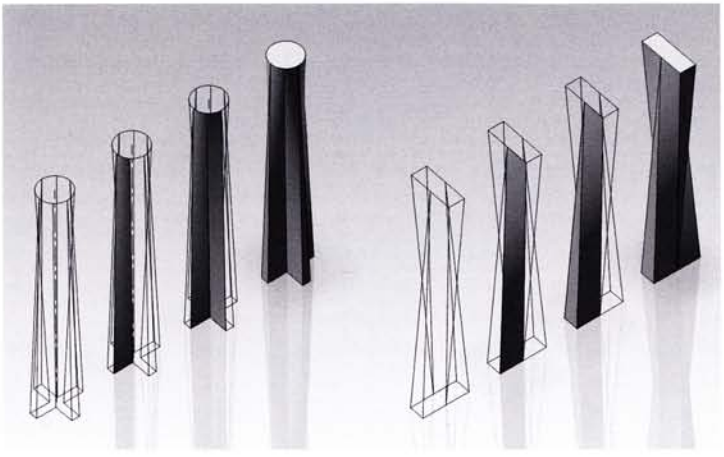
Se è vero che il disegno è stato, almeno nel passato, lo strumento principale dell'architetto progettista (e del rilevatore), è altrettanto vero che l'esigenza di vedere direttamente i volumi nella tridimensionalità non è mai venuta meno. La percezione umana delle forme richiede un controllo diretto nello spazio per poter essere convincente: l'uso del plastico, sia come strumento proprio del progettista che come strumento particolarmente efficace perché il committente possa comprendere lo spazio e la tridimensionalità dell'architettura. In questa idea di tridimensionalità rientrano tutte le peculiarità della forma architettonica, dalla sua caratteristica di nascere e svilupparsi nello spazio alla sua necessaria consistenza fisica, alla sua matericità.



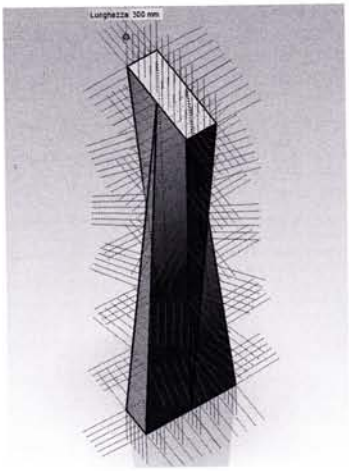
*1/ Il modello prototipato dell'Aula delle udienze papali in Vaticano di Pier Luigi Nervi. Modello matematico realizzato da S. Cazzato.*

La fisicità dell'architettura è un aspetto che deve essere considerato attentamente quando si affronta la modellazione informatica. Bisogna saper simulare la fisicità dei corpi: ad esempio, rappresentare il muro di un edificio con diverse superfici, perfino non aderenti fra loro, è un errore concettuale oltre che tecnico; e ancora: intersecare due solidi trascurando la potenziale fisicità di entrambi porta ad avere modelli non corretti con possibili conseguenze sia estetiche (*rendering* inefficaci), sia fisiche (stampe 3D inesatte o addirittura non realizzabili).
In queste pagine si tenterà perciò di descrivere sinteticamente la metodologia della modellazione architettonica attraverso il metodo della rappresentazione matematica in relazione al problema della fisicità dei corpi e di chiarire perché alcune questioni, apparentemente soltanto tecniche, nascondano, invece, concetti essenziali per una buona esecuzione dei modelli.
Nel metodo della rappresentazione matematica le forme dello spazio possono essere rappresentate secondo due tecniche: la modellazione per superfici e la modellazione per solidi.
Nella modellazione matematica per superfici la forma è rappresentata per mezzo delle linee e delle superfici che la costituiscono. La consistenza di un oggetto deve essere ricreata attraverso l'uso coerente delle superfici che lo descrivono. Per capire meglio questo concetto immaginiamo di dover rappresentare un cubo[4]. Com'è noto, il cubo è un solido platonico che possiede 6 facce quadrate, 8 vertici e 12 spigoli. Per costruirlo con il metodo della modellazione per superfici, è necessario modellare le 6 facce. In questo modo, però, realizziamo un oggetto che ha 24 spigoli e 24 vertici. Infatti, ogni faccia è costituita da una superficie piana che possiede 4 vertici e 4 spigoli. Inoltre se tagliamo l'oggetto con un piano ci rendiamo subito conto del fatto che esso è vuoto, in altre parole è formato da superfici senza spessore alcuno.
Nella modellazione matematica per solidi la forma è rappresentata per mezzo di linee e di superfici, ma queste sono connesse tra loro topologicamente. Un cubo perciò avrà sempre 6 facce e 12 spigoli. Un solido così formato si dice "*manifold*": se lo tagliamo con un piano, otteniamo un nuovo solido.
È lecito allora chiedersi quale metodo adottare e perché. Allo stato attuale dell'arte il metodo della rappresentazione matematica si serve di entrambe le tecniche per descrivere le forme architettoniche: quella per superfici e quella per solidi. Probabilmente nel futuro queste difformità non esisteranno più e il metodo per la rappresentazione matematica sarà unico e globale. Va detto subito, a scanso di equivoci, che la metodologia corretta è quella di integrare le due tecniche in modo da ottenere come prodotto finale un modello digitale composto solo da solidi chiusi (solidi *manifold*)[5].
Come abbiamo detto, il limite della modellazione per superfici è costituito dal fatto che queste hanno spessore nullo e non hanno alcuna corrispondenza con la realtà. Per dare consistenza ai volumi nel metodo della rappresentazione matematica è largamente

adottato il *boundary representation* o *B-rep*. I modellatori controllano la topologia dell'oggetto e verificano che il solido sia chiuso (*manifold*) o aperto (*non-manifold*). Consideriamo nuovamente il nostro cubo: se ognuna delle superfici che costituiscono le 6 facce del cubo combaciano esattamente con quelle adiacenti allora il solido è *manifold*. Non deve esserci alcuna ambiguità nella frontiera che divide lo spazio racchiuso dal cubo da quello esterno. Per fare ciò il modellatore stabilisce se un punto è "dentro" o "fuori", rispetto alla frontiera, verificando, per convenzione, che il verso delle normali alle superfici sia rivolto verso l'esterno e, ove ciò non avvenga, imponendo tale condizione. Attraverso la topologia è perciò possibile tenere insieme, con una sorta di collante, le diverse superfici e assicurarsi che il solido risulti chiuso. Questo problema introduce il concetto di tolleranza, vale a dire la precisione di calcolo del computer: per esempio, la tolleranza ci dice qual è la distanza massima che fa sì che due punti che, dal punto di vista matematico, non hanno le stesse coordinate, possono essere ritenuti coincidenti o, ancora, ci dice se due facce di un solido possono essere considerate contigue[6]. Difatti può accadere che le 6 facce del cubo, che sono state valutate "ad occhio" perfettamente contigue, non lo siano dal punto di vista matematico. In questo caso si avrebbe un solido *non-manifold* che potrebbe mostrare dei buchi. Per questo motivo è buona norma impostare la tolleranza e l'unità di misura da utilizzare in rapporto alla grandezza dell'oggetto da modellare.
I solidi *manifold* possono essere modificati attraverso le operazioni *booleane* senza pericolo di incorrere in errori dovuti all' indeterminatezza, da parte del modellatore, nel definire i vuoti e i pieni.
Quando si modellano forme complesse non è sempre possibile definire direttamente i solidi che le compongono, ma è necessario modellare prima le diverse superfici per poi, in un secondo momento, unirle per definire l'oggetto intero (fig. 2). La modellazione per superfici è indispensabile per costruire le singole facce che definiscono il solido da rappresentare. È importante in que-



*2/ Modello matematico solido di alcuni caratteristici pilastri nerviani. I solidi dei pilastri sono costituiti da superfici piane e superfici rigate.*



*3/ Analisi delle normali alle superfici di un solido matematico* manifold. *Le direzioni delle normali sono tutte rivolte all'esterno.*

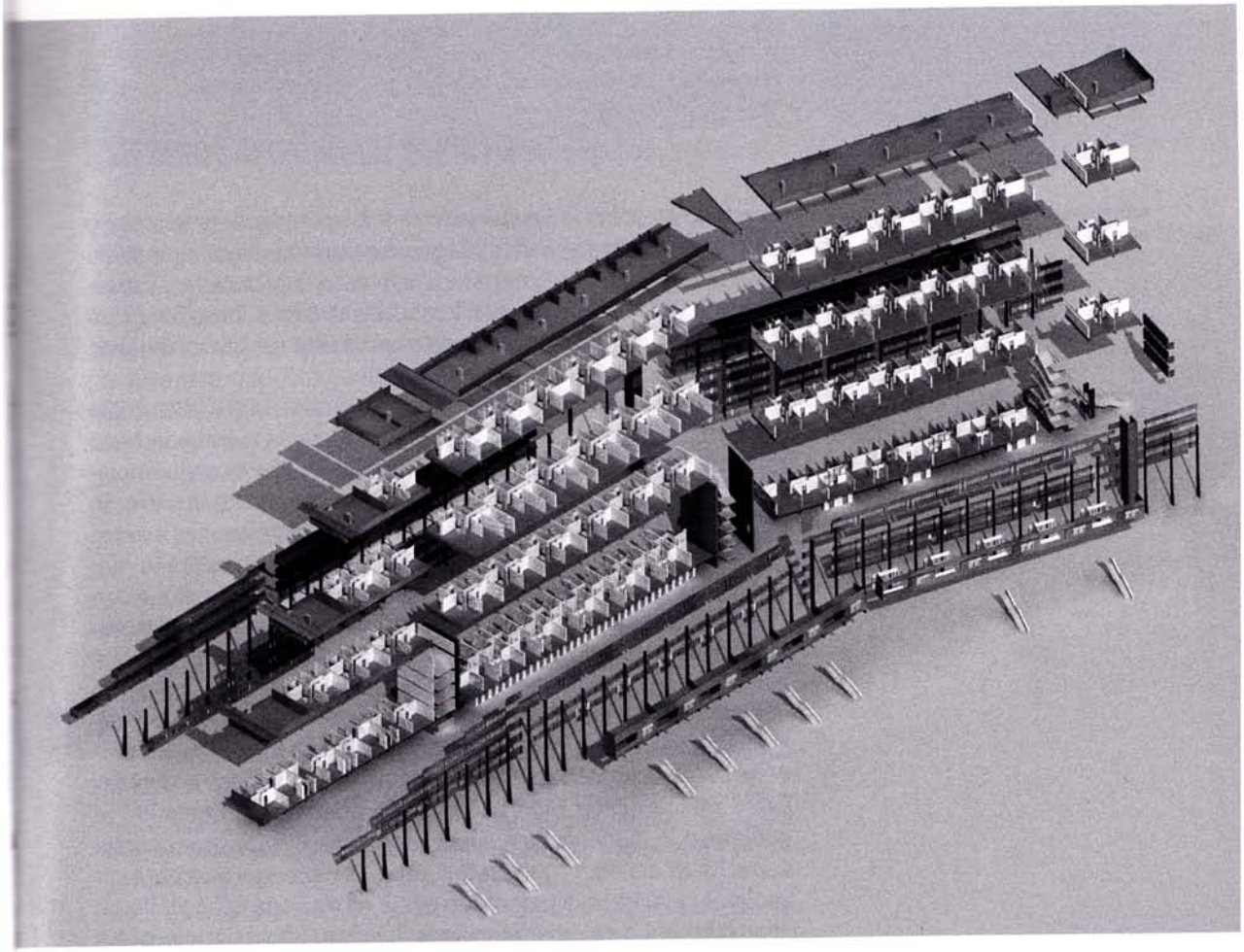
sta fase tenere bene a mente l'intera forma che si vuole costruire. Una volta definite le singole superfici, infatti, si deve creare l'intero solido congiungendole. Alcuni sistemi consentono di creare anche solidi aperti (*Skin* o *polisuperfici aperte*). È possibile verificare, attraverso gli strumenti di analisi del modellatore, la topologia del solido e correggere eventualmente l'errore. Un'imprecisione può essere dovuta anche all'eccessiva tolleranza del modellatore. Come accennato prima, la precisione con cui vengono effettuati i calcoli può avere conseguenze fastidiose in fase di modellazione; questo vuol dire che, come abbiamo visto, bordi apparentemente coincidenti non lo sono in fase di calcolo e il solido risulta aperto. In questi casi conviene ricostruire le superfici che presentano il problema e ricreare il solido. Diversamente, invece, l'errore può essere determinato dalla complessità della forma e dalla direzione incongruente delle normali alle superfici che la costituiscono: in questo caso è sufficiente controllare le singoli normali alle superfici e verificare che siano tutte rivolte verso l'esterno (fig. 3).

Saper costruire un modello matematico di architettura in modo corretto ha delle ricadute positive sia sul piano teorico che nella pratica. Sul piano teorico, infatti, l'operazione di modellazione, se correttamente eseguita, abitua a pensare le forme direttamente nello spazio e costringe a strutturare il modello per parti, cercando di individuare le forme principali e quelle secondarie (fig. 4). Le parti o gli elementi in cui il modello è stato scomposto possono essere riferiti a specifiche componenti architettoniche (ad esempio gli infissi, i pilastri, i piani di un edificio,...) ma possono anche essere relativi alla complessità geometrica dell'organismo (si pensi a una copertura particolarmente complessa o a una parte di essa). Inoltre, è opportuno che le parti siano pensate come solidi e che esse siano perfettamente combacianti. In alcuni casi è necessario progettare veri e propri incastri come fossero dettagli architettonici.

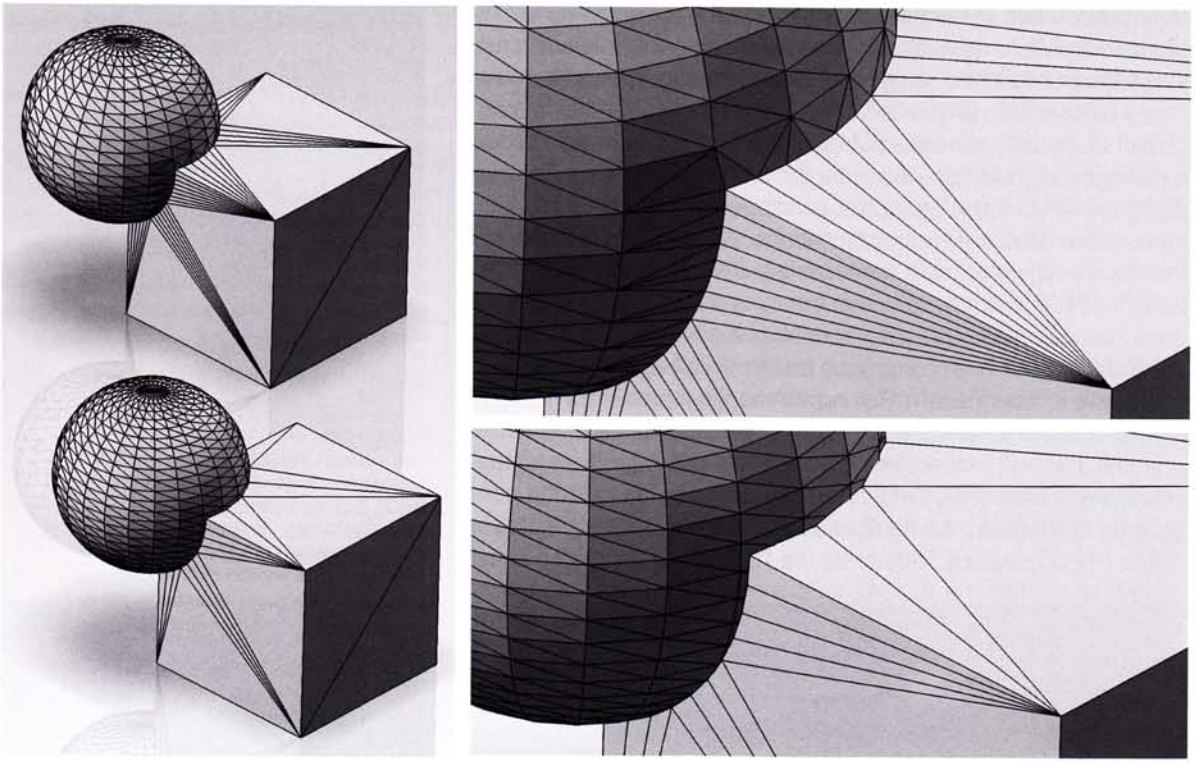
Se è vero che un modello digitale può essere pensato in scala 1:1 è altrettanto vero che esso non è mai concepito "al vero". Per fare un esempio, quando si disegna la pianta di un edificio, anche se si decide di disegnare in scala 1:1, bisogna tenere bene a mente la scala in cui verrà stampato il disegno (1:100, 1:500 e così via). La definizione del disegno sarà riferita alla scala finale di uscita e non al fatto che si sta lavorando in scala 1:1. Allo stesso modo, quando si costruisce un modello digitale è importante considerare l'utilizzo che se ne farà e, di conseguenza, orientare la modellazione in modo coerente. In questo senso la capacità di sintesi della forma architettonica diventa un fattore decisivo per la qualità e la buona resa del modello finale.

Il metodo ha anche ricadute pratiche perché per ottenere delle immagini di *rendering* corrette del nostro modello (oppure per ottenere una stampa 3D), è necessario partire da un modello matematico costituito da solidi *manifold*. Inoltre il modello mate-

matico non deve presentare sovrapposizioni; sta all'abilità del disegnatore evitare queste fastidiose disattenzioni o, in alcuni casi, veri e propri errori che vengono fuori soprattutto in fase di *rendering*: il tipico effetto di queste imprecisioni è una superficie "a macchia di leopardo", generata dal fatto che il programma non riesce a distinguere quale superficie stia davanti e quale dietro. Per produrre un *rendering* o stampare un modello 3D fisico, il modello matematico deve essere, in primo luogo, convertito in modello numerico o poligonale, cioè è necessario convertire il modello matematico NURBS in modello numerico *mesh*. Questa conversione darà buoni risultati solo se il modello matematico è costituito da solidi chiusi (*manifold*) congruenti fra loro, in altre parole se la tassellazione è "connessa"[7]. Per capire meglio il problema immaginiamo di dover tassellare un oggetto formato da un cubo e da una sfera che si intersecano (fig. 5). Se i due oggetti sono tassellati separatamente, l'algoritmo non garantirà la perfetta congruenza nell'incastro e il risultato sarà un'immagine che metterà in risalto l'incongruenza. Viceversa, se l'oggetto è concepito come



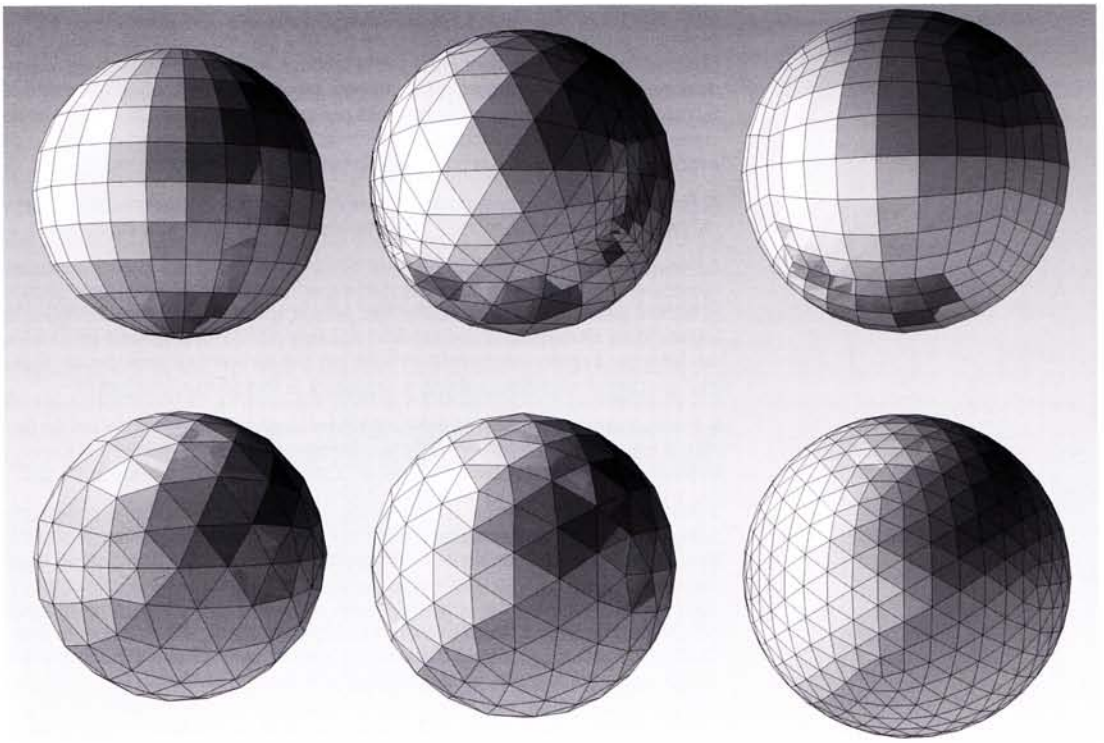
*4/ Scomposizione e analisi degli elementi architettonici di un edificio del quartiere Sorgane di Leonardo Savioli. Esploso assonometrico. Elaborazione degli studenti M. Magazzino, A. Marino, A. Massotti.*



*5/ Esempio di tassellazione connessa e non connessa di un solido.*

un solido *manifold* la tassellazione sarà sicuramente connessa e l'immagine finale sarà di conseguenza corretta. Naturalmente la qualità del *rendering* dipenderà anche dalla qualità della tassellazione (fig. 6); inoltre, più sarà fitta la tassellazione, maggiore sarà il grado di approssimazione della *mesh* finale rispetto al modello originale NURBS[8].

Prima dell'avvento dell'informatica, chi si avvicinava allo studio del disegno per l'architettura doveva imparare a immaginare e a rappresentare le forme nello spazio su un foglio di carta impiegando i metodi classici della Geometria descrittiva; doveva, in definitiva, diventare un bravo *disegnatore*. Inoltre doveva essere abile nel costruire *maquette* di studio, e diventare un bravo *modellista*. Oggi lo studente può integrare la propria formazione con l'impiego dei metodi della rappresentazione matematica e numerica. Questi metodi richiedono abilità da disegnatore - perché è necessario saper disegnare nel piano e nello spazio (sul piano di costruzione invece che su un unico piano, il foglio di carta), abilità da modellista, perché è necessario saper ricreare un modello tridimensionale dell'oggetto in esame. Studiare e controllare il metodo della rappresentazione matematica gestendo al contempo la modellazione solida, consente di sviluppare quella capacità di sintesi e genesi della forma nello spazio che è diventata una parte indispensabile per la formazione dello studente di architettura e del futuro architetto[9]. Infine, vorrei ricordare che



*6/ Modi differenti di tassellare una sfera.*

nonostante oggi sia possibile modellare le forme direttamente nello spazio, non è ancora possibile visualizzarle direttamente nello spazio. Lo schermo del computer è un supporto bidimensionale in cui, nonostante il movimento delle immagini, rimane difficile percepire la reale profondità dello spazio. È per questo motivo che l'industria dell'intrattenimento video sta sviluppando gli schermi 3D ed esiste già la possibilità di immergersi, anche senza particolari strumenti accessori, nella realtà virtuale; l'introduzione di tali strumenti nell'uso quotidiano della progettazione e dello studio delle forme potrà rappresentare un ulteriore passo in avanti per la rappresentazione dell'architettura.

## Note

**1.** Per un approfondimento della questione relativa all'ampliamento dei metodi di rappresentazione oggi a disposizione dell'architetto si veda Riccardo Migliari, *Geometria descrittiva. Metodi e costruzioni*, vol. 1°, CittàStudi edizioni, Novara 2008.

**2.** Il modello matematico dell'Aula delle udienze papali in Vaticano di Pier Luigi Nervi è stato realizzato dalla stud.ssa Sandra Cazzato nell'ambito del NerviLab coordinato dal prof. Francesco Romeo presso "Sapienza", Università di Roma. Hanno partecipato come tutor i dottori di ricerca Leonardo Baglioni, Federico Fallavollita e Marta Salvatore. Il modello prototipato è stato stampato da Materialis: <www.materialise.com/> (17 gennaio 2011).

**3.** La prototipazione rapida è la costruzione automatica di oggetti fisici che utilizzano *additive manufacturing technology*. Le prime tecniche di prototipazione si

sono rese disponibili alla fine del 1980 e sono state utilizzate per la produzione di modelli e prototipi. Oggi, sono utilizzate per una gamma molto più ampia di applicazioni e sono anche adoperate per la fabbricazione di componenti per la produzione di qualità in numero relativamente piccolo. Alcuni scultori utilizzano la tecnologia per produrre forme complesse per esposizioni d'arte. Da qualche anno viene utilizzata anche in ambito architettonico per produrre plastici di studio e da esposizione. La tecnica è ampiamente impiegata nel *design* industriale.

**4.** Riccardo Migliari, *Prospettiva dinamica interattiva. La tecnologia dei videogiochi per l'esplorazione di modelli 3D di architettura*, Kappa, Roma 2008, p. 8.

**5.** Alcuni *software* di modellazione matematica come *thinkdesign* definiscono correttamente la differenza tra solidi *manifold* e solidi *non-manifold* o *skin* e prediligono la tecnica della modellazione solida. Altri, invece, come *Rhinoceros* prediligono la tecnica della modellazione per superfici. Questa differenza probabilmente nasce dal fatto che il primo programma è rivolto più che altro all'*industrial* design, mentre il secondo è nato dalla volontà di modellare le *free-form* in architettura.

**6.** Per approfondire i problemi relativi alla tolleranza si veda Roberto Ciarloni, *Le teorie e le tecniche della rappresentazione matematica* in Riccardo Migliari, *Geometria descrittiva. Tecniche e applicazioni*, vol. 2°, CittàStudi edizioni, Novara 2009, p. 27.

**7.** Per ottenere una stampa 3D di un cubo (prototipazione rapida) è necessario passare da una rappresentazione matematica a una rappresentazione numerica, cioè è necessario trasformare il modello NURBS in modello poligonale *mesh*. Questa operazione nel gergo informatico viene definita "tassellazione". Esistono diversi tipi di algoritmi e *file* di scambio che consentono di ottenere un modello poligonale; fra questi, il file *STL* (*STereo Lithography interface format* oppure *Standard Triangulation Language*) è quello che garantisce una tassellazione corretta perché conserva la topologia del solido. Consideriamo nuovamente i nostri due cubi, il solido *manifold* e quello costituito da 6 superfici non connesse fra loro. Il primo cubo dà come risultato nella rappresentazione numerica un modello poligonale formato da 8 entità; infatti il *modello* numerico è definito tramite le coordinate dei vertici delle facce poligonali che costituiscono l'oggetto. Il secondo cubo, invece, dà come risultato un oggetto *mesh* costituito da 24 entità, infatti è formato da 6 facce separate e da 24 vertici, cioè 4 vertici per ogni faccia poligonale. È evidente che la rappresentazione numerica corretta è la prima. In proposito si veda, in questo stesso volume, Leonardo Baglioni, *Il modello strutturato*.

**8.** In realtà, la qualità della tassellazione dipende anche da altri fattori come la forma stessa dei poligoni che costituiscono la *mesh*. L'argomento è molto complesso e gran parte delle ricerche in ambito informatico si occupa espressamente di questo problema.

**9.** Piero Albisinni, Laura De Carlo, *Le potenzialità formative del modello digitale*, in Maurizio Unali (a cura di), *Abitare virtuale significa rappresentare*, Kappa, Roma 2008, p. 260.

## References


1. ALBISINNI, Piero and DE CARLO, Laura. Le potenzialità formative del modello digitale. In UNALI, Maurizio (a cura di). *Abitare virtuale significa rappresentare*. Kappa Edizioni, Roma. 2008. ISBN 978-88-7890-910-6.
2. BAGLIONI, Leonardo. Il modello strutturato nello studio dei caratteri dell'architettura. In UNALI, Maurizio (a cura di). *Abitare virtuale significa rappresentare*. Kappa Edizioni, Roma. 2008. ISBN 978-88-7890-910-6.
3. CIARLONI, Roberto. Le teorie e le tecniche della rappresentazione matematica. In MIGLIARI, Riccardo. *Geometria descrittiva*. Tecniche e Applicazioni. Volume 2. CittàStudi Edizioni, De Agostini, Novara. 2009. ISBN 978-88-451-7330-7.
4. FALLAVOLLITA, Federico. *Le superfici rigate: una rilettura del Traité de géométrie descriptive di Hachette*. In DE CARLO, Laura (a cura di). *Informatica e fondamenti scientifici della rappresentazione*. Vol. 1 - nuova serie. Roma: Gangemi, 2007, pp. 111-122. ISBN 978-88-492-1323-2.
5. HILBERT, David. *Geometria intuitiva*. Boringhieri, Torino. 1972.
6. LORIA, Gino. *Storia della geometria descrittiva dalle origini ai giorni nostri*. Milano: Hoepli, 1921.
7. MIGLIARI, Riccardo. *Geometria Descrittiva*. Metodi e costruzioni, volume 1. CittàStudiEdizioni, De Agostini, Novara. 2008.
8. MIGLIARI, Riccardo. *Prospettiva dinamica interattiva*. La tecnologia dei videogiochi per l'esplorazione di modelli 3d di architettura. Kappa edizioni, Roma. 2008. ISBN 978-88-7890-941-0