

I dodici modelli del NeriViLab

Leonardo Baglioni, Federico Fallavollita,

Francesco Romeo and Marta Salvatore

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.

I dodici modelli del NerViLab

I dodici modelli:

I progetti seguenti sono stati prototipati sulla base della modellazione condotta da NerViLab dell'Università La Sapienza di Roma. Il lavoro è stato realizzato grazie documenti d'archivio forniti dal MAXXI di Roma, dal CONI di Roma e dallo CSAC di Parma

Teatro Augusteo, Napoli (Marco Calcagnoli)
Aviorimessa di Orbetello (Marco Calcagnoli)
Stadio Berta, Firenze (Ludovica Troiani)
Sede dell'UNESCO, Parigi (Elena Boria)
Palazzetto dello Sport, Roma (Cristian Di Bella)
Aula delle Udienze pontificie, Roma (Sandra Cazzato)
Torre della Borsa di Montreal (Saverio Fimmanò)
Cattedrale di Saint Mary, San Francisco (Barbara Picone)
Ambasciata d'Italia, Brasilia (Isabella Proietti Muzi)

Il Palazzo delle Esposizioni di Torino,
Il Palazzo del Lavoro di Torino
e il Ponte del Risorgimento di Verona
sono stati prototipati sulla base della modellazione condotta da Mario Sassone del Politecnico di Torino

Il contributo del NerViLab (Nervi Virtual Lab) nell'ambito del progetto espositivo *Pier Luigi Nervi. Architettura come Sfida verte* sull'analisi degli aspetti strutturali, geometrico-formali e costruttivi di alcune opere di Pier Luigi Nervi. Per rappresentare e analizzare l'esemplare sintesi nerviana tra struttura, forma geometrica e costruzione l'attività di ricerca è incentrata su un'operazione di *Reverse Engineering* facendo uso di una metodologia di ricerca basata sul laboratorio virtuale nell'ambito del quale si sviluppano i modelli informatici delle architetture scelte. La finalità della modellazione matematica tridimensionale condotta dal NerViLab è duplice: da un lato la realizzazione di modelli fisici per la prototipazione tramite stereolitografia, dall'altro l'analisi degli organismi strutturali nerviani con l'ausilio degli attuali strumenti della meccanica computazionale (FEM). Occorre sottolineare come entrambe le finalità costituiscano, a loro volta, la base di partenza per ulteriori indagini su aspetti peculiari delle opere di Nervi quali la morfogenesi strutturale – analizzando la genesi geometrica originale e perlustrandone eventuali soluzioni alternative –, il calcolo strutturale – prevedendo studi sul comportamento meccanico spaziale e analisi in campo anelastico e non lineare –, e infine le tecniche costruttive, indagando le tematiche legate al cemento armato, quali le prestazioni, gli aspetti normativi, il cantiere e la prefabbricazione.

Ponendo in questa sede l'attenzione sulla prototipazione, è ben noto come il ricorso a modelli fisici in ambito architettonico sia tradizionalmente legato alla necessità di comunicare gli intenti progettuali nello spazio naturale tridimensionale. Nelle fasi iniziali dell'iter progettuale, semplici modelli fisici consentono una verifica preliminare dei rapporti spaziali tra volumi; nelle fasi conclusive, modelli più dettagliati che mirano a una rappresentazione verosimile in scala ridotta vengono realizzati sia per la committenza, in ambito professionale, sia per un pubblico più vasto, in ambiti espositivi. Oltre a rendere agevole e diretta la comprensione delle forme architettoniche, l'utilizzo dei modelli fisici può anche essere orientato ad analizzare aspetti prestazionali della progettazione. Si parla in tale contesto di modelli sperimentali, concepiti per la simulazione sia del comportamento strutturale sia delle soluzioni impiantistiche, quali illuminazione, acustica o ventilazione, nonché per la verifica delle fasi costruttive.

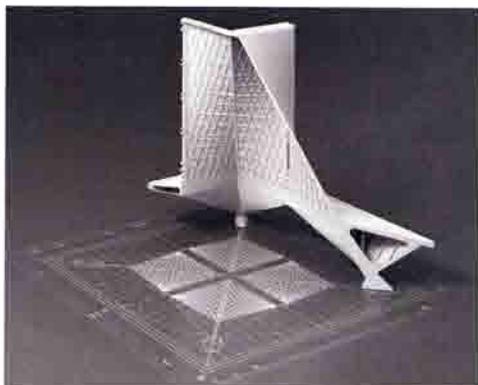
I modelli fisici delle opere presentate in mostra sono stati ideati al fine di contribuire alla comprensione del pensiero nerviano puntando a trasmetterne l'esito più felice: l'espressività spaziale delle composizioni strutturali comunicate tramite il linguaggio geometrico. Da qui è nata la scelta di proporre modelli fisici astratti, nei quali gli schemi statici, le geometrie degli elementi strutturali e delle loro connessioni, le trame delle nervature e le tessiture degli elementi modulari fossero chiaramente leggibili. Alla luce degli obiettivi indicati la scala di riduzione dei modelli è stata calibrata in funzione della visibilità degli elementi strutturali distintivi; sfruttando le simmetrie e le distribuzioni spaziali dei singoli progetti, sono state modellate solo porzioni significative che, se da un lato hanno permesso la leggibilità degli spazi interni, dall'altro, hanno consentito di limitare i costi legati alle considerevoli dimensioni dei modelli (fig. 1). Si è dunque optato per la prototipazione rapida, tecnologia, ormai consolidata nell'ambito del disegno industriale e applicata solo di recente alla modellazione architettonica; l'omogeneità cromatica delle strutture in cemento armato è simulata dalla resina bianca e le rigorose geometrie sono fedelmente replicate in scala grazie all'elevata precisione della stereolitografia. Laddove si è ritenuto di dover facilitare la corretta interpretazione delle componenti architettoniche, deliberatamente trascurate nelle porzioni di modello prototipate, sono stati inseriti elementi in materiali tradizionali quali legno, policar-

bonato e plexiglass. Diversamente dal processo di *Reverse Engineering* standard, nel quale la descrizione matematica (CAD) si ottiene a partire dal modello fisico, per le architetture nerviane investigate il punto di partenza sono state naturalmente le fonti di archivio. Il lavoro di ricerca si è poi sviluppato secondo tre fasi: il ridisegno, la modellazione e la prototipazione.

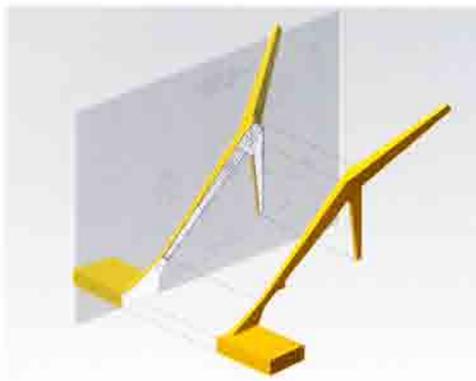
Un'approfondita ricognizione storica intorno ai materiali d'archivio congiunta alla rilettura critica degli elaborati di progetto ha consentito il ridisegno e l'eventuale reinterpretazione degli elaborati di progetto delle opere di Nervi selezionate per la mostra, con particolare attenzione agli aspetti geometrico-strutturali. Appare evidente come questa fase abbia ricoperto un ruolo determinante per l'esito della modellazione e le maggiori criticità emerse si possono sintetizzare nei seguenti aspetti: variabilità di materiale di partenza, ovvero elaborati grafici cartacei, solo alcuni dei quali autografi, fotografie, carteggi, pubblicazioni; datazione incerta del materiale e dunque difficoltosa identificazione della fase di progettazione nonché dell'eventuale fase di revisione; irreperibilità di elaborati grafici strutturali e di relazioni di calcolo.

La fase di studio del ridisegno bidimensionale consiste nel trasporre in forma informatica, attraverso l'uso del CAD, le informazioni cartacee d'archivio relative al progetto da esaminare. È evidente che questa fase non è una semplice trascrizione ma è un vero e proprio lavoro progettuale d'interpretazione e di scelte da effettuare. I disegni originali della documentazione d'archivio, infatti, sono spesso incongruenti fra loro perché probabilmente esprimono diverse fasi progettuali. Sta a colui che effettua il ridisegno compiere scelte coerenti, che interpretino al meglio l'idea progettuale originale. Il ridisegno di una pianta o di una sezione contiene già in sé tutte quelle informazioni che guideranno poi la modellazione tridimensionale (fig. 2). Capire se la curva sezione di una trave sia una catenaria o la superficie della copertura sia un paraboloide iperbolico è fondamentale per una corretta modellazione tridimensionale. I nuovi strumenti informatici consentono un controllo e una precisione delle forme bidimensionali e tridimensionali notevolmente superiore agli strumenti della matita e del compasso. Inoltre il computer consente di modellare le forme nello spazio tridimensionale virtuale, condizione che richiede una perfetta congruenza fra i disegni bidimensionali di base. Ciò induce a lasciare in sospenso alcune questioni che riguardano il ridisegno bidimensionale, perché è solo nello spazio tridimensionale che sarà possibile sperimentare la soluzione migliore (fig. 3).

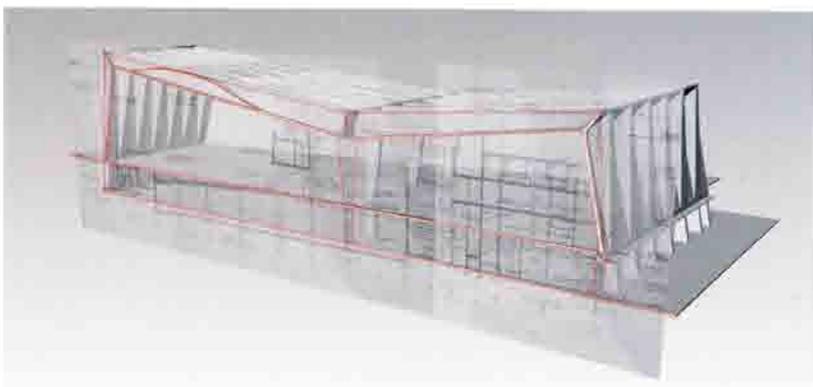
Nel ridisegno delle opere oggetto dello studio sono state operate delle scelte interpretative per le quali sono stati fondamentali alcuni interessanti schizzi lasciati da Nervi che hanno indicato la strada da seguire. Il passaggio successivo ha interessato la costruzione di modelli tridimensionali digitali finalizzati alla realizzazione di modelli fisici in prototipazione rapida, per la quale è stato scelto un modellatore *nurbs*, capace di descrivere linee e superfici in maniera continua in ogni punto attraverso equazioni matematiche, che garantiscono un controllo morfogenetico rigoroso della geometria delle parti. Una volta stabilito il tipo di modellatore da impiegare e definito l'oggetto della modellazione, che in questo caso riguarda l'apparato geometrico strutturale delle opere selezionate, si è stabilita per ogni edificio la porzione da prototipare e la relativa scala di stampa. Le macchine impiegate per la prototipazione rapida costruiscono modelli di dimensioni massime assegnate, il che equivale a immaginare una scatola vuota – se si preferisce un "box" di riferimento – che deve contenere il modello da prototipare. Modelli che superano in dimensioni i limiti del box devono essere realizzati per parti componibili attraverso l'elaborazione di un progetto di assemblaggio delle parti



1. Modello digitale della cattedrale di Saint Mary



2. Ridisegno del cavalletto del Palazzetto dello Sport



3. Ridisegno della sala delle conferenze dell'UNESCO



4. Modello matematico (nurbs) dell'Ambasciata d'Italia a Brasilia



5. Modello matematico (nurbs) et modello numerico (mesh) della cattedrale di Saint Mary

in funzione della scala di stampa, fondamentale per stabilire le dimensioni delle parti. Definito così il progetto del modello per la prototipazione si è potuto procedere con la modellazione vera e propria. Il modello matematico acquisisce la duplice valenza di strumento per la restituzione del dato e, allo stesso tempo, di strumento di indagine e conoscenza capace di controllare nello spazio forme di complessa gestione nel piano (fig. 4). Particolare attenzione nelle operazioni di modellazione è stata riservata alle superfici rigate, caratteristiche delle architetture di Nervi, adoperate largamente nei pilastri, nelle travi, ma anche nelle coperture ecc. Una volta ultimato il modello *nurbs*, si entra nell'ultima fase del processo, quella della prototipazione, nella quale il modello matematico viene convertito, con le debite attenzioni, in un modello numerico. Si tratta in sostanza di ridurre un problema complesso (come per esempio il dominio continuo di una matematica *nurbs*) in un insieme di elementi primitivi (triangoli e quadrilateri) per le *mesh* bidimensionali ed esaedri e tetraedri per le *mesh* volumetriche) più semplici da computare per diverse finalità. Inoltre va ricordato che lo standard per quasi tutti i sistemi di prototipazione rapida presenti sul mercato si basa sulla suddivisione in *mesh* a facce triangolari delle entità rappresentate con il modellatore informatico e prende il nome di STL (acronimo di *Standard Triangulation Language To Layer*); da qui la necessità di condurre questa operazione a conclusione della metodologia di analisi eseguita. Da un punto di vista geometrico, una qualsiasi superficie continua può essere discretizzata in una superficie poliedrica in modo tanto più accurato quanto più si riduce la dimensione delle facce piane che la compongono. È però evidente che aumentare in modo smisurato il numero di elementi primitivi della *mesh* (le facce) non aiuta a semplificare e snellire il calcolo che verrà svolto su di essa. Nel caso della rappresentazione architettonica, il passaggio di riduzione dal continuo al discreto ha come punto cruciale l'ottimizzazione della forma, intesa come il raggiungimento dell'equilibrio tra un numero contenuto di poligoni e una "intelligenza" di semplificazione delle entità matematiche. Possiamo dire che l'intero processo di discretizzazione non si discosta concettualmente dal passaggio ricorsivo dal modello ideale (controllato con gli strumenti della geometria descrittiva) a quello reale (cioè di cantiere) che Nervi era solito affrontare in ogni progetto. Pensiamo per esempio alle nervature dell'intradosso della copertura della cattedrale di Saint Mary (fig. 5). In questo caso la superficie a paraboloido iperbolico viene tassellata mediante una superficie poliedrica a facce triangolari (tre punti nello spazio individuano univocamente un piano) che, disposte a coppie, definiscono rombi (non uguali) piani. Queste considerazioni sono strumentali a una realizzazione più efficiente di elementi prefabbricati, peraltro esteticamente validi, proprio grazie alla caratteristica della planarità appena acquisita.

Una metodologia

L'esperienza del NerViLab ha permesso di investigare la spazialità della composizione strutturale delle opere di Pier Luigi Nervi da una nuova prospettiva, offerta dall'attenta combinazione delle attuali tecnologie della modellazione informatica e della prototipazione rapida. La ricerca è divenuta l'occasione per mettere in luce il potenziale sperimentale multidisciplinare di una metodologia che fa della modellazione informatica (e in particolare quella matematica) il suo punto di riferimento.

Francesco Romeo, Leonardo Baglioni,
Federico Fallavollita, Marta Salvatore

Nervi Virtual Lab, Dipartimento di Ingegneria strutturale e geotecnica e Dipartimento di rilievo, analisi e disegno dell'ambiente e dell'architettura, Università La Sapienza, Roma

References

1. FALLAVOLLITA, Federico. Le superfici rigate. In MIGLIARI, Riccardo. *Geometria descrittiva - Tecniche e applicazioni*. Volume 2. Novara: CittàStudi – De Agostini , 2009. ISBN 978-88-251-7330-7.
2. MARIANO, Fabio. Disegno e progettazione in P.L. Nervi, in *Nervi Oggi*. ed. Kappa. Roma, 1983.
3. MACH, Ernst. *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*. Bollati Boringhieri Torino. 1992. HILBERT, David. *Geometria intuitiva*. Boringhieri, Torino. 1972.
4. MIGLIARI, Riccardo (a cura di). *Disegno come Modello, riflessioni sul disegno nell'era informatica*. Edizioni Kappa, Roma. 2004.
5. NERVI, Pier Luigi. *Scienza o arte dell'ingegnere?*, *L'Ingegnere*, 7, 1931.
6. OLMO, Carlo and CHIORINO, Cristiana (a cura di). *Pier Luigi Nervi Architettura come sfida*. Silvana Editoriale, 2010. ISBN 9788836617555.
7. POINCARÉ, Jules-Henri. *Scienza e metodo*. Einaudi, Torino. 1997.
8. PUGLISI, Luigi Prestinenzza. Corpo e mente: scenari tradizionali e digitali nella ricerca architettonica, in MIGLIARI, Riccardo (a cura di). *Disegno come Modello, riflessioni sul disegno nell'era informatica*. Edizioni Kappa, Roma. 2004.