

Le geometrie strutturali di Pier Luigi Nervi: letture attraverso modelli

*Elisabetta Margiotta Nervi, Cristiana Chiorino, Francesco Romeo,
Marta Salvatore, Leonardo Baglioni e Federico Fallavollita*

Abstract

Attraverso l'uso di modelli fisici e digitali si intende esplicitare le relazioni fra geometria e struttura caratteristiche delle opere di Pier Luigi Nervi. Si descrive la metodologia di lettura, analisi ed interpretazione del dato impiegata dal Nervi Virtual Lab (Nervilab) per la costruzione dei modelli stereolitografici di una selezione di opere di Pier Luigi Nervi, presentate nella prima esposizione internazionale tenuta nel maggio 2010 presso il CIVA, Centre International pour la Ville, l'Architecture et le Paysage a Bruxelles. In particolare Federico Fallavollita in *Nervi e le superfici rigate* descrive il rapporto tra le proprietà delle superfici rigate e i progetti di Nervi selezionati per la mostra.

Le geometrie strutturali di Pier Luigi Nervi: letture attraverso modelli

Il progetto espositivo "Pier Luigi Nervi. Architettura come sfida"

Elisabetta Margiotta Nervi e Cristiana Chiorino

Il progetto espositivo itinerante *Pier Luigi Nervi, Architettura come sfida*, a cura di Carlo Olmo¹, nasce da una cooperazione tra l'Associazione Pier Luigi Nervi Research and Knowledge Management Project con sede a Bruxelles, il Civa (Centre International pour la Ville, l'Architecture et le Paysage) di Bruxelles, il MAXXI/Museo Nazionale delle Arti del XXI secolo e il CSAC/Centro Studi e Archivi della Comunicazione dell'Università di Parma. Sotto la guida di un comitato scientifico internazionale, la ricerca è frutto di una collaborazione tra il Politecnico di Torino, l'Università di Tor Vergata e Sapienza Università di Roma².

La sequenza di mostre è organizzata secondo diverse tappe che, di volta in volta, introducono nuovi materiali, studi, testimonianze. Alla prima mostra, inaugurata a Bruxelles nel giugno 2010, sono seguite le tappe di Venezia (settembre-novembre 2010) e di Roma (al Maxxi fino al 20 marzo 2011). L'approfondimento della tappa di Roma

è incentrato sulle opere progettate da Nervi per le Olimpiadi del 1960 ed è curato da Sergio Poretti e Tullia Iori. Seguirà una tappa a Torino nel quadro delle celebrazioni per il 150° anniversario dell'unità d'Italia, che avrà la peculiarità di essere allestita negli spazi di Torino Esposizioni in un affascinante percorso "Nervi dentro Nervi". Il tour espositivo avvierà poi un tragitto internazionale.

Nervi è uno dei maggiori artefici di architetture strutturali nel panorama internazionale del Novecento. A lui si devono alcune delle più belle opere dell'architettura contemporanea, frutto di un'eccezionale integrazione fra arte e scienza del costruire. Di Pier Luigi Nervi è stato detto che aveva l'audacia dell'ingegnere, la fantasia dell'architetto, la concretezza dell'imprenditore. La sua opera, in molti anni di carriera, ha ruotato intorno ad almeno sei attività fondamentali: progettare, disegnare, calcolare, modellare, scrivere, insegnare. Ciascuna

La mostra "Pier Luigi Nervi. Architettura come sfida. Roma. Ingegno e Costruzione" allestita al MAXXI di Roma dal 15.12.2010 al 20.03.2011
Foto: Jacopo Pergameno, courtesy Fondazione MAXXI



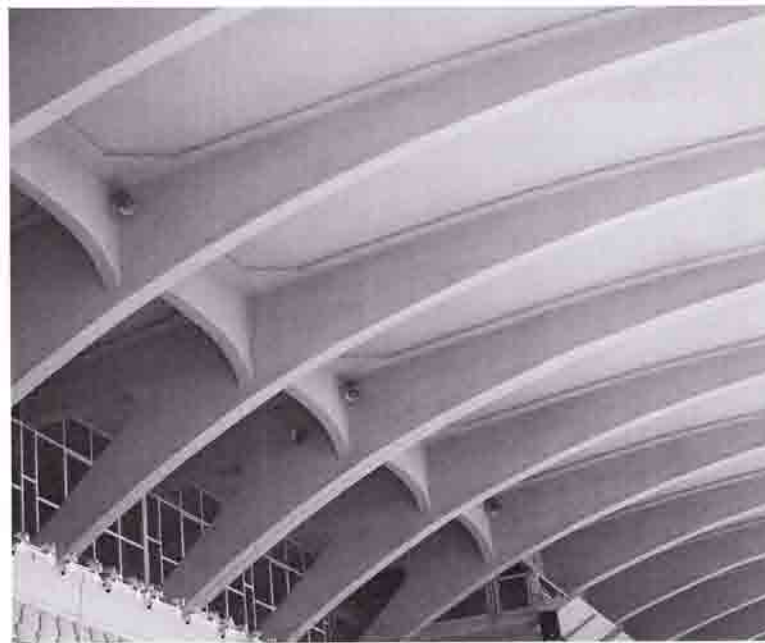
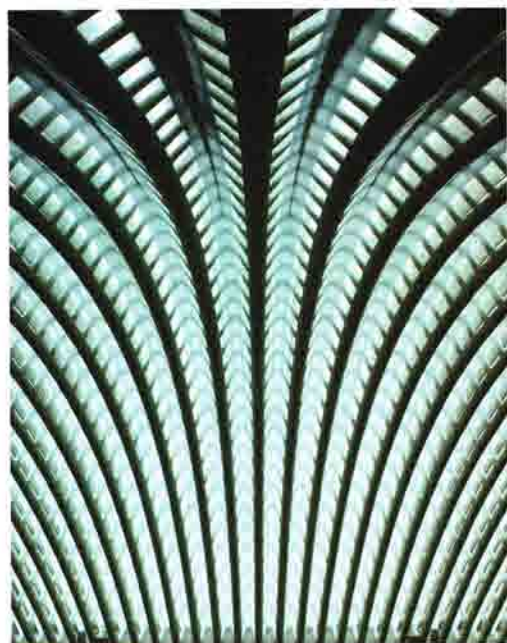
di queste attività ha avuto vita autonoma, eppure ciascuna s'è intrecciata con le altre in modo talvolta indissolubile. Lungo queste sei tracce il progetto espositivo ripercorre gli sviluppi d'una storia che, fin dagli inizi, si riconosce assai lontana dai luoghi comuni dell'ingegnere civile che fa architettura. Attraverso un'opera quantitativamente e qualitativamente eccezionale, dispersa nei cinque continenti, costruita per i committenti più diversi (dall'UNESCO a Papa Paolo VI), è possibile rileggere una storia molto poco raccontata, anche perché difficile da raccontare, dove le strategie di costruzione d'un curriculum professionale s'incrociano con la storia politica italiana e internazionale.

Così l'insieme delle mostre, oltre a cercare di analizzare il nodo centrale dell'invenzione formale nelle opere d'un autore che Nikolaus Pevsner ha definito «il più geniale modellatore di cemento armato della nostra epoca», intende esplorare anche la complessità del suo universo di cultura e relazioni. In questo contesto è particolarmente significativo il contributo del NerViLab (Nervi Virtual Lab), il gruppo di ricerca del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica della Sapienza di Roma, che ha analizzato e rappresentato gli aspetti strutturali, geometrico-formali e costruttivi di alcune delle opere selezionate nel progetto espositivo.



Pier Luigi Nervi: dall'alto in basso, Stadio comunale di Firenze; in basso a sinistra, Aula delle Udienze Pontificie, Città del Vaticano

Foto: Mario Carrieri, courtesy PLNP Bruxelles e Italcementi



NerViLab: modelli di geometrie strutturali

Francesco Romeo

Per rappresentare e analizzare l'esemplare sintesi nerviana tra composizione strutturale, forma geometrica e costruzione, l'attività di ricerca del NerViLab si incentra su un'operazione di *Reverse Engineering* facendo uso di una metodologia basata sul laboratorio virtuale, nell'ambito del quale si sviluppano i modelli informatici delle architetture scelte; la modellazione matematica tridimensionale è finalizzata alla realizzazione di modelli fisici per la prototipazione tramite stereolitografia. A differenza del processo standard di *Reverse Engineering*, nel quale la descrizione matematica (CAD) si ottiene a partire dal modello fisico, per le architetture nerviane investigate le fonti di archivio sono state il naturale punto di partenza. In particolare, il la-

voro di ricerca, sviluppatosi secondo le fasi di disegno, di modellazione e prototipazione reso possibile grazie al finanziamento di Italcementi, ha preso le mosse da un accordo di collaborazione scientifica tra il Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica della Sapienza Università di Roma e il Centro Archivi del MAXXI Architettura di Roma nonché dalla documentazione resa disponibile dall'archivio del CONI e del CSAC di Parma. Nell'ambito del medesimo progetto espositivo si segnala l'analoga attività, mirata alla prototipazione di tre progetti nerviani, condotta da Mario Sassone del Politecnico di Torino. Alla ricerca svolta dal NerViLab sarà dedicata una mostra a Roma, dal 17 febbraio al 3 aprile 2011, presso l'Accademia Belgica³.

Pier Luigi Nervi: dal basso in alto, Ambascia d'Italia a Brasilia; Palazzo del Lavoro a Torino.

Foto: Mario Carrieri, courtesy PLNP Bruxelles e Italcementi



Il ricorso a modelli fisici in ambito architettonico è tradizionalmente legato alla necessità di comunicare gli intenti progettuali nello spazio. Nelle fasi iniziali dell'iter progettuale, semplici modelli fisici consentono una verifica preliminare dei rapporti spaziali tra volumi; nelle fasi conclusive, modelli più dettagliati mirano a una rappresentazione verosimile in scala ridotta e vengono realizzati sia per la committenza, in ambito professionale, sia per un pubblico più vasto, in ambiti espositivi.

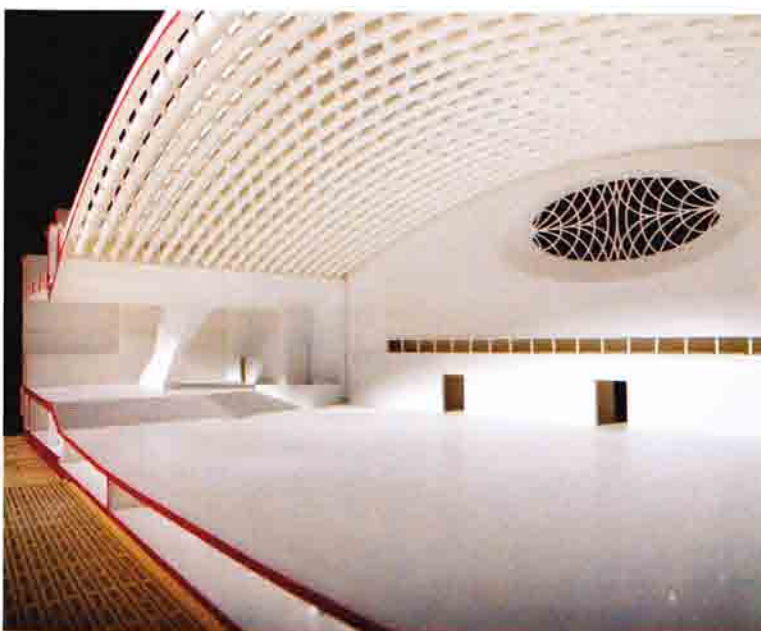
Diversamente da tali tradizionali finalità, i modelli fisici delle opere presentate in mostra sono stati ideati dal NerViLab al fine di contribuire alla comprensione della profondità del pensiero nerviano puntando a trasmetterne l'esito più felice: l'espressività spaziale delle composizioni strutturali comunicate tramite il linguaggio geometrico. L'evidente ricorso a tale linguaggio colloca l'approccio nerviano nella tradizione classica dell'architettura, nella quale occorre stabilire le proporzioni sulla base delle esigenze statiche derivanti a loro volta dalla geometria⁴; struttura e geometria sono dunque legate in modo indissolubile. Per Nervi tale legame non sembra limitare le possibilità espressive, quanto, piuttosto, sembra mutuare in ambito architettonico il pensiero di Queneau, secondo il quale «il classico che scrive la sua tragedia osservando un certo numero di regole che conosce è più libero del poeta che scrive quello che gli passa

Pier Luigi Nervi, Aula delle Udienze Pontificie, Città del Vaticano: modello in stereolitografia, scala 1:105 (prime due foto in alto); Palazzetto dello Sport di Roma: modello in stereolitografia, scala 1:50 (foto in basso)
Foto: Lode Saidane, courtesy NerViLab

per la testa ed è schiavo di altre regole che ignora»⁵. L'essenza stessa della geometria, al tempo razionale ed oggettiva nella sua formulazione matematica, e libera e soggettiva, nelle sue infinite combinazioni, si propone come lo strumento naturale, il fedele alleato, di cui Nervi può avvalersi per aspirare alla agognata sintesi tra gli aspetti tecnici ed estetici, tra la sfera artistica e quella scientifica⁶.

Andando oltre, o meglio, a monte dell'appello alla dimensione geometrica, è fuor di dubbio che l'intera attività di ricerca di Nervi sia frutto di un'impostazione saldamente radicata nel metodo scientifico. A tal riguardo sembra di interesse ritrovare i principi della composizione strutturale nerviana tra le righe di illustri concezioni del metodo scientifico dei primi decenni del XX secolo. Secondo Poincaré⁷ l'oggetto dell'indagine scientifica va ricercato nei fatti che hanno qualche possibilità di ripetersi e dunque nei fatti semplici; a tale semplicità si associa in modo naturale la bellezza, intesa come ordine armonioso delle parti. Così, nella semplicità delle travi e dei pilastri a sezione variabile secondo geometrie rigate come nella semplicità delle ondine prefabbricate delle coperture corrugate, individuiamo gli invarianti del linguaggio nerviano i quali, sebbene variamente declinati e combinati, non mutano nella loro essenzialità. Mirando all'economia di pensiero⁸ e all'economia di sforzo, Mach ritiene che la scienza possa condurre al contempo alla bellezza e al vantaggio pratico; l'eleganza, ovvero la soddisfazione estetica, intesa come tutto ciò che permette di avere una visione chiara e distinta tanto dell'insieme quanto del singolo dettaglio, è feconda quando deriva dal contrasto fra la semplicità dei mezzi e la complessità del problema e, di conseguenza, è legata all'economia di pensiero. Immediata l'analogia con l'eleganza delle soluzioni nerviane, derivate da vantaggiose innovazioni costruttive in un contesto tecnologico rudimentale.

Ciò premesso, la scelta del NerViLab di proporre modelli fisici astratti mira a comunicare, o quanto meno a contemplare, tali presupposti teorici. In essi le geometrie degli elementi strutturali e delle loro connessioni, le trame delle nervature e le tessiture degli elementi modulari sono proposti in modo da risultare chiaramente leggibili. Di conse-





Pier Luigi Nervi,
Cattedrale di St. Mary,
San Francisco
Foto: Mario Carrieri,
courtesy PLNP Bruxelles e
Italcementi

guenza la scala di riduzione dei modelli è calibrata in funzione della visibilità degli elementi strutturali distintivi; sfruttando le simmetrie e le distribuzioni spaziali dei singoli progetti, sono modellate solo porzioni significative che, senza compromettere la leggibilità degli spazi interni, hanno consentito di limitare i costi legati alle considerevoli dimensioni dei modelli.

Nell'operare la scelta delle porzioni modellate, particolare risalto è stato dato alle sezioni; facendo riferimento a sezioni significative disegnate dallo stesso Nervi, si è cercato di riproporre nello spazio fisico una modalità di rappresentazione coerente, di ausilio alla comprensione degli schemi statici e

dunque del comportamento strutturale.

La prototipazione rapida, ed in particolare la stereolitografia, tecnologia ormai consolidata in vari settori industriali (design, industria automobilistica, applicazioni biomediche, etc.) e applicata solo di recente alla modellazione architettonica, è sembrata lo strumento idoneo per conseguire con i modelli fisici gli obiettivi preposti. L'omogeneità cromatica delle strutture in cemento armato è simulata dalla resina bianca ed è violata solo dal rosso degli elementi strutturali sezionati, a sottolineare l'importanza del ruolo; le rigorose geometrie sono fedelmente replicate in scala grazie all'elevata precisione della stereolitografia. I modelli sono collocati su basi in legno sulle quali sono state stampate le piante significative corrispondenti alle porzioni non prototipate. Infine, 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, policarbonato e plexiglass.

Rileggere le opere nerviane con lo strumento informatico, ovvero attraverso il metodo della rappresentazione matematica e la prototipazione, ha consentito di realizzare modelli alternativi sia ai classici plastici architettonici che ai modelli prestazionali⁹; spogliati sia delle finiture architettoniche che dei segni del cantiere, essi aspirano ad evidenziare e comunicare gli esiti dell'incessante ricerca di Pier Luigi Nervi della sintesi geometrico-strutturale.

La simultaneità della rappresentazione:

il Modello Nervi

Leonardo Baglioni

Il forte sviluppo degli strumenti informatici che affiancano quelli di tipo grafico tradizionale, trova nella rilettura critica delle opere di Pier Luigi Nervi un terreno fertile da cui scaturiscono osservazioni ed elementi che tendono a definire, in modo ancora più completo, particolari aspetti della figura del progettista. A tale proposito è opportuno chiarire alcune tra le più grandi innovazioni introdotte dalla rappresentazione informatica (sia essa matematica che poligonale). La prima è la riduzione quasi completa dei confini che fino a qualche anno fa separavano fortemente il repertorio di immagini e rappresentazioni a disposizione del progettista. Con il termine *rappresentazione* (o disegno) intendiamo tutti quei tipi di manifestazione che esprimono l'idea di forma che risiede nella mente del progettista cioè l'essenza del Modello ideale¹⁰. L'idea progettuale potrà quindi essere solo evocata e mai afferrata pienamente. Tra le forme di rappresentazione tradizionale vanno annoverati gli schizzi a mano libera (per il primo approccio conoscitivo), gli elaborati grafici tradizio-

nali come le piante e le sezioni (per controllare l'aspetto metrico), le viste d'insieme come le assonometrie o le prospettive (per valutare il rapporto formale e volumetrico tra le parti), il plastico architettonico o *maquette* (per comprendere le geometrie che intervengono nel progetto). Ciascuna di queste forme descrive un aspetto specifico del Modello ideale, e molto spesso (sia nel disegno di progetto che nel disegno di rilievo) viaggiano in un rigido sviluppo sequenziale, viste le difficoltà oggettive di trasformare una forma in un'altra. Il computer rende possibile un processo più dinamico e fluido in cui la trasformazione da una rappresentazione ad un'altra si sta sempre più automatizzando: possiamo fare uno schizzo di una forma, verificarla in un modello virtuale, farne una stampa tridimensionale, modificarla e poi nuovamente acquisirla nel calcolatore per realizzarne gli elaborati esecutivi. Ma questo è proprio uno degli aspetti caratteristici della figura di Nervi: la facilità di transizione da una forma di rappresentazione a un'altra (in molti dei suoi appunti si ritrovano af-

Gli elaborati grafici e digitali presentati nell'articolo sono di:

Elena Boria,
Marco Calcagnoli,
Sandra Cazzato,
Cristian Di Bella,
Saverio Fimmano,
Barbara Picone,
Isabella Proietti Muzi,
Ludovica Troiani

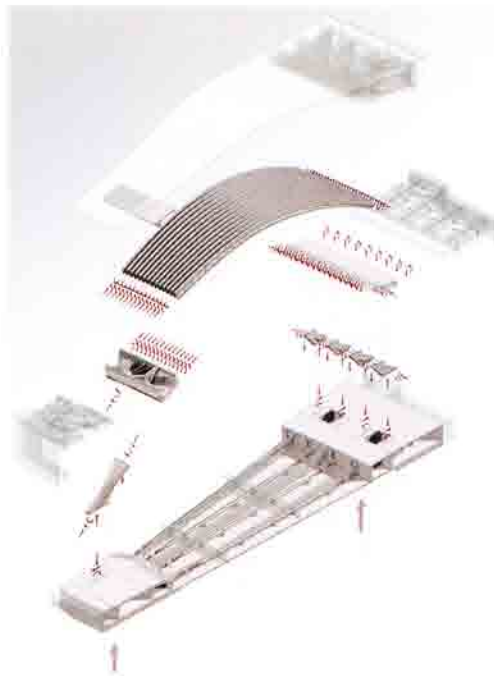
fiancate equazioni matematiche e disegni della relativa superficie geometrica). Era questa grande capacità a rendere possibile il controllo globale dell'intero processo di progettazione esattamente come oggi il progettista, per mezzo del modellatore informatico, controlla contemporaneamente più aspetti del Modello ideale con una visione che ha quasi più a che fare con il concetto cubista¹¹ di rappresentazione che con la geometria proiettiva. Il secondo contributo della rappresentazione informatica riguarda lo slittamento dell'attenzione del progettista sulla forma geometrica a tre dimensioni. In altre parole è possibile disegnare direttamente nello spazio contrariamente a quanto era possibile fare con il disegno tradizionale che necessariamente faceva uso di proiezioni bidimensionali della figura considerata.

Queste considerazioni si riversano con un rinnovato vigore nell'analisi delle opere di Pier Luigi Nervi fortemente caratterizzate da una straordinaria forza di sintesi: le sue architetture sono il punto d'in-



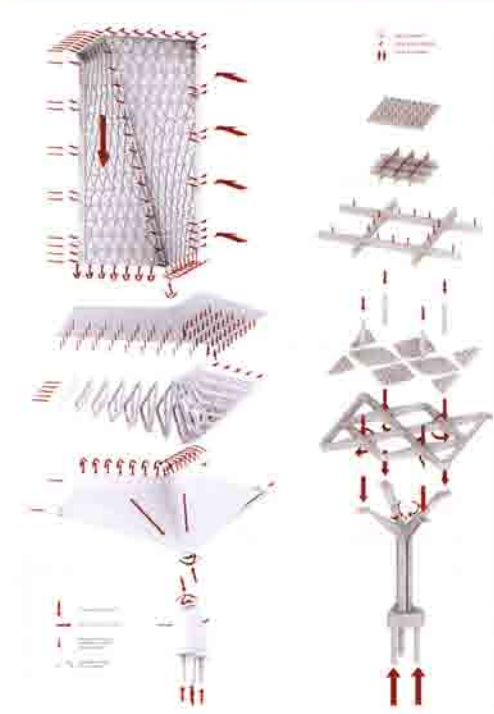
contro tra diversi settori del sapere scientifico come la geometria, la matematica e la scienza delle costruzioni. Allora, in una indagine il cui principale obiettivo è quello di stabilire i legami e le relazioni interdisciplinari che confluiscono nelle opere di Nervi, la rappresentazione matematica diviene senza dubbio il migliore strumento¹². Con questo metodo l'idea di forma dell'architettura di Pier Luigi Nervi può essere descritta attraverso modelli validi dal punto di vista geometrico (in quanto continui) e resi visibili con un linguaggio di natura sintetica (che si esprime cioè attraverso l'immagine) piuttosto che di natura simbolica come quello della matematica.

Il modello matematico contiene in sé un potenziale espressivo che può essere rivelato a seconda della chiave interpretativa scelta. Abbiamo la possibilità di sezionare il modello e ricavarne così piante e sezioni in modo quasi automatico (ma non per questo poco espressive), per analizzare dal punto di vista metrico e formale, elementi architettonici caratteristici; possiamo eseguire il calcolo del chia-



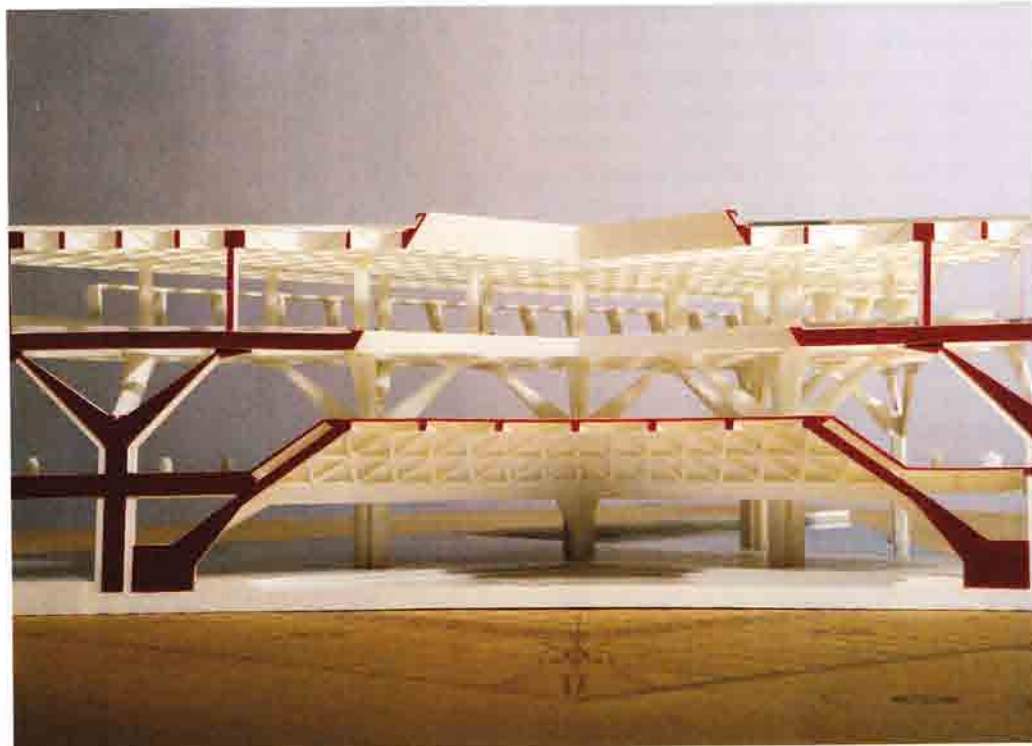
Di lato, esploso assonometrico con il percorso schematico dei carichi dell'Aula delle Udienze Pontificie, Città del Vaticano; sotto, modello in stereolitografia, scala 1:100, della Sala Congressi della Sede dell'UNESCO a Parigi di Pier Luigi Nervi; a sinistra, modello in stereolitografia scala 1:50 del Palazzetto dello Sport di Roma
Foto: Lode Saidane, courtesy NerViLab

85



Esploso assonometrico con il percorso schematico dei carichi della Cattedrale di St. Mary a San Francisco e dell'Ambasciata d'Italia a Brasilia

Pier Luigi Nervi,
Ambasciata d'Italia a
Brasilia: modello in
stereolitografia,
scala 1:100
Foto Lode Saidane, courtesy
NerViLab



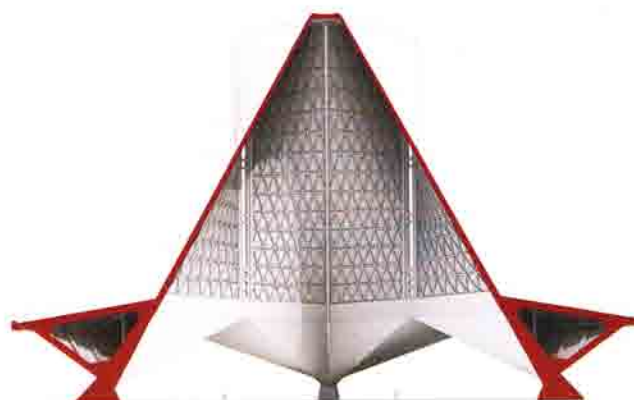
86

roscuro per evidenziare il valore plastico ed organico delle forme di Nervi sempre intimamente connesse con il loro significato geometrico; e ancora realizzare una stampa stereolitografica che metta in luce l'essenza strutturale dell'opera analizzata¹³.

Non ultima la possibilità di analizzare il comportamento statico della forma realizzata potendo metterla a confronto con eventuali variazioni per verificare con strumenti sempre più potenti ed accurati, l'efficacia della scelta progettuale. È dunque facile immaginare le potenzialità di ricerca offerte da tali strumenti se applicati a progetti non realizzati oppure non più esistenti. Inoltre non va dimenticato un altro aspetto chiave della rappresentazione matematica che è il suo carattere di fisicità che essa introduce prefigurando (quando si disegna nello spazio virtuale) problematiche relative alla costruzione di un elemento architettonico. Quando ad esempio si vogliono disegnare al com-

puter le nervature delle falde della copertura di St. Mary, non si può evitare di risolvere il problema della discretizzazione della forma ideale e continua del paraboloide iperbolico, secondo una superficie poliedrica a facce piane triangolari il più possibile simili tra loro. Il controllo di questo passaggio delicatissimo ha come ricaduta principale il raggiungimento di un'economia costruttiva intesa come sintesi tra forma e distribuzione delle forze. E questo è esattamente il passaggio che lo stesso Nervi ha dovuto affrontare e risolvere in fase di progettazione considerando contemporaneamente aspetti di natura geometrica, strutturale e naturalmente esecutiva. Dunque la rappresentazione per mezzo degli strumenti informatici non si limita solamente alla visualizzazione delle forme nello spazio ma acquista il più ampio valore di strumento di sperimentazione con cui è possibile effettuare verifiche delle proprietà geometriche e matematiche delle figure analizzate.

Sezioni prospettiche
dell'Aula delle Udienze
Pontificie nella Città del
Vaticano e Cattedrale di
St. Mary a San Francisco

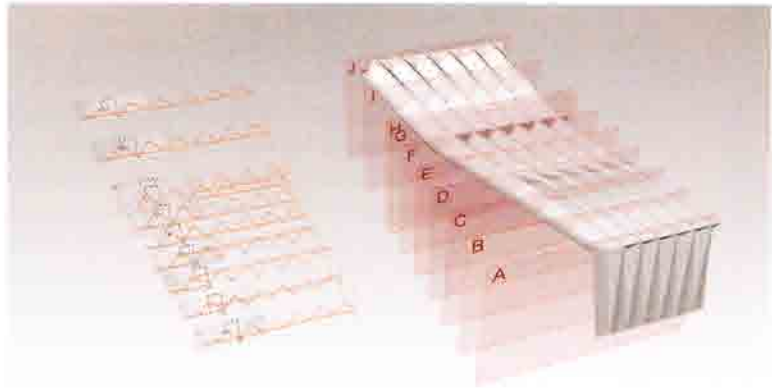


Disegni, modelli e prototipi

Marta Salvatore

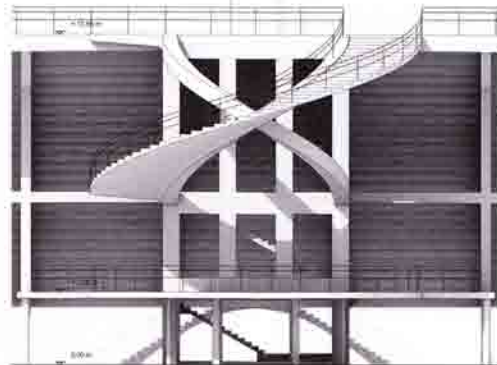
La metodologia impiegata nell'ambito del Nervi-lab per la costruzione di modelli stereolitografici di alcune opere di Pier Luigi Nervi si è articolata intorno a tre fasi distinte, parte dello stesso piano di analisi, che si pongono in continuo e reciproco scambio affinché il prodotto finale esprima, in maniera sintetica, la relazione fra forma e struttura caratteristica delle opere analizzate in cui la struttura diviene architettura grazie al rigore e alla complessità delle geometrie delle superfici che compongono le singole parti.

La prima fase riguarda la raccolta dei materiali d'archivio e il ridisegno bidimensionale degli elaborati grafici, ovvero la trasposizione in linguaggio informatico delle informazioni relative all'opera da analizzare¹⁴. La ricerca d'archivio ricopre un ruolo di notevole importanza poiché i modelli realizzati non ricalcano lo stato attuale delle architetture selezionate¹⁵, ma ne restituiscono il progetto in relazione ad una particolare fase debitamente documentata. Selezionati gli elaborati necessari si procede con il ridisegno. Si tratta di una prima fase di lettura critica estremamente delicata in cui, oltre all'interpretazione dei caratteri generativi della forma architettonica, si è spesso tenuti ad operare delle scelte di interpretazione dovute ad incongruenze nella documentazione. Queste sono imputabili a diverse ragioni fra cui la datazione incerta di alcuni documenti, l'irreperibilità di alcuni elaborati, la presenza di numerose varianti di progetto a volte redatte da terzi anziché dal progettista incaricato e così via. Preparati gli elaborati bidi-

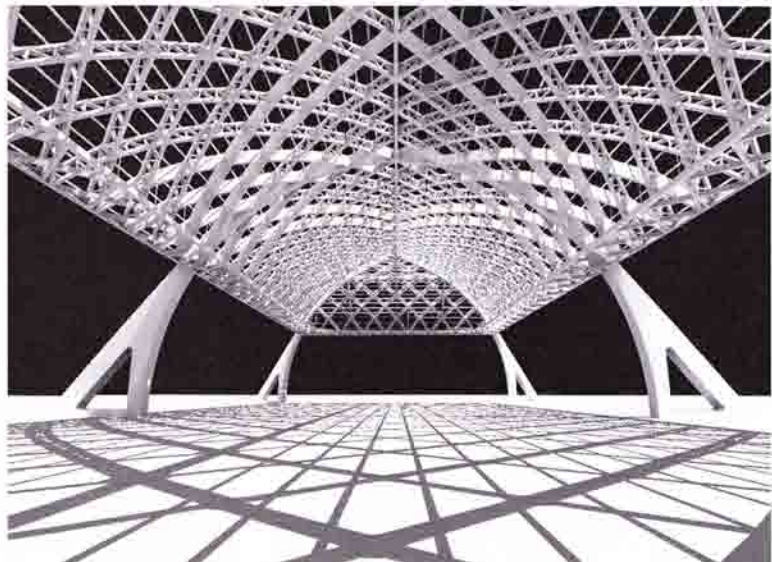
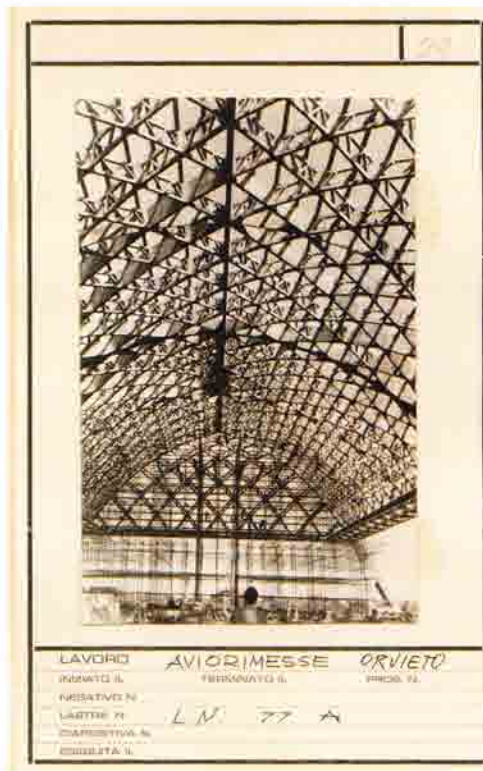


87

Sala Congressi della Sede dell'UNESCO a Parigi: fase di ridisegno



Di lato, Stadio comunale di Firenze: fase di ridisegno; sotto a sinistra, Aviorimessa di Orvieto (seconda serie) di Pier Luigi Nervi: foto di archivio (CSAC, Parma); sotto, rendering



Alcune fasi della realizzazione dei modelli in stereolitografia delle opere di Pier Luigi Nervi, prodotti presso i laboratori *Materialise* a Leuven, Belgio: Aviorimessa di Orvieto, Orbetello, Torre del Lago (seconda serie, scala 1:84) e Palazzetto dello Sport di Roma (foto in alto a destra)

mensionali in formato digitale si passa alla seconda fase, e cioè alla costruzione dei modelli informatici. L'uso diffuso e consapevole di geometrie rigorose anche complesse ha determinato la scelta di un modellatore Nurbs, capace di descrivere linee e superfici in maniera continua in ogni punto attraverso equazioni matematiche di tipo parametrico, che garantiscono un controllo morfogenetico rigoroso della geometria delle parti¹⁶.

Il modello matematico, strumento di restituzione tridimensionale del dato, svela le proprie potenzialità cognitive e diventa, attraverso il controllo delle geometrie complesse nello spazio, strumento di costante verifica delle ipotesi formulate in prima fase, in particolare nei casi in cui la documentazione presenta delle incongruenze e sono necessarie alcune scelte di interpretazione. La stampa stereolitografica impone una serie di vincoli alla costruzione del modello, in primo luogo dimensionali. Le dimensioni del modello o di parti dello stesso devono rispettare i limiti imposti dalla macchina con cui sarà effettuata la stampa, e allora prima di procedere con la modellazione è indispensabile stabilire la porzione di edificio da modellare e la

scala di stampa. Analoghi limiti dimensionali interessano gli spessori; le macchine per la stampa stereolitografica impongono spessori minimi al di sotto dei quali non è possibile lavorare, è opportuno allora tener conto degli stessi nella scelta della scala per garantire ai modelli un livello adeguato di dettaglio¹⁷. Definito il modello matematico con la debita accuratezza¹⁸, si procede con la terza fase, la prototipazione.

Per la stampa stereolitografica, il modello matematico deve essere convertito in un modello poligonale; in altre parole superfici continue devono essere trasformate in superfici discrete costituite da maglie triangolari o quadrangolari che approssimano la superficie matematica da cui hanno origine¹⁹ (mesh). In questa operazione di tassellazione, maggiore è il numero di poligoni, migliore è l'approssimazione del poliedro alla superficie matematica, tuttavia, per evitare di sovraccaricare le risorse computazionali dell'hardware è opportuno generare delle mesh capaci di ottimizzare la forma con il minimo indispensabile di poligoni. Il modello poligonale così ottimizzato viene infine inviato alla stampa stereolitografica.



Nervi e le superfici rigate

Federico Fallavollita

Le rigate debbono il loro nome ad un matematico francese dell'ottocento, Jean Nicolas Pierre Hachette (1769-1834)²⁰: esse erano già note con il nome di *surface gauche* che in francese, come in italiano, ha anche il significato peggiorativo di sinistro; il geometra decise di trovare una denominazione più consona a queste bellissime superfici: *surface réglée*!

In geometria descrittiva è possibile classificare le superfici in funzione del metodo adottato per costruirle. Le linee che muovendosi generano le superfici sono dette *generatrici*; mentre le linee che guidano il movimento sono dette *direttrici*. Se la generatrice è una retta, la superficie generata è una *rigata*. Perciò le superfici rigate hanno una pregevole caratteristica di ammettere sempre la possibilità di appoggiare su di esse, in tutta la sua lunghezza, una riga. Questa particolarità è stata utilizzata in passato nel lavoro di costruzione dei conci di pietra destinati alle volte (*stereotomia*), infatti, la loro sbazzatura avveniva seguendo le incisioni rettilinee. Oggi le superfici rigate possono essere impiegate nelle grandi coperture a volta mettendo in tensioni cavi di acciaio lungo le rette generatrici. Nella tecnica del cemento armato è possibile sagomare le casseforme attraverso la sistemazione di listelli di legno disposti lungo le rette generatrici.

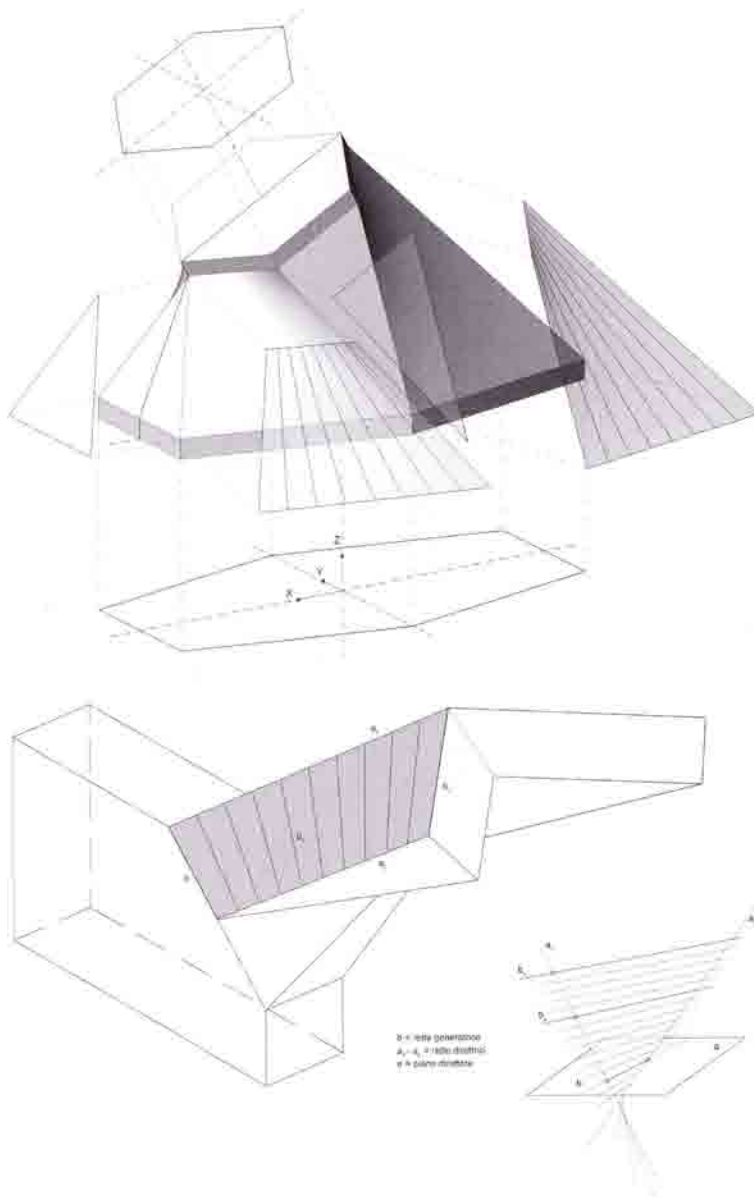
Le rigate sghembe devono essere distinte dalle superfici sviluppabili, che sono un'altra grande famiglia di superfici generate dal movimento di una retta ma che possiedono la caratteristica di poter essere distese su un piano senza strappi o pieghe. Tale differenza rende le rigate più rigide per forma e perciò più efficienti se adottate come strutture portanti.

Da quanto descritto è facile comprendere il fascino esercitato da queste forme sull'ingegnere italiano, che ha visto in esse grandi possibilità espressive.

Nervi è sempre stato attento all'aspetto geometrico delle sue architetture: l'uso di particolari superfici è stato un suo tratto caratteristico; fra le superfici che ha più amato ci sono le superfici rigate, in particolare il paraboloide iperbolico²¹. Ne ha fatto uso in diversi progetti sia come porzioni di coperture e sia come parti sagomate di pilastri; a Roma è sufficiente osservare i pilastri del viadotto di Corso Francia oppure del Palazzo dello Sport o, ancora, dell'Aula delle udienze papali in Vaticano. È nel progetto della Cattedrale di Saint Mary di San Francisco, però, che l'impiego del paraboloide iperbolico diventa l'idea principale dell'intero progetto architettonico di Pietro Belluschi²²: dalla copertura formata da otto paraboloidi ai pilastri formati anch'essi da paraboloidi. Nervi si è occupato soltanto della parte strutturale ma la sua influenza

è ben visibile già nell'impianto generale del progetto. L'aula liturgica ha una base quadrata, di circa 75 metri di lato; la volta è costituita da otto paraboloidi iperbolici disposti su quattro settori in forma di croce che s'innalzano per 42 metri circa; la copertura poggia su una struttura scatolare che riporta il carico su quattro pilastri sagomati e formati da superfici di paraboloide iperbolico. Le superfici della volta presentano nell'intradosso il disegno delle nervature a maglia triangolare che costituiscono i "figli" prefabbricati in ferro cemento. Il disegno segue per le linee orizzontali l'una delle due famiglie di rette del paraboloide iperbolico, mentre per le linee sghembe segue le sezioni paraboliche della superficie. L'analisi condotta attraverso il metodo della rappresentazione matematica ha evidenziato che i paraboloidi iperbolici sono anche equilateri²³; in altre parole i paraboloidi presentano una particolare simmetria e i piani diret-

In alto, Cattedrale di St. Mary a San Francisco; sotto, Ambasciata d'Italia a Brasilia: ricostruzioni geometriche di particolari



**Cattedrale di St. Mary
a San Francisco: fase di
ridisegno e modello in
stereolitografia,**
scala 1:100

Foto Lode Saidane, courtesy
NerViLab



ventilazione, nonché per la
verifica delle fasi costruttive.

¹⁰ Riccardo Migliari, a cura di,
*Disegno come Modello,
riflessioni sul disegno nell'era
informatica*, edizioni Kappa,
Roma 2004.

¹¹ Luigi Prestinenza Puglisi,
*Corpo e mente: scenari
tradizionali e digitali nella
ricerca architettonica*, in
Riccardo Migliari, a cura di,
*Disegno come Modello,
riflessioni sul disegno nell'era
informatica*, edizioni Kappa,
Roma 2004.

¹² Per rappresentazione
matematica intendiamo quel
metodo di rappresentazione
che implementa i metodi della
geometria in ambiente
informatico con cui è possibile
descrivere qualsiasi forma in
modo continuo grazie alle
funzioni di tipo NURBS. In
altre parole è possibile
analizzare caratteristiche
metriche di proprietà
intrinseche delle superfici
come ad esempio la curvatura
e risolvere in modo rapido le
operazioni classiche della
geometria proiettiva: le
operazioni di proiezione ed
intersezione.

¹³ La procedura di

approssimazione di una
superficie continua di tipo
NURBS ad una discreta di tipo
mesh, prende il nome di
surface triangulation o surface
tessellation. La creazione di
superfici mesh a partire da un
insieme ordinato o meno, di
punti (point cloud) ha un
vastissimo campo di
applicazioni, quali ad esempio
il rilievo tridimensionale per
mezzo di laser scanner,
l'analisi ad elementi finiti
(FEM) oppure la
stereolitografia per il rapid
prototyping.

¹⁴ Si costruiscono in questa
fase i modelli grafici
bidimensionali che
costituiranno la base di
partenza per la modellazione
tridimensionale.

¹⁵ Nel qual caso, per le opere
ancora esistenti, sarebbero
stati sufficienti degli accurati
rilievi.

¹⁶ Nell'ambito della
costruzione di modelli 3D
coesistono diverse tecniche di
modellazione. Le più diffuse
sono riconducibili a due
metodi che definiremo
rispettivamente matematico e
numerico, che interessano la
maniera impiegata dal

software per costruire e quindi
descrivere linee e superfici. La
modellazione matematica (o
modellazione Nurbs) descrive
gli enti geometrici attraverso
equazioni di tipo parametrico,
diversamente la modellazione
numerica (o poligonale) si
avvale di un modello discreto,
composto da un insieme di
poligoni che approssimano le
curve e le superfici da
descrivere.

¹⁷ La macchina utilizzata
(Mammoth Stereolithography,
Materialise) consente di
prototipare oggetti di
dimensione massima pari a
2100x680x800 mm e
spessore minimo di 1 mm. Le
scale di riduzioni adottate
nella modellazione e nella
stampa 3D sono state: Teatro
Augusteo 1:71; Palazzetto
dello Sport 1:50; Aviorimessa
(seconda serie) 1:84; Stadio
Berta, Sala congressi
dell'Unesco, Cattedrale di St.
Mary, Ambasciata Italiana a
Brasilia 1:100; Aula delle
udienze pontificie 1:105;
Montreal Stock Exchange
1:133.

¹⁸ La costruzione dei modelli,
in particolare se destinati alla
prototipazione rapida, deve

essere eseguita in maniera tale
da non presentare bordi aperti
e quindi discontinuità che
renderebbero impossibile la
stampa.

¹⁹ Lo standard per la maggior
parte dei sistemi di
prototipazione si basa sulla
suddivisione in mesh a facce
triangolari e prende il nome di
STL (Standard Triangulation
Language to Layer).

²⁰ Hachette J.N.P., *Traité de
Géométrie Descriptive*, Corby,
Parigi 1828.

²¹ Il paraboloide iperbolico
insieme all'iperboloide ellittico
(rotondo nel caso particolare)
sono superfici quadriche
rigate e sono le uniche
superfici rigate ad ammettere
per ogni punto di esse una
coppia di rette.

²² Ispirato alla St. Mary's
Cathedral, Tokyo (1964),
dell'architetto Kenzo Tange
(1913-2005).

²³ Federico Fallavollita, *Le
superfici rigate*, in Riccardo
Migliari, *Geometria Descrittiva
- Vol. II - Tecniche e
Applicazioni*, CittàStudiEdizioni
(2009).

¹ Carlo Olmo e Cristiana
Chiorino (a cura di) *Pier Luigi
Nervi Architettura come Sfida*,
Silvana Editoriale (2010).

² Global sponsors del tour
espositivo internazionale sono
Ance, Italcementi e
Permasteelisa.

³ Gli sponsors tecnici coinvolti
nell'attività di ricerca del
NerViLab sono Rhinoceros e
Materialise.

⁴ Fabio Mariano, *Disegno e
progettazione in P.L. Nervi, in
Nervi Oggi*, ed. Kappa, Roma
1983.

⁵ Raymond Queneau, *Segni,
cifre e lettere*, Einaudi, Torino
1981.

⁶ Pier Luigi Nervi, *Scienza o
arte dell'ingegnere?*,
L'Ingegnere, 7, 1931.

⁷ Jules-Henri Poincaré, *Scienza
e metodo*, Einaudi, Torino
1997.

⁸ Ernst Mach, *La meccanica nel
suo sviluppo storico-critico*,
Bollati Boringhieri Torino
1992.

⁹ Si fa riferimento ai modelli
sperimentali, concepiti per la
simulazione sia del
comportamento strutturale
che delle soluzioni
impiantistiche, quali
illuminazione, acustica o

References

1. FALLAVOLLITA, Federico. Le superfici rigate. In MIGLIARI, Riccardo. *Geometria descrittiva - Tecniche e applicazioni*. 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.
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 e 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 Prestinenza. 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.
9. QUENEAU, Raymond. *Segni, cifre e lettere*. Einaudi, Torino. 1981.