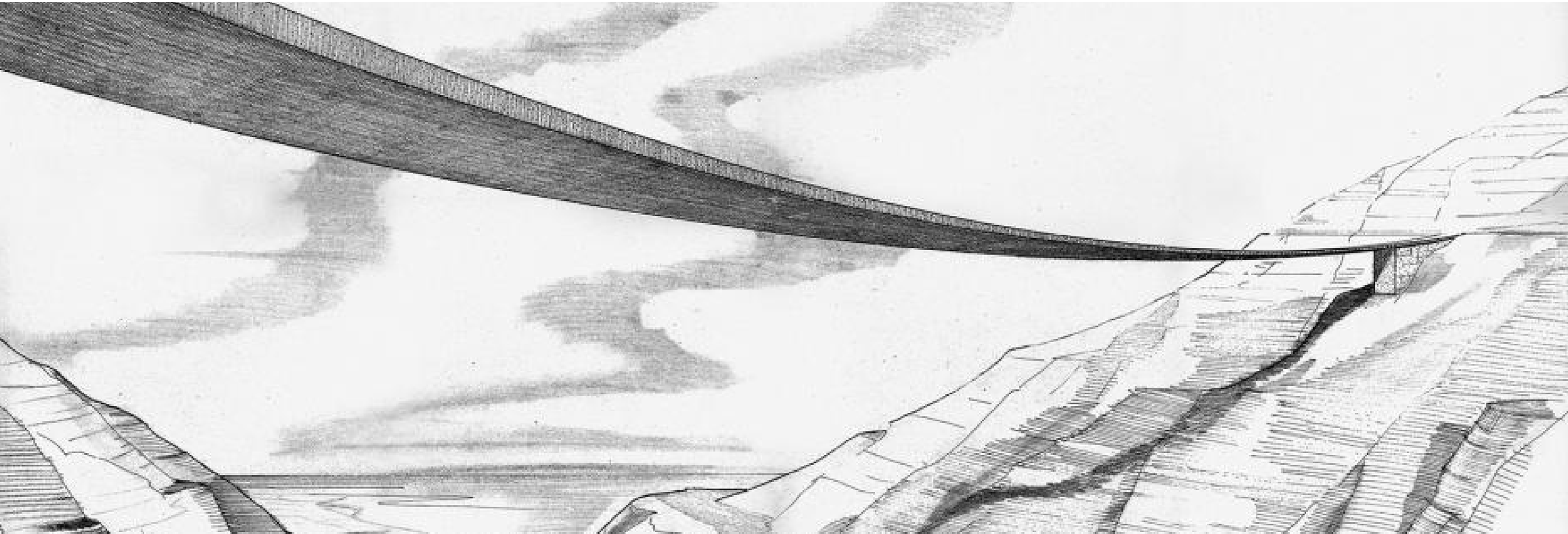
diségno 17.2025

unione italiana disegno
17.2025

diségno

ISSN 2533-2899



diségno

17.2025

LA STRUTTURA RIVELATA.
IL DISEGNO FRA COSTRUZIONE E FORMA

diségno

Rivista semestrale della società scientifica Unione Italiana per il Disegno
fondata da Vito Cardone

n. 17/2025 - a cura di Stefano Chiarenza, Marta Salvatore
http://disegno.unioneitalianadisegno.it

Direttore responsabile
Ornella Zerlenga, Presidente dell'Unione Italiana per il Disegno

Journal Manager
Valeria Menchetelli

Comitato editoriale - indirizzo scientifico

Comitato Tecnico Scientifico dell'Unione Italiana per il Disegno (UID)
Marcello Balzani, Università degli Studi di Ferrara - Italia
Carlo Bianchini, Sapienza Università di Roma - Italia
Marco Giorgio Bevilacqua, Università di Pisa - Italia
Stefano Brusaporci, Università degli Studi dell'Aquila - Italia
Marianna Calia, Università degli Studi della Basilicata - Italia
Stefano Chiarenza, Università San Raffaele Roma - Italia
Emanuela Chiavoni, Sapienza Università di Roma - Italia
Massimiliano Ciammaichella, Università Iuav di Venezia - Italia († 2025)
Enrico Cicalò, Università degli Studi di Sassari - Italia
Luigi Cocchiarella, Politecnico di Milano - Italia
Mario Docci, Sapienza Università di Roma - Italia
Laura Farroni, Università degli Studi Roma Tre - Italia
Francesca Fatta, Università degli Studi *Mediterranea* di Reggio Calabria - Italia
Andrea Giordano, Università degli Studi di Padova - Italia
Vincenza Garofalo, Università degli Studi di Palermo - Italia
Alessandro Luigini, Libera Università di Bolzano - Italia
Valeria Menchetelli, Università degli Studi di Perugia - Italia
Anna Osello, Politecnico di Torino - Italia
Caterina Palestini, Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara - Italia
Sandro Parrinello, Università degli Studi di Firenze - Italia
Cettina Santagati, Università di Catania - Italia
Graziano Mario Valenti, Sapienza Università di Roma - Italia
Ornella Zerlenga, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli" - Italia

Componenti di strutture estere
Glaucia Augusto Fonseca, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Brasile
Pedro Manuel Cabezos Bernal, Universidad Politecnica de Valencia - Spagna
Pilar Chías Navarro, Universidad de Alcalá - Spagna
Frank Ching, University of Washington - USA
Livio De Luca, UMR CNRS/MCC MAP, Marseille - Francia
Roberto Ferraris, Universidad Nacional de Córdoba - Argentina
Ángela García Codoñer, Universitat Politècnica de València - Spagna
Pedro Antonio Janeiro, Universidade de Lisboa - Portogallo
Michael John Kirk Walsh, Nanyang Technological University - Singapore
Jacques Laubscher, Tshwane University of Technology - Sudafrica
Dominik Lengyel, Brandeburg University of Technology Cottbus - Senftenberg - Germania
Cornelie Leopold, Technische Universität Kaiserslautern - Germania
María Roser Martínez Ramos, Universidad de Granada - Spagna
Carlos Montes Serrano, Universidad de Valladolid - Spagna
César Otero, Universidad de Cantabria - Spagna
Pablo Rodríguez Navarro, Universidad Politecnica de Valencia - Spagna
José Antonio Franco Taboada, Universidade da Coruña - Spagna

Comitato editoriale - coordinamento
Marco Giorgio Bevilacqua, Carlo Bianchini, Stefano Chiarenza, Massimiliano Ciammaichella († 2025), *Enrico Cicalò, Laura Farroni, Francesca Fatta, Andrea Giordano, Valeria Menchetelli, Sandro Parrinello, Marta Salvatore* (curatrice invitata), *Ornella Zerlenga*

Comitato editoriale - staff
Laura Carlevaris, Alexandra Fusinetti, Valeria Menchetelli (coordinamento), *Barbara Messina, Sonia Mollica, Cosimo Monteleone, Sara Morena, Paola Raffa, Veronica Riavis, Michele Valentino*

Progetto grafico
Paolo Belardi, Enrica Bistagnino, Enrico Cicalò, Alessandra Cirafici

Segreteria di redazione
piazza Borghese 9, 00186 Roma
redazione.disegno@unioneitalianadisegno.it

In copertina
Ponte sul fiume Guayllabamba, progetto di concorso. Prospettiva, particolare (Archivio Storico Politecnico di Milano, fondo Silvano Zorzi, Milano).

Gli articoli pubblicati sono sottoposti a procedura di doppia revisione anonima (*double blind peer review*) che prevede la selezione da parte di almeno due esperti internazionali negli specifici argomenti. Per il numero 17, anno 2025, la procedura di valutazione dei contributi è stata affidata ai seguenti *referee:*
Fabrizio Agnello, Giuseppe Amoruso, Fabrizio Avella, Enrico Babilio, Laura Baratin, Alessio Bortot, Adriana Caldarone, Daniele Calisi, Cristina Càndito, Mara Capone, Nicola Cavalagli, Vincenzo Cirillo, Daniele Colistra, Fabio Colonnese, Giuseppe D'Acunto, Pia Davico, Andrea Di Filippo, Antonella di Luggo, Francesco Di Paola, Edoardo Dotto, Federico Fallavollita, Marco Fasolo, Riccardo Foschi, Manuela Incerti, Elena Ippoliti, Emanuela Lanzara, Gabriella Liva, Massimiliano Lo Turco, Francesco Maggio, Domenico Mediati, Alessandra Meschini, Daniela Palomba, Leonardo Paris, Maria Ines Pascariello, Manuela Piscitelli, Leopoldo Repola, Jessica Romor, Michele Russo, Alberto Sdegno, Giovanna Spadafora, Roberta Spallone, Maurizio Unali, Rita Valenti, Daniele Villa

Le traduzioni in lingua inglese sono a cura degli autori, che ne assumono la piena responsabilità.
Gli autori dichiarano che le immagini incluse nel testo sono libere da diritti oppure ne hanno acquisito l'autorizzazione per la pubblicazione.

La rivista *diségno* è inclusa nell'elenco delle riviste di Classe A dell'Agenzia nazionale di valutazione del sistema universitario e della ricerca - ANVUR per i settori concorsuali 08/C1 - Design e progettazione tecnologica dell'architettura, 08/D1 - Progettazione architettonica e 08/E1 - Disegno dell'Area non bibliometrica 08 - Ingegneria civile e Architettura ed è indicizzata su Scopus.

Pubblicato nel mese di dicembre 2025

ISSN 2533-2899
Iscrizione al Registro del Tribunale di Napoli
n. 6/26 del 10 marzo 2026

17.2025 **diségno**

5 *Ornella Zerlenga* — **Editoriale**

Copertina

7 *Stefano Chiarenza, Marta Salvatore* — La struttura rivelata. Il disegno fra costruzione e forma

Immagine

22 *Luigi Walter Moretti* — Alcuni studi preparatori per il Teatro Imperiale all'E42

23 *Fabrizio Gay* — I parametri della figura: il disegno come diagramma di forze figurali

LA STRUTTURA RIVELATA. IL DISEGNO FRA COSTRUZIONE E FORMA

Strutture in chiaro. Il disegno come rivelazione costruttiva

31 *Cosimo Monteleone* — Idea, forma e struttura: l'*Archeseum* di Frank Lloyd Wright

41 *Giuseppe Antuono* — Rivelare le strutture e le forme della propaganda. Modelli e simboli nelle architetture coloniali della Mostra d'Oltremare

59 *Martina Attenni, Carlo Bianchini, Marika Griffo* — La Cappella Palatina svelata. Metodi e strumenti per l'interpretazione geometrica della Cattedrale di Aachen

71 *Gianluca Capurso* — Strutture in forma. La rappresentazione del progetto di ponti e viadotti nell'opera di Silvano Zorzi

81 *Enrico Gallocchio, Elena Eramo, Silvia Bertacchi, Filippo Fantini* — Metodi di dimensionamento e schemi geometrici nell'architettura adrianea: il caso del Tempio di Venere a Baia

93 *Paola Raffa* — La struttura fuori. Per una estetica della facciata

Forme della resistenza. Estetica e immaginario strutturale

107 *Kristin Jones* — I coni invisibili del Pantheon

127 *Luis Agustín-Hernández, Aurelio Vallespín-Muniesa, Marta Quintilla-Castán* — Evolución geométrica de la estructura en la arquitectura gótica de Guillem Sagrera en Perpignan. Análisis Gráfico

143 *Stefano Bertocci, Roberta Ferretti* — Giotto e la costruzione dello spazio. Le *Storie di San Francesco* nella Basilica Superiore di Assisi

155 *Virginia De Jorge Huertas* — Sketching Structural Lightness: Frei Otto and the Treehouses (1959-1987)

169 *Alessandra Pagliano, Barbara Ansaldi* — Oltre i limiti della veduta vincolata: spazi digitali interattivi per le quadrature prospettiche della Reggia di Portici

Disegnare la struttura. Codici, metodi e strumenti

185 *Luigi Cocchiarella* — Quale struttura

195 *Leonardo Baglioni, Michele Calvano, Graziano Mario Valenti* — La logica visibile: disegno algoritmico e costruzione della forma

203 *Michela Rossi, Giorgio Buratti, Andrea Rossi* — Strutture frattali. Comprendere le geometrie della natura

217 *Cinta Lluis-Teruel, Josep Lluis i Ginovart* — From Graphic Analysis of Equilibrium to Architectural Design. Cèsar Martinell

229 *Putri Anggita G., Huda M. Mahfuzh* — The Geometry of the Invisible: Drawing as a Bridge between Chemistry and Design

Estetica della logica. Forma, struttura e progetto

241 *Francesco Romeo* — Tra teoria strutturale e pratica costruttiva: il disegno nei solai a nervature curvilinee di Pier Luigi Nervi

257 *Francisco Cotallo Blanco, Jesús de los Ojos, Jairo Rodríguez* — Estructura y expresión en Gut Garkau: la visión artesanal de Hugo Häring

271 *Wilson Florio, Ana Tagliari* — Geometrical Analysis of Vilanova Artigas's Trapezoidal Columns

283 *Andrea Giordano, Andrea Colombo* — La struttura a guscio del Frontón Recoletos: dal disegno alla costruzione

295 *Alessandro Meloni, Denise Ulivieri, Marco Giorgio Bevilacqua, Piergiuseppe Rechichi, Zhangliang Shuai* — Architetture parametriche: le visioni americane di Vittorio Giorgini

RUBRICHE

Letture/Riletture

315 *Federico Fallavollita* — La rappresentazione delle forme costruttive

Recensioni

325 *Cristina Càndito* — Mara Capone (2024). *Dal piano alla superficie. Strumenti e metodi per costruire forme complesse.* Milano: Franco Angeli

328 *Vincenzo Cirillo* — Matteo Flavio Mancini (2023). *Esordio, maturità e consacrazione internazionale di Andrea Pozzo. Prospettiva e architettura nei grandi cicli di Mondovì, Roma e Vienna.* Torino: Fondazione 1563 per l'arte e la cultura della Compagnia di San Paolo

331 *Alessio Bortot* — Francesco Di Paola, Andrea Mercurio (2023). *Parametric Experiments in Architecture. A Connection Joint Design for Sustainable Structures in Bamboo.* Cham: Springer

Eventi

335 *Giovanni Albini* — *ICGG2024. The 21st International Conference on Geometry and Graphics*

338 *Marcello Balzani* — *Il Disegno Virtuale del Reale*, PhD UID Summer School 2025

341 *Paolo Giandebiaggi* — UID2025. *èkphrasis. Descrizioni nello spazio della rappresentazione.* 46° Conferenza Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione

344 *Emanuela Lanzara* — *APEGA 2025. Pensamiento Gráfico entre Docencia, Representación e Investigación*

348 *Valeria Menchetelli* — Alghero Week 2025

353 *Maria Zack* — *Nexus 2025. Relations Between Architecture and Mathematics*

357 — **La biblioteca dell'UID** a cura di Vincenzo Cirillo e Laura Farroni

363 — **Targhe e premi UID 2025**

Editoriale

Ornella Zerlenga

Il primo numero di *diségno*, rivista semestrale della società scientifica Unione Italiana per il Disegno, esce a dicembre 2017 giungendo con continuità periodica a dicembre 2025 con il numero 17. Nel complesso, otto anni di attività scientifica in cui il lavoro paziente, competente e coraggioso di Vito Cardone prima, presidente UID fondatore della rivista e primo direttore responsabile, e Francesca Fatta poi, presidente UID seguita a Cardone e direttore responsabile per due mandati, assieme a quello del Comitato editoriale nelle tre compagini di indirizzo scientifico, coordinamento e staff, ha portato alla pubblicazione *online* e *Open Access* di 16 numeri connotati da *call* diverse, per quasi 250 articoli selezionati con procedura di doppia revisione anonima, oltre quelli a invito. A ciò si aggiunge il lavoro di coordinamento editoriale per la redazione delle rubriche: *Immagine*, *Letture/Rilettur*e, *Recensioni*, *Eventi*, *La biblioteca dell'UID*. Un lavoro scientifico e redazionale rigoroso che ha portato nel tempo la rivista *diségno* a essere: collocata ad aprile 2020 nell'elenco delle riviste scientifiche dell'Area 08 formulato dall'Anvur (sin dal primo numero); indicizzata da Scopus a marzo 2021; riconosciuta dall'Anvur a settembre 2025 come rivista scientifica di classe A per i settori concorsuali ex 08/C1, 08/D1, 08/E1 (da gennaio 2021).
Un successo atteso da tanto e annunciato da Francesca Fatta nell'*Editoriale* al numero 16/2025, ma che qui va ripreso perché punto di arrivo che inorgoglisce l'Associazione scientifica UID e il settore disciplinare del Disegno, e che rende merito sia a Francesca Fatta che, ereditandone la gestione, assieme al Comitato editoriale di coordinamento e allo staff ha portato la rivista *diségno* in classe A, che a Vito Cardone, promotore del progetto che ha dotato la UID di una rivista scientifica, prevista da Statuto e Regolamento ed «evento importante, a maggior ragione quando si attende da anni» [Cardone, Editoriale. In *diségno*, n. 1/2017, p. 5]. A loro un sincero grazie.
Prima di descrivere il numero 17 nei suoi contenuti, vorrei cogliere l'augurio di Francesca Fatta per «una lunga vita alla rivista e al suo rinnovamento con la direzione di Ornella Zerlenga» [Fatta, Editoriale. In *diségno*, n. 16/2025, p. 6]. Questo numero, infatti, si colloca nel nuovo triennio della UID 2024-2027, avendo a settembre 2024 eletto la nuova compagine del CTS e, a seguire, il presidente. Il colophon di questo numero registra, infatti, uno scenario aggiornato per ruoli e persone come Marco Giorgio Bevilacqua, Stefano Brusaporci, Marianna Calia, Stefano Chiarenza, Emanuela Chiavoni, Luigi Cocchiarella, Laura Farroni, Vincenza Garofalo, Valeria Menchetelli, Anna Osello, Sandro Parrinello e Cettina Santagati. Inoltre, sia il CTS che il Comitato editoriale hanno espresso la volontà di custodire nel colophon la memoria della prematura scomparsa di Massimiliano Ciammaichella (agosto 2025), rieletto a pieni voti nel CTS 2024-2027, riconfermato nel Comitato editoriale di coordinamento e a cui l'Assemblea dei Soci a settembre 2025 ha dedicato il n. 18 della rivista.
Il n. 17 di *diségno* si carica, pertanto, di più emozioni dovute al passaggio di testimone ma, soprattutto, alla consapevolezza di ricevere un'importante eredità, espressione di un significativo brano di storia della UID e di un eccellente traguardo raggiunto. Su queste premesse, il Comitato editoriale ha sviluppato diverse riflessioni utili ad azioni più performanti per il lancio della *call*, la selezione dei contributi, la corrispondenza delle rubriche al tema della *call*. Condividendo poi l'opinione che i curatori, quali redattori della *call*, abbiano piena competenza decisionale, se esterni al CTS sono stati invitati a partecipare alle scelte del Comitato durante la redazione del numero, contribuendo a ottimizzare il processo di accettazione degli articoli e i contenuti delle rubriche. Una novità riguarda la rubrica *Recensioni* nella quale si è deciso di segnalare i libri pertinenti al tema della *call* partendo dal semestre in corso fino al 2016, anno in cui è stata avviata la raccolta sistematica delle pubblicazioni scientifiche dei soci. Inoltre, grazie alla sinergia con la rubrica *La biblioteca dell'UID*, oltre all'elenco di volumi recenti sarà possibile accedere alla lista di ulteriori testi selezionati dai curatori della rubrica (Vincenzo Cirillo e Laura Farroni) e riferiti alla *call* nonché consultare online la registrazione della presentazione svolta nella rassegna *1 Libro: 1 Disegno* (di cui Farroni è coordinatrice).
Passando alla scelta del tema della *call for papers* del numero 17, in accordo con il Comitato editoriale di indirizzo scientifico e di coordinamento, la *call* è stata lanciata da Stefano Chiarenza e Marta Salvatore. Il titolo prende spunto dalla formazione

https://doi.org/10.26375/disegno.17.2025.1

BY-NC-ND

scientifico-culturale e dagli interessi di ricerca dei curatori, diventando occasione per la comunità scientifico-disciplinare di interrogarsi sul ruolo dei fondamenti teorici e, per essi, della scienza della rappresentazione intesa come tramite consapevole sia nelle fasi creative di sviluppo del progetto, sia in quelle riferite a operazioni di trascrizione del reale per la conoscenza dei patrimoni culturali. Con il titolo *La struttura rivelata. Il disegno fra costruzione* e *forma* l'intenzione è stata quella di attivare un dialogo non avverso per non incorrere in inutili confronti opponendo, per esempio, teoria a pratica, analogico a digitale, reale a virtuale e, di recente, intelligenza "organica" a intelligenza "artificiale", ma creare opportunità di pensiero critico per attualizzare l'aspetto storico-fondativo del Disegno rispetto a contesti culturali, tecnologici, etici, che cambiano sempre più velocemente. In sintesi, occasioni per chiedersi: quanto vale oggi la conoscenza dei fondamenti teorici della disciplina nel processo di costruzione di un pensiero critico? È ancora possibile affermare che conoscenza geometrica e rappresentazione informatica debbano tendere a un unico obiettivo, il "controllo mentale" delle problematiche spaziali? La configurazione di una struttura oltre il visibile ne rappresenta l'essenza formale? E, come si legge nella *call*, «il disegno è il tramite attraverso cui l'invisibile prende forma»?
Su questi interrogativi i curatori propongono una «riflessione sul ruolo del disegno nella rappresentazione della struttura come forma visibile del pensiero tecnico-progettuale», articolandola in quattro focus, ognuno introdotto da un contributo a invito. Il primo, *Strutture in chiaro. Il disegno come rivelazione costruttiva*, esplora il disegno come tramite che rende visibile il rapporto fra forma, struttura e geometria, ed è aperto da Cosimo Monteleone, docente all'Università di Padova ma la cui istruzione giovanile nel campo dell'analisi geometrico-descrittiva dello spazio si è compiuta presso l'Università Iuav di Venezia con Agostino De Rosa. Il secondo, *Forme della resistenza. Estetica e immaginario strutturale*, è introdotto dall'artista americana Kristin Jones che con una suggestiva e simbolica lettura restituisce attraverso il disegno la sua idea di configurazione geometrica del Pantheon a Roma, premessa teorica al suo progetto di allestimento artistico all'interno di questo spazio e spunto per l'analisi delle strutture come esito di una cultura visiva. Il terzo, *Disegnare la struttura. Codici, metodi e strumenti*, trova nel saggio di apertura di Luigi Cocchiarella (docente al Politecnico di Milano) e nella sua rigorosa formazione scientifica, maturata all'ombra del Vesuvio presso la scuola napoletana di Anna Sgrosso, Rosa Penta, Mariella Dell'Aquila, Vladimiro Valerio, l'*incipit* per introdurre l'uso della geometria descrittiva, della modellazione digitale, della simulazione computazionale per una lettura dialogica fra strumenti tradizionali e innovativi nel campo del disegno. Il quarto focus, *Estetica della logica. Forma, struttura* e *progetto*, è introdotto dall'articolo di Francesco Romeo, docente in Scienza delle Costruzioni presso la Sapienza Università di Roma che, riferendosi ai solai nervati di Pier Luigi Nervi, apre al tema della dimensione progettuale della struttura come generatrice di forma.
Oltre al saggio dei curatori e ai quattro a invito, il n. 17/2025 raccoglie 17 articoli selezionati fra quelli proposti per un totale di 22 saggi (di cui buona parte a firma di autori esteri), che affrontano la *call* da più punti di vista. Una risposta consistente, dunque, per un tema solo apparentemente desueto e di nicchia, alla quale si aggiunge la lettura critica di Fabrizio Gay dell'*Immagine* scelta dai curatori, i disegni a schizzo di Luigi Walter Moretti per il progetto del Teatro Imperiale all'E42.
Altrettanto consistente è stata la redazione delle rubriche. Per *Letture/Riletture*, Federico Fallavollita ha riletto *La représentation des structures constructives* di Adrian Gheorghiu e Virgil Dragomir, edito a Bucarest nel 1968 e tradotto in francese nello stesso anno, un «vero trattato sul rapporto profondo tra forma, struttura e rappresentazione, capace di parlare ancora oggi a chiunque lavori sulla logica dello spazio» [p. 315]. Per la rubrica *Recensioni,* Cristina Càndito, Vincenzo Cirillo e Alessio Bortot illustrano rispettivamente le monografie scelte nell'intervallo temporale 2025-2016 e pertinenti alla *call* di Mara Capone, di Matteo Flavio Mancini e di Francesco Di Paola e Andrea Mercurio. Per la rubrica *Eventi*, Paolo Giandebiaggi relaziona sul 46° Convegno UID svoltosi a Roma, mentre Giovanni Albini, Marcello Balzani, Emanuela Lanzara, Valeria Menchetelli e Maria Zack in ordine a iniziative patrocinate dalla UID: *ICGG2024*, *PhD UID Summer School 2025*, *APEGA 2025*, *Alghero Week 2025*, *Nexus 2025*. Chiudono il numero *La biblioteca dell'UID*, nella sua rinnovata versione, e la rassegna *Targhe e premi UID 2025*.
Concludendo, la realizzazione del numero 17 di *diségno*, esito di un lavoro di squadra, ha emozionato sia per il tema scelto che per le riflessioni corali di avvio al processo di rinnovamento ma, al contempo, è stata vissuta con trepidazione per la lunga attesa di tempi tecnici non prevedibili dovuti all'iscrizione all'elenco speciale dell'Ordine dei Giornalisti della Campania del nuovo Direttore responsabile e alla registrazione della rivista al Tribunale di Napoli. Interpretando il pensiero di chi ha partecipato a questa edizione, il numero 17/2025 inaugura la stagione 2024-2027 con una speranza: che la rivista *diségno* confermi l'interesse scientifico-culturale sinora dimostratole e sia riferimento primario per interrogarci su cosa oggi rappresenti la disciplina del Disegno e su quanto importante sia indagare il suo passato per adattarci con consapevolezza a tempi che cambiano sempre più velocemente. E per dedicarci, come invitava Vito Cardone nel suo primo *Editoriale*, allo studio di «tutti i disegni» affinché la rivista sia sempre più un "luogo" dove sviluppare riflessioni innovative.

La struttura rivelata. Il disegno fra costruzione e forma

Stefano Chiarenza, Marta Salvatore

Configurare e rivelare: il disegno e l'ordine strutturale

La coerenza delle architetture costruite è frequentemente affidata a un disegno strutturale latente, il cui ruolo risulta essenziale pur in assenza di un'evidenza formale esplicita. La struttura è assorbita nell'insieme dell'organismo architettonico o semplicemente nascosta da superfici che mascherano la logica costruttiva. Tuttavia, è spesso proprio questa dimensione sottesa che definisce lo spazio e regola i rapporti formali. Tale caratteristica non va però intesa in senso dicotomico, né letta in termini di corrispondenza biunivoca. Si tratta piuttosto di un rapporto di reciproca influenza, mediato da precise scelte progettuali, poiché ogni atto di costruzione implica la creazione di un ordine, che ogni forma esprime attraverso una struttura sottostante.

Quella che Alberti definiva «armonia delle parti in relazione a un tutto al quale esse sono legate secondo un determinato numero, delimitazione e collocazione» [Alberti 1966, p. 816] esprime, di fatto, un principio di coerenza etica – o, se vogliamo, tettonica – ed estetica al tempo stesso, che da sempre costituisce la base dell'architettura e rimanda a un sistema di relazioni fondamentale, pervasivo anche di altri campi del sapere, dalla meccanica strutturale alla biologia evolutiva, fino alla teoria dei sistemi complessi.

L'ordine strutturale, percettivamente implicito o esplicito che sia, non esclude infatti l'esperienza estetica. Potremmo dire piuttosto che la determina. Quando Mies van der Rohe affermava che la funzione è un'arte [Mies van

Articolo a invito per inquadramento del tema del focus, non sottoposto a revisione anonima, pubblicato con responsabilità della direzione.

 BY-NC-ND

der Rohe 1953, p. 276], considerava l'essenza della bellezza architettonica come la perfetta armonia tra ordine strutturale e forma. Una forma, riconoscibile e dotata di significato, determinata dalla struttura che ne esalta la valenza espressiva. Del resto, come nota Curt Siegel «*the prominent vault ribs of the great Gothic cathedrals are not merely decorative trimming. They are themselves part of the structure and splendid examples of structural form*» [Siegel 1962, p. 10] [1] (fig. 1).
E l'esperienza estetica, ancorché non fondativa, non può essere pensata come indipendente dalla relazione che la rende possibile. «*Such is the case with the most perfect and appealing creations of Nature* […] *whose outer beauty is deeply influenced by the perfection of the skeleton, which itself is unattractive but does enhance the poetry of the whole by its own indirect means of expressiveness*» [Torroja 1967, p. 268] [2] (fig. 2).
Nell'architettura e nell'ingegneria strutturale, l'ordine assume dunque il carattere di un principio organizzativo interno alla costruzione; la struttura ne costituisce la legge di relazione tra gli elementi, formalizzabile attraverso regole geometriche [Strappa 1995]. La forma non si presenta quindi come esito arbitrario, ma come configurazione leggibile di tale sistema di relazioni. In alcuni casi essa coincide con la cosiddetta "forma strutturale", che tuttavia mantiene un'autonomia intrinseca ed è capace di orientare scelte progettuali di particolare efficacia. Questa autonomia emerge quando la forma rende riconoscibile l'ordine che la genera, mostrando la struttura come principio attivo e non come semplice risoluzione tecnica (fig. 3).
Un principio analogo si manifesta nei processi morfogenetici naturali, nei quali la forma biologica deriva dall'interazione di vincoli geometrici, dinamiche di crescita e condizioni ambientali. Già Thompson, pur in assenza di una formalizzazione dinamica, riconosceva nei fattori fisici e geometrici i principali generatori della forma [Thompson 1969] (fig. 4).
Oggi, le avanzate teorie dinamiche della morfogenesi – da quelle di reazione-diffusione elaborate da Alan Turing



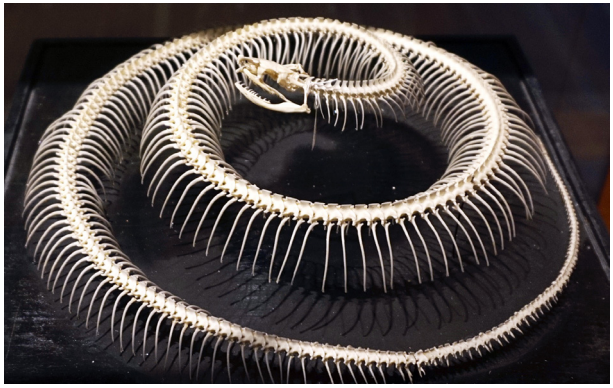
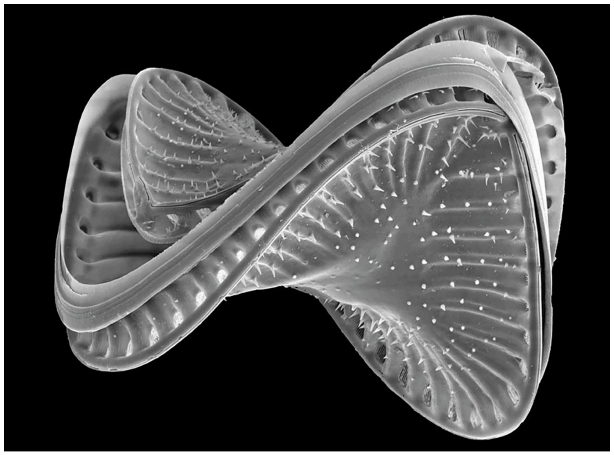


Fig. 1. Guillermo Sagrera, Castel Nuovo, Sala dei Baroni, Napoli. Volta nervata, XV secolo (fotografia di Miguel Hermoso Cuesta; fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Castel_Nuovo_Sala_dei_Baroni_07.JPG>).

Fig. 2. Scheletro di un serpente (fotografia di Tiia Monto; fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Snake_skeleton_3.jpg>).





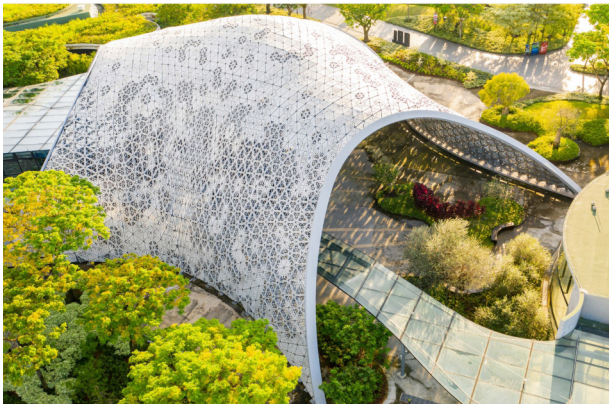


[Turing 1952] ai modelli di crescita frattale – rivelano come forme naturali complesse, dalle venature delle foglie alle spirali logaritmiche delle conchiglie, fino alla convoluta struttura corticale del cervello, siano generabili e comprensibili attraverso modelli matematici rigorosi. Tali modelli formalizzano dinamiche non lineari, nelle quali regimi di stabilità, instabilità e attrattori complessi emergono spontaneamente dalle interazioni elementari di campi morfogenetici [Petitot 2009]. E stabilire un parallelo tra i processi naturali e quelli artificiali in architettura non è solo coerente, ma essenziale, in quanto entrambe le classi di fenomeni obbediscono a logiche emergenti condivise; la forma emerge così come risultato di interazioni sistemiche tra energia, informazione e materia, governate da principi topologici e relazionali universali [De Paolis 2020].
L'architettura computazionale e la progettazione generativa sviluppano in modo concreto e innovativo queste idee, rivoluzionando il processo progettuale stesso. Secondo tale approccio, la forma architettonica va intesa come esito inevitabile di processi – quali la modellazione parametrica, l'ottimizzazione topologica e le simulazioni strutturali – che integrano rigorosamente vincoli costruttivi, proprietà dei materiali e condizioni di carico in regole algoritmiche definite e verificabili. Essa emerge come configurazione visibile e performante di un complesso intreccio di relazioni, pienamente analogo ai fenomeni naturali di crescita [Menges 2011] precedentemente delineati, dove l'ordine sottostante genera complessità emergente. La sinergia tra progettazione digitale avanzata, materiali intelligenti e logiche morfogenetiche computazionali dimostra in modo esemplare ed empiricamente validato come la forma derivi da un ordine profondo, che lega indissolubilmente spazio, struttura e materia in un sistema coerente e funzionale [Ramirez-Figueroa, Dade-Robertson, Hernán 2013] (fig. 5).
Anche dal punto di vista teorico-filosofico, la questione dell'ordine che precede e guida la forma trova una base

Fig. 3. Santiago Calatrava, OAKA Olympic Stadium, Atene, 2004 (fotografia di Georgios Liakopoulos; fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Calatrava_Agora_Athens_Olympic_Sports_Complex_%28250427331%29.jpeg>).

Fig. 4. In alto: Camplyodiscus clypeus (fonte: <https://www.sciencephoto.com/media/891862/view>); in basso: Félix Candela, cappella di Lomas, Cuernavaca, 1958-1960 (fonte: <https://www.flickr.com/photos/147316538@N02/36084417680>).

solida, come dimostrato dalle teorie della morfogenesi adattiva e dai processi generativi *data-driven* [Nebuloni, Buratti 2023]. Se la forma può essere concepita come prodotto inevitabile di una stabilità strutturale sottostante – un ordine relazionale profondo che ne genera l'essenza –, e se la bellezza si manifesta come espressione armonica di tale ordine, emerge imprescindibilmente la questione su come rendere leggibile questa dimensione invisibile nella materia costruita. Qui, il disegno gioca un ruolo fondamentale e insostituibile nei processi di strutturazione e rivelazione della forma.
Da un lato, funge da strumento di conformazione primaria. Con esso è possibile regolare lo spazio, definire la genesi delle superfici mediante operazioni geometriche e gestire i processi generativi che determinano l'articolazione geometrica e materica del progetto. In questo contesto, il disegno rappresenta il luogo in cui le scelte formali prendono concreta vita, orientando il progetto fin dalle sue fasi concettuali iniziali, in armonia con l'ordine strutturale delineato.
Dall'altro lato, agisce come strumento rivelatore. Non si tratta di una trascrizione diretta della struttura, ma di un'operazione di astrazione e selezione che crea una distanza tra rappresentazione ed edificio (fig. 6). Ciò che nella costruzione è incorporato nella materia – relazioni statiche, gerarchie geometriche, distribuzione delle sollecitazioni – viene, nel disegno, isolato e riorganizzato secondo un proprio ordine [Pérez-Gómez 1982]. In questo intervallo, la struttura diventa comprensibile, assumendo una forma che non corrisponde né all'idea iniziale né all'opera costruita. Come notato da Robin Evans, il passaggio dal disegno all'edificio comporta sempre una trasformazione in cui qualcosa va perduto e qualcosa viene riorganizzato, creando un sistema di relazioni con una propria coerenza [Evans 1997]. In tale ridefinizione, la geometria funge da strumento di configurazione, rendendo esplicite le relazioni che compongono la forma.



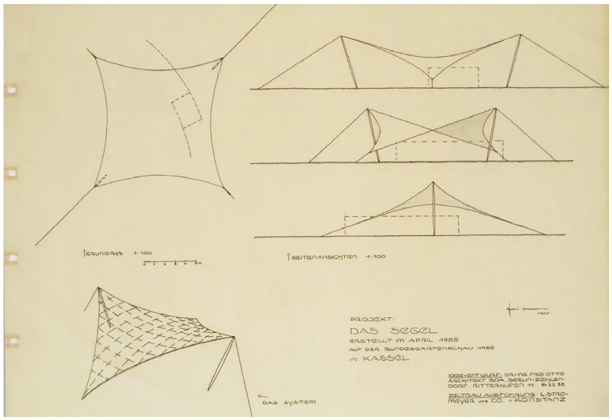




Fig. 5. SUTD Advanced Architecture Laboratory, The Future of Us Pavilion, Singapore (fonte: <https://loopdesignawards.com/project/the-future-of-us-pavilion/>).

Fig. 6. Frei Otto, esempi di tensostrutture. In alto: schemi grafici del Musikpavillon, Kassel (<http://www.freiottofilm.com>); in basso: dettaglio di elementi strutturali della copertura dello Stadio Olimpico di Monaco (fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/06/Munich_-_Frei_Otto_Tensed_structures_-_5244.jpg>).

Il disegno si afferma dunque come il luogo essenziale in cui l'ordine strutturale della forma diviene leggibile mediante operazioni geometriche rigorose che isolano e astraggono le relazioni tra modello grafico e spazio costruito [Rykwert 1998]. Rapporti di curvatura, allineamenti e condizioni di planarità o sviluppabilità – incorporati nella continuità superficiale della costruzione – emergono esplicitati come relazioni verificabili.
La rappresentazione assume allora un valore conoscitivo specifico: rende misurabili e confrontabili le condizioni che determinano la costruzione della forma, la quale può intendersi come un insieme di elementi e vincoli correlati. La struttura appare come un sistema di relazioni geometriche e statiche in cui la continuità formale è il risultato di un equilibrio tra discretizzazione, approssimazione e coerenza costruttiva (fig. 7).
Questa leggibilità dell'ordine strutturale, emersa nel disegno come configurazione geometrica verificabile e autonoma, non solo chiarisce le potenzialità realizzative della forma, ma solleva interrogativi cruciali sul valore cognitivo e operativo della rappresentazione stessa, preparando il terreno per un'analisi del suo ruolo mediativo nella genesi dell'architettura.
In questo quadro, il disegno non è un semplice mezzo di traduzione fra idea e costruzione, ma lo strumento attraverso il quale la relazione fra ordine strutturale e forma si invera. Tale funzione non è un'acquisizione recente, né esclusivamente legata alle pratiche computazionali contemporanee, ma affonda le proprie radici in una tradizione teorica e pratica precisa, nella quale la geometria ha storicamente costituito il linguaggio attraverso cui la forma veniva costruita e validata. È all'interno di questa tradizione che il disegno assume un ruolo centrale nei processi di conoscenza e di progetto, preparando il passaggio a una riflessione sul contributo della geometria sintetica alla costruzione della forma architettonica.

Forma visibile del pensiero progettuale

Linguaggio universale che comunica lo spazio attraverso descrizioni visuali, il disegno rivela il suo valore euristico nel rapporto fra costruzione e forma, che ne esprime la dimensione costruttiva attraverso la ricerca e il controllo delle proprietà geometriche delle figure.
La capacità conoscitiva del disegno trova nella geometria sintetica il suo riferimento teorico. La geometria ha il compito di tradurre le proprietà morfologiche delle figure in strumenti concettuali e operativi per il progetto, e sin dall'antichità vi si è fatto ricorso. Le proprietà di alcune classi di superfici ne hanno infatti favorito l'utilizzo nelle costruzioni, dapprima in modo intuitivo, successivamente in maniera consapevole e controllata. La storia documenta un ampio repertorio di opere realizzate che riconoscono nella geometria la propria matrice formale e che consentono di identificare specifici campi di applicazione di questa scienza al progetto, che contribuirono alla formulazione della geometria descrittiva anticipandone parte dei contenuti. Fra questi, l'arte del taglio delle pietre è esemplare, poiché sintesi di controllo morfologico, rappresentazione rigorosa e consapevolezza costruttiva (fig. 8).
La geometria sintetica, che affonda le sue radici nell'antichità, assume una connotazione moderna tra la fine del XVIII e gli inizi del XIX secolo. Negli anni in cui Gaspard Monge scrive le sue *Leçons* di Geometria descrittiva, emerge l'esigenza di definire un metodo di studio della geometria in grado di confrontarsi con i metodi matematici, fondato su argomentazioni logiche e supportato dalla scienza delle proiezioni [3]. La *géométrie descriptive* di Monge riconosceva infatti nel disegno lo strumento con il quale il metodo sintetico poteva misurarsi con le coeve e rigorose descrizioni analitiche, distinguendosi per chiarezza di ragionamento, semplicità delle dimostrazioni ed efficacia applicativa dei teoremi, e la sua produzione scientifica ne esplicita l'impostazione [4]. Nel *Cours de Géométrie descriptive*, Théodore Olivier racconta come Monge avesse cercato di dimostrare i contenuti della sua *Analyse appliquée à la géométrie* con gli strumenti della Geometria descrittiva, riportandone una significativa riflessione: «*Si je refaisais mon ouvrage qui a pour titre* de l'analyse appliquée à la géométrie […] *je l'écrirais en deux colonnes: dans la première, je donnerais les démonstrations par l'*analyse*; dans la seconde je donnerais les démonstrations par la* géométrie descriptive*, en d'autre termes, par la méthode des projections; et l'on serait peut-être, ajoutait-il, bien étonné, en lisant cette ouvrage, de voir que l'avantage serait presque toujours du côté de la seconde colonne, pour la clarté du raisonnement, la simplicité de la démonstration, et la facilité de l'application des* théorèmes *trouvés aux diverses* travaux *des* ingénieurs» [Olivier 1843, p. VI] [5].
Monge riconosce dunque al metodo delle proiezioni e perciò al disegno la capacità conoscitiva che gli è propria, facendone lo strumento privilegiato della Geometria

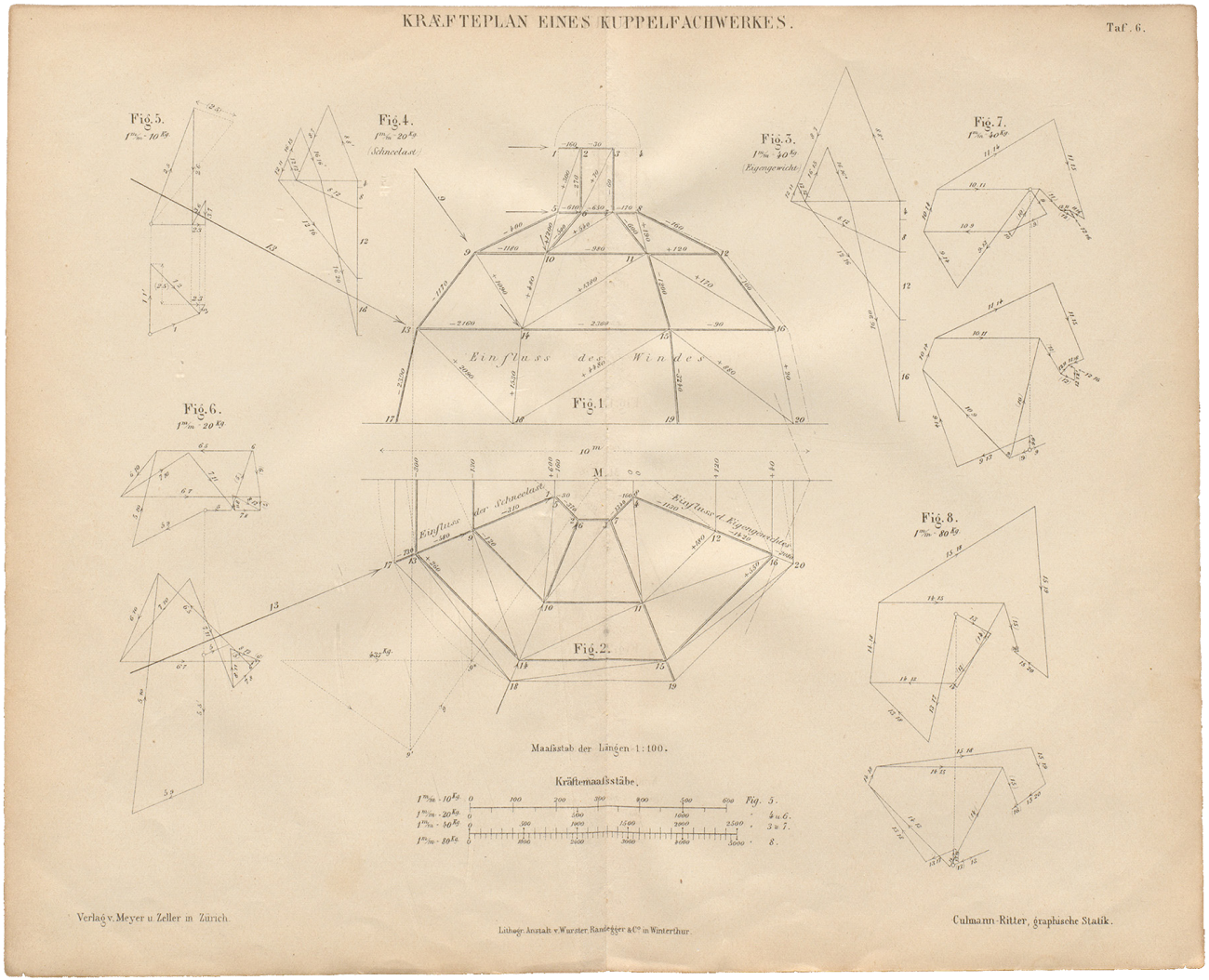
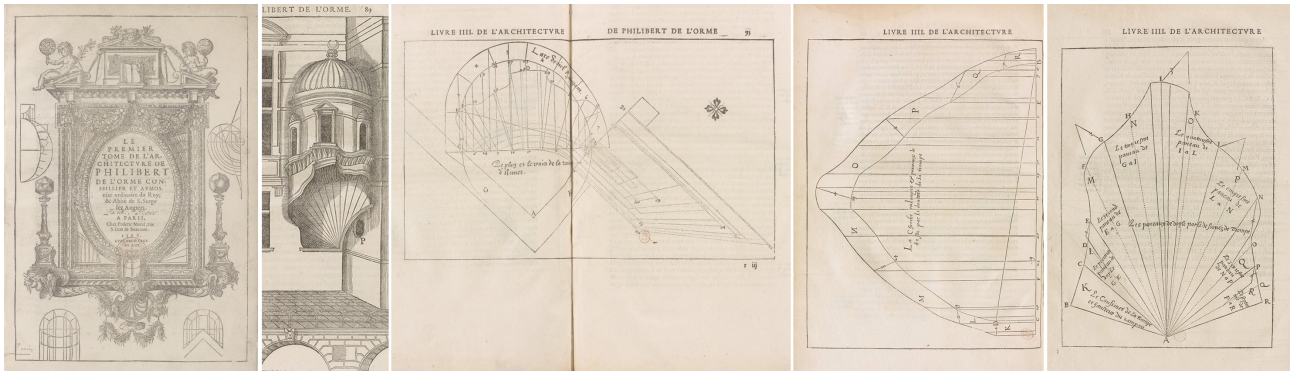


Fig. 7. Studio della statica grafica di una struttura a cupola: Ritter 1890, tav. 6, pp. 242, 243.



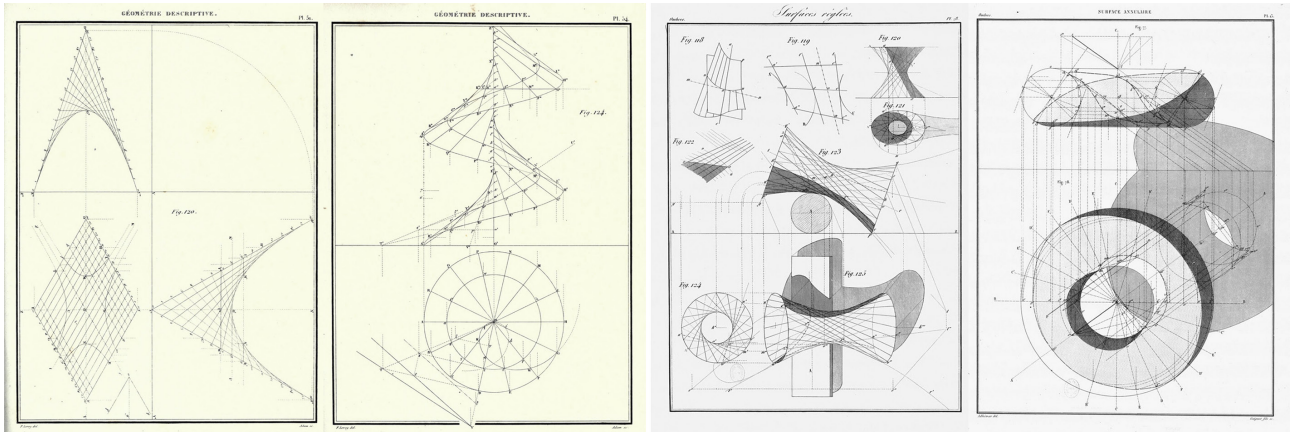


Fig. 8 Philibert Delorme, frontespizio di Le premier tome de l'architecture e Traits géométriques della trompe del castello di Anet (Delorme 1568, frontespizio e ff. 89r, 92v, 93r, 94v, 95v).

Fig. 9. Da sinistra a destra: Charles François Antoine Leroy, costruzione di un paraboloide iperbolico e di un elicoide rigato obliquo (Leroy 1842, planches 51 e 54); Joseph-Alphonse Adhémar, costruzione delle ombre di superfici notevoli (Adhémar 1866, planches 28 e 13).

descrittiva. A differenza della geometria antica, che aveva supportato in diversi modi i processi costruttivi in specifici ambiti di applicazione, la "neonata" Geometria descrittiva si promuoveva, alla fine del Settecento, in una inedita forma astratta (fig. 9). Nell'introduzione al suo *Traité de géométrie descriptive* del 1822, riferendosi alle *Leçons* date da Monge all'École Normale di Parigi nel 1795, Jean-Nicolas-Pierre Hachette osserva: «*Le recueil de ces leçons est le premier traité de géométrie descriptive dans lequel on a considéré cette science d'une manière abstraite, et indépendamment de ses applications.* […] *On y reconnaît cette faculté d'imagination qui lui faisait découvrir les propriétés de l'étendue figurée*» [Hachette 1822, p. X] [6].
L'idea di una scienza speculativa viene alimentata da Jean Victor Poncelet nel suo *Traité des propriétés projective des figures* del 1822, al quale si deve, secondo Gino Loria, il risorgimento della geometria pura [Loria 1896, p. 24]. Se la geometria mongiana ricercava il rigore e l'astrazione di

una scienza esatta dedicata allo studio delle proprietà geometriche delle linee e delle superfici, con la Geometria proiettiva di Poncelet la geometria sintetica si emancipava dalla dipendenza dalle configurazioni, aumentando la propria capacità di generalizzazione attraverso l'esplorazione delle trasformazioni proiettive delle figure [Poncelet 1865, IX-XXXII].
Sebbene l'astrazione teorica avesse conferito dignità di scienza alla Geometria descrittiva, questa continuava a essere strettamente legata alle sue applicazioni. I principi teorici dei quali si è detto avevano ricadute dirette nelle opere architettoniche e ingegneristiche, trovando spazio, nei manuali di Geometria descrittiva, in capitoli sperimentali dedicati. Utili alla verifica e alla validazione delle formulazioni speculative e *corpus* autonomo della Geometria descrittiva, le applicazioni costituivano, in quegli anni, un volano per lo sviluppo di teorie innovative. La formazione praticata nell'École Polytechnique e nelle scuole politecniche che seguirono, rispondeva infatti alle esigenze di una società che era stata investita da un radicale cambiamento sociale e produttivo, che richiedeva all'astrazione teorica di prendere forma a servizio del progetto in diversi campi delle arti e delle scienze applicate [7] (figg. 10, 11). In questo contesto si inquadrano i contributi degli allievi della scuola di Monge come Jean-Nicolas-Pierre Hachette e Charles Dupin, per citarne soltanto alcuni, autori di autorevoli trattati di Geometria descrittiva teorica, ma anche di opere dedicate alla geometria applicata alle arti ingegneristiche e alle belle arti, come il *Traité élémentaire des machines* [Hachette 1811] o la *Géométrie et méchanique des arts et métiers et des beaux-arts* [Dupin 1825] [8].
Il metodo sintetico è dunque lo strumento con cui la Geometria descrittiva della scuola di Monge si confronta con l'estensione figurata. Il suo fondamento scientifico si ritrova nel secondo obiettivo di questa scienza enunciato dallo stesso Monge nel programma introduttivo delle sue *Leçons*, nel quale si fa riferimento a un passaggio "dal noto all'ignoto", che racchiude e svela l'essenza stessa del valore euristico del disegno. Questo passaggio allude a un processo di conoscenza nel quale il disegno non si limita a descrivere la forma, ma diviene strumento di esplorazione e di scoperta, con cui derivare proprietà inedite delle figure [Monge 1798, p. 2].
La dimensione conoscitiva del disegno si deve all'efficacia della "costruzione". Nei *Metodi matematici* pubblicati nel 1935, Loria descrive la costruzione come un metodo di dimostrazione esistenziale delle figure: «è noto che Euclide nei suoi *Elementi* non ragiona mai su una figura di cui non abbia prima insegnata la costruzione; questa funge, quindi, come dimostrazione dell'esistenza delle figure di cui erasi prima data la definizione» [Loria 1935, p. 77].
Mentale o grafica, la costruzione dimostra la sussistenza stessa della forma trasformando il disegno in un atto geometrico, logico e generativo. Sono proprio i processi di genesi caratteristici dell'azione del costruire ed eseguiti attraverso il disegno a rendere possibile la manipolazione rigorosa della forma nello spazio attraverso linguaggi visuali, conferendo alla geometria descrittiva un ruolo centrale nel controllo morfogenetico del progetto. Se la costruzione è espressione di un processo mentale che guida le operazioni geometriche nello spazio, questa è allo stesso tempo espressione di un processo fisico, che porta alla realizzazione materiale della forma, e in questo senso si pone come un ponte fra idea, progetto e realtà costruita [Migliari 2012].
L'idea di una geometria generatrice di forma che aveva alimentato le ricerche ottocentesche in ambito geometrico-descrittivo, si allontana progressivamente, nel corso del Novecento, dai processi generativi del progetto, riducendosi lentamente a una disciplina didattica di supporto alla sua rappresentazione grafica. Nonostante i contributi innovativi dati nelle prime decadi del secolo da matematici come Otto Wilhelm Fiedler o Edmond Brhunes [Migliari 2009], per citarne soltanto alcuni, il valore conoscitivo del disegno era destinato a essere oscurato da un approccio prevalentemente astratto che avrebbe segnato l'inizio di un lento declino della Geometria descrittiva come ponte tra idea e costruzione materiale [9].
Difficile stabilire le ragioni di questa trasformazione, probabile effetto congiunto di cambiamenti tecnologici, culturali e disciplinari che hanno allontanato il progetto dai processi geometrici di costruzione. Alla fine degli anni Novanta del secolo scorso nelle conclusioni del suo *Épures d'architecture*, Joël Sakarovitch cita a questo riguardo le parole di Carlo Bourlet, ultimo titolare, nel 1907, della cattedra di Geometria descrittiva del Conservatoire national des arts et métiers di Parigi: «[*La géométrie descriptive*] *passa ainsi des mains des praticiens dans celles des théoriciens. Bientôt ceux-ci oubliant sa raison d'être, lui donnèrent une tournure de plus en plus dogmatique* […] *Les théoriciens nous défendent de lire dans l'éspace* […] *et, pour justifier leurs prétensions, font exécuter, parfois à leurs élèves, des épures bizarres dont les données sont choisies à*

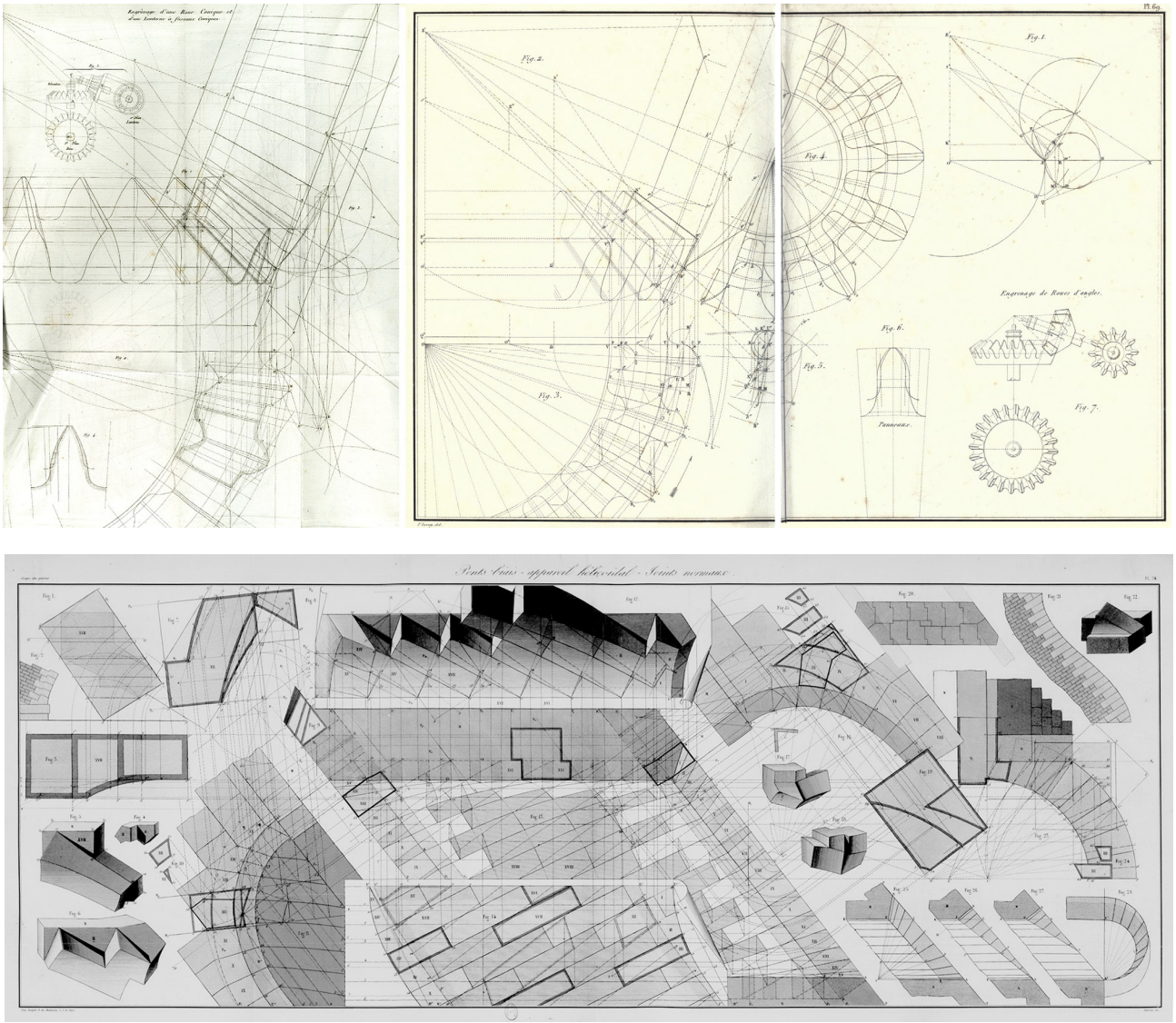


Fig. 10. Costruzione di ingranaggi conici. A sinistra: Hachette 1811, planche V 2me chap.; a destra: Leroy 1842, planche 69.

Fig. 11. Joseph-Alphonse Adhémar, apparecchio stereotomico per la costruzione dei ponti sbiechi (Adhémar 1856, planches 74 e 80).

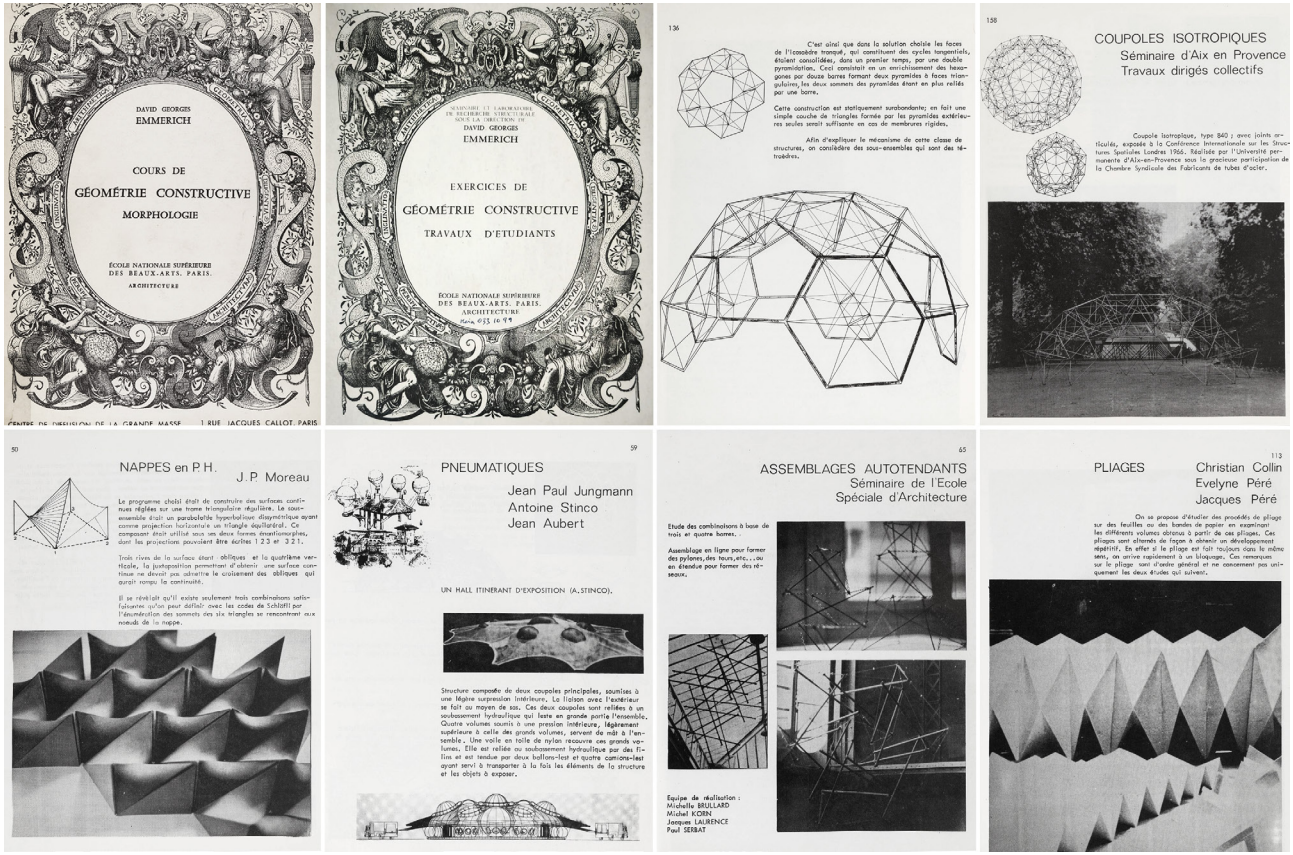


Fig. 12. David Georges Emmerich, copertina del Cours de géométrie constructive, Morphologie (Emmerich 1969); frontespizio di Exercices de géométrie constructive, Travaux d'étudiants, risultati dei corsi tenuti all'École Nationale Supérieure des Beaux-Arts di Parigi e seminario condotto presso l'Université Permanente d'Aix en Provence (Emmerich 1970, pp. 50, 59, 65, 113, 136, 158).

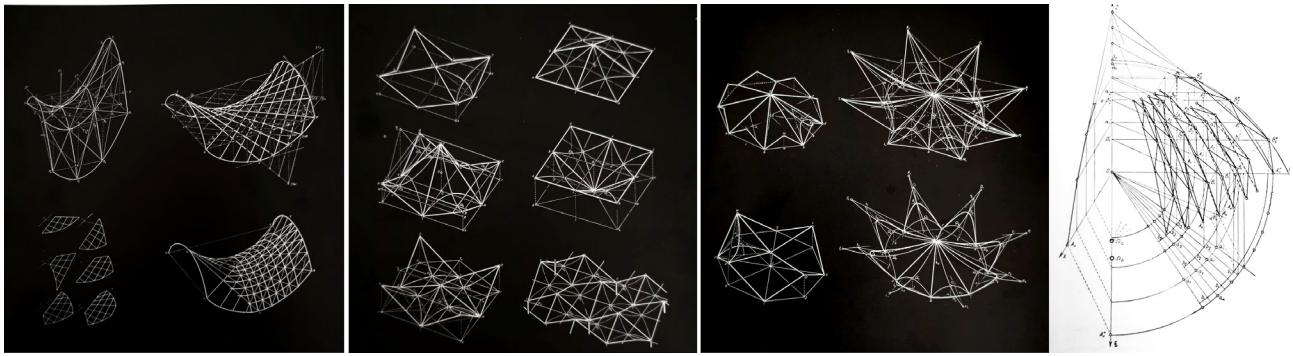


Fig. 13. Adrian Gheorghiu e Virgil Dragomir, rappresentazioni di strutture spaziali, paraboloide iperbolico, sue aggregazioni e superfici piegate (Gheorghiu, Dragomir 1971, pp. 42, 52, 55, 108).

dessein de façon à rendre la vision impossible» [Sakarovitch 1998, p. 344] [10].
Secondo Bourlet la Geometria descrittiva avrebbe dovuto tornare a essere intesa come l'insieme delle applicazioni del disegno finalizzate alla soluzione dei problemi di esecuzione che si presentano nell'industria o di rappresentazione esatta che si incontrano nell'arte [Sakarovitch 1998, pp. 345, 346].
Negli anni del primo, ma soprattutto del secondo dopoguerra, le esigenze della ricostruzione e la diffusione di nuovi materiali da costruzione restituiscono un forte impulso alla geometria applicata al progetto. Ingegneri come Pier Luigi Nervi, Eduardo Torroja o Félix Candela utilizzano la geometria come strumento espressivo della forma architettonica, integrando calcolo strutturale, geometria e costruzione.
A partire dalla metà degli anni Cinquanta, David Georges Emmerich, architetto, ingegnere e professore di "morfologia" all'École des beaux arts di Parigi, promuove in Francia l'idea di una *géométrie constructive*. Emmerich avverte una separazione netta fra architettura e sapere geometrico. Sostiene che «*L'architecture se mettait ainsi en dehors d'elle-même, en dehors de sa propre science*» [Emmerich 1969, p. 6] [11] e propone, in contrasto, l'insegnamento di una "scienza delle forme" finalizzata all'immaginazione, al dimensionamento e alla configurazione delle strutture spaziali, capace di classificare geometria, strutture e processi attraverso la costruzione di modelli fisici [Chassagnoux 2006] (fig. 12). In linea con la visione di Emmerich, ma con un'attenzione spiccata al ruolo del disegno all'interno dei processi di genesi della forma, si collocano gli studi di un ingegnere e di un architetto rumeni, Virgil Dragomir e Adrian Gheorghiu, che si dedicano, nello stesso periodo, allo studio delle geometrie strutturali e alla loro rappresentazione grafica, convinti che la genesi delle strutture spaziali sia il risultato dell'azione sinergica di architetti e ingegneri, per i quali il punto d'incontro è la geometria [12] [Gheorghiu, Dragomir 1978, p. 5] (fig. 13).
Queste ricerche apparentemente minori sulla morfologia strutturale si pongono in continuità con lo sperimentalismo geometrico che pochi anni prima aveva caratterizzato le opere visionarie di Richard Buckminster Fuller, e appaiono in linea con le sperimentazioni pionieristiche sul *form-finding* condotte negli stessi anni da ingegneri come Heinz Isler, Frei Otto e Sergio Musmeci.
Modelli fisici generativi e rappresentazioni grafiche contribuirono dunque alle ricerche interdisciplinari sulla forma architettonica, gli uni come strumenti di sperimentazione morfologica, gli altri come modalità di rappresentazione visuale delle proprietà geometriche delle strutture spaziali.
La capacità dimostrativa del disegno invece, che aveva accompagnato la formulazione scientifica della Geometria descrittiva e che sembra essersi attenuata negli anni a seguire, ha trovato nuova linfa, nei primi anni del duemila, grazie alla diffusione della rappresentazione digitale (fig. 14). L'esplorazione virtuale dello spazio a tre dimensioni e la possibilità di adoperare classi di curve sghembe e

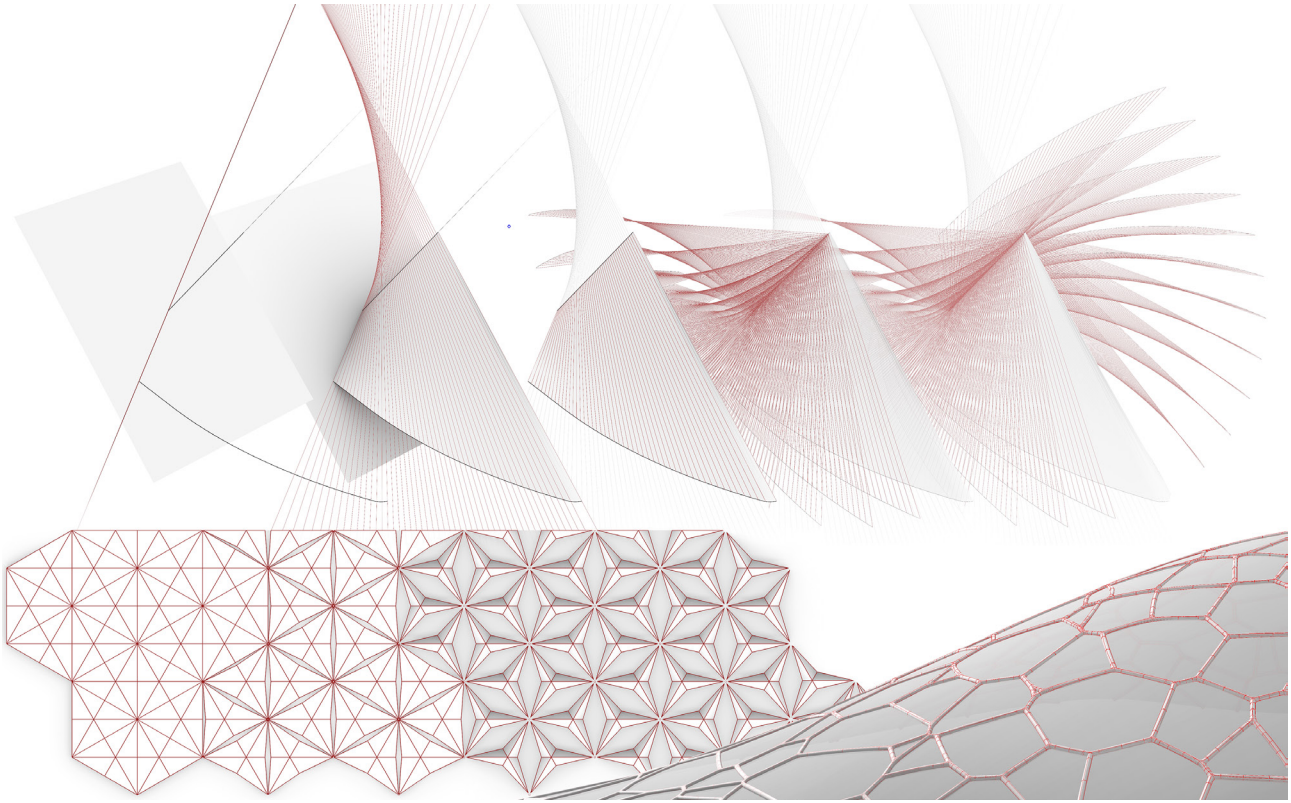


Fig. 14. In alto: genesi geometrica di una rigata a piano direttore secondo il modello del Milwaukee Art Museum di Santiago Calatrava, 2001; in basso: superfici piegate cinematiche affini al modello delle Al Bahr Towers di Abu Dhabi di Aedas, 2012 e tassellazione di una superficie continua tramite il diagramma di Voronoi (elaborazione grafica degli autori).

superfici a doppia curvatura per derivare le proprietà geometriche delle figure ha restituito rinnovato vigore alla costruzione e, con essa, al valore euristico del disegno, con ricadute significative nell'ambito della ricerca e della formazione [13].
In questi stessi anni, lo sviluppo degli strumenti della rappresentazione digitale e la possibilità di operare con un repertorio inedito ed esteso di forme nel progetto architettonico hanno favorito lo sviluppo dell'*Architectural Geometry*, ambito di ricerca sperimentale che pone la geometria al centro dei processi di genesi e di rappresentazione della forma nel progetto architettonico [Pottman et al. 2007]. Attraverso gli strumenti del design parametrico e della modellazione computazionale, l'*Architectural Geometry* esplora forme libere, geometrie complesse, strutture parametriche e problemi di tassellazione e discretizzazione, mettendo a sistema approcci geometrico descrittivi, differenziali e computazionali.
Oggi i linguaggi della geometria costruttiva vedono l'estetica del progetto risultare dall'azione sinergica di diverse discipline, che concorrono al raggiungimento di architetture efficienti in termini prestazionali, ottimizzate sotto il profilo costruttivo e innovative dal punto di vista morfologico. Questa sinergia virtuosa coinvolge anche la Geometria descrittiva.
Grammatica della rappresentazione capace di tradurre lo spazio in modelli e scienza che studia le proprietà geometriche delle figure, la Geometria descrittiva è, a ben vedere, la sola disciplina che permette, oggi come nel passato, la manipolazione visuale dinamica e rigorosa della forma, e che consente di esplorare i processi del pensiero progettuale attraverso il linguaggio universale del disegno.

Note

[1] «Le evidenti nervature delle grandi cattedrali gotiche non sono semplici elementi decorativi. Esse fanno parte integrante della struttura e rappresentano un'espressione splendida della forma strutturale» (traduzione degli autori).

[2] «È questo il caso delle creazioni più perfette e seducenti della Natura […] la cui bellezza esteriore è profondamente influenzata dalla perfezione dello scheletro, il quale, pur non essendo di per sé attraente, contribuisce tuttavia, attraverso i propri mezzi espressivi indiretti, ad accrescere la poeticità dell'insieme» (traduzione degli autori).

[3] Pierre Boutroux in *Les principes de l'analyse mathématique* racconta del proposito di alcuni geometri di elevare la geometria pura all'altezza del metodo algebrico proponendo una geometria sintetica capace della stessa efficacia e della stessa generalizzazione: Boutroux 1919, pp. 109-116.

[4] L'origine del nome "*géométrie descriptive*" è commentata da Théodore Olivier nell'introduzione alla seconda edizione del suo *Cours de géométrie descriptive*, dove spiega come la Geometria descrittiva serva a descrivere ciò che la mente vede e ciò che la mente ha visto, e dunque a rivelare ciò che si immagina come ciò che si conosce [Olivier 1843, p. VIII]. Secondo Gino Loria, Monge attribuiva alla Geometria descrittiva un valore teorico derivante dalla facilitazione che questa scienza dava alla concezione e allo studio delle figure geometriche, paragonandone i procedimenti a quelli dell'analisi e mostrandone l'identità essenziale [Loria 1896, pp. 22, 23].

[5] «Se rifacessi la mia opera intitolata *de l'analyse appliquée à la géométrie* […] la scriverei in due colonne: nella prima darei le dimostrazioni attraverso l'analisi, nella seconda darei le dimostrazioni attraverso la Geometria descrittiva, in altri termini, con il metodo delle proiezioni; e forse ci si stupirebbe leggendo quest'opera – aggiungeva – nel vedere che il vantaggio sarebbe quasi sempre dalla parte della seconda colonna, per la chiarezza del ragionamento, la semplicità della dimostrazione e la facilità di applicazione dei teoremi trovati ai diversi lavori degli ingegneri» (traduzione degli autori).

[6] «La raccolta di queste lezioni è il primo trattato di Geometria descrittiva in cui questa scienza è stata considerata in modo astratto e indipendentemente dalle sue applicazioni. […] Vi si riconosce quella capacità di immaginazione che gli faceva scoprire le proprietà dell'estensione figurata» (traduzione degli autori).

[7] Per approfondimenti sull'École Polytechnique si veda Cardone 1996.

[8] L'influenza della Geometria descrittiva nelle applicazioni agli inizi del XIX secolo interessa prevalentemente la teoria degli ingranaggi, che rispondeva alle esigenze di una industrializzazione nascente, e la stereotomia della pietra, che si poneva invece in continuità con una tradizione secolare; per approfondimenti si veda Sakarovitch 1998, pp. 299-319.

[9] In quegli anni, la Geometria descrittiva, consolidata e apparentemente compiuta, veniva ancora insegnata nelle facoltà di Matematica, Architettura e Ingegneria, da matematici come Gino Fano, Francesco Severi, Enrico Bompiani, Luigi Campedelli e, nella seconda metà del Novecento Orseolo Fasolo e Ugo Saccardi, sui quali ricadeva l'onere di tenere viva una scienza secolare apparentemente esausta: Migliari 2009, p. 19.

[10] «[La Geometria descrittiva] passò così dalle mani dei pratici a quelle dei teorici. Ben presto questi ultimi, dimenticandone la ragion d'essere, le diedero un'impostazione sempre più dogmatica […] I teorici ci proibiscono di leggere nello spazio […] e, per giustificare le loro pretese, fanno talvolta eseguire ai loro allievi costruzioni grafiche bizzarre, i cui dati sono scelti apposta in modo da rendere impossibile la visione» (traduzione degli autori). Nel commento alla citazione Sakarovitch mette in evidenza come l'abolizione della cattedra di Geometria descrittiva del Conservatoire national des arts et métiers coincida approssimativamente con

la fine dell'insegnamento della Geometria descrittiva all'École Polytechnique, e con la fine dell'"età dell'oro" di questa disciplina in Francia: Sakarovitch 1998, p. 346.

[11] «L'architettura si è posta al di fuori di se stessa, al di fuori della propria scienza» (traduzione degli autori).

[12] Adrian Gheorghiu e Virgil Dragomir pubblicano nel 1968 il volume dal titolo *La représentation des structures constructive*s, un'opera che descrive le geometrie strutturali attraverso il disegno. Il volume è recensito da Federico Fallavollita nella rubrica *Letture/Riletture* di questo numero della rivista *diségno*.

[13] Nel 2008 docenti di Geometria descrittiva di numerose università italiane, coordinati da Riccardo Migliari, hanno promosso un *Manifesto per il rinnovamento della geometria descrittiva* fondato sulla riscoperta del valore conoscitivo del disegno attraverso i metodi digitali della rappresentazione: Migliari et al. 2008.

Autori

Stefano Chiarenza, Dipartimento di Promozione delle Scienze Umane e della Qualità della Vita, Università San Raffaele Roma, stefano.chiarenza@uniroma5.it
Marta Salvatore, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, marta.salvatore@uniroma1.it

Riferimenti bibliografici

Adhémar, J. (1856). *Cours de mathématiques à l'usage de l'ingénieur civil, application de géométrie descriptive, coupe des pierres* (cinquième édition). Paris: Victor Dalmont, Mallet-Bachelier, Mathias, L. Hachette.

Adhémar, J. (1866). *Cours de mathématiques à l'usage de l'ingénieur civil, application de géométrie descriptive, ombres* (troisième édition). Paris: Eugène Lacroix, H. Asselin, L. Hachette et Ce.

Alberti, L.B. (1966). *L'architettura (De re aedificatoria)*, 2 voll., a cura di P. Portoghesi. Milano: Il Polifilo [Manoscritto, *De re aedificatoria*, 1452].

Boutroux, P. (1919). *Les principes de l'analyse mathématique. Exposé historique et critique* (tome second). Paris: Librairie scientifique A. Hermann & Fils.

Cardone, V. (1996). *Gaspard Monge scienziato della rivoluzione*. Napoli: Cuen.

Chassagnoux, A. (2006). David Georges Emmerich Professor of morphology. In *International Journal of Space Structures*, Vol. 21, No. 1, pp. 59-71. DOI: 10.1260/026635106777641144.

Delorme, P. (1568). *Le premier tome de l'architecture*. Paris: Chez Federic Morel.

De Paolis, R. (2020). *Fondamenti del progetto e processi di morfogenesi*. Milano: FrancoAngeli.

Dupin, C. (1825). *Géométrie et méchanique des arts et métiers et des beaux-arts*. Paris: Bachelier libraire.

Emmerich, D.G. (1969). *Cours de Géométrie Constructive. Morphologie*. Paris: École National Supérieure de Beaux-Arts.

Emmerich, D.G. (1970). *Exercices de Géométrie Constructive. Travaux d'étudiants*. Paris: École National Supérieure de Beaux-Arts.

Evans, R. (1997). *Architecture and Its Three Geometries*. Cambridge - London: The MIT Press.

Gheorghiu, A., Dragomir, V. (1971). Representation géométrique des structures spatiales. In *Cahiers du centre d'études architecturales*, n. 12-13.

Gheorghiu, A., Dragomir, V. (1978). *Geometry of structural forms*. London: Applied science publishers LTD.

Hachette, J.N.P. (1811). *Traité élémentaire des machines*. Paris: J. Klostermann.

Hachette, J.N.P. (1822). *Traité de géométrie descriptive: comprenant les applications de cette géométrie aux ombres, à la perspective et à la stéréotomie*. Paris: Corby.

Leroy, C.F.A. (1842). *Traité de géométrie descriptive*. Paris: Bachelier.

Loria, G. (1896). *Il passato e il presente delle principali teorie geometriche*. Torino: Carlo Clausen.

Loria, G. (1935). *Metodi matematici*. Milano: Ulrico Hoepli.

Menges, A. (2011). Simple Systems – Complex Capacities. Integrative Processes of Computational Morphogenesis in Architecture. In *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 1(2), pp. 68-77. DOI: 10.13128/Techne-9928.

Mies van der Rohe, L. (1953). Anmerkungen zur Zeit. In *Baukunst und Werkform*, 6. Jg., Heft 6, pp. 275-277.

Migliari, R., De Carlo, L., Inzerillo, M., Corazzi, R. Cocchiarella, L. (2008). Un manifesto per il rinnovamento della geometria descrittiva. In B. Aterini, R. Corazzi (a cura di). *La geometria fra didattica e ricerca*, pp. 188-193. Firenze: Area.

Migliari, R. (2009). La geometria descrittiva nel quadro storico della sua evoluzione dalle origini alla rappresentazione digitale. In L. Carlevaris, L. De Carlo, R. Migliari (a cura di). *Attualità della geometria descrittiva*, pp. 15-42. Roma: Gangemi.

Migliari, R. (2012). Geometria-Costruzione-Architettura. In *DisegnareCon*, 5(9), pp. 1-4. <https://disegnarecon.unibo.it/issue/view/337> (consultato il 30 dicembre 2025).

Monge, G. (1798). *Géométrie descriptive*. Paris: Bauduoin.

Nebuloni, A., Buratti, G. (2023). Design by data. From interfaces to responsive architectures. In *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, No. 25, pp. 93-100. DOI: 10.36253/techne-13629.

Olivier, T. (1843). *Cours de géométrie descriptive*. Paris: Carilian-Goeury et Vor Dalmont.

Pérez-Gómez, A. (1982). Architecture as Drawing. In *Journal of Architectural Education*, vol. 36, n. 2, pp. 2-7.

Petitot, J. (2009). Modelli dinamici di morfogenesi e teorie della forma. In A. Cavazzini, A. Gualandi (a cura di). *Logiche del vivente. Evoluzione, sviluppo, cognizione nell'epistemologia francese contemporanea*, XIX, I, 2009, pp. 205-226. Macerata: Quodlibet.

Poncelet, G.V. (1865). *Traité des propriétés projectives des figures*. Paris: Gauthier-villars Imprimeur libraire (prima ed. Paris: Bachelier 1822).

Pottman, H., Asperl, A., Hofer, M., Kilian, A. (2007). *Architectural geometry*. Bentley: Bentley Institute Press.

Ramirez-Figueroa, C., Dade-Robertson, M., Hernán, L. (2013). Adaptive Morphologies: Toward a Morphogenesis of Material Construction. In P. Beesley, M. Stacey, O. Khan (Eds.). *ACADIA 2013: Adaptive Architecture*, pp. 51-60. Cambridge, Ontario: Riverside Architectural Press.

Ritter, W. (1890). *Anwendungen der Graphischen Statik*. Nach Professor Dr. C. Culmann. Zürich: Verlag Von Meter & Zeller.

Rykwert, J. (1998). Translation and/or representation. In *RES: Anthropology and Aesthetics*, vol. 34, pp. 64-70.

Sakarovitch, J. (1998). Épures d'architecture. De la coupe des pierres à la géométrie descriptive. Basel, Boston, Berlin: Birkhauser Verlag.

Siegel, C. (1962). *Structure and Form in Modern Architecture*. New York: Reinhold Publishing Corporation.

Strappa, G. (1995). *Unità dell'organismo architettonico: note sulla formazione e trasformazione dei caratteri degli edifici*. Bari: Edizioni Dedalo.

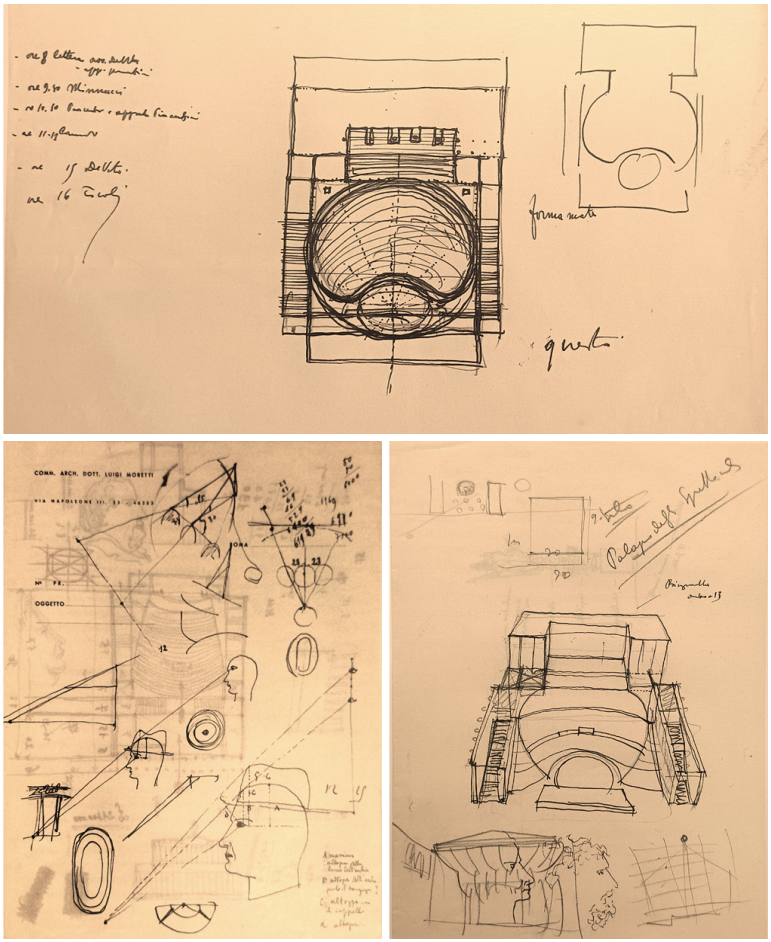
Torroja, E. (1967). *Philosophy of Structures*. English edition by J.J. Polivka and Milos Polivka. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

Thompson, D'Arcy W. (1969). *Crescita e forma. La geometria della natura*. Torino: Boringhieri (prima ed. *On Growth and Form*. Cambridge 1942).

Turing, A. M. (1952). The chemical basis of morphogenesis. In *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences*, vol. 237, n. 641, pp. 37-72.

Alcuni studi preparatori per il Teatro Imperiale all'E42

Luigi Walter Moretti



https://doi.org/10.26375/disegno.17.2025.3

BY-NC-ND

I parametri della figura: il disegno come diagramma di forze figurali

Fabrizio Gay

I disegni conservati presso l'Archivio Moretti-Magnifico mostrano un approccio al progetto di architettura basato sia sull'evocazione di architetture mitiche, sia sul calcolo di precisi parametri funzionali. I tre schizzi preparatori per il Teatro Imperiale all'E42, realizzati da Luigi Moretti nel 1937, qui pubblicati, sono solo abbozzi di una soluzione poi scartata: appunti privati, rapidi e frammentari, ma significativi del metodo di Moretti, che usa il disegno come diagramma di forze per registrare l'intreccio di tensioni strutturali, spaziali e percettive entro le quali si sviluppa il progetto.
In particolare gli scarabocchi sul foglio di carta intestata che riflettono sugli angoli visuali nella cavea teatrale sembrano anticipare i principi della "architettura parametrica" che Moretti svilupperà compiutamente nel 1960, in occasione della *XII Triennale di Milano*, dove le curve di "equiappetibilità visiva" definiranno le forme (quasi naturalistiche) di superfici di "cavee ideali" a seconda dei vari spettacoli sportivi, specificamente calcolate secondo parametri geometrici di visibilità ottimale per ogni spettatore.
I tre abbozzi del 1937 non delineano certo le nitidissime forme teleonomiche e compiutamente ottimizzate delle cavee del 1960. Si tratta di appunti a mano libera, in cui i tracciati di linee di forza tentano di definire una "figura architettonica", cercando di esplicitare qualche aspetto di una strutturazione parametrica che investe tanto gli aspetti funzionali quanto le evocazioni iconiche e simboliche. Sono schizzi che, pur abbozzando una soluzione progettuale poi scartata, rivelano pregnanze figurative (figure archeologiche e questioni moderne di struttura, visibilità e organizzazione spaziale) che dovrebbero misurare le ragioni geometriche e percettive della cavea.

Articolo a invito per inquadramento del tema del focus, non sottoposto a revisione anonima, pubblicato con responsabilità della direzione.

 BY-NC-ND

Con questi grafici Moretti tenta di tradurre in segni una "struttura ideale": un sistema di relazioni efficienti tra vincoli costruttivi e immagini evocate, bilanciando tradizione edilizia e innovazione tecnica, astrazione e figuralità, edilizia e plasticità scultorea dell'architettura.
Questo tipo di grafici appartiene al vasto genere della figurazione morfologica che segue soprattutto una tradizione rinascimentale fondata sul Disegno inteso come strumento per rivelare l'*Eidos* delle cose: le leggi interne che ne definiscono la forma, le forze morfogenetiche che le generano: cioè, i) le relazioni mereologiche (di natura plastica o astratta, tra le parti e il tutto) e ii) le analogie (di natura iconica o figurativa) tra forme diverse. Il Disegno, in questa accezione, non si limita a rappresentare, ma rivela i principi costitutivi degli artefatti, intesi come organismi estetici e strutturati.
Gli scarabocchi di Moretti, tuttavia, non sono tra gli esempi più compiuti di questo genere tecno-artistico della raffigurazione morfologica. Notoriamente gli emblemi celeberrimi di questo genere "morfologico" sono i disegni anatomici e costruttivi di Leonardo, Michelangelo, Borromini, Goethe, D'Arcy Thompson e Haeckel, divenuti *exempla* di sintesi visiva che descrivono i meccanismi generativi delle forme e delle strutture raffigurate: vere icone nella storia della rappresentazione scientifica e artistica con un impatto culturale assai duraturo.
Ciò che interessa, nel caso di Moretti, non è l'*appeal* dei suoi disegni; è semmai il confronto tra le qualità del suo disegno e quelle della sua architettura realizzata. Da questo punto di vista, il Moretti teorico esplicita la sua adesione alla tradizione della "morfologia" introdotta da Johann Wolfgang Goethe [Goethe 1817-1824] e sviluppata da D'Arcy Wentworth Thompson in *On Growth and Form* [1917]. Nel metodo di analisi e prefigurazione degli artefatti architettonici che Moretti esplicita, tra il 1950 e il 1953, nei sette numeri della della rivista *Spazio, Rassegna delle Arti e dell'Architettura*, nella mostra sull'architettura parametrica alla *XII Triennale di Milano* (1960) e nei saggi *Strutture di insiemi* [Moretti 1963] e *Le serie di strutture generalizzate di Borromini* [Moretti 1964], emergono due riferimenti bibliografici fondamentali: *Search for Form* di Eliel Saarinen [1948] e *Aspects of Form*, il famoso volume curato da Lancelot Law Whyte [1951] che raccoglie contributi interdisciplinari sulla scienza della forma, tra i quali quelli di Rudolf Arnheim sulla psicologia della percezione visiva e di Konrad Lorenz sull'etologia della percezione visiva. Nel secondo saggio che Law Whyte pubblica in quel volume introduce il concetto di «struttura come forma»: concetto che Moretti riprende letteralmente nel suo omonimo saggio pubblicato (originariamente in francese) nel 1954 [Moretti 1954].
In *Structure comme forme* Moretti elabora una distinzione fondamentale tra "struttura pratica" (intesa come la componente costruttiva e materiale dell'architettura) e "struttura ideale" (la visione concettuale e spaziale che ne costituisce l'espressione intellettuale e poetica).
Il modo in cui Moretti definisce la nozione di "struttura ideale" si riferisce a un aspetto specifico della coeva morfologia scientifica: lo studio delle "qualità espressive delle forme".
Le "qualità espressive delle forme" sono le proprietà degli oggetti o degli eventi che veicolano significati percettivi, emozionali o simbolici, perlomeno nel senso in cui sono intese in psicologia fenomenologica della percezione: dalla *Gestalt* dagli fino albori degli studi cognitivi della fisica ingenua.
Moretti assimila e rielabora concetti chiave delle ricerche psicologiche del suo tempo per definire un'architettura che agisce su tre livelli interconnessi:

- razionale (la struttura), dove adotta i principi gestaltici di organizzazione percettiva – in particolare la teoria della buona forma – reinterpretandoli in chiave dinamica e sequenziale, secondo la lezione di Auguste Choisy sulla percezione dello spazio architettonico come esperienza temporale;
- percettivo (luce e spazio), dove integra le prime teorie della psicologia cognitiva (in particolare l'idea di processo attivo nella costruzione della realtà percettiva) per articolare la sequenzialità spaziale degli ambienti costruiti, anticipando temi che saranno centrali nella fenomenologia dell'architettura;
- simbolico (archetipi), indagando gli stereotipi culturali (secondo la psicologia sociale coeva) per ricercare figure universali, in un tentativo di conciliare specificità storica e valenza atemporale della forma.

L'originalità di Moretti risiede anche nell'aver messo in relazione queste dimensioni psicologiche della forma con gli sviluppi postbellici della ricerca operativa in matematica, nata per risolvere problemi logistici e strategici e già applicata all'architettura per ottimizzare forme e strutture mediante metodi *rule-based*. Tra gli anni '50 e '70, la modellistica matematica fornisce strumenti generativi che anticipano il design computazionale odierno, in cui

algoritmi e parametri guidano la forma. In questo contesto, il diagramma diventa il linguaggio comune di una transizione epistemologica: dall'edificio come oggetto finito alla costruzione come sistema morfogenetico a molteplici dimensioni. Ha molta fortuna Christopher Alexander che, in *Notes on the Synthesis of Form* [1964], teorizza la progettazione attraverso gerarchie di diagrammi di requisiti funzionali, introducendo i "*Tree diagrams*" e i "*Force diagrams*" per mappare conflitti tra esigenze sociali e strutturali. Nello stesso periodo, Frei Otto, Buckminster Fuller e Sergio Musmeci sviluppano metodi morfogenetici radicali, in cui la forma emerge da leggi fisiche, geometrie sistemiche o equilibri tensionali, piuttosto che da arbitrio compositivo.
Otto, ad esempio, utilizza modelli fisici come bolle di sapone o reti tese per generare forme minimamente energetiche, tracciando poi diagrammi ("*Force flow diagrams*") per visualizzare percorsi di carico e punti di tensione sulle membrane e sui gusci. Questo metodo, basato sull'osservazione di equilibri tensionali naturali, affonda le radici in una tradizione sperimentale più antica. Già Robert Hooke (XVII secolo) aveva dimostrato che la forma di un arco perfetto in compressione corrisponde alla configurazione di una catena sospesa, principio poi formalizzato da Johann Bernoulli, Giovanni Poleni e, nel XIX secolo, sperimentato da Antoni Gaudí con modelli funicolari capovolti per definire le geometrie della Sagrada Família. Nel Novecento, Heinz Isler e Musmeci sperimentano rispettivamente con teli deformati e modelli elastici in gomma per ottimizzare gusci e ponti.
Negli anni Trenta e Quaranta, lo studio sperimentale delle configurazioni di forze mediante modelli fisici sollecitati era praticato in Italia. Nell'elaborare il Progetto A al concorso per il Palazzo del Littorio (1934) – al quale partecipa anche Moretti – Giuseppe Terragni, Pietro Lingeri e Luigi Vietti impiegano lastre trasparenti in celluloide per visualizzare le linee isostatiche e definire la disposizione ottimale di graffe metalliche nella grande parete del progetto. Analogamente, Pier Luigi Nervi utilizza metodi simili per ottimizzare le strutture in cemento armato in base all'effettiva distribuzione delle forze, mentre Eduardo Torroja in Spagna sperimenta con modelli in gesso per i suoi gusci sottili. Queste tecniche, basate sull'analisi diretta delle tensioni, condividono l'idea che la forma strutturale derivi dall'equilibrio delle forze, precorrendo i moderni approcci di *form-finding*.

Tuttavia, l'estetica di Moretti si distingue radicalmente dagli approcci ingegneristici di Fuller, Otto e Musmeci. Mentre questi ultimi perseguono una logica teleonomica, in cui la forma è determinata prevalentemente da obiettivi fisici, Moretti integra una dimensione profondamente figurativa – ereditata dall'architettura greca e barocca – in un sistema in cui struttura, percezione e simbolo si fondono. Nei suoi disegni non si ritrovano solo i prodromi dell'architettura parametrica, ma anche l'evocazione di archetipi come l'Altare di Pergamo (II sec. a.C.), in una struttura sommitale e acropolica dove scultura e architettura si fondono in un sistema narrativo e spaziale. Si tratta di una figuratività che rifiuta facili iconismi, come evidenzia l'annotazione «forma nuda» in uno degli schizzi, dove Moretti tende a una struttura svuotata di ornamenti, ridotta alla sua essenza "figurale".
Il termine "figurale" trae origine dalla fenomenologia di Edmund Husserl, per il quale indica il momento in cui una molteplicità si offre come unità percettiva prima di essere classificata. Nella teoria freudiana, esso designa la condensazione di significati diversi in una stessa forma. Jean-François Lyotard, in *Discours, figure* [1971], lo definisce come quel livello dell'immaginazione in cui l'oggetto non è ancora né figura né forma pura, ma un diagramma di pregnanze che possono propagarsi in salienze semanticamente lontane tra loro. Per Moretti, il figurale è la struttura di forze, tensioni e pregnanze che precede la categorizzazione in "astratto" o in "figurativo": è l'apparire di una forma come un campo di potenzialità espressive, prima ancora che come oggetto riconoscibile (iconico) o pura geometria (plastica). Analogamente, nella teoria freudiana dell'immagine onirica "figurale" indica il modo in cui si condensano significati e *affordance* diverse in una stessa forma percepita (ad esempio, una scala può "esprimere" ascesa, fatica, mistero…).
I disegni di Moretti talora esemplificano proprio una tecnica grafica di "condensazione" (in senso freudiano), presentano un'idea, più che rappresentarla; aprono un'indagine parametrica che cerca di rivelare le forze generative della forma. La sua originalità sta nell'aver unito tradizione morfologica, psicologia della percezione e ricerca matematica operativa al servizio di un'architettura che supera la dicotomia tra astratto e figurativo, proponendo una visione mitologica (figurale) della forma architettonica.
Questo solleva una vasta domanda: in che misura le tecnologie digitali contemporanee, pur capaci di un'ottimizzazione formale senza precedenti, riescono a cogliere la

complessità figurale che Moretti indagava attraverso il disegno grafico tradizionale con gesti che integravano tradizione morfologica, percezione e simbolo in un'unità significativa? Come, oggi, possiamo esplorare quella stessa complessità all'interno di un ecosistema di Disegno Artificiale, dove l'intelligenza generativa non solo parametrizza le forme, ma ridefinisce i parametri stessi del senso – tra memoria culturale, esperienza percettiva e invenzione – in una dinamica co-autoriale di interazione tra progetto umano ed elaborazione algoritmica?

Autore

Fabrizio Gay, Dipartimento di Culture del Progetto, Università Iuav di Venezia, fabrizio@iuav.it

Riferimenti bibliografici

Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge: Harvard University Press.

Goethe J.W. (1817-1824). *Zur Naturwissenschaft überhaupt, besonders zur Morphologie*. 2 Bände. Stuttgart-Tübingen: J.G. Cotta'scher Verlag.

Lyotard, J.-F. (1971). *Discours, figure*. Paris: Éditions Klincksieck.

Moretti, L.W. (1951). Struttura come forma. In *Spazio. Rassegna delle Arti e dell'Architettura*, n. 6, pp. 21-30.

Moretti, L.W. (1957). Forma come struttura. In *Spazio. Rassegna delle Arti e dell'Architettura*, n. monografico speciale.

Moretti, L.W. (1963). Strutture di insiemi. In *Spazio. Rassegna delle Arti e dell'Architettura*, n. monografico speciale (in seguito pubblicato come: (1964). Strutture d'insiemi. In Moretti, L., Tapié, M., Bayl, F. *Musée-Manifeste. Structures et Styles autres*. Torino: edizioni Fratelli Pozzo).

Saarinen, E. (1948). *Search for Form. A Fundamental Approach to Art. New York: Reinhold Publishing Corporation.* <https://dn721704.ca.archive.org/0/items/searchfun00saar/searchfun00saar.pdf> (consultato il 20 dicembre 2025).

Thompson, D'A.W. (1917). *On Growth and Form*. Cambridge University Press.

Whyte, L.L. (1951). *Aspects of form. A Symposium on Forms in Nature and Art*. New York: Pellegrini & Cudahy.

LA STRUTTURA RIVELATA.
IL DISEGNO FRA COSTRUZIONE E FORMA

Strutture in chiaro.
Il disegno come rivelazione costruttiva

Idea, forma e struttura: l'*Archeseum* di Frank Lloyd Wright

Cosimo Monteleone

Introduzione

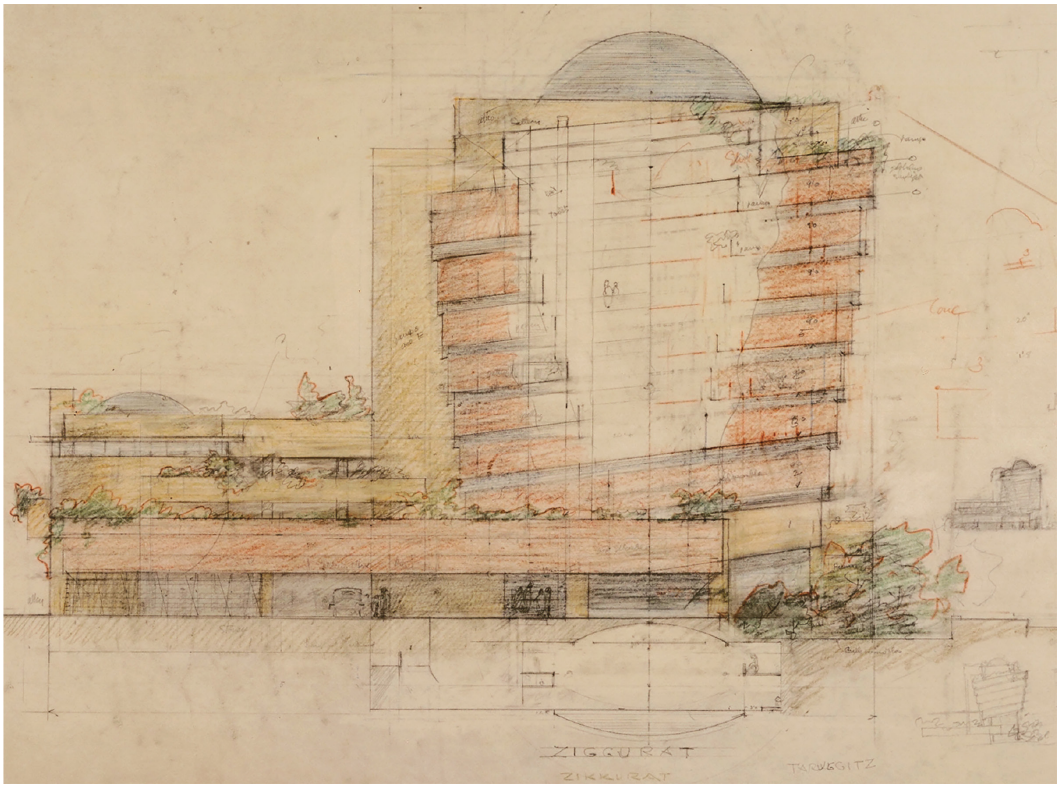
La progettazione del Guggenheim Museum ha avuto una storia lunga e travagliata: l'edificio fu fortemente osteggiato dai sostenitori dell'*International Style* a causa del suo carattere rivoluzionario e innovativo [1], ma Frank Lloyd Wright difese strenuamente le sue idee, presentandolo all'opinione pubblica come l'unico esempio di *Organic Architecture* [2] a New York [Dal Co 2004, p. 27].
La situazione progettuale di partenza era grossomodo la seguente: dovendo costruire non oltre Midtown, l'edificio sarebbe appartenuto alla rigorosa maglia ippodamea newyorkese e così, suo malgrado, Wright si trovò obbligato a ripiegare su un'idea di museo compatto e verticale; per questo motivo, prima ancora di decidere che l'area su cui costruire sarebbe stata nell'Upper East Side di fronte alla Fifth Avenue in un lotto compreso tra la 88th e la 89th Street, Wright aveva già sviluppato le caratteristiche principali del suo progetto [Ballon 2009, pp. 19-37]. La decisione di articolare il museo intorno a due nuclei, uno maggiore, l'*Archeseum*, il maestoso spazio espositivo, e uno minore, detto Monitor Building, quest'ultimo nato per ospitare gli uffici, arrivò dopo rapidissimi passaggi; infatti, alla fine del 1943, nel fitto carteggio indirizzato a Solomon Robert Guggenheim, il committente, e a Hilla von Rebay, prima curatrice del museo, apparve subito chiaro l'entusiasmo dell'architetto [Brooks Pfeiffer 1986, p. 25].

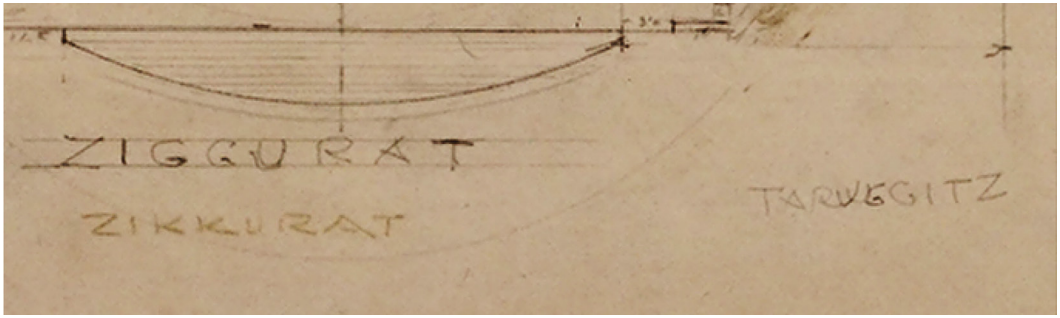
Articolo a invito per inquadramento del tema del focus, non sottoposto a revisione anonima, pubblicato con responsabilità della direzione.

 BY-NC-ND

Fig. 1. F.Ll. Wright, Guggenheim Museum: disegno, 1943, cod. 4305014 (concesso da Avery Library, Columbia University, New York).

Fig. 2. F.Ll. Wright, Guggenheim Museum: disegno, 1943, cod. 4305014, particolare (concesso da Avery Library, Columbia University, New York).

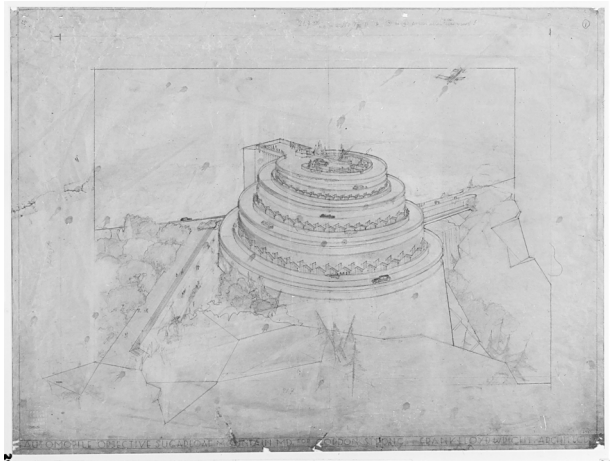


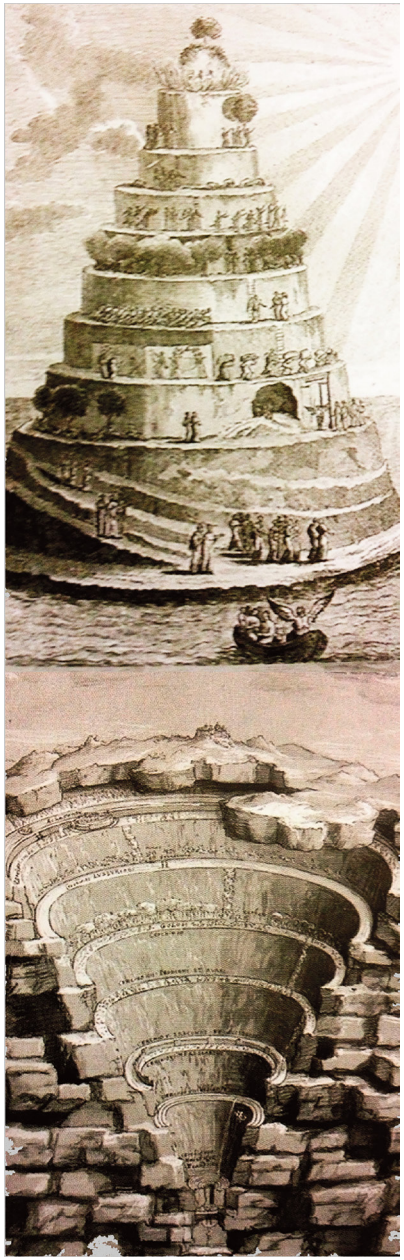


Idea e forma

Un disegno, eseguito proprio in quel periodo di intenso fervore, attesta la compiuta ideazione dell'architetto (fig. 1), sinteticamente espressa attraverso la rappresentazione del prospetto principale che si affaccia su Fifth Avenue. In corrispondenza della grande sala espositiva, centro nevralgico e nodo complesso dell'edificio, Wright impone all'osservatore una doppia visione. I tratti di colore, che caratterizzano interamente la resa grafica del prospetto, s'interrompono verso il centro, seguendo il contorno di una linea ondulata, per lasciare spazio a una sottile traccia di matita. In questo modo l'architetto raffigura contemporaneamente sia la sezione interna che il prospetto esterno. Una piccola nota nel disegno chiarisce come all'autore non sia sfuggita la relazione, semantica e formale, della sua idea per il Guggenheim Museum con un archetipo dell'architettura di memoria biblica, annotata nelle parole scritte in calce: «Ziggurat» e «Zikkurat» trasformate poi in «Taruggitz» (fig. 2). L'inversione delle lettere nel neologismo wrightiano testimonia chiaramente la volontà di capovolgere la forma archetipica della ziggurat [Carranza 2009, p. 94], solitamente composta da gradoni rientranti ma nel Guggenheim trasformata in un tronco di cono rovesciato. Lo spunto fornito da questo importante disegno apre alla possibilità di rintracciare, attraverso l'analisi della forma e della struttura, la genesi del cammino mentale compiuto dall'architetto nei meandri labirintici del suo pensiero. Se, in generale, ripercorrere a posteriori la lotta che si nasconde dietro il concepimento progettuale significa individuare ed evidenziare le cause che hanno infuso forma e significato a un edificio, a maggior ragione questo percorso a ritroso è auspicabile per il Guggenheim Museum, poiché l'idea originaria ha conservato il suo carattere immutato per più di un decennio, nonostante il parere negativo di numerosi e illustri colleghi di Wright, al quale, per certi versi, fece anche seguito l'ironia dell'opinione pubblica [Dal Co 2004, pp. 27, 28]. L'importanza di questo disegno, corredato da un semplice appunto scritto che ricorda i giochi di parole anagrammatici tipici dell'infanzia, non è sfuggita a Francesco Venezia che così si è espresso a riguardo: «Quel che può apparire uno scherzo, una pausa divertente nel lavoro di concezione del progetto, riflette un cambiamento importante […]. La primitiva forma dello ziggurat, forma delle origini, biblica e mesopotamica – la massa che scema nel progredire dell'altezza – si muta, con l'elementare immediatezza del capovolgimento speculare, in una forma assolutamente nuova: la massa cresce ora verso l'alto. È nato, inconfondibile, il Guggenheim!» [Venezia 2012, p. 36]. In realtà, l'idea di partenza non è stata così immediata. I prodromi di questa nascita affondano le radici in un lungo processo di elaborazione, che risale alla metà degli anni '20; in questo periodo il tema archetipico della ziggurat era già affiorato nella memoria dell'architetto americano con il progetto intitolato Gordon Strong Automobile Objective and Planetarium (fig. 3). Per meglio comprendere come questi aspetti siano legati anche al museo newyorkese, si tenga presente che solo lo sviluppo del calcestruzzo e la conseguente rivoluzione innescata nel campo delle costruzioni dal cemento armato offrirono a Wright la possibilità di riconfigurare le forme sedimentate nell'infanzia per capovolgere un archetipo e trasformare il Guggenheim Museum in "taruggitz". Negli Stati Uniti uno degli impieghi più largamente diffusi del calcestruzzo armato, composto da cemento e barre di ferro, riguardava la realizzazione di rampe elicoidali per la creazione dei primi parcheggi urbani. Queste superfici permettevano alle auto di essere guidate dal piano terra fino al tetto, e sappiamo che Wright guardò da subito con interesse a questo genere di soluzione, perché associava alla continuità del materiale quella esperienziale. Che il cemento armato e i suoi impieghi innovativi per la creazione di rampe costituissero elemento di spunto per

Fig. 3. F. LI. Wright, Gordon Strong Automobile Objective and Planetarium, disegno, 1924, cod. 2505053 (concesso da Avery Library, Columbia University, New York).





l'architetto americano è testimoniato da alcuni scritti annotati anni dopo una visita compiuta alla Ford Motor Company di Detroit, edificio progettato e realizzato da Albert Kahn, per il quale aveva sempre avuto un grande rispetto [Brooks Pfeiffer 1992, p. 55].
Quindi, molto prima che gli fosse commissionato il Guggenheim Museum, Wright, dopo aver scorto le possibilità introdotte dal calcestruzzo armato, si ingegnava sul modo di modellare la materia oltre le apparenze e oltre il conosciuto. In sostanza egli si mise alla ricerca di configurazioni geometriche che gli permettessero di esprimere con un unico gesto, fluido e plastico, il movimento e la dinamicità dello spazio. Per quanto riguarda il Guggenheim Museum, Francesco Venezia fa notare, in maniera davvero molto acuta, che Wright nel suo percorso formativo aveva già assistito alla rappresentazione dell'inversione di una ziggurat in "taruggitz", sfogliando le pagine della traduzione della *Divina commedia* di Dante Alighieri, illustrata dal poeta e illustratore William Blake [Venezia 2012, pp. 48-60]. Wright aveva una particolare predilezione per Blake [Monteleone 2013, p. 28], ma esistono anche prove inconfutabili che dimostrano una conoscenza profonda di quella che può essere considerata l'*opus magnum* della letteratura italiana. Il collegamento è offerto da *Notre-Dame de Paris* di Victor Hugo, che Wright aveva scoperto nel periodo giovanile. Il passaggio in cui lo scrittore francese annuncia l'avvento di grande architetto di genio che avrebbe avuto nel ventesimo secolo lo stesso ruolo fondatore che ebbe Dante nel tredicesimo [Hugo 1831, p. 207], sicuramente non lasciò Wright indifferente [Monteleone 2013, p. 19]. Infatti, non vi è dubbio, dato il notorio ego smisurato dell'architetto americano, che egli abbia considerato la profezia del celebre scrittore francese come un segno premonitore del suo personale contributo al rinnovamento dell'architettura, Da questa considerazione deriverebbe la convinzione, da parte dell'architetto, di aver intrapreso con la sua opera una mirabile fatica, paragonabile a quella compiuta in letteratura, circa sette secoli prima, da Dante. Wright, quindi, potrebbe aver scorto nelle immagini di Blake, che raffiguravano la formazione del Purgatorio come risultato del materiale di scavo dell'Inferno (fig. 4), il germe dell'inversione che caratterizza il gioco anagrammatico della parola "ziggurat" in "taruggitz", orgogliosamente annotato a margine del suo disegno di studio, per segnare indelebilmente la profonda

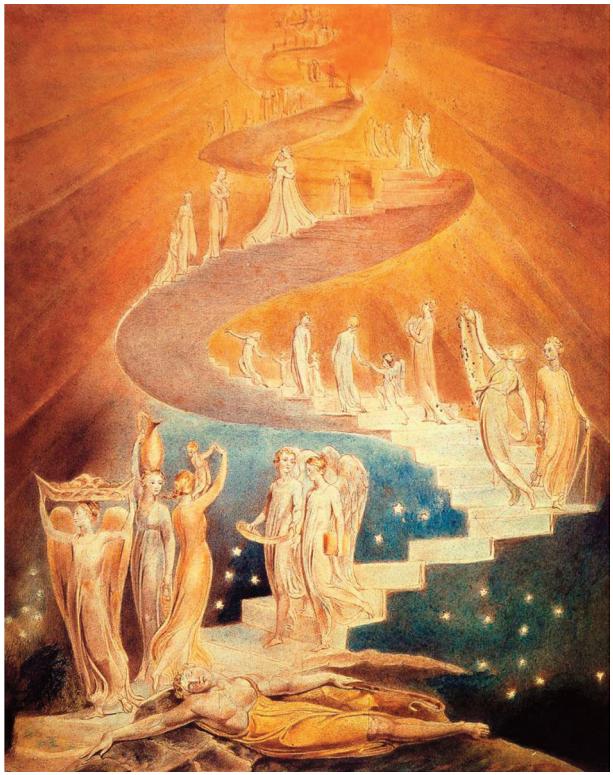
Fig. 4. W. Blake, Formazione del Purgatorio e del Paradiso [Blake 1838, p. 11].

rivoluzione formale dell'*Archeseum*. A riprova della validità di questi riferimenti letterari, conviene soffermarsi su un brano, tratto da un intervento di Wright tenuto in tempi decisamente non sospetti, in cui trapela tutta la fiducia riposta nell'idea che solo le nuove tecnologie avrebbero potuto innescare una rivoluzione dell'architettura, paragonabile a quella scaturita nel mondo della letteratura dai più illustri esponenti di tutte le culture. Secondo l'architetto americano, i nuovi materiali usati nelle macchine dell'uomo avevano caratterizzato l'essenza fisica del nostro tempo, distinguendolo dai secoli precedenti [Wright 1901, p. 80].
Ma esiste un'altra illustrazione di Blake che, in maniera ancora più evocativa, avrebbe potuto sollecitare la fervida immaginazione di Wright nell'elaborazione di una rampa elicoidale per il suo museo. Questa immagine, per certi aspetti, possiede lo stesso crisma miracoloso dell'effetto di sospensione inverato nell'*Archeseum*; si tratta di una raffigurazione intitolata *Jacob's ladder* e descrive la visione onirica di Giacobbe (fig. 5), contenuta nel libro della Genesi [Blake 1794]. L'episodio in questione è il seguente: Giacobbe, dopo un lungo cammino sulla strada per Charan, decide di accamparsi in un luogo imprecisato. Durante la notte sogna una scala appoggiata sulla terra, la cui cima toccava il cielo, affollata da angeli che salivano e scendevano. Come non ricollegare questa elegante interpretazione di William Blake del sogno di Giacobbe, incentrata sul disegno di una scala che si regge su se stessa fino a perdersi tra le nuvole del cielo con il percorso espositivo del Guggenheim Museum? Ma una volta stabilito che nell'*Archeseum* questo effetto miracoloso è stato fortemente ricercato, conviene analizzare gli elementi che hanno reso possibile l'architettura.

Forma e struttura

Nel tramutarsi da idea in oggetto, l'*Archeseum* raccoglie e fonde in una unità strutturale dinamica ed elastica i seguenti elementi compositivi: la rampa elicoidale, i dodici setti radiali e la cupola. La soluzione tettonica realizzata da Wright sembra indubbiamente indirizzata alla qualità espressiva dello spazio interno, confidando nell'effetto di stupore creato dalla rampa elicoidale, risolta senza il ricorso a pilastri e travi che ne avrebbero inficiato evidentemente il carattere continuo e avvolgente. Dal punto di vista tecnico e tecnologico la cosiddetta "trave elastica a sviluppo elicoidale" era già stata oggetto di speculazioni approfondite agli inizi del XX secolo [Markus 1914] e, come abbiamo anche avuto modo di evidenziare, ripetutamente applicata anche nell'ambito dell'industria automobilistica per risolvere il problema del parcheggio nelle sempre più trafficate città americane. Oltre all'indubbia praticità di poter collegare livelli a diversa altezza senza interrompere il moto, la particolare configurazione spaziale di una trave elicoidale implica un ulteriore vantaggio dal punto di vista statico e strutturale, poiché gli apporti innescati dagli sforzi normali e di taglio generano una ridistribuzione dei carichi, compensando i valori del momento torcente e producendo nel complesso sollecitazioni sensibilmente minori rispetto a quelle che si avrebbero con travi ad anello sovrapposte [Belluzzi 1942, p. 253]. Dal punto di vista strutturale la rampa del Guggenheim Museum si comporta esattamente

Fig. 5. W. Blake, La Scala di Giacobbe [Blake 1838, p. 16].



come una trave elastica a sviluppo elicoidale ma, anche se all'apparenza la struttura avvolge ininterrottamente lo spazio della cavità centrale, è necessario precisare che la crescita continua della superficie elicoidale si verifica soltanto per 270 gradi del cerchio di base, proiezione dell'elica, mentre i restanti 90 gradi, in corrispondenza delle scale e degli ascensori, interrompono lo sviluppo della rampa, sostituendosi ad essa con un classico sistema di piani sovrapposti sorretti da pilastri (fig. 6). Tutto il percorso elicoidale, dal primo livello fino alla sommità, intersecandosi nell'ascesa con i dodici setti radiali, collabora strettamente con questi ultimi, ai quali è affidato un duplice compito statico: quello di reggere le spire superiori della rampa e contemporaneamente di stabilizzare le inferiori, generando nel complesso un connubio che, sfruttando la pseudo-simmetria radiale della struttura, si dimostra considerevolmente solido e saldo [Trombetti 2007, p. 50].
Dal punto di vista statico ciò che suscita le maggiori perplessità è la teoria di setti triangolari dalla conformazione capovolta, infatti, se questi elementi verticali fungessero per tutto il loro sviluppo da supporto alle spinte normali, innescate dalla rampa elicoidale, allora, avvicinandosi al suolo, dovrebbero presentare una sezione crescente, per far fronte adeguatamente ai carichi che si accumulano dall'alto; tuttavia nella realtà si verifica il contrario, tanto che, in corrispondenza della base dell'edificio, la sezione dei setti è caratterizzata da una dimensione praticamente inconsistente (fig. 7). È interessante notare che dal primo fino al terzo livello i setti radiali, e di conseguenza la rampa elicoidale, sono circondati da una fascia cilindrica, il cui comportamento statico può essere assimilato a quello del tamburo di una cupola, questo nastro esterno ricopre una funzione sostitutiva dei dodici elementi triangolari nel ruolo di struttura portante dei carichi verticali. I setti radiali, quindi, dal primo fino al terzo livello si appoggiano al cilindro che li circonda per tutto lo sviluppo dell'arco di 270 gradi, mentre si librano come veri e propri elementi portanti autonomi a partire dal quarto livello, fino alla sommità (fig. 8). La collaborazione indissolubile tra nastro esterno cilindrico e i setti radiali emerge dalle parole di Tomaso Trombetti che ha condotto uno studio approfondito della distribuzione dei carichi nell'*Archeseum*: «Nell'ipotesi che le vele abbiano una funzione portante verticale si può quindi pensare un progressivo passaggio degli sforzi verticali in corrispondenza dei primi tre piani dell'edificio dalle stesse vele al tamburo. Questa trasmissione delle azioni verticali al tamburo consente anche di distribuire uniformemente le azioni verticali scaricate dalla struttura al terreno in corrispondenza dell'anello di base per un migliore funzionamento anche dell'apparato di fondazione» [Trombetti 2007, p. 52].
La soluzione tecnica messa in campo da Wright possiede evidentemente un intento ben preciso dal punto di vista

Fig. 6. Planimetria dell'Archeseum. In evidenza la rampa elicoidale di 270° di e il piano a sbalzo di 90° (elaborazione grafica dell'autore).

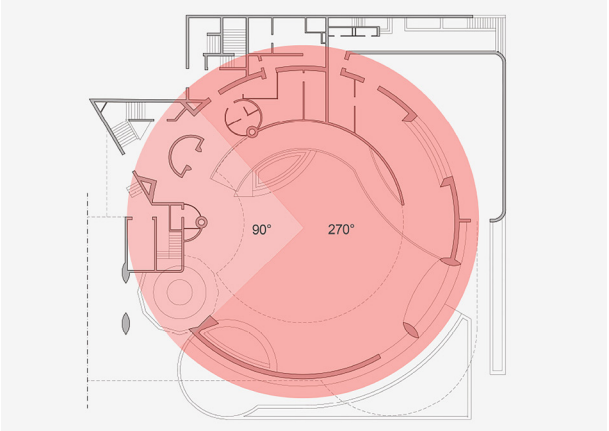
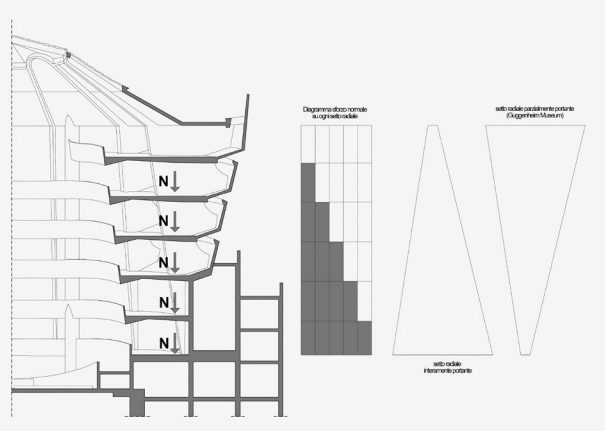
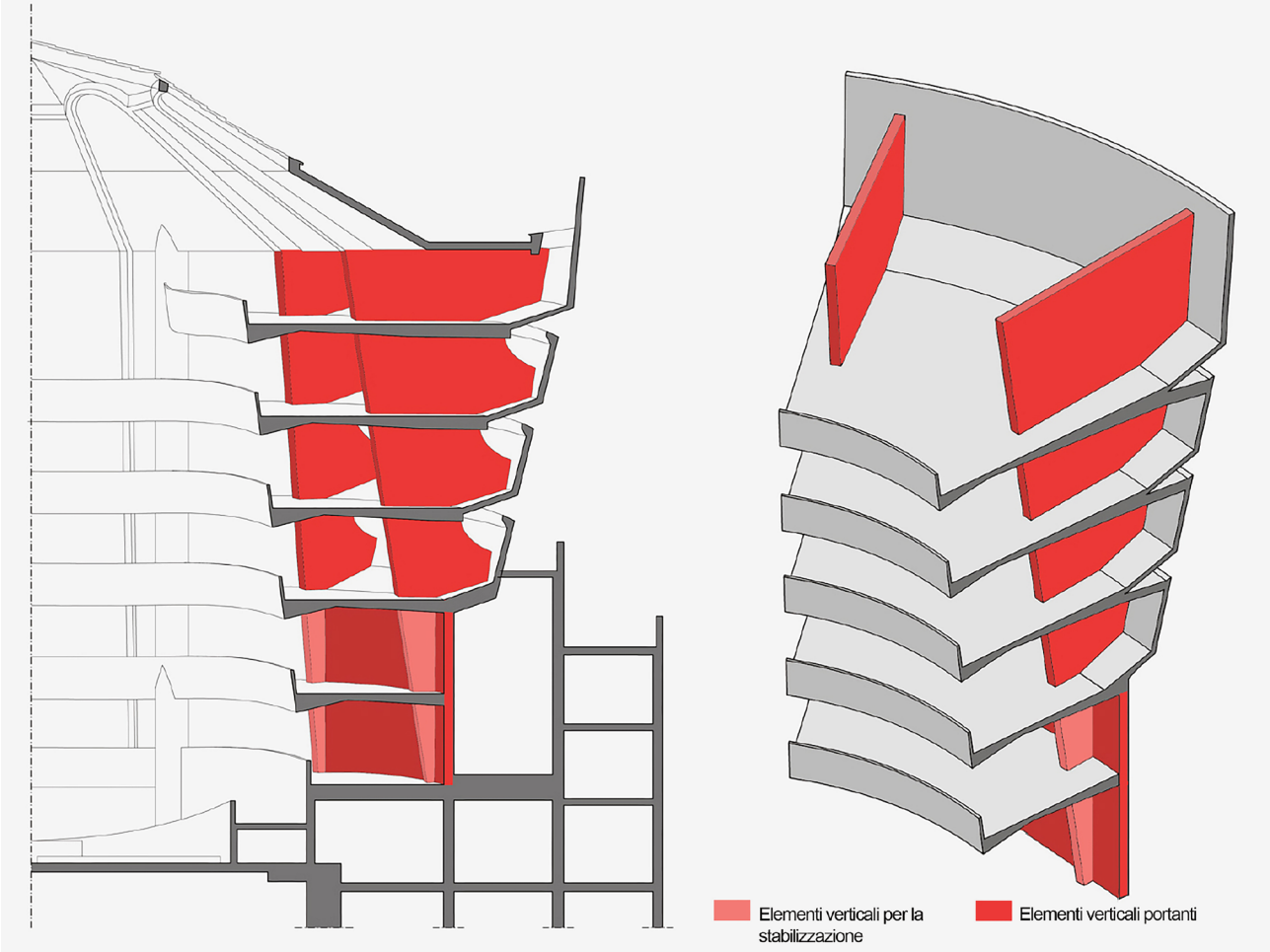


Fig. 7. Setti radiali dell'Archeseum: analisi degli sforzi normali (elaborazione grafica dell'autore).



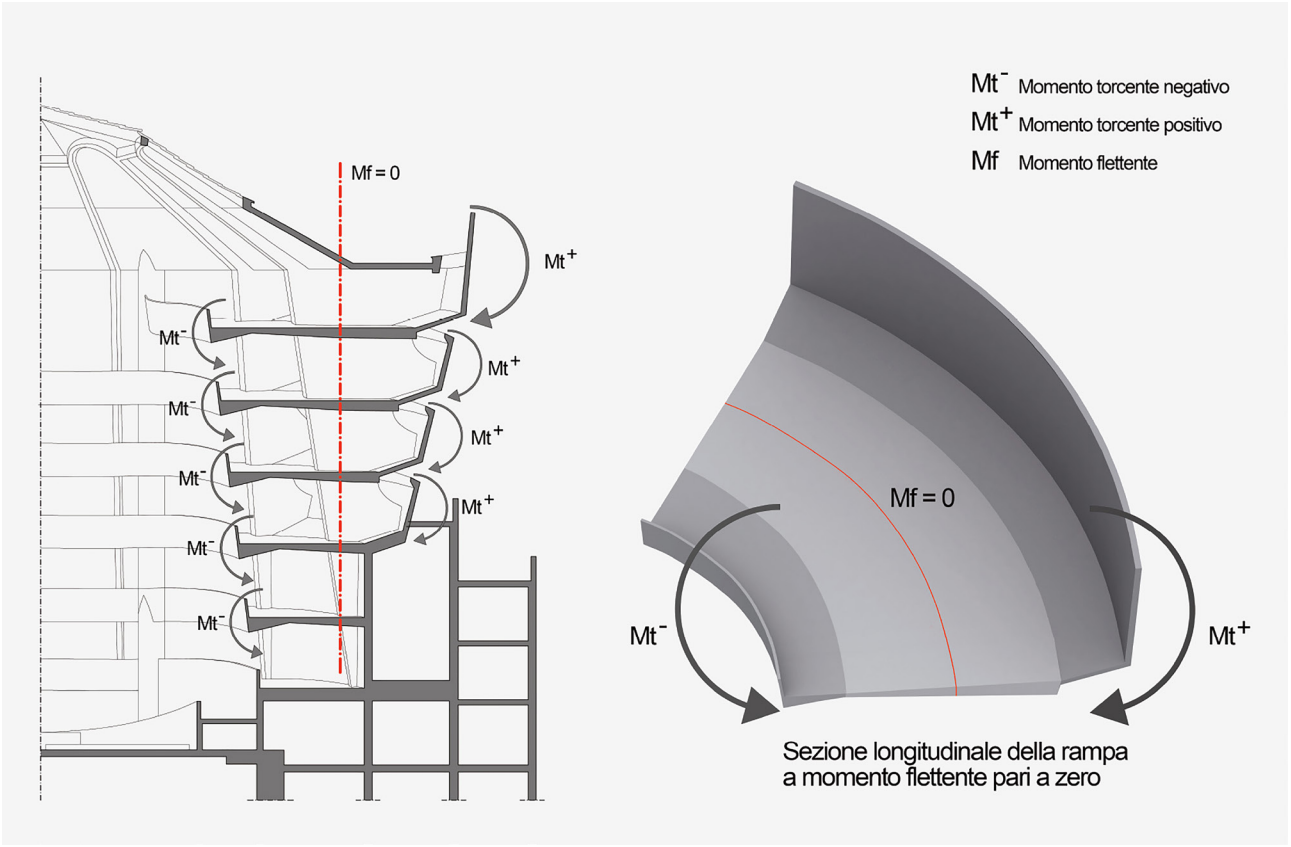
figurativo e formale; infatti, il ricorso a una struttura portante tanto complessa, costituita dalla collaborazione tra i dodici elementi triangolari invertiti e il nastro cilindrico che li circonda in corrispondenza dei primi livelli dell'edificio, ha permesso al loro ideatore di realizzare una sorta di illusione ottica che fa apparire la rampa elicoidale sospesa per tutto il volume della cavità centrale, nell'atto di auto-sostenersi. Oltre ai setti, anche la rampa elicoidale è sottoposta a precise sollecitazioni, infatti essa, essendo incastrata ogni 30 gradi a una coppia di sostegni triangolari, presenta una sezione longitudinale soggetta a momento flettente, causato dalla presenza degli sbalzi che aumentano di dimensione verso l'interno, a mano a mano che si sale verso la sommità [Trombetti 2007, p. 53]. Ma se, da

Fig. 8. Setti radiali dell'Archeseum: analisi del comportamento portante (elaborazione grafica dell'autore).



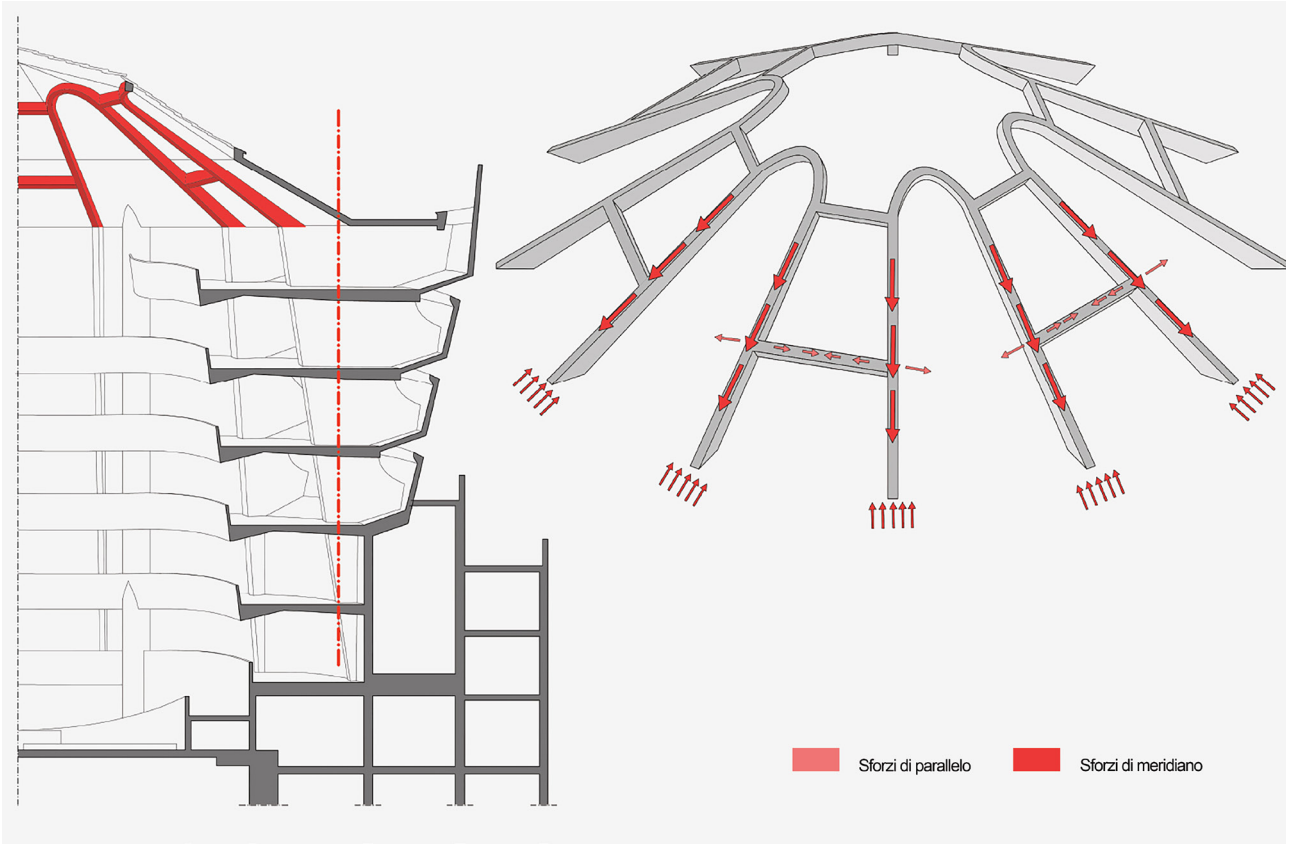
una parte, lo sbalzo verso l'interno produce uno sforzo rotazionale di segno negativo in corrispondenza della sezione longitudinale della rampa, dall'altra è pur sempre uno sbalzo, in questo caso quello costituito dalla muratura esterna, ad annullare le sollecitazioni nella medesima sezione, a conferma del comportamento sinergico dell'intera struttura (fig. 9). La collaborazione tra gli elementi analizzati deve essere stata evidentemente molto ben ponderata da parte di Wright dal punto di vista statico, poiché la sezione longitudinale della rampa elicoidale, pur essendo il luogo geometrico in cui le sollecitazioni verticali si fanno sentire maggiormente, è caratterizzata in ogni punto da un momento flettente nullo, nonostante il percorso espositivo aumenti la sua larghezza salendo, ruotando e traslando. Questo effetto di straordinario equilibrio è stato ottenuto solo grazie all'andamento crescente dei setti triangolari che permettono di incastrare una porzione sempre maggiore di rampa, mentre gli sbalzi, interno ed esterno, mantengono le reciproche dimensioni costanti su ogni livello: questo è il motivo per cui, essendo sollecitata in ogni punto dai medesimi momenti torcenti di segno opposto, la rampa elicoidale presenta per tutta la lunghezza della sezione longitudinale un momento flettente pari a zero. A questo requisito di bilanciamento della sezione longitudinale della rampa elicoidale va anche ricondotto il

Fig. 9. Setti radiali dell'Archeseum: analisi dei momenti flettenti (elaborazione grafica dell'autore).



motivo formale per cui i triangoli, che costituiscono i dodici setti radiali, posseggono lati inclinati diversamente, per la precisione di 11° quello interno e di 22° ca. quello esterno; secondo Trombetti, una prova di questo presupposto sarebbe da attribuire all'inclinazione ridotta dell'ultima voluta della muratura esterna rispetto a quella dei piani inferiori, causata dalle mutate condizioni indotte dall'accrescimento dell'altezza del piano, restando immutata la dimensione dello sbalzo interno corrispondente [Trombetti 2007, p. 58]. L'ultimo elemento da analizzare, non solo nel suo comportamento statico ma anche di relazione rispetto agli altri componenti, è costituito da quella che abbiamo denominato "cupola" ma che, come abbiamo visto, in realtà corrisponde a una piramide vetrata a base dodecagonale. Il termine cupola è giustificato dal suo funzionamento statico, infatti l'orditura principale di questo elemento è costituita da travi sottili ripiegate a U, che si estendono a partire dal sesto livello, aggettando dai dodici setti radiali. A queste travi è affidata, proprio come accade per le nervature di una volta emisferica, la trasmissione alla struttura sottostante dei cosiddetti sforzi di meridiano, mentre contrastano gli sforzi di parallelo le piccole travi orizzontali che le collegano [Trombetti 2007, p. 60]. La copertura, così concepita, minimizza l'impegno che la struttura sottostante deve

Fig. 10. Nervature della cupola dell'Archeseum: analisi degli sforzi di meridiano e parallelo (elaborazione grafica dell'autore).



sostenere, perché non trasmette alcun momento flettente, a causa del fatto che l'innesto di una trave sul setto triangolare avviene in corrispondenza della risultante dei carichi verticali (fig. 10).

Conclusione

Per quanto breve, l'analisi strutturale condotta in questa sede sull'*Archeseum* rivela una profonda interazione e collaborazione tra gli elementi architettonici messi in gioco; è quasi come se l'architetto si fosse voluto attenere al celebre motto del *lieber Meister* Louis Sullivan: «La forma segue la funzione» [Twombly 1988, p. 81]. In realtà, tenendo presente la piega organica presa dall'architettura di Wright, interamente permeata dalla filosofia trascendetalista di Ralph W. Emerson e Henry D. Thoreau [Brunetti 1980, p. 102], sarebbe più corretto affermare che lo "spirito" del Guggenheim Museum precede e tiene insieme, integrandoli, idea, forma e funzione.

Note

[1] La denominazione *International Style* deriva da un libro omonimo di Henry Russell Hitchcock e Philip Johonson scritto in occasione dell'*International Exhibition of Modern Architecture*. La mostra, tenuta al MOMA di New York nel 1932, promuoveva una corrente architettonica, affermatasi agli inizi del XX secolo. Alcuni dei maggiori artisti del tempo, allora residenti a New York, tra cui Rudolf Bauer e László Moholy-Nagy, appoggiarono le critiche avanzate dai colleghi di Frank Lloyd Wright sul progetto del Guggenheim Museum e cercarono di influenzare negativamente l'opinione della curatrice, la Baronessa Hilla Rebay, adducendo la scarsa ortodossia delle scelte museografiche del progettista. In pratica l'architetto americano fu accusato di voler costruire un monumento a se stesso invece di un museo per l'esposizione dei quadri non-obiettivi.

[2] Wright può essere considerato uno tra i pionieri – insieme a Louis Sullivan – e il maggiore interprete dell'Architettura Organica, che mirava all'equilibrio tra ambiente costruito e naturale. I precetti di questo modo di progettare, che alcuni studiosi hanno contrapposto al Razionalismo, furono pienamente espressi nelle lezioni tenute a Londra dall'architetto americano nel 1939 [Wright 1939].

Autore

Cosimo Monteleone, Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale, Università degli Studi di Padova, cosimo.monteleone@unipd.it

Riferimenti bibliografici

Ballon, H. (2009). The Guggenheim Museum: the New York context. In AA.VV. *The Guggenheim: Frank Lloyd Wright and the Making of the Modern Museum*, pp. 19-37. New York: Solomon R. Guggenheim Foundation.

Belluzzi, G. (1942). *Scienza delle costruzioni*. Bologna: Zanichelli.

Blake, W. (1794). *The Book of Urizen*. Lambeth: Will Blake.

Blake, W. (1838). *The Divine Comedy*. London: J. Linnell.

Brooks Pfeiffer, B. (Ed.). (1986). *Frank Lloyd Wright: The Guggenheim Correspondence*. Carbondale: Southern Illinois University Press.

Brooks Pfeiffer, B. (Ed.). (1992). *Collected Writings of Frank Lloyd Wright*. New York: Rizzoli.

Brunetti, F. (1980). *Le matrici di un'architettura organica*. Firenze: Alinea Editrice.

Carranza, L.E. (2009). Hybridized History: the Guggenheim Museum, the Ziggurat and the Skyscraper. In AA.VV. *The Guggenheim: Frank Lloyd Wright and the Making of the Modern Museum*, pp. 80-98. New York: Solomon R. Guggenheim Foundation.

Dal Co, F. (2004). *Il tempo e l'architetto. Frank Lloyd Wright e il Guggenheim Museum*. Milano: Electa.

Hugo, V. (1831). *Notre-Dame de Paris*. Bruxelles: Louis Hauman et Comp.

Markus, H. (1914). *Der doppelt gekrümmte Träger und das schiefe Gewölbe im Eisenbetonbau. Ein Beitrag zu ihrer Berechnun.* Berlin: W. Ernst.

Monteleone, C. (2013). *Frank Lloyd Wright. Geometria e astrazione nel Guggenheim Museum*. Roma: Aracne.

Trombetti, T. (2007). Il funzionamento strutturale del Guggenheim Museum di Frank Lloyd Wright. In *Casabella*, n. 760, pp. 47-61.

Twombly, R. (a cura di). (1988). *Louis Sullivan: the Public Papers*. Chicago: the University of Chicago Press.

Venezia, F. (2012). *Divertimento. Un'interpretazione del Guggenheim Museum di F. Ll. Wright*. Genova: Il Melangolo.

Wright, F.Ll. (1901). The Art and Craft of the Machine. In *Brush and Pencil*, vol. 8, no. 2, pp. 77-90.

Wright, F.Ll. (1939). *Organic Architecture: The Architecture of Democracy*. London: Lund Humphries & Co. LDT.

Rivelare le strutture e le forme della propaganda. Modelli e simboli nelle architetture coloniali della Mostra d'Oltremare

Giuseppe Antuono

Abstract

In architettura, la relazione tra forma e struttura costituisce spesso un nodo interpretativo centrale per la comprensione del significato dell'opera. In particolare, nell'architettura razionalista italiana, realizzata tra le due guerre, tale rapporto assume un valore ideologico di complementarità: la forma diventa espressione simbolica del potere e della tradizione, sostenuta da una struttura – talvolta esibita, talvolta celata – che funge da medium culturale nel costruire gli spazi della propaganda. Una relazione interdipendente evidente nei percorsi narrativo-ideologici dei complessi espositivi. Un esempio emblematico è il complesso della Mostra d'Oltremare a Napoli, con particolare riguardo ai padiglioni del Settore Geografico – in gran parte perduti – dove l'interazione tra struttura e forma crea un dispositivo retorico volto a sostenere un'immagine di ordine e potere che rimanda al ricco repertorio di modelli di imitazione d'oltremare e di riferimenti classici, spesso non immediatamente riconoscibili e interpretabili solo attraverso una lettura attenta dei codici formali sottesi. In questa prospettiva, il disegno assume una funzione ermeneutica, volta a rendere intellegibili le matrici configurative originarie, elaborate attraverso un percorso di rilievo e analisi delle fonti storiografiche e tradotte in un modello digitale capace di disvelare e riflettere sul rapporto tra forma, logica costruttiva, organizzazione spaziale e matrici simbolico-funzionali.

Parole chiave: Cultural Heritage, *rilievo integrato, modello digitale, re-interpretazione formale, matrici geometrico-spaziali.*

Introduzione

In architettura, il rapporto tra struttura e forma costituisce un principio fondativo, in cui ragione costruttiva ed espressione formale concorrono alla definizione dello spazio e del suo valore simbolico. Tale relazione assume particolare rilievo nell'architettura italiana del Ventennio fascista, dove la coesistenza di istanze classiciste e razionaliste lega la configurazione formale alla struttura portante attraverso regole geometriche che orientano il progetto verso un'immagine in continuità con la tradizione e la retorica del regime. Un ambito privilegiato di sperimentazione furono gli edifici espositivi, concepiti come dispositivi retorici in cui la struttura si configurava come ossatura ordinatrice capace di modulare spazi e forme secondo l'ideologia politica dell'epoca.

Un esempio significativo è il complesso della Mostra Triennale delle Terre Italiane d'Oltremare di Napoli [Aveta et al. 2021] (fig. 1), inaugurata il 9 maggio 1940 [AA.VV. 1940b] come *Esposizione Tematica Universale* [AA.VV. 1940a, p. 9] e organizzata «a quartieri di città» [Biancale 1940, p. 55]. L'area espositiva era infatti articolata in quattro settori (Geografico, Produzione, Storico e Mostre varie, Teatro ed Attrazioni) e descritta da «assi ideologici» che costituivano l'armatura del «parco verde» [Siola 1990, p. 2], all'interno del quale venne promossa una progettazione "misurata" dei padiglioni coerente con gli obiettivi nazionalisti [Antuono, Elefante 2024, p. 722].

Il Settore Geografico rappresenta uno spazio espositivo di particolare rilievo, in cui la forma e la struttura

 BY-NC-ND

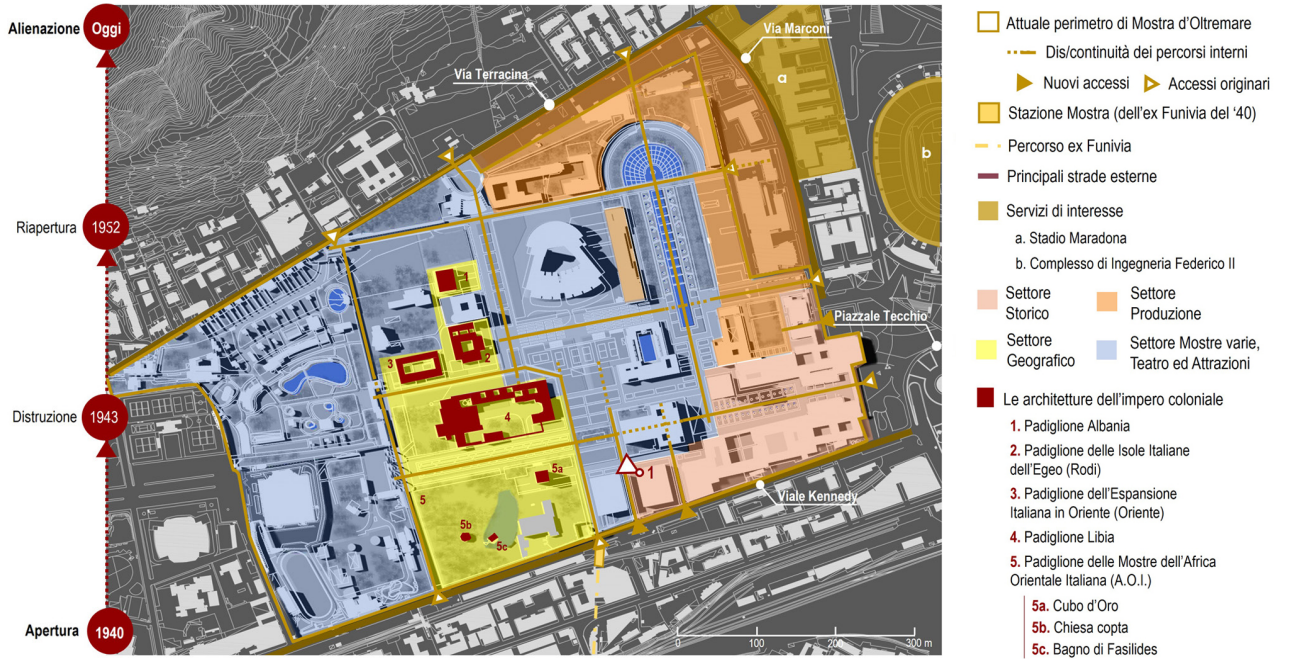


Fig. 1. Inquadramento del Complesso Mostra d'Oltremare con l'individuazione degli originari Settori e delle architetture che componevano il Settore Geografico (elaborazione grafica dell'autore).

architettonica riflettono un linguaggio intriso di riferimenti simbolici, espressione dell'immaginario propagandistico dell'epoca e della narrazione identitaria e celebrativa dell'italianità [Dore 1992, p. 50], finalizzata a rappresentare l'Impero coloniale italiano.
Oggi, solo alcune delle originarie strutture del Settore, progettate nell'unità delle arti da alcuni dei protagonisti della cultura architettonica italiana dell'epoca [Arena 2012, pp. 13, 14], sono riconoscibili, seppure in condizioni compromesse (fig. 2). Tra queste, il Padiglione delle Isole Italiane dell'Egeo (sinteticamente Padiglione Rodi) di Giovanni Battista Ceas [AA.VV. 1939a; AA.VV. 1941, pp. 49-50] e il Padiglione dedicato all'Albania, progettato da Gherardo Bosio e Pier Niccolò Berardi [AA.VV. 1939b; AA.VV. 1941, p. 54; Penta 1940, pp. 18-24]. Gli altri edifici risultano invece alterati da interventi successivi che ne hanno compromesso l'assetto e il significato originario, come il Padiglione dell'Espansione Italiana in Oriente (sinteticamente Padiglione Oriente) di Giorgio Calza Bini [AA.VV. 1941, pp. 55-57] e il Padiglione Libia di Florestano Di Fausto [AA.VV. 1941, p. 46]. Ben poco, infine, resta degli impianti originari nella vasta area meridionale un tempo occupata dal Padiglione delle Mostre dell'Africa Orientale Italiana (A.O.I.) di Mario Zanetti, Luigi Racheli e PaoloZella Millillo [AA.VV. 1940b, pp. 65-66]: l'architettura-scultura del Cubo d'Oro e alcuni ruderi nell'adiacente Parco dei Villaggi Indigeni, che non restituiscono più l'espressività formale e simbolica dell'originario impianto.
In questo contesto, la comprensione delle strutture residuali richiede un percorso metodologico multilivello (fig. 3) in cui le fonti storiografiche, confrontate con i dati di rilevamento digitale, forniscono metadati essenziali per interpretare la composizione metrico-formale dei manufatti, fondata sull'«ordinamento» e sulla «consequenzialità» degli elementi [Moretti 1957, pp. 21-30], e per condurre una ricostruzione filologica digitale attendibile della loro *facies* originaria [Trizio et al. 2021].

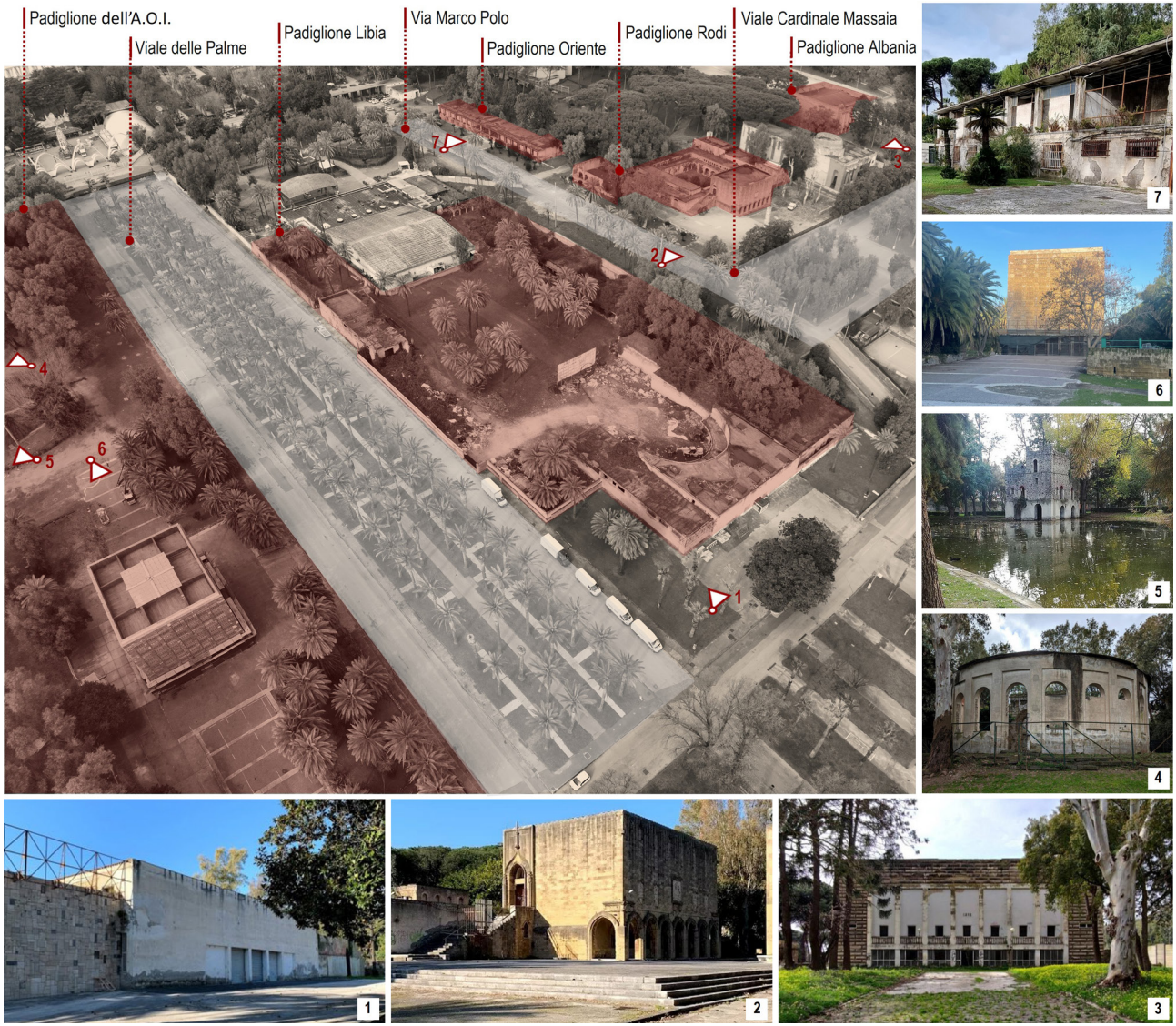


Fig. 2. Vista aerea del Settore Geografico, con evidenza delle configurazioni residue dei padiglioni originari disposti secondo la maglia dei percorsi interni del complesso della Mostra d'Oltremare (elaborazione grafica dell'autore).

In tale senso, gli strumenti della rappresentazione permettono di ripercorrere le «forme del pensiero spaziale e della progettazione» [Ugo 1994, p. 78] dei padiglioni, a partire dall'analisi dei disegni di progetto e dalla ricostruzione prospettica inversa della documentazione fotografica storica [Agnello 2023], consentendo di ricreare virtualmente volumetrie e spazi interni poco documentati [Poulopoulos, Wallace 2022]. Un processo di retro-progettazione [Verdiani 2017] che trova nella modellazione parametrico-informativa uno strumento critico utile per validare la coerenza tra le evidenze rilevate e le ipotesi ricostruttive [Pietroni, Ferdani 2021], restituire profondità concettuale alle scelte architettoniche originarie, nonché rivelare l'ordine nascosto che struttura il visibile nella dialettica tra dimensione formale, strutturale e ideologica.

Il Settore Geografico. Dal rilievo alla ricostruzione digitale attraverso le fonti storiche

Pur mantenendo sostanzialmente invariato l'impianto urbanistico originario, il Settore Geografico ha oggi perso quell'aura celebrativa propria della configurazione degli anni '40, contraddistinta da padiglioni concepiti come rappresentazione evocativa del "sintetico panorama dei moderni nostri possedimenti imperiali" [AA.VV. 1941, p. 4] e raggiungibili tramite quattro percorsi principali, segnati da una ricca vegetazione quale *leitmotiv* unificante del percorso espositivo [Piccinato 1977] (fig. 2).
In tale contesto, l'analisi del Settore ha richiesto un approccio integrato nel combinare i dati di rilevamento digitale delle configurazioni residuali con le informazioni desunte dalla documentazione storiografica, costruendo così una base informativa solida [Di Luggo, Campi 2021, p. 252] per comprendere le ragioni delle forme attuali e delle scelte compositivo-formali originarie, nonché cogliere le motivazioni simboliche e ideologiche che hanno guidato la progettazione delle architetture in esame.
In particolare, ogni trasformazione lascia segni di discontinuità, testimoni di interventi più o meno coerenti di risanamento o di adattamento a nuove destinazioni d'uso, rilevabili già dalle prime fasi di sopralluogo e misurazione *reality-based* (fig. 4), condotte mediante tecniche integrate di rilevamento digitale *range* ed *image based* [Hassan, Fritsch 2019; Barba et al. 2020]. In particolare, alla fotogrammetria aerea (con acquisizione di immagini da drone *Mavic 3 Enterprise RTK* per documentare alzati e coperture) si è affiancata un'acquisizione laser scanner (con *BLK360*, per gli ambiti interni, e *Faro focus S350,* per spazi e percorsi esterni), permettendo di documentare in modo compiuto l'organizzazione plano-volumetrica del Settore e le tracce residuali dei manufatti. Soprassedendo sugli aspetti procedurali consolidati delle fasi di acquisizione ed elaborazione, i dati multi-sensore raccolti – integrati in un *dataset* georiferito e strutturato – hanno reso possibile un primo confronto con le fonti grafico-documentarie disponibili, favorendo l'interpretazione delle evidenze rilevate e la rilettura delle trasformazioni intervenute in ciascun manufatto, fino alla valutazione delle configurazioni ormai perdute.
La testimonianza più significativa è costituita dai disegni di progetto dell'area espositiva conservati presso l'Archivio Luigi Piccinato [1], insieme alle descrizioni e ai disegni pubblicati sulle riviste dell'epoca o custoditi presso l'Archivio della Mostra d'Oltremare [2].
A tali fonti si affianca il ricco patrimonio iconografico, dell'Archivio di Federico Patellani [Capano 2014; Belli 2016] o diffuso attraverso la vasta produzione editoriale promossa tra il 1938 e il 1941, nonché le numerose riprese cinematografiche dei cinegiornali [*Giornale Luce* 1940; *La Settimana INCOM* 1952]; un *corpus* documentario essenziale per la ricostruzione figurativa degli assetti originari.
Vere e proprie testimonianze di storia e di storie, tali fonti documentali – nella loro lettura comparata e nel confronto con i dati di rilevamento – hanno permesso di interpretare i segni e le discontinuità lasciate dalle trasformazioni, quali aperture murarie successivamente richiuse, disallineamenti tra i corpi di fabbrica e l'accostamento di differenti tecnologie costruttive, e di chiarire alcuni aspetti estetici, funzionali e strutturali dei manufatti nelle loro configurazioni originarie, come l'organizzazione dei volumi, la composizione degli elevati, le connessioni distributive e le relazioni spaziali tra le diverse unità costruttive. Un processo di interpretazione, supportato anche dall'individuazione dei codici geometrici sottesi alla composizione delle parti residuali, che ha permesso di restituire i tracciati plano-altimetrici e il rigoroso impianto geometrico-compositivo alla base del progetto dei padiglioni; un progetto che manifesta chiari riferimenti ai modelli architettonici delle colonie di oltremare e alle tradizioni costruttive locali, reinterpretate in chiave classicista a sostegno della retorica del regime.
Questa prima indagine ricompositiva ha consentito di strutturare un modello parametrico-informativo federato dell'area di studio, basato su un modello topografico di coordinamento collegato ai modelli architettonici dei singoli

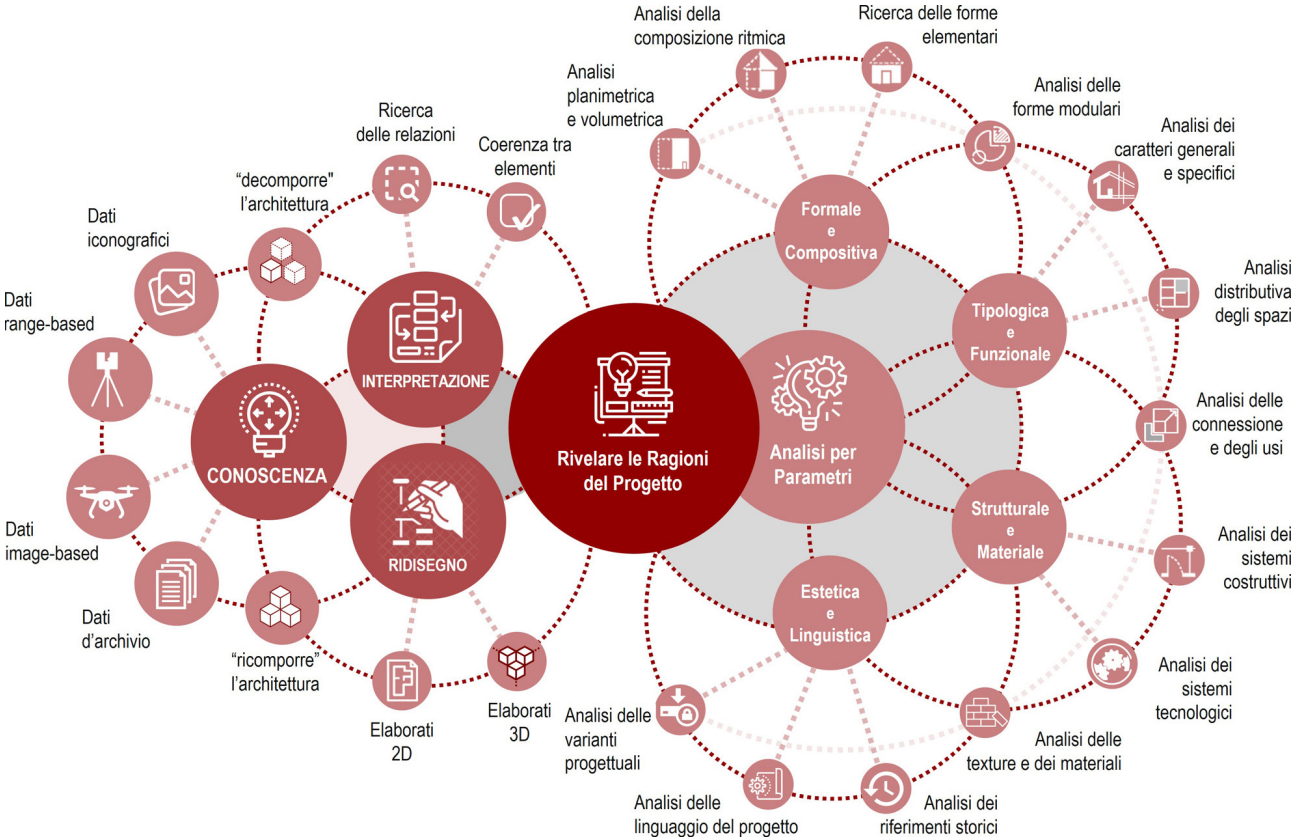


Fig. 3. Schema metodologico per conoscere e interpretare il visibile, ricomporre il modello grafico delle trasformazioni e rivelare gli assetti, le scelte e le logiche configurative originarie.

manufatti, organizzati in una struttura aggregativa che ne facilita la lettura nel contesto spaziale di riferimento.
Inoltre, a ciascun modello architettonico descrittivo dello stato dei luoghi è stato associato l'apparato grafico-progettuale disponibile, che ha permesso di ricostruire la configurazione spaziale originaria dei padiglioni per elementi digitali, arricchiti da parametri informativi riguardanti caratteristiche tecnologiche e materiche desunte dai documenti d'archivio. Un modello che, integrando anche la componente iconografica – attraverso un flusso digitale di ricostruzione prospettica inversa interoperabile tra piattaforme parametriche – restituisce un sistema coerente e multilivello di conoscenze, combinando dati documentati, disegni e rilievi digitali, utile sia per l'interpretazione complessiva della dimensione progettuale originaria [Russo, Guidi 2011], sia per la verifica critica delle ipotesi preliminari sulla configurazione originaria dei singoli manufatti [D'Agostino et al. 2023]. In tal modo, alla modellazione digitale è stato affidato il compito di ricostruire per fasi l'evoluzione degli elementi architettonici e figurativi perduti, integrando componenti storiografiche, grafiche e iconografiche e restituendo un'eredità intangibile delle forme ideologiche di regime, oltre a una lettura complessiva dei principi fondativi del progetto.

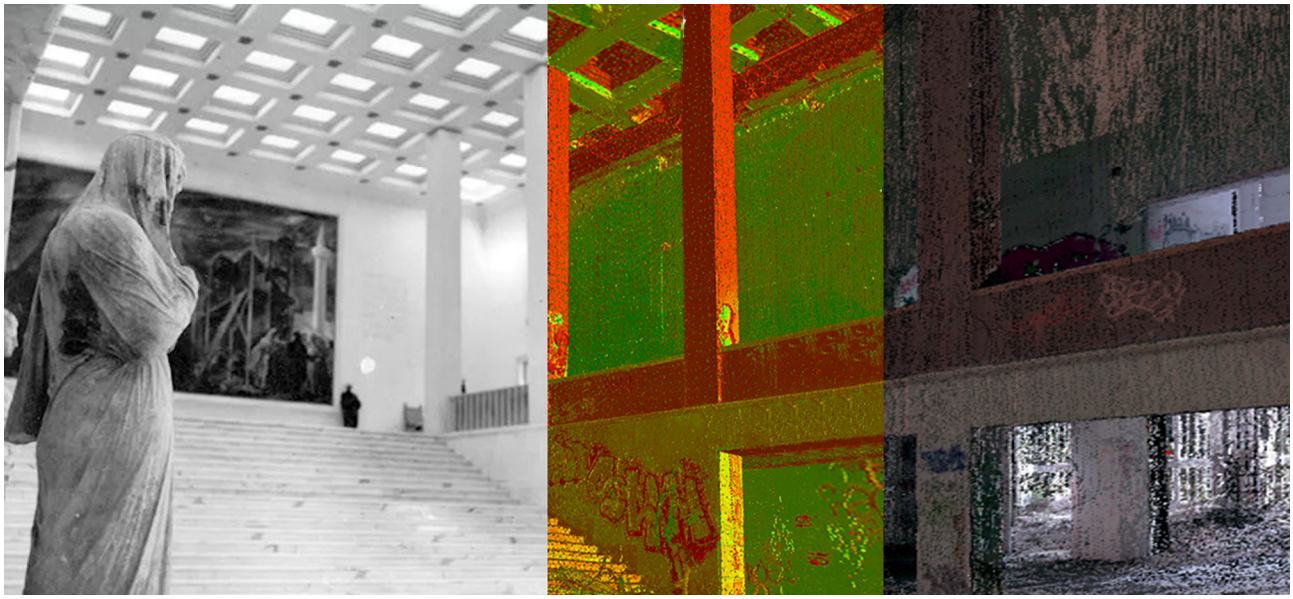


Fig. 4. Vista interna del Padiglione Libia, realizzata come composizione integrata di fonti storiche [Dillon, 1940, p. 6] e dati range-based, per confrontare le condizioni attuali con le suggestioni originarie.

Interpretazione meta-progettuale del patrimonio documentale

La correlazione delle fonti acquisite ha consentito di strutturare un sistema digitale, multiscalare e multidimensionale, per la gestione integrata delle informazioni spaziali e tematiche acquisite e finalizzato all'analisi delle configurazioni originarie rilette nei successivi adattamenti di *layout* del Settore, definito solo dopo l'occupazione italiana dell'Albania nel 1939 [Belli et al. 2017].
L'analisi comparativa dei documenti cartografici storici, condotta mediante adattamento polinomiale, ha permesso di ricostruire le invarianti temporali dell'aggregato edilizio e l'assetto planimetrico-architettonico del Settore, organizzato lungo due direttrici principali nord-sud: la prima, viale Cardinale Massaia, collegava il sistema di accesso settentrionale del Settore produttivo [Antuono et al. 2024] ai padiglioni Albania e Rodi, passando per l'accesso orientale del Padiglione Libia e proseguendo verso il Padiglione A.O.I.; la seconda (oggi via A. Usodimare), dall'ingresso al Settore "Mostre varie, Teatro ed Attrazioni", lambiva il Padiglione Oriente e l'accesso occidentale del Padiglione Libia, raggiungendo il Padiglione A.O.I. Il Settore era inoltre servito da due direttrici est-ovest a cavallo del Padiglione Libia: la prima a nord, via Marco Polo, che permetteva l'accesso ai padiglioni Oriente e Rodi, e la seconda, viale delle Palme, che conduceva al Padiglione A.O.I., situato lungo il confine meridionale del complesso espositivo in corrispondenza del percorso in quota della funivia Posillipo Alto-Mostra (fig. 1).
L'analisi multi-temporale dell'area ha consentito di comprendere i sistemi di connessione e accessibilità e di approfondire i caratteri morfo-tipologici originari delle strutture che componevano il complesso progetto espositivo.
I padiglioni, infatti, svolgevano un ruolo centrale nella narrazione imperiale, guidando il visitatore attraverso «plurimi e repentini slittamenti spazio-temporali» [Mangone 2014, p. 210], come testimoniano oggi i padiglioni Rodi e Albania, che, nonostante i danni bellici, conservano un'integrità sostanziale grazie a ristrutturazioni coerenti effettuate in

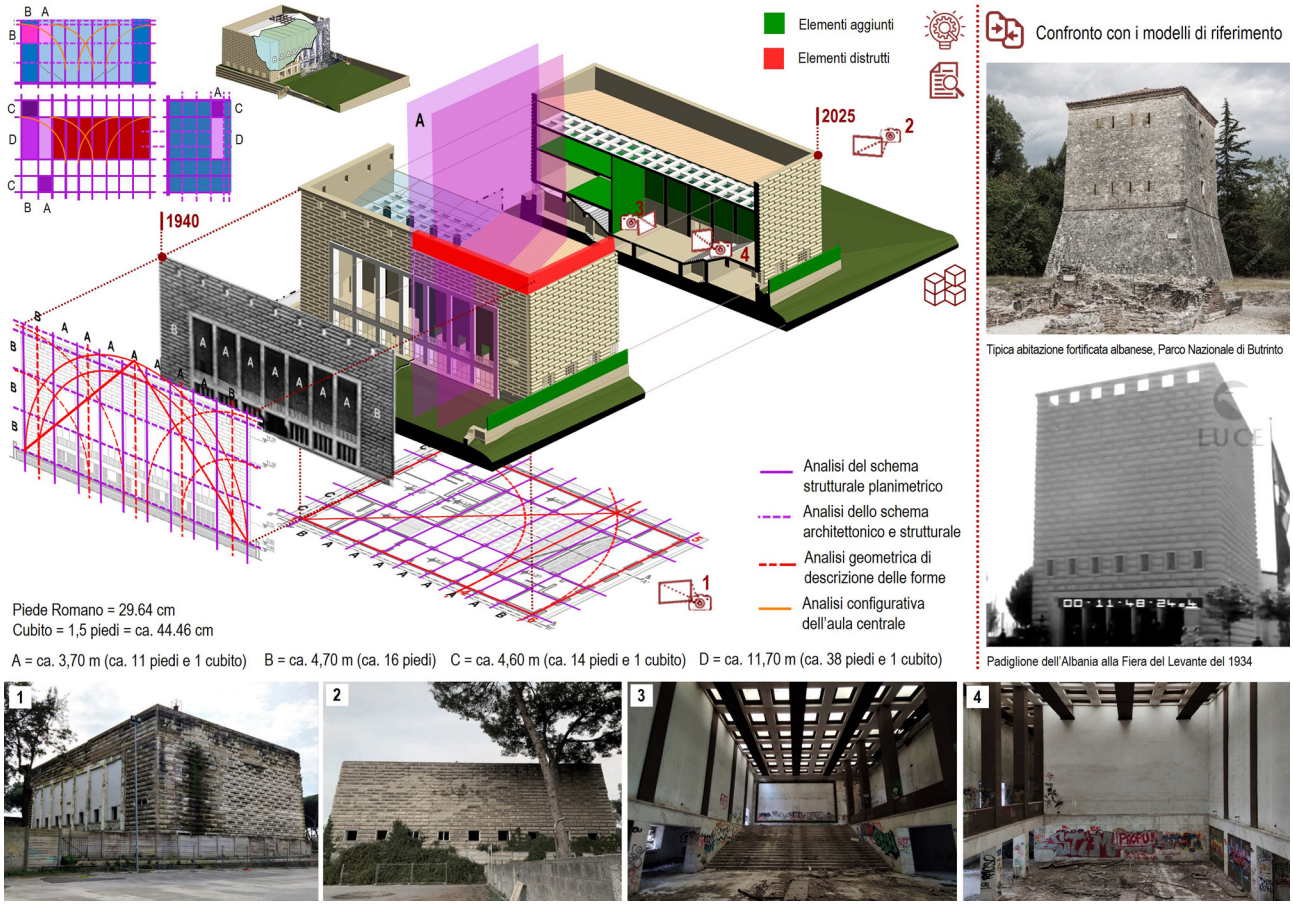


Fig. 5. Ricostruzione digitale e analisi geometrico-proporzionale del Padiglione Albania, condotta attraverso l'integrazione nel modello dei documenti d'archivio - tra cui la vista prospettica ortorettificata del prospetto principale [AA.VV. 1941, p. 54] -, che ha guidato la progettazione modulare del manufatto. A destra: i modelli di riferimento del progetto; in basso: alcune immagini delle condizioni attuali (elaborazione grafica dell'autore).

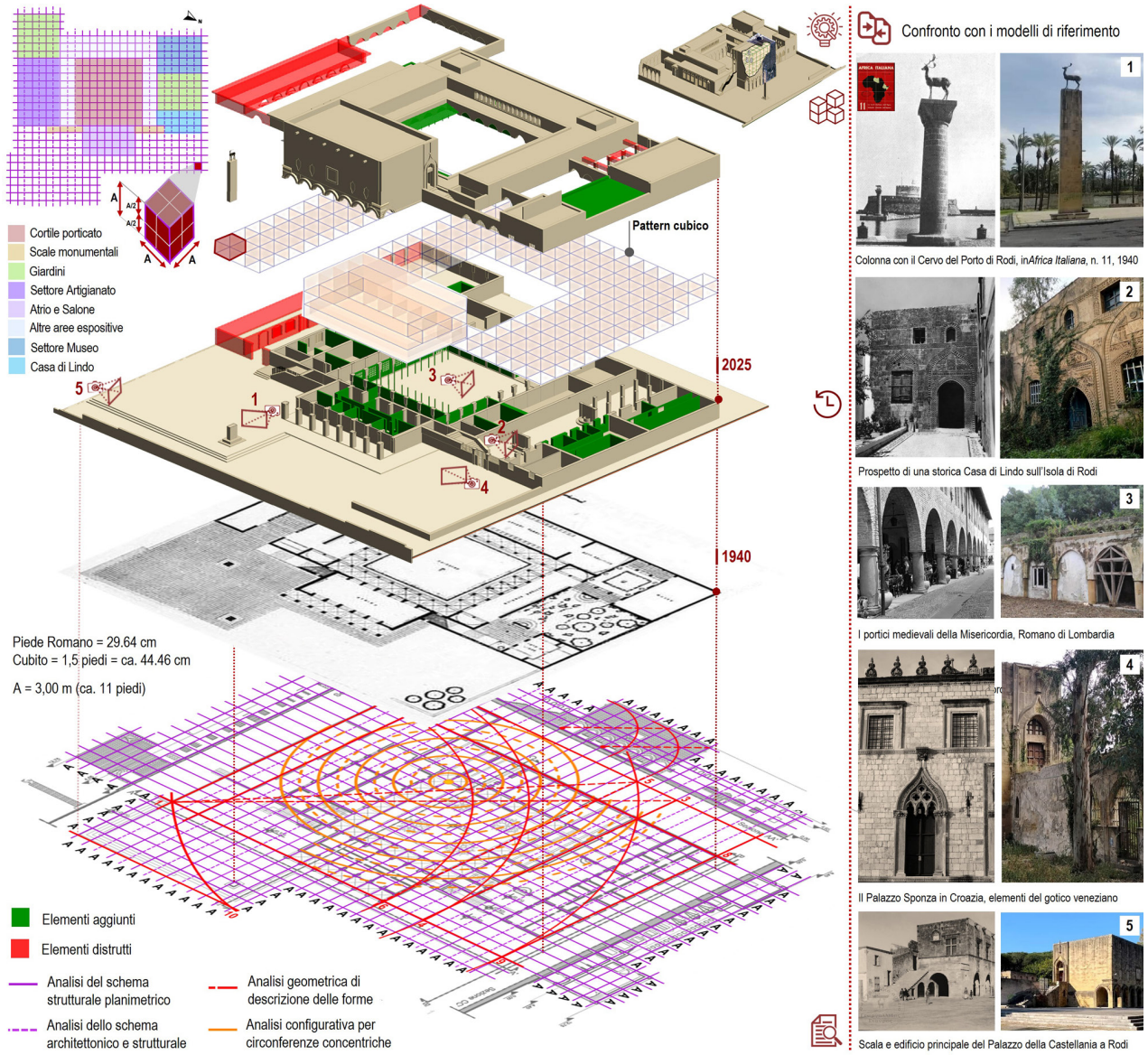


Fig. 6. Ricostruzione digitale del Padiglione Rodi, a partire dall'integrazione della documentazione grafica storica (come la pianta del piano terra del complesso, in AA.VV. 1941, p. 50) e dall'analisi plano-volumetrica del manufatto. A destra: i modelli di riferimento del progetto, nel confronto con alcune immagini degli spazi interni ed esterni (elaborazione grafica dell'autore).

occasione della riapertura del complesso espositivo nel 1952 come *Esposizione del Lavoro Italiano nel Mondo* [Fiore 1952; AA.VV. 1952].
La discretizzazione delle informazioni metriche e documentali disponibili ha permesso di analizzare gli assetti attuali, interpretare i criteri geometrico-proporzionali adottati e rilevare le unità di misura e i moduli sottesi alla composizione, propri del repertorio classicista [Fasolo 1960], favorendo il riconoscimento delle scelte progettuali e del ruolo delle architetture come modelli di imitazione.
I soli disegni di progetto si sono rivelati sufficienti per ricostruire i valori formali dei padiglioni Rodi e Albania, le cui configurazioni esterne rimangono in gran parte originarie, sebbene in uno stato di abbandono e con spazi interni ridefiniti da interventi successivi, fornendo così un riferimento essenziale per l'analisi della loro articolazione spaziale e dei contenuti simbolici.
In particolare, per il Padiglione Albania (fig. 5), dismesso e negli ultimi anni sede dell'Istituto per lo Sviluppo Economico (ISVE), le modifiche interne hanno avuto un riflesso anche sull'immagine monumentale originaria esterna. Il prospetto principale, scandito da pilastri aggettanti posti a intervalli regolari, era originariamente caratterizzato da un ampio loggiato, oggi tamponato, sormontato da piccole finestre che definivano la fascia di coronamento della facciata. La dimensione ritmica degli elementi rimanda all'unità di misura romana (piede e sue suddivisioni). In particolare, dal prospetto si evince, ad esempio, che l'intervallo *A* tra i pilastri corrisponde a 3,70 m ca. , ovvero ca. 11 piedi romani e un cubito.
L'edificio conserva ancora il rivestimento in bugnato di ispirazione classica che, richiamando le case-fortezza *Kulla* albanesi [Mangone 2014, p. 214], descrive un volume compatto con rimandi anche ad altre esperienze espositive italiane [Pagano 1990, p. 134].
L'edificio, elevato su un alto podio, si sviluppa su un impianto rettangolare determinato da un rigoroso rapporto *diagoneo* [Serlio 1584], che governa proporzionalmente anche l'organizzazione plano-altimetrica del salone centrale. Questo ambiente, a doppia altezza, era originariamente coperto da un soffitto con 180 lacunari in vetro di Murano e comprendeva una coppia di scalinate che conduceva ai ballatoi del primo piano, sulle cui pareti erano collocati i dipinti *Albania Romana* di Primo Conti e *Albania fascista* di Gianni Vagnetti [L'Abbate, Moscardin 2017]. Tuttavia, la successiva ridefinizione delle funzioni dell'edificio ha comportato la necessaria riarticolazione degli spazi interni per la realizzazione di nuovi ambienti, tra i quali una sala convegni sul lato meridionale – che ha interessato la tamponatura di una delle due scalinate – e la creazione di alcune stanze sul fronte orientale, ottenute tramite la tamponatura del loggiato esterno; modifiche che hanno alterato l'assetto espositivo-monumentale, oggi peraltro compromesso dal degrado strutturale.
Allo stesso modo, il Padiglione Rodi (fig. 6), nonostante l'abbandono e le espropriazioni subite sul finire del secolo scorso, conserva in gran parte la configurazione originaria in muratura, con chiari richiami alle architetture regionali, fatta eccezione per il settore un tempo destinato all'artigianato locale.
Anche in questo caso, l'articolazione dei volumi segue una chiara dimensione geometrica (un segmento) o metrica (una misura) [Gros 1997] di ispirazione classica. In particolare, le diverse unità che compongono l'edificio sono inquadrate in una maglia geometrica di passo 3,00 m ca. (ca. 11 piedi romani), che governa anche l'elevazione dei prospetti e l'altezza degli spazi interni, oggi parzialmente ridimensionati. Inoltre, i diversi settori del padiglione sono organizzati secondo un impianto planimetrico regolato da rapporti *diagonei* che determinano la composizione dei prospetti porticati sul piazzale esterno. Purtroppo, la successiva occlusione di numerose aperture ad arco ogivale ha compromesso la permeabilità originale tra l'esterno e il cortile porticato interno, situato tra l'originario Settore Artigianato e il nucleo settentrionale, composto dal Museo e dalla Casa di Lindo – ispirata alle tipiche abitazioni dei villaggi costieri di Rodi; un cortile che costituisce il vero cuore del percorso espositivo, organizzato secondo una matrice concentrica che definisce la scansione ritmica delle colonne e, nel contempo, detta le dimensioni delle principali sale espositive circostanti.
Il linguaggio architettonico del padiglione si distingue per le superfici squadrate e compatte, che richiamano gli alberghi storico-assistenziali rodiesi e accentuano la volumetria del corpo principale affacciato sul piazzale esterno, articolato su due livelli e con due scale esterne simmetriche – modellate sul Palazzo della Castellania di Rodi – che, al primo piano, introducono al Salone d'Onore caratterizzato da un impianto rettangolare e decorato con un affresco attribuito a B. Assenza [AA.VV. 1940b]. Sul piazzale antistante, un esile pilastro sormontato da una scultura di cervo, evocando le statue dei moli rodiesi, fungeva da richiamo visivo ai modelli d'oltremare, stabilendo un collegamento simbolico con il vicino Padiglione Libia (fig. 7).



Fig. 7. Analisi geometrica e funzionale del Padiglione Libia, a partire dal rilievo dello stato dei luoghi nel confronto con la planimetria storica di progetto [AA. VV. 1941, p. 46] e le vedute dell'epoca (foto di Federico Patellani di giugno 1940, Museo di Fotografia Contemporanea, fondo Federico Patellani, PR. 324/FT. 7) (elaborazione grafica dell'autore).

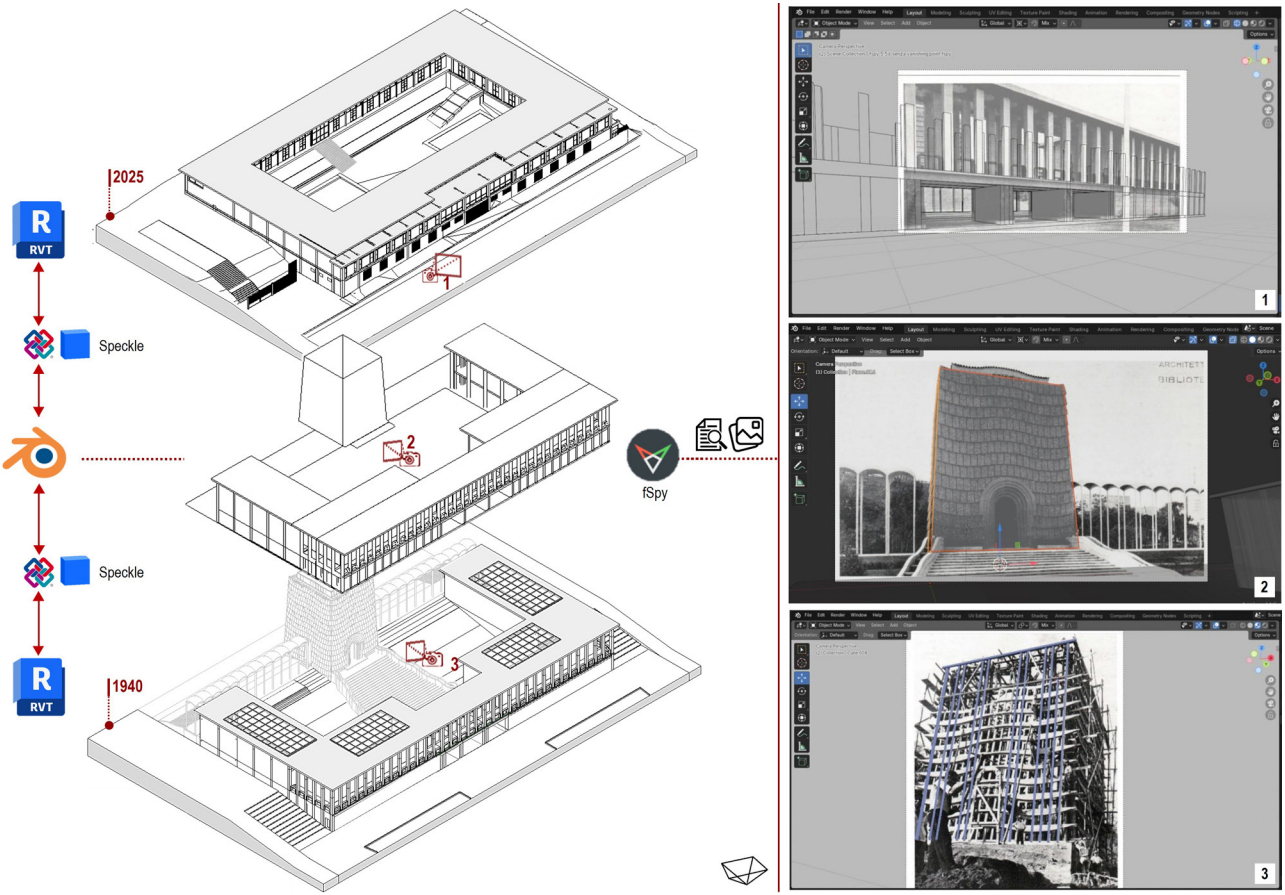


Fig. 8. Workflow operativo per la ricostruzione object oriented degli elementi configurativi originari del Padiglione Oriente, attraverso ricostruzione prospettica inversa da fotografie storiche (elaborazione grafica dell'autore).

Nonostante le ristrutturazioni del 1952, le strutture simboliche più rappresentative del Padiglione Libia sono andate irrimediabilmente perdute, cancellate anche dall'edificazione – negli anni '60 – del Centro Bowling Oltremare, sorto sull'area più rappresentativa del complesso.
Oggi non è più facile percepire la monumentalità che caratterizzava il padiglione al tempo della sua realizzazione, articolato intorno a un ampio spazio verde e contraddistinto da elementi simbolici come la Moschea Bianca con minareto, il marabutto e le botteghe artigianali [Amore, Aveta 2021], oggi completamente perduti. Tuttavia, dall'analisi dei disegni e dei rilievi aerofotogrammetrici è possibile ricostruire i tracciati regolatori del padiglione definiti da una ritmica espressa da un modulo A (ca. 10 piedi romani) che detta l'organizzazione degli spazi analogamente a quanto riscontrato nel Padiglione Rodi.
Tuttavia, la composizione plano-volumetrica del padiglione non può essere ricostruita con certezza sulla base dei soli elaborati progettuali disponibili, a causa della carenza di dati altimetrici puntuali; ciò richiede pertanto un approccio ricostruttivo digitale indiretto, fondato sulla correlazione critica tra fonti iconografiche ed elementi residuali. In questo contesto, le immagini d'epoca rappresentano fonti preziose per restituire la percezione spaziale e la valenza simbolica degli assetti volumetrici perduti e altrimenti non documentati, se riconducibili a un sistema metrico coerente con il modello digitale rappresentativo dello stato dei luoghi.

Dal dato iconografico alla forma digitale: immagini e visioni degli spazi perduti

Per supportare la ricostruzione digitale della memoria storica dei luoghi de «l'ultimo e forse il più efficace esempio dell'evoluzione delle rappresentazioni coloniali italiane» [McLaren 2011, p. 28], non completamente documentati dagli elaborati progettuali originari – che, pur costituendo la principale fonte sull'assetto originario, risultano talvolta parziali o semplificati, con omissioni di dettagli formali e costruttivi dovute all'adattamento alla scala di restituzione scelta –, gli strumenti della rappresentazione digitale offrono procedure di modellazione in grado di ricavare dalle immagini prospettiche d'epoca informazioni sulle forme e sui dettagli architettonici visibili, a seconda della qualità delle fonti, validando o confutando ipotesi ricostruttive precedenti [Giammusso 2014] e consentendo l'analisi e

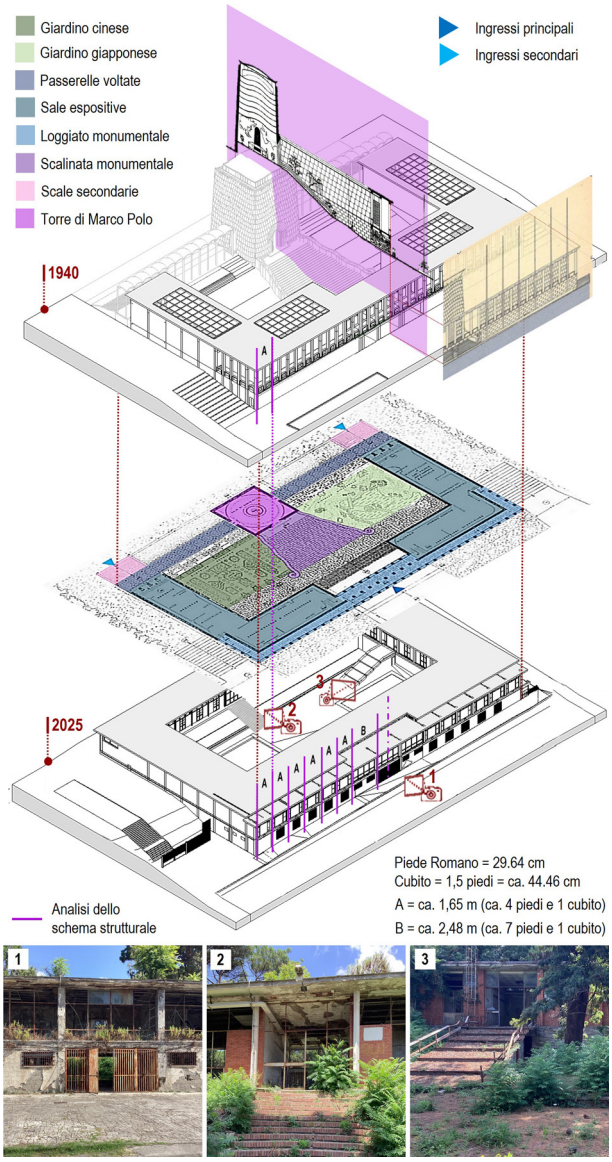


Fig. 9. Ricostruzione digitale del Padiglione Oriente, basata sull'integrazione della documentazione storica [pubblicate in AA.VV. 1941, p. 55; Siola 1990, p. 130] e sull'analisi spaziale e funzionale degli ambienti nella configurazione originaria, confrontata con lo stato attuale dei luoghi (elaborazione grafica dell'autore).

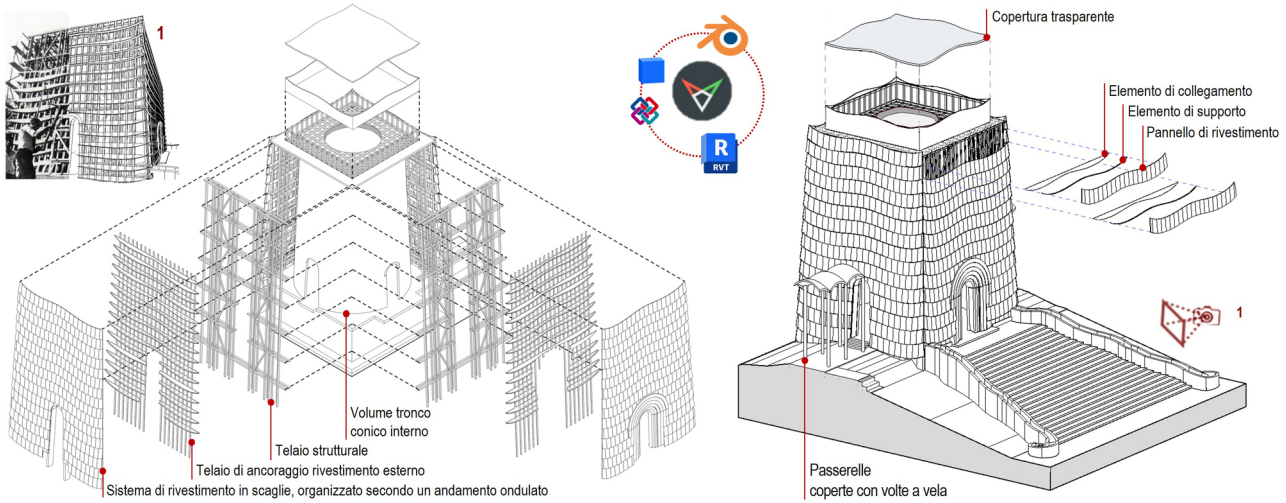


Fig. 10. Ricostruzioni digitali esplose, basate sulle immagini storiche, che illustrano le componenti strutturali e formali della Torre Marco Polo.

la ricostruzione delle configurazioni originarie di quei manufatti profondamente trasformati e con un *corpus* documentario limitato, come il Padiglione Oriente e quello dell'A.O.I.
In particolare, l'interoperabilità tra *Blender* e *Revit* (fig. 8), garantita tramite *Speckle*, ci consente di integrare la descrizione digitale *ex ante* di un luogo non solo attraverso i documenti grafico-tecnici convenzionali, ma anche sfruttando gli scorci delle fotografie d'epoca. Queste ultime vengono analizzate tramite lo strumento *freeware fSpy* che stima i parametri intrinseci ed estrinseci della fotocamera, configurando scenari prospettici a uno, due o tre punti di fuga, e garantendo un accurato allineamento geometrico tra modello digitale dello stato dei luoghi e immagini storiche. Difatti, per edifici principalmente documentati da vedute fotografiche, spesso caratterizzate da una carenza di informazioni sui parametri di orientamento interno della camera, la modellazione si fonda sull'analisi preliminare degli elementi invarianti, ovvero quei elementi architettonici che conservano posizione, orientamento e proporzioni originarie rispetto alle evidenze rilevate *in situ*. Tali elementi costituiscono la struttura portante del modello prospettico-ricostruttivo, permettendo di adattare i disegni al reale, ricostruire rapporti plano-altimetrici ed elementi di dettaglio non documentati, nonchè restituire una rappresentazione coerente e filologicamente fondata delle configurazioni originarie.
Per il Padiglione Oriente (fig. 9), il cui prospetto anteriore e la sezione trasversale non consentono di descrivere integralmente il piano progettuale realizzato nel '40, le immagini storiche possono essere ricondotte a strumenti metrici capaci di restituire non solo la forma complessiva, ma anche le qualità percettive e compositive, permettendo la ricostruzione di elementi altrimenti non documentati. L'edificio, oggetto di profonde trasformazioni – eoggi interdetto al pubblico da una recinzione in ferro che delimita anche l'area del vicino Padiglione Rodi –, conserva solo in minima parte la raffinata scenografia e la suggestione di un microcosmo orientale che caratterizzava l'originaria configurazione secondo un duplice registro stilistico: severo e solenne all'esterno, delicato e orientale all'interno.
Il corpo di fabbrica quadrilatero conserva poche tracce delle strutture pregresse, tra le quali alcuni pilastri che componevano il prospetto principale su via Marco Polo, sufficienti a restituire la scansione ritmica dell'originario loggiato aperto del secondo ordine, razionalmente

organizzato secondo un modulo pari alla metà di quello attuale *A* di 1,65 m ca. (ca. 4 piedi romani e 1 cubito) e impostato su un alto basamento continuo, interrotto solo da soli tre grandi portali, ornati da bassorilievi, che costituivano i principali accessi al padiglione.
La mappatura dei *marker* relativi alle vedute aeree e terrestri ha consentito di ricostruire la scansione in elevazione dei prospetti e la quota dell'originaria copertura rispetto allo stato attuale, mettendo in luce le differenze introdotte con la riorganizzazione dell'edificio in Padiglione delle Attività Creditizie e Assicurative nel 1952, e di ricostruire l'articolazione del corpo posteriore perduto, il cui fulcro era la Torre di Marco Polo. Realizzata con una struttura intelaiata in legno (fig. 10), la Torre era inserita in un impianto scenografico fortemente assiale concepito per guidare il visitatore in un percorso percettivo e simbolico dall'esterno verso il cortile centrale del padiglione, organizzato in due giardini – uno cinese, l'altro giapponese – che fungeva da luogo di mediazione prima dell'ascesa alla Torre tramite l'ampia gradonata. Il percorso espositivo era fortemente orientato e accentuato dalla monumentalità della gradonata, dal profilo planimetrico strombato e caratterizzato da parapetti plastici ad andamento sinuoso, che enfatizzava la verticalità di una Torre concepita come un volume compatto a pianta quadrata, rivestito da superfici modulari a scaglie sovrapposte che, esaltate dai giochi di luce e ombra, richiamavano materiali e motivi ornamentali di ispirazione orientale, come documentato da sezioni e rilievi storici.
L'illuminazione zenitale della torre accentuava la solennità dello spazio, conferendo al contempo un senso di sospensione e leggerezza. Da questo punto, il percorso simbolico si sviluppava in un doppio senso circolare attraverso due sottili porticati disposti sul lato nord, sormontati da volte a vela poggianti su esili pilastrini, che conducevano il visitatore alle sale espositive laterali e al loggiato aperto del fronte principale, garantendo continuità tra spazi interni ed esterni, espressione di un'idea-guida del progetto secondo la quale architettura e paesaggio dovevano coesistere in un'unica esperienza totalizzante, oggi nuovamente percepibile tramite il modello *object-oriented*.
Il modello digitale diventa, pertanto, uno strumento ermeneutico, in grado di rendere intelligibili forme e strutture cariche di retorica propagandistica, come evidente nella ricostruzione del Padiglione A.O.I (fig. 11). Un «luogo nel luogo», documentato come il più importante

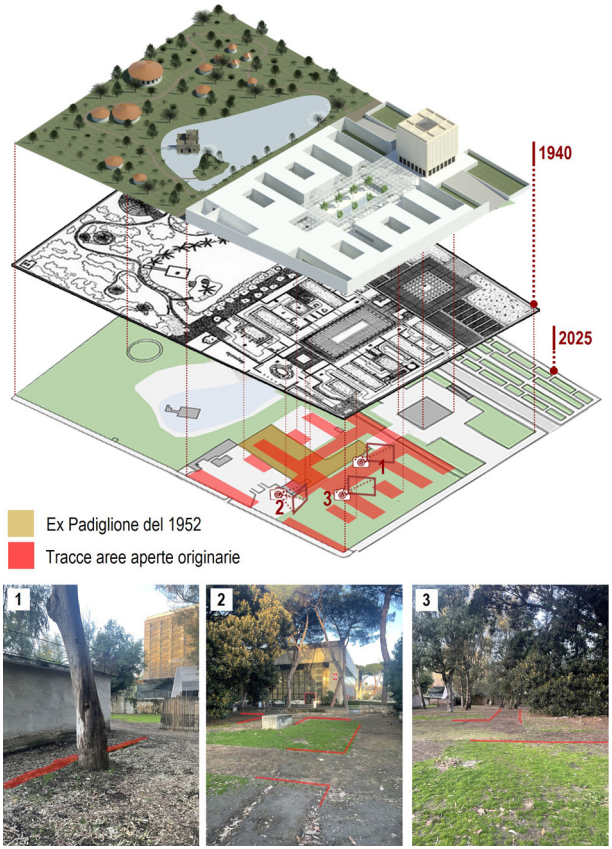


Fig. 11. Ricostruzione digitale del Padiglione A.O.I, a partire dal progetto planimetrico originario [documentazione storica pubblicata in AA.VV. 1941, p. 41] e dal rilievo delle evidenze ancora presenti in situ. Si noti come lo schema del Padiglione realizzato nel 1952 e organizzato secondo una articolazione asimmetrica rispetto al Cubo d'Oro, si adatti alle tracce delle originarie strutture del Padiglione A.O.I. (elaborazione grafica dell'autore).

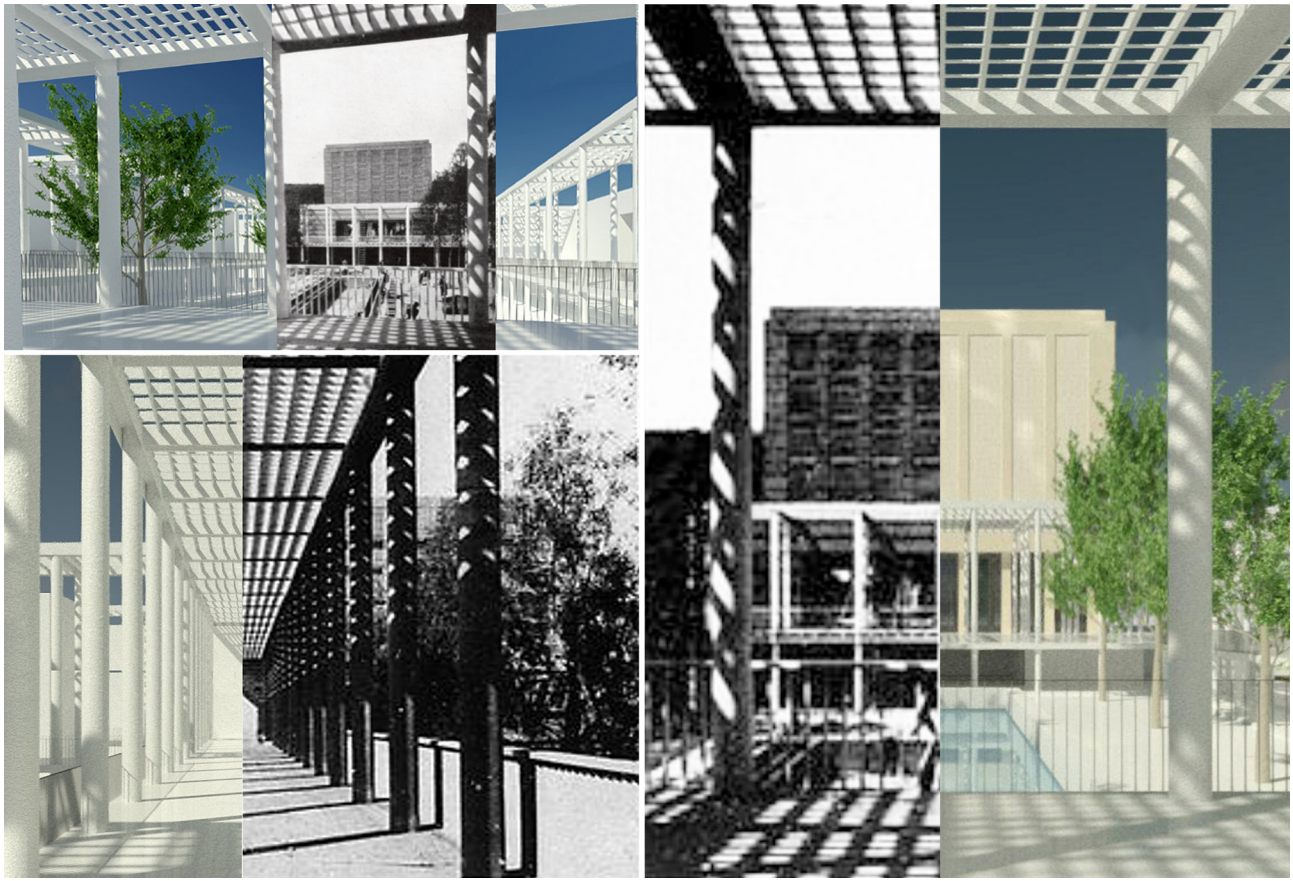


Fig. 12. Viste del suggestivo percorso tra le passerelle del Padiglione A.O.I, nel confronto con le vedute storiche [AA.VV. 1941, p. 42; AA.VV. 1940d] (elaborazione grafica dell'autore).

possedimento d'oltremare [Pagano 1990, p. 126], realizzato intorno al Cubo d'Oro che «si leva[va] quasi a mezz'aria nello sfondo dei colli flegrei» [A.A.V.V. 1940c, p. 54], rivestito di mosaici dorati di ispirazione neo-egizia che evocava la *grandeur* delle grandi civiltà del passato, richiamando per analogia ideologica l'Impero Romano che ha lasciato in Africa una significativa traccia architettonica [Carli 2005]. Dal Cubo si sviluppava un percorso di passerelle (fig. 12), sostenute da esili pilastri a sezione circolare e coperte da frangisole in pannelli grigliati (fig. 12), che conducevano ai sette padiglioni dedicati alle colonie italiane del Corno d'Africa (Eritrea, Somalia, Harar, Hamar, Galla e Sidama, Scioa) [Labanca 2025]. Nonostante questi edifici siano oggi completamente perduti, i rilievi (fig. 11) evidenziano come la trasformazione post-bellica, che portò nel 1952 alla costruzione dell'ex Padiglione del Lavoro Italiano in Africa su progetto di Giulio De Luca [Renzi 2012], si sia adattata alla configurazione originaria: l'articolazione dei padiglioni originari risulta ancora leggibile attraverso la sistemazione del verde, che segue le aree aperte dell'impianto originale e fornisce elementi utili alla ricostruzione planimetrica dei manufatti.
Inoltre, l'originario assetto si completava sul lato occidentale con il Bagno di Fasilides, suggestiva riproduzione del Castello etiope di Gondar, e un villaggio comprendente una chiesa copta, *tucul* [Ascione 2021, p. 154], *hudmò* e *ghebì* [Palomba 2021, p. 572]. Il visitatore, attraversando queste ambientazioni, era immerso in atmosfere mutevoli, oggi nuovamente percepibili grazie alla ricostruzione digitale.

Tali modelli, lungi dal limitarsi a simulazioni grafiche, diventano strumenti interpretativi per leggere criticamente le relazioni spaziali e compositive, le connessioni tra struttura e forma, i principi costruttivi e formali del progetto originario, e per supportare future attività di conoscenza, trasmissione e valorizzazione di significativi segmenti del patrimonio architettonico moderno.

Conclusioni e sviluppi futuri

Il programma figurativo analizzato rivela un'invenzione architettonica in cui dimensione strutturale ed espressione formale concorrono a costruire un messaggio autocelebrativo che, arricchito da suggestioni esotiche tipiche dei riferimenti d'Oltremare, cela l'ossessione identitaria dei codici tradizionali del regime. Si tratta di una narrazione architettonica indiretta, oggi difficilmente percepibile a causa delle configurazioni in gran parte perdute, che integra richiami alla classicità e alla romanità rivelabile solo attraverso una reinterpretazione digitale dei luoghi. In questo contesto, l'integrazione di dati eterogenei analogico-digitali in un modello informativo relazionale, concepito come "sistema aperto di conoscenza", rappresenta un'opportunità per rivelare l'ordine di significato di spazi ed elementi residuali e, anche attraverso nuove modalità di condivisione e fruizione AR/VR, raccontare molte delle architetture perdute o inaccessibili del Settore Geografico della Mostra, diventando al contempo uno strumento di valorizzazione del patrimonio architettonico.

Crediti e ringraziamenti

Lo studio si inquadra in una ricerca in corso, promossa nell'ambito delle attività del REMlab (Laboratorio di Rilievo e Modellazione) del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale, orientata alla costruzione di un modello integrato per la gestione e la fruizione digitale del vasto patrimonio architettonico del complesso Mostra. Si ringraziano: l'Ente Mostra d'Oltremare, nelle persone del Presidente Remo Minopoli e dell'arch. Pio Nicola Perfetto (Responsabile tecnico), per la disponibilità a consentire l'accesso ai siti per l'acquisizione dei dati metrici e documentari; ing. Erika Elefante, i dott. Giuseppe Allocca e Luigi Boccia, per la collaborazione alle attività di elaborazione dei dati; il Resilab, con particolare riferimento al responsabile prof. Giovanni Pugliano e al dott. Ermanno Marino, per la messa a disposizione delle strumentazioni utili all'esecuzione dei rilievi.

Note

[1] L'archivio, afferente al Dipartimento Progettazione, Design, tecnologia dell'Artchitettura (PTDA) di Sapienza Università di Roma, è consultabile in *open access* al sito: <https://www.archivioluigipicci nato.it/> (ultimo accesso 20 settembre 2025).

[2] L'Archivio conserva un patrimonio grafico-documentario ricco e articolato, la cui consultazione è stata resa possibile grazie all'Accordo Quadro tra il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II (responsabili scientifici: prof. Pierpaolo D'Agostino e ing. Giuseppe Antuono) e l'Ente Mostra d'Oltremare S.p.A. (responsabili scientifici: dott. Remo Minopoli e arch. Pio Nicola Perfetto).

Autore

Giuseppe Antuono, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II, giuseppe.antuono@unina.it

Riferimenti bibliografici

AA.VV. (1939a). Le Isole italiane dell'Egeo baluardo Orientale dell'Impero. In *Africa italiana. Pubblicazione mensile dell'Istituto fascista dell'Africa italiana*, Anno II, n. 11, settembre 1939-XVII, pp. 1-32.

AA.VV. (1939b). Albania, 1939. In *Istituto Di Studi Adriatici* (Ed.). Venezia: Officine Tipografiche C. Ferrari.

AA.VV. (1940a). *Prima Mostra Triennale delle Terre italiane d'Oltremare, Napoli 9 maggio-15 ottobre 1940 XVIII. Documentario*. Napoli: Edizioni della Mostra d'Oltremare.

AA.VV. (1940b). La prima Mostra Triennale delle Terre Italiane d'Oltremare a Napoli. In *Emporium*, XCII, n. 548, 8 agosto 1940, pp. 76-103.

A.A.V.V. (1940c). La Triennale d'Oltremare. *Napoli. Rivista Municipale*, nn. 3-4, pp. 42-66.

A.A.V.V. (1940d). La Triennale d'Oltremare. In *Domus*, n. 150, , pp. 22-24.

AA.VV. (1941). Prima Mostra delle Terre Italiane d'Oltremare. In *Architettura: rivista del Sindacato nazionale fascista architetti*, numero monografico 1-2. Milano: Garzanti Editrice, pp. 1-88.

AA.VV. (1952). La Mostra d'Oltremare e del Lavoro Italiano nel Mondo. In *Napoli. Rivista Municipale*, nn. 6-7, giugno-luglio 1952, pp. 14-29.

Agnello, F. (2023). *La memoria fotografica dell'architettura. Restituzioni prospettiche e ricostruzioni.* Milano: FrancoAngeli. <https://series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/view/929/781/5358>.

Amore, R., Aveta, A. (2021). La Mostra d'Oltremare, tra piani urbanistici e dimensione metropolitana. In A. Aveta, A. Castagnaro, F. Mangone (Eds.). *La Mostra d'Oltremare nella Napoli occidentale. Ricerche storiche e restauro del moderno*, pp. 239-248. Napoli: FedOA - Federico II University Press.

Antuono, G., Elefante, E., Vindrola, P. G., D'Agostino, P. (2024). A Methodological Approach for an Augmented HBIM Experience: The Architectural Thresholds of the Mostra d'Oltremare. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLVIII-2/W4, pp. 9-16. <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-2-W4-2024/9/2024/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-9-2024.pdf> (consultato il 15 dicembre 2025).

Antuono G., Elefante E. (2024). Rilievo e modellazione parametrica generativa per l'analisi storico-geometrica dell'architettura espositiva. In F. Bergamo, A. Calandriello, M. Ciammaichella, I. Friso, F. Gay, G. Liva, C. Monteleone (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, pp. 721-746. Milano: FrancoAngeli.

Arena, G. (2012). *Napoli 1940-1952. Dalla prima Mostra Triennale delle terre italiane d'Oltremare alla prima Mostra Triennale del lavoro italiano nel mondo*. Napoli: Fioranna.

Ascione, P. (2021). Costruire per la Mostra: sperimentazione e pensiero tecnico tra progresso e autarchia. In A. Aveta, A. Castagnaro, F. Mangone (Eds.). *La Mostra d'Oltremare nella Napoli occidentale. Ricerche storiche e restauro del moderno*, pp. 149-158. Napoli: FedOA - Federico II University Press.

Aveta, A., Castagnaro, A., Mangone, F. (Eds.). (2021). *La Mostra d'Oltremare nella Napoli occidentale. Ricerche storiche e restauro del moderno*. Napoli: FedOA - Federico II University Press.

Barba, S., Limongiello, M., Parrinello, S., Dell'Amico, A. (Eds.) (2020). D-Site. *Drones. Systems of Information on culTural hEritage. For a spatial and social investigation, ,* vol. 1. Pavia: Pavia University Press. <https://www.paviauniversitypress.it/catalogo/d-site/5639> (consultato il 15 dicembre 2025).

Belli G. (2016). Un altro sguardo: Federico Patellani (1911-1977) e la Mostra Triennale delle Terre Italiane d'Oltremare. In A. Berrino, A. Buccaro (Eds.). *Delli Aspetti de Paesi. Vecchi e nuovi Media per l'immagine del Paesaggio*, Tomo I, pp. 593-602. Napoli: FedOA - Federico II University Press.

Belli Pasqua, R., Caliò, L.M., Menghini, A. B. (Eds.). (2017). *La presenza italiana in Albania tra il 1924 e il 1943. La ricerca archeologica, la conservazione, le scelte progettuali.* Roma: Edizioni Quasar.

Biancale, M. (1940). La prima Mostra Triennale delle Terre Italiane d'Oltremare, Napoli, Maggio-Ottobre 1940. In *Le Arti*, a. III, fasc. I, ottobre-novembre, pp. 54-57.

Capano F. (2014). La Mostra delle Terre Italiane d'Oltremare a Napoli: l'antefatto 1936-1939. In S. D'Agostino, G. Fabricatore (Eds.). *History of Engineering / Storia dell'Ingegneria. Proceedings of the International Conference*, Atti del 5° Convegno Nazionale. Napoli, 19-20 maggio 2014, pp. 1225-1237. Napoli: Cuzzolin Editore. <https://www.academia.edu/20637066/Francesca_Capano_La_Mostra_delle_Terre_Italiane_d_Oltremare_a_Napoli_I_antefatto_1936_1939_in_History_of_Engineering_Storia_dell_Ingegneria_Proceedings_of_the_International_Conference_Napoli_2014_a_cura_di_S_D_Agostino_G_Fabricatore_Cuzzolin_Napoli_2014_pp_1225_1237> (consultato il 15 dicembre 2025).

Capozzi, R. (2012). La Mostra d'Oltremare, un 'moderno' recinto di storia. In *Eda Esempi di architettura*, pp. 1-11.

Carli, M. (2005). Ri/produrre l'Africa romana: i padiglioni italiani all'Exposition coloniale internazionale, Parigi 1931. In *Memoria e Ricerca*, n. 17, pp. 1-22.

D'Agostino P., Antuono G., Elefante E., Amore R. (2023). Digital management for the restoration project. The case of the Temple of Venus in Baia. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-2-2023, pp. 461-471 . <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-M-2-2023/461/2023/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-461-2023.pdf> (consultato il 15 dicembre 2025).

Dillon A. (1940). Il valore architettonico del Padiglione dell'Albania. In *Arte Mediterranea*, n. 2-3, marzo-giugno 1940, pp. 4-11

Di Luggo, A., Campi, M. (2021). Questioni metodologiche nel rilievo e nella rappresentazione delle architetture e degli spazi aperti della Mostra d'Oltremare. In A. Aveta, A. Castagnaro, F. Mangone (Eds.). *La Mostra d'Oltremare nella Napoli occidentale. Ricerche storiche e restauro del moderno*, pp. 249-256. Napoli: FedOA - Federico II University Press. <https://arpi.unipi.it/retrieve/e2dd7121-af91-421e-8630-ed929c77ac5b/MDO.pdf>.

Dore, G. (1992). Ideologia coloniale e senso comune etnografico nella Mostra delle Terre Italiane d'Oltremare. In N. Labanca (Ed.). *L'Africa in vetrina. Storie di musei e di esposizioni coloniali in Italia*, pp. 47-65. Treviso: PAGVS Editore.

Giornale Luce C003106. *S. M. il Re Imperatore inaugura a Napoli la Mostra delle Terre Italiane d'Oltremare,* 17/05/1940, Istituto Nazionale Luce. <https://patrimonio.archivioluce.com/luce-web/detail/IL5000013668/2/s-m-re-imperatore-inaugura-napolimostra-terre-italiane-d oltremare.html&jsonVal=> (consultato il 26 luglio 2025).

Hassan, A. T., Fritsch, D. (2019). Integration of Laser Scanning and Photogrammetry in 3D/4D Cultural Heritage Preservation - A Review. In *International Journal of Applied Science and Technology*, vol. 9, n. 4, pp. 76-91.

Labanca, N. (2025). *Oltremare. Storia dell'espansione coloniale italiana*. Il Mulino.

La Settimana INCOM I079201. *Mostra d'Oltremare a Napoli,* 12/06/1952, Cinegiornale Italiano. <https://patrimonio.archivioluce.com/luce-web/detail/IL5000022616/2/-10567.html&jsonVal=> (consultato il 26 luglio 2025).

Fasolo, V. (1960). *Analisi grafica dei valori architettonici*. Roma: Facoltà di Architettura, Università di Roma.

Fiore, E. (Ed.) (1952). *I Mostra Triennale del Lavoro italiano nel Mondo*. Napoli: Edizioni Mostra d'Oltremare.

Giammusso, F. M. (2014). La ricostruzione virtuale come strumento per l'analisi storica dell'architettura. In *FOLIO*, n. 31, pp. 43-46.

Gros P. (Ed.) (1997). *Vitruvio. De architectura*. Torino: Giulio Einaudi Editore.

L'Abbate, M., Moscardin, V. (2017). I padiglioni delle grandi esposizioni mediterranee del Ventennio come strumento di conoscenza: il caso dell'Albania. In G. Belli, F. Capano, M. I. Pascariello (Eds.), *La città, il viaggio, il turismo. Percezione, produzione e trasformazione*, pp. 335-346. Napoli: CIRICE.

Mangone F. (2014). La Mostra d'Oltremare. In A. Aldini, C. Benocci, S. Ricci, E. Sessa (Eds.). *Storia dell'Urbanistica. Numero monografico. Il segno delle esposizioni nazionali e internazionali nella memoria storica delle città. Padiglioni alimentari e segni urbani permanenti,* serie III, a. XXXIII, n. 6, pp. 210-232. Roma: Edizioni Kappa.

Mclaren, B. L. (2011). Rappresentazioni coloniali e nascita della politica imperiale fascista. In G. Arena (Eds.). *Visioni d'Oltremare. Allestimenti e politica dell'immagine*, pp. 15-40. Napoli: Edizioni Fioranna.

Moretti L. (1957). Struttura come forma. In *Spazio*, n.6 (III), pp. 21-30.

Pagano, L. (1990). 1940 - Padiglioni dell'Africa Orientale Italiana: Mario Zanetti, Luigi Racheli, Paolo Zella Mililllo. In U. Siola (Ed.), *La Mostra d'Oltremare e Fuorigrotta,* p. 126. Napoli: Electa.

Palomba, D. (2021). Rappresentazione di luoghi lontani. I villaggi indigeni e il Bagno di Fasilides. In A. Aveta, A. Castagnaro, F. Mangone (Eds.). *La Mostra d'Oltremare nella Napoli occidentale. Ricerche storiche e restauro del moderno*, pp. 571-578. Napoli: FedOA - Federico II University Press. <https://www.iris.unina.it/retrieve/e268a733-1d28-4c8f-e053-1705fe0a812c/2021%20Visone%20MdO%20Bibliografia.pdf> (consultato il 15 dicembre 2025).

Parrinello, S. (2023). Experiences and Strategies of Digital Survey: Drawing Assumptions and Virtual Developments. In S. Parrinello, R. De Marco (Eds.). *Digital Strategies for Endangered Cultural Heritage. Forthcoming Interspecies: Handbook of Research on Strategies and Creative Interdisciplinarity for the Digitization and Safeguard of Endangered Heritage*, pp. 22-37. Pavia: Pavia University Press.

Penta, L. (1940). Il Padiglione dell'Albania alla Prima Mostra Triennale delle Terre Italiane d'Oltremare. In *Arte mediterranea. Rivista bimestrale di arte figurativa*, a. XVIII, n. 2-3, marzo-giugno 1940, pp. 18-24.

Piccinato, L. (1977). L'architettura del verde e delle fontane alla mostra Triennale delle Terre d'Oltremare a Napoli. In L. Piccinato (Ed.). *Scritti vari 1925-1974, 1975-1977, pp. 693-705.*

Pietroni, E., Ferdani, D. (2021). Virtual Restoration and Virtual Reconstruction in Cultural Heritage: Terminology, Methodologies, Visual Representation Techniques and Cognitive Models. In *Information*, vol. 12, n. 4. DOI: 10.3390/info12040167.

Poulopoulos, V., Wallace, M. (2022). Digital Technologies and the Role of Data in Cultural Heritage: The Past, the Present, and the Future. In *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 6, n. 3. DOI: 10.3390/bdcc6030073.

Renzi, R. (2012). Regime e rappresentazione. Il padiglione italiano in Africa ed il padiglione Albania alla Mostra Triennale delle Terre d'Oltremare del 1940. In *Bloom*, n. 13, pp. 73-77.

Russo, M., Guidi, G. (2011). Reality-based and reconstructive models: digital media for cultural heritage valorization. In *SCIentific RESearch and Information Technology* (SCIRES-IT), vol. 2, n. 4, pp.71-86. 86. DOI: 10.2423/i22394303v1n2p71.

Serlio S. (1584). *I sette libri dell'architettura*, F. Irace (Ed.). Bologna: Forni, Bologna.

Siola, U. (1990). *La Mostra d'Oltremare e Fuorigrotta*. Napoli: Electa.

Trizio, I., Demetrescu, E., Ferdani, D. (2021). Virtual reconstruction and restoration. Comparing methodologies, practices, and experiences. In *DisegnareCon*, vol. 14, n. 27, <https://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/view/1005/535> (consultato il 15 dicembre 2025).

Ugo, V. (1994). *Fondamenti della rappresentazione architettonica.* Bologna: Progetto Leonardo.

Verdiani, G. (2017). *Retroprogettazione Metodologie ed Esperienze di Ricostruzione 3D Digitale per il Patrimonio Costruito*. Firenze: Dida Press.

La Cappella Palatina svelata. Metodi e strumenti per l'interpretazione geometrica della Cattedrale di Aachen

Martina Attenni, Carlo Bianchini, Marika Griffo

Abstract

Lo studio presenta un flusso di lavoro integrato che combina il rilievo digitale e la modellazione 3D per l'analisi geometrica delle superfici architettoniche, con applicazione al sistema voltato della Cappella Palatina, nucleo carolingio della Cattedrale di Aachen. Dal 2022, è stata avviata una ricerca collaborativa che ha portato alla realizzazione di un esteso rilievo tridimensionale dell'intero complesso. Sulla base di questi dati, l'indagine ha affrontato la morfologia delle strutture voltate, concentrandosi sulla loro genesi geometrica. La cappella è organizzata attorno a un ottagono centrale a tripla altezza, circondato da due deambulatori che mediano la transizione verso un perimetro poligonale a 16 lati. L'ambulacro inferiore, coperto da volte a crociera su campate quadrangolari e triangolari alternate, genera uno spazio altamente permeabile. L'ambulacro superiore risulta invece più articolato, definito da archi a tutto sesto che strutturano il ritmo spaziale in pianta e in alzato, con cappelle radiali e settori triangolari di raccordo.
L'analisi ha distinto i principi geometrici delle volte triangolari e quadrangolari, mettendo a confronto i dati di rilievo con modelli teorici. Il flusso di lavoro proposto si è dimostrato efficace nel collegare la conoscenza costruttiva di quell'epoca con l'analisi morfologica, chiarendo la relazione tra l'intento progettuale e la forma costruita. I risultati forniscono nuove evidenze sui processi costruttivi medievali, sui modelli di riferimento e sulle competenze tecniche necessarie per realizzare sistemi voltati complessi.

Parole chiave: rilievo e modellazione 3D, volte altomedievali, Cappella Palatina, Cattedrale di Aachen, stereotomia

Introduzione

Nel quadro del più vasto *Aachen Cathedral Project* [1], lo studio si concentra sulle volte degli ambulacri anulari che contornano il grande ottagono centrale della Cappella Palatina, con l'obiettivo di indagarne la geometria e la logica costruttiva. Come illustrato da Schindler [Pieper, Schindler 2017], la cappella propone un'articolazione verticale a più livelli sia per la cintura esterna degli ambulacri, sia per l'ottagono centrale. A questa segmentazione in alzato si aggiunge una sequenza orizzontale che, livello per livello, distingue zone via via meno "pubbliche" dall'ingresso verso le aree riservate ai celebranti (fig. 1).
Al piano terra è possibile identificare un ambulacro radiale composto da una successione di ambienti poligonali alti un piano, probabilmente riservati ai fedeli come in una chiesa parrocchiale (in blu e azzurro) contrapposti a uno spazio a tripla altezza interno all'ottagono centrale riservato invece ai chierici (in verde). Al piano superiore, dato il vuoto centrale, lo schema distributivo prevedeva il settore addossato al *Westwerk* riservato all'imperatore mentre il resto dell'ambulacro era probabilmente destinato a ospitare i componenti della corte. Opposti al *Westwerk* su entrambi i livelli erano invece collocati gli altari (in rosso) che risultavano entrambi visibili dal trono imperiale.
Come già discusso [Bianchini 2024], questa conformazione spaziale della Cappella Palatina si dimostra altamente dissonante per effetto proprio delle opposte tensioni tra gli

 BY-NC-ND

ambulacri. Queste tensioni, centripete al piano terra, centrifughe al primo piano, sembrano trovare solo nel vuoto centrale a tripla altezza una loro instabile composizione.
Assieme ad altre evidenze, questo sofisticato impianto porta a ipotizzare che la Cappella Palatina sia il prodotto di un programma estremamente chiaro nella mente del progettista che rigorosamente calibra il ruolo, la forma e il funzionamento delle varie componenti architettoniche proprio in funzione del perseguimento di tale obiettivo. La inusuale geometria che si ritrova nel complesso sistema voltato degli ambulacri, oltre a rivelare conoscenze e competenze apparentemente non coerenti con il *know-how* dell'VIII secolo, rafforza l'idea che la Cappella Palatina sia il prodotto di un progetto unitario, sostanzialmente olografo e rigorosamente controllato dalla progettazione alla realizzazione. Questo suggerisce l'esistenza di un unico progettista dotato di forte autonomia che sembra rispondere al nome di Odone da Metz.

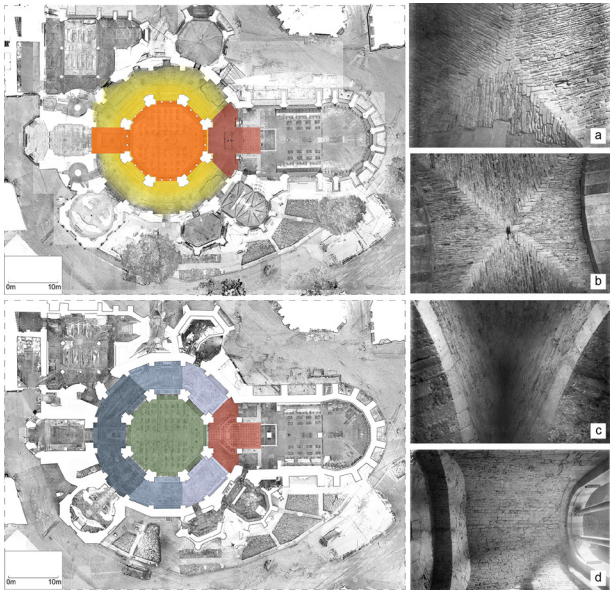


Fig. 1. A sinistra: organizzazione degli spazi della Cappella Palatina secondo Schindler. piano terra per fedeli (blu) e chierici (verde); oratorio imperiale ottagonale (arancio); primo piano per la corte (giallo); santuari ai due livelli (rosso). A destra: le tipologie di volte (© Archivio della Cattedrale di Aachen).

La Cappella Palatina

La Cappella Palatina costituisce il manifesto del programma politico e religioso di Carlo Magno, riprendendo, in parte, modelli di tradizione tardoantica e bizantina precedenti l'avvio del cantiere e noti all'imperatore [Ulrike, Beckmann 2012] e introducendo soluzioni originali nei sistemi voltati, che la rendono un *unicum* nel panorama architettonico dell'VIII-IX secolo. Il confronto con gli edifici coevi conferma questa peculiarità [Pieper, Schindler 2017; Attenni et al. 2023]. A differenza di quanto avviene nella Basilica di San Vitale a Ravenna, ad esempio, dove le gallerie sono arretrate e la cupola è alleggerita con tubi fittili, ad Aachen la muratura è integralmente in conci di pietra e laterizi, e la continuità spaziale degli ambulacri fino al cuore ottagonale conferisce all'insieme una marcata unità visiva e distributiva. Altri esempi di architettura a pianta centrale, come il Mausoleo di Santa Costanza a Roma o la Basilica di San Gereone a Köln, condividono con la Cappella carolingia la ricerca di un'unità compositiva ma non presentano una sperimentazione paragonabile sotto il profilo delle soluzioni costruttive e geometriche. In questo senso, la Cappella Palatina può essere considerata non solo come rielaborazione di modelli esistenti, ma come momento di avanzata sperimentazione geometrica e costruttiva, e la differenziazione tra i due livelli dell'ambulacro rende particolarmente evidente questa ricerca. Al piano inferiore si sviluppa un sistema di volte a crociera (figg. 1a, 1b), disposte su campate quadrangolari e triangolari, che garantiscono una continuità visiva e distributiva in linea con la funzione processionale dello spazio. Al contrario, al piano superiore lo spazio appare più articolato: archi a tutto sesto collegano i pilastri interni a quelli addossati alla muratura esterna, suddividendo l'ambulacro in campate chiaramente definite (figg. 1c, 1d). Qui le cappelle radiali introducono un'alternanza tra spazi aperti e altri più raccolti, destinati a funzioni liturgiche specifiche, mentre i settori triangolari costituiscono elementi di connessione tra le volte a botte inclinate e la maglia strutturale esterna.

Obiettivi della ricerca

Le campagne di rilievo condotte dal 2022 al 2024 hanno fornito un modello numerico tridimensionale, la cui analisi geometrica ha reso evidente come i diversi sistemi voltati siano stati concepiti secondo logiche geometriche distinte ma coordinate, esprimendo un'articolazione progettuale che travalica la semplice funzione strutturale.

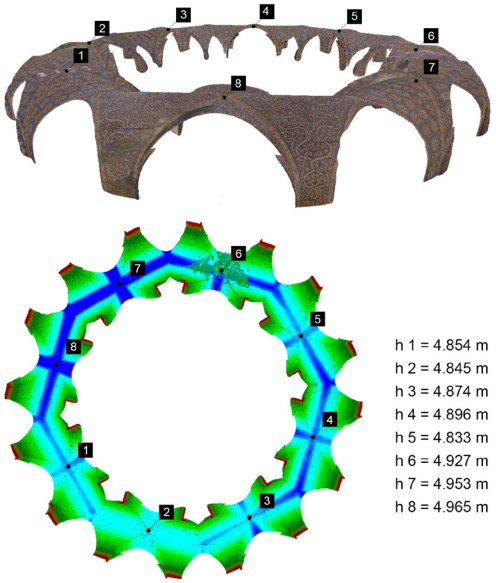


Fig. 2. In alto: vista del modello numerico delle volte a crociera; in basso: visualizzazione della elevation map e analisi delle quote dei colmi delle volte su base quadrangolare (elaborazione degli autori).

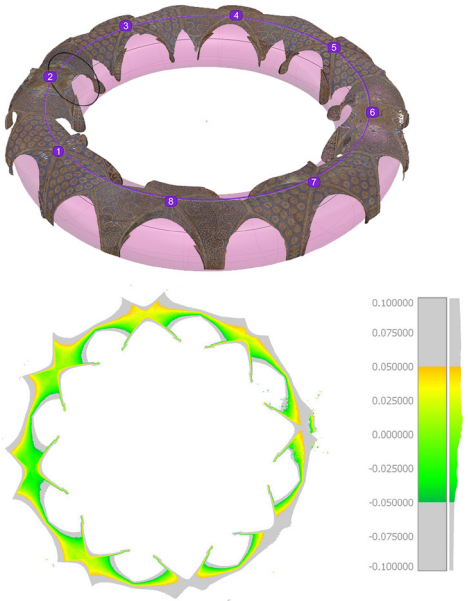


Fig. 3. In alto: modellazione della volta anulare; in basso: distanza cloud-to-mesh nel range di ± 5cm (elaborazione degli autori).

La ricerca si pone un duplice obiettivo: da un lato, chiarire i principi generativi delle diverse tipologie di volte; dall'altro, indagarne il significato nel quadro più ampio della cultura architettonica carolingia, valutando se derivino da conoscenze consapevoli o da risposte pragmatiche ai vincoli costruttivi e distributivi. Lo studio definisce il ruolo della Cappella Palatina come laboratorio di sperimentazione geometrica, capace di integrare esigenze statiche, simboliche e funzionali in un linguaggio architettonico innovativo.

Genesi geometrica delle volte a crociera

L'ambulacro inferiore della cappella Palatina si presenta come un anello continuo che circonda l'ottagono centrale, scandito da campate di forma quadrangolare e triangolare, coperte da volte a crociera. La prima ipotesi valutata considerava tali superfici come il risultato dell'intersezione tra una volta anulare e superfici cilindriche radiali. La verifica di questa ipotesi è stata condotta analizzando direttamente i dati di rilievo, visualizzando i valori delle quote dei colmi messi in evidenza dalla *elevation map* [2]. La visualizzazione di questi valori ha messo in evidenza che i colmi non si collocano tutti sullo stesso piano né su un'unica circonferenza come ci si aspetterebbe da una costruzione derivata da un toro. Per confermare l'affidabilità del risultato, queste evidenze grafiche sono state verificate tramite misurazioni sulla nuvola di punti, concentrando l'attenzione sulla verifica diretta della regolarità delle quote all'intradosso dei colmi delle volte. Le altezze misurate variano tra un minimo di 4,83 m (campata 5) e un massimo di 4,96 m (campata 8), con uno scarto complessivo di circa 13 cm. Per la maggior parte delle campate (dalla 1 alla 5 e dalla 6 alla 8) lo scostamento si mantiene entro un valore pari a ± 2-3 cm, ma tra le campate 5 e 6 si registra una discontinuità più marcata, che potrebbe riflettere una fase di cantiere differenziata o una successiva deformazione della struttura (fig. 2).

Per verificare che i colmi non sono effettivamente disposti lungo una circonferenza, si è proceduto con la costruzione di un toro ideale ottenuto dallo scorrimento di una circonferenza costruita come la media delle circonferenze ottenute sezionando il tracciato dell'anello con piani verticali radiali: tale circonferenza ha un raggio di 2,32 m, risultato dalla media di raggi compresi tra 2,27 e 2,38 m.
La comparazione tra la superficie così generata e la nuvola di punti ha evidenziato scostamenti significativi: solo una ridotta porzione dei dati rientrava in un *range* di tolleranza di ± 5 cm (fig. 3). Questo risultato, corroborato dalla lettura delle *elevation maps*, ha portato a scartare l'ipotesi di una generazione anulare delle crociere. Un'ulteriore conferma si ottiene interpolando i colmi delle volte a crociera all'interno di un poligono. Questo poligono risulta essere un ottagono con i lati che mediamente misurano 8,85 m, ad eccezione di uno, che presenta una lunghezza maggiore (8,99 m) e che richiama, per ovvie ragioni, l'ottagono che definisce l'impianto originario della Cappella Palatina [Buchkremer 1955]. Scartata l'ipotesi del toro, l'analisi è stata orientata verso la ricostruzione delle crociere come intersezione di superfici cilindriche.
Per le volte a crociera impostate su base quadrangolare, sono stati individuati due cilindri con raggi rispettivamente pari a 2,52 m e 2,32 m, le cui intersezioni definiscono i profili delle nervature di imposta. Per le crociere su base triangolare, invece, è stato necessario considerare un sistema più complesso, derivato dall'intersezione di tre cilindri: due in continuità con le volte quadrangolari, di raggio 2,33 m, e un terzo con raggio minore, pari a 1,99 m, utile a raccordare la campata triangolare con l'impianto generale. La modellazione di queste superfici ha permesso di generare modelli ideali di crociere quadrangolari e triangolari, successivamente confrontati con la nuvola di punti. La comparazione ha mostrato una buona coerenza complessiva tra i modelli teorici e le geometrie effettivamente rilevate, con scostamenti generalmente contenuti entro entro un valore di ± 3 cm, compatibili con le tolleranze costruttive medievali e con eventuali deformazioni accumulate nei secoli [3]. Tuttavia, alcuni punti localizzati rivelano differenze di maggiore consistenza, soprattutto nelle zone di raccordo tra campate triangolari e quadrangolari (figg. 4, 5).
Tali discrepanze possono essere interpretate come il risultato di una certa flessibilità esecutiva, che privilegiava l'adeguamento progressivo in corso d'opera.
Dal punto di vista costruttivo, le crociere del piano terra pongono interrogativi interessanti. L'assenza di archi

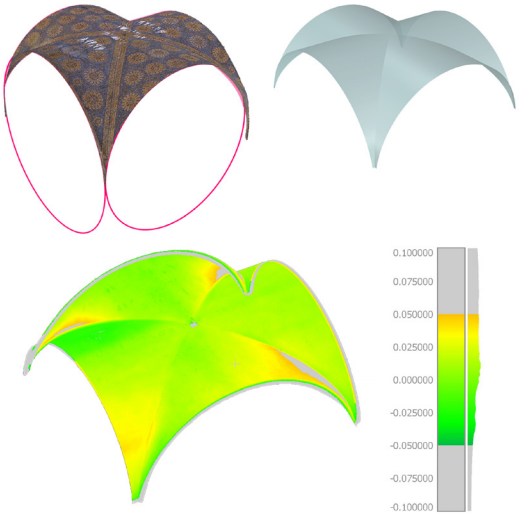


Fig. 4. In alto: modellazione della volta a crociera su base quadrangolare; in basso: distanza cloud-to-mesh nel range di ± 5 cm (elaborazione degli autori).

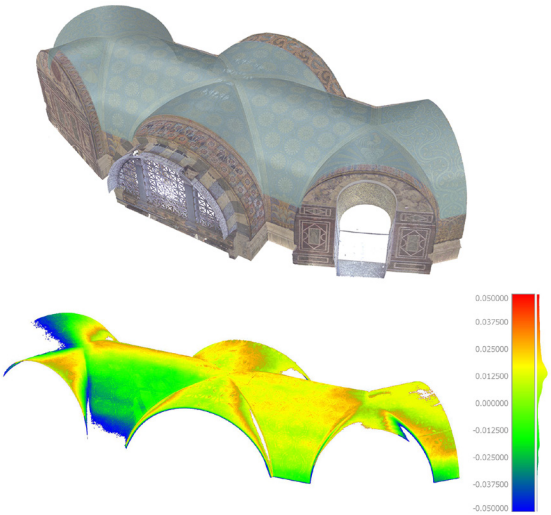


Fig. 5. In alto: modellazione della volta a crociera su base quadrangolare e triangolare; in basso: distanza cloud-to-mesh nel range di ± 5 cm (elaborazione degli autori).

disgiuntivi implica che le superfici voltate venissero impostate direttamente sulle murature, con centine probabilmente modulari riutilizzate per le diverse campate. L'omogeneità delle dimensioni dei cilindri ricostruiti suggerisce l'uso di pochi modelli di centine, adattati di volta in volta per le campate rettangolari o triangolari.
In termini di logica generativa, le crociere dell'ambulacro inferiore sembrano basarsi su un principio geometrico rigoroso – l'intersezione di cilindri – ma declinato a seconda delle condizioni planimetriche. Ciò rivela una padronanza costruttiva notevole, capace di trasformare schemi geometrici relativamente elementari in un sistema articolato e coerente, funzionale sia alla stabilità sia alla resa spaziale.
Il confronto tra i modelli ideali e la realtà costruita, dunque, mette in luce una duplice dimensione: da un lato la volontà progettuale di adottare una regola unitaria basata sulla crociera, dall'altro la necessità di adattamenti puntuali in fase esecutiva. Questa dialettica tra progetto e costruzione costituisce un elemento chiave per comprendere l'organizzazione del cantiere carolingio e la capacità delle maestranze di tradurre principi geometrici in soluzioni concrete.

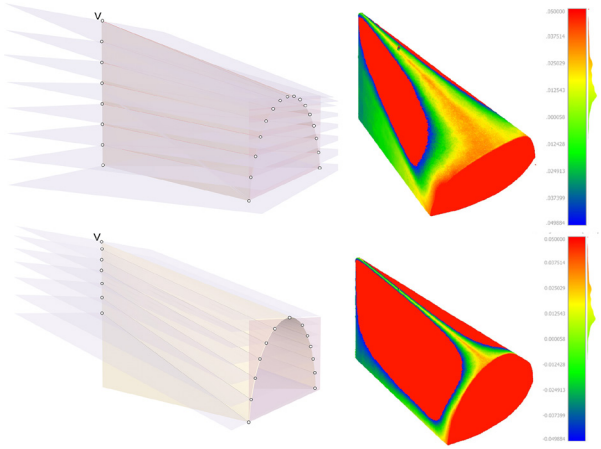


Fig. 6. In alto: conoide generico; in basso: conoide con piano direttore parallelo al piano di imposta. A destra: distanza cloud-to-mesh nel range di ± 5 cm (elaborazione degli autori).

Genesi geometrica delle volte coniche

Dopo l'analisi del sistema voltato del piano terra, la ricerca ha preso in esame la genesi delle volte coniche collocate nell'ambulacro del primo piano [Attenni et al. 2023]. Questa tipologia, che potrebbe sembrare estranea alla tradizione costruttiva dell'VIII secolo [Bianchini 2024], si è rivelata da subito di notevole interesse, sollevando interrogativi significativi sul livello di conoscenza geometrica e tecnica raggiunto in quell'epoca.
Dal punto di vista compositivo, le volte coniche si dilatano verso le pareti verticali esterne della Cappella, disposte a formare un cilindro. Ne deriva che l'intersezione tra la superficie voltata e la parete cilindrica dà origine a un profilo descritto da una curva quartica sghemba. Oltre alla novità architettonica, questa tipologia di curve si presta con difficoltà a essere utilizzata direttamente per la descrizione della geometria del cono come superficie rigata; per questa ragione, è stato necessario individuare una curva piana da assumere come direttrice. A tale scopo, si è scelto di impiegare la curva risultante dall'intersezione tra la volta e un piano verticale passante per i punti in cui la curva quartica incontra il piano di imposta della volta stessa. Questo arco, che approssima molto bene una circonferenza, offre una rappresentazione efficace della direttrice del cono. La soluzione risulta al tempo stesso coerente con una prassi costruttiva plausibile, fondata sull'impostazione di un arco a tutto sesto mediante una centina e sul successivo raccordo con la parete cilindrica.
Sebbene dalle prime indagini risultasse già fortemente plausibile l'impiego di un cono come matrice geometrica di riferimento per la forma delle volte, è stato ugualmente necessario prendere in considerazione altre due tipologie di superficie analogamente credibili nel contesto architettonico:

- una superficie conoidale con direttrice verticale circolare e piano direttore obliquo e parallelo piano di imposta [4];
- una superficie conoidale generica con direttrice verticale circolare (fig. 6).

Il confronto tra le tre superfici ha evidenziato sin da subito come quella conica costituisse il modello più coerente con i dati rilevati. Su questa base è stata avviata la modellazione digitale matematica della volta, interpretata come un cono: le due linee inclinate rispetto al piano di imposta sono state assunte come generatrici, la loro intersezione come vertice *V*, e la circonferenza verticale precedentemente discussa come direttrice.

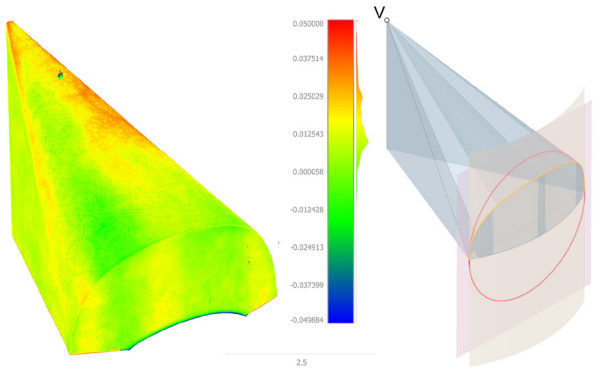


Fig. 7. A sinistra: distanza cloud-to-mesh (± 5 cm) tra la nuvola di punti e cono; a destra: intersezione con il piano verticale (in rosso) e la superficie cilindrica (in arancione) (elaborazione degli autori).

La superficie conica così definita interseca il cilindro che rappresenta la parete esterna lungo una curva quartica, in grado di approssimare con notevole precisione la nuvola di punti acquisita. Per verificare la validità del modello, la superficie è stata poi confrontata con il rilievo tridimensionale attraverso un'analisi *cloud-to-mesh*, che ha restituito una deviazione standard di circa 1 cm e una deviazione massima di 4 cm in corrispondenza delle imposte (fig. 7).
Dopo aver confermato la forte corrispondenza tra la superficie conica e la nuvola di punti acquisita, è stato possibile identificare gli elementi geometrici di descrizione del cono: il suo asse e la base a esso perpendicolare. L'asse è stato individuato impiegando un approccio basato sugli strumenti di analisi tipici della modellazione matematica [Salvatore 2012a]. In primo luogo, si passa per la costruzione di una sfera generica con il centro nel vertice del cono. L'intersezione tra questa sfera e la superficie conica genera una curva quartica (fig. 8a) che delimita un solido compreso tra quest'ultima e il vertice *V* (fig. 8b). La retta che congiunge il baricentro *B* di questo solido (fig. 8c) al vertice *V*, rappresenta proprio l'asse interno *z* del cono (fig. 8d).
Poiché l'asse *z* non è perpendicolare alla sezione circolare posta sul piano verticale, la base del cono è identificabile come un'ellisse. Questa curva può essere facilmente costruita intersecando il cono con un piano perpendicolare all'asse *z*. Conseguentemente, la descrizione geometrica dell'ellisse si completa determinando il suo asse ortogonale coniugato (fig. 8e).

A questo punto, è stato possibile ricostruire geometricamente la forma teorica della sezione circolare del cono così da poterla confrontare con l'arco impiegato come curva direttrice. In ogni cono a base ellittica è possibile sempre individuare due sezioni circolari. Queste sezioni sono state identificate seguendo il metodo proposto da Théodore Olivier [Olivier 1852, pp. 199-202], successivamente interpretato tramite modellazione matematica da Marta Salvatore [Salvatore 2012b, pp. 151-154]. La procedura consiste nel costruire una sfera tangente ai lati del triangolo definito dall'asse maggiore della base ellittica e dal vertice del cono. L'intersezione tra questa sfera e il cono produce proprio le due sezioni circolari (fig. 8f).
Infine, il confronto tra una delle due sezioni circolari così ricostruita e la curva direttrice derivata sezionando la nuvola di punti ha rivelato un'ottima sovrapposizione, con una rotazione angolare minima e uno scarto dimensionale trascurabile.
Sulla base di questa analisi, possiamo concludere che le volte della Cappella Palatina sono effettivamente coniche e che la loro costruzione in cantiere deve essere stata

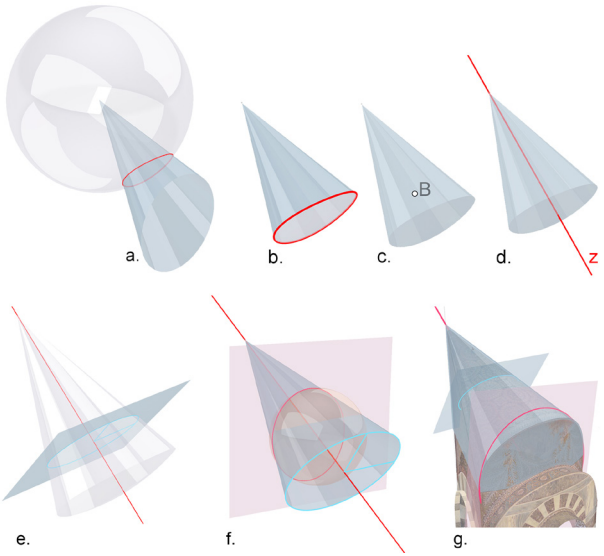


Fig. 8. Da a. a d.: costruzione dell'asse di un cono; e.: costruzione dell'ellisse; f.: costruzione dei due piani che tagliano il cono a base ellittica generando circonferenze; g.: ricostruzione finale (elaborazione degli autori).

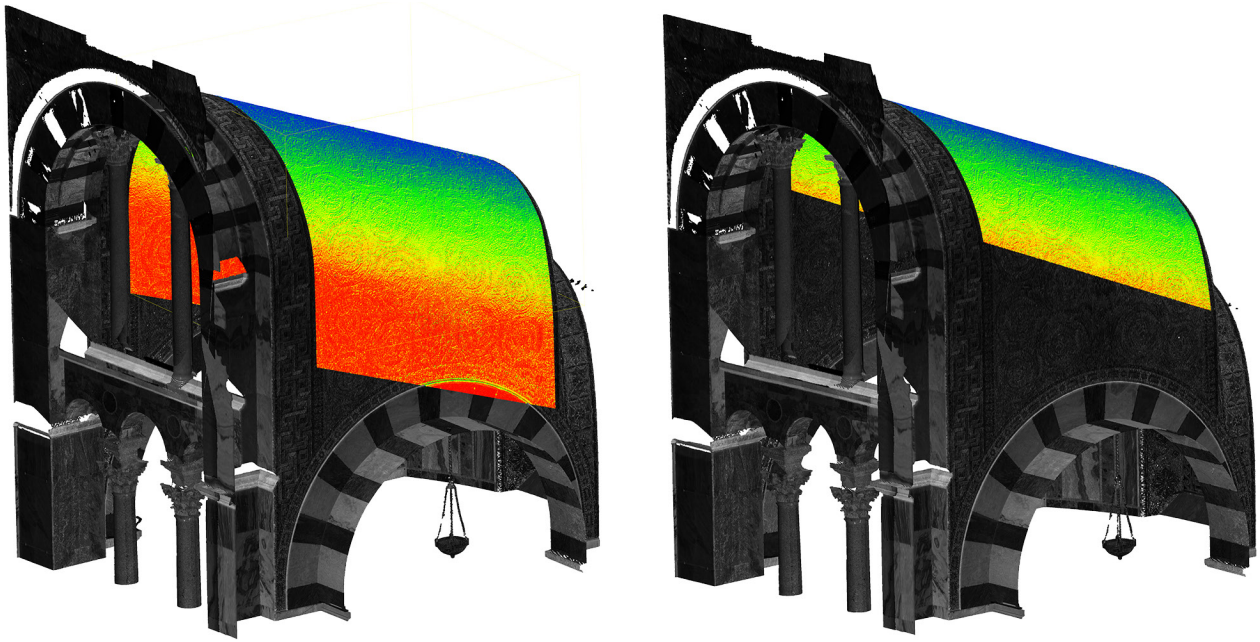


Fig. 9. A sinistra: visualizzazione dei valori di verticalità associati alla nuvola di punti; a destra: segmentazione della porzione cilindrica della volta escludendo i punti con valori di verticalità significativi (elaborazione degli autori).

guidata dalla materializzazione di tre elementi principali: il vertice, le generatrici collocate sul piano di imposta e la sezione circolare verticale (fig. 8g).

Genesi geometrica delle volte a botte inclinata

Lo stesso tipo di analisi è stato condotto anche sulle volte a botte inclinate, situate al primo livello della Cappella Palatina e convergenti verso la cupola ottagonale.
Pur facendo riferimento a una matrice architettonica e costruttiva apparentemente più frequente, la ricostruzione digitale di questa tipologia ha consentito di mettere in luce delle caratteristiche geometriche peculiari e verificare la padronanza di una pratica architettonica fondata su una conoscenza approfondita della geometria delle coniche e delle loro proprietà.

La prima fase della sperimentazione ha avuto come obiettivo l'individuazione del piano di imposta. A tale scopo, l'analisi della verticalità dei punti [5] ha permesso di segmentare la nuvola dell'intera campata, isolando la superficie curva cilindrica dalle pareti verticali (fig. 9).
Successivamente, è stata avviata la costruzione del cilindro che meglio approssimasse la superficie reale, così da poterne analizzare le proprietà. Per comprendere il tipo di superficie teorica da interpolare con la nuvola di punti, è stato necessario analizzare geometricamente la sezione verticale e la sezione retta della volta. A partire dall'individuazione del colmo, quindi, la nuvola di punti è stata intersecata con un piano verticale, prima, e con un piano perpendicolare al colmo, poi, per analizzare i due profili.
Quest'analisi mette in evidenza un elemento di particolare interesse: la sezione perpendicolare al colmo è circolare mentre quella verticale risulta ellittica, con il

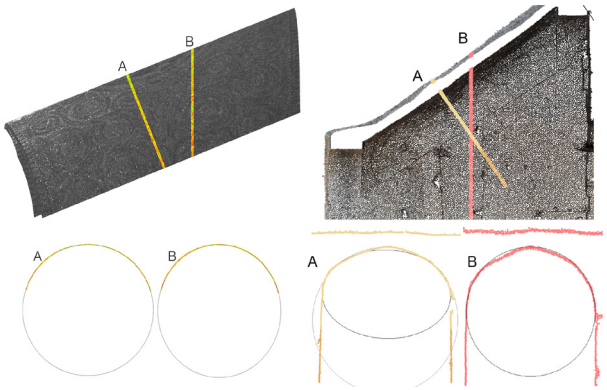


Fig. 10. In alto: volte inclinate della Cappella Palatina (a sinistra) e del Colosseo (a destra); in basso: sezioni perpendicolari all'asse (A) e verticali (B) con estrazione dei profili geometrici (elaborazione degli autori).

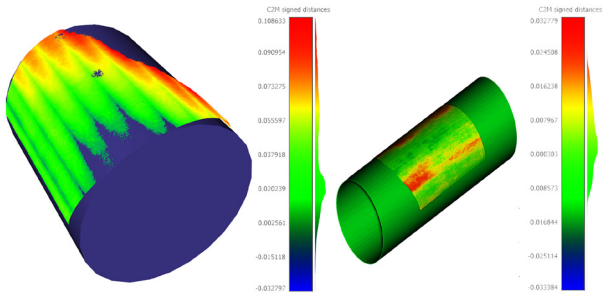


Fig. 11. Visualizzazione della distanza tra il cilindro teorico e la nuvola di punti. A sinistra: il cilindro calcolato mediante shape detection; a destra: quello calcolato mediante best fit (elaborazione degli autori).

semiasse minore pari al raggio del cilindro (2,61 m) e il semiasse maggiore, pari alla freccia verticale della volta, di 2,81 m. Tale configurazione, già segnalata da Raabe, Trautz e Di Pumpo [2019], si discosta da una tradizione costruttiva basata sulla costruzione della volta inclinata come traslazione di una semicirconferenza contenuta in un piano verticale lungo un asse inclinato e che descrive quindi un cilindro inclinato [Adam 2014, pp. 189-211]. A titolo meramente dimostrativo, lo stesso metodo di analisi è stato applicato su una delle volte inclinate dell'Anfiteatro Flavio [6] per verificare l'effettiva peculiarità del sistema adottato ad Aachen. Questo approfondimento sul Colosseo ha mostrato chiaramente l'impiego di un cilindro obliquo come genesi geometrica (fig. 10).
Tale particolarità solleva inevitabilmente interrogativi sull'organizzazione del cantiere e sulla predisposizione delle centine necessarie alla sua realizzazione. Tralasciando per un momento gli aspetti costruttivi, la fase successiva ha riguardato la ricostruzione del solido con asse inclinato di 21,52° rispetto all'orizzontale e base circolare, vale a dire un cilindro retto. La ricostruzione di una forma teorica di punti, come quella del cilindro, può essere effettuata sia in modalità semiautomatica, tramite algoritmi di *shape detection* e *best fit*, sia mediante modellazione manuale. In questo caso si è privilegiata la prima soluzione, in quanto la corrispondenza morfologica tra i punti segmentati e la forma teorica di riferimento incoraggiava l'adozione di un metodo capace di restituire la ricostruzione statisticamente più adeguata, evitando ulteriori passaggi di sottocampionamento e selezione. Ciononostante, l'algoritmo di *shape detection* per il cilindro [7] non ha prodotto risultati soddisfacenti. Esso ha infatti scomposto ulteriormente la nuvola di punti già segmentata in porzioni minori, calcolando per ciascuna un cilindro teorico distinto. Tale comportamento è imputabile alle deformazioni costruttive della volta, che si riflettono nella nuvola di punti e ostacolano l'individuazione di una superficie cilindrica unica. Aumentando la tolleranza nello scostamento tra la forma teorica ricostruita e i punti corrispondenti, l'algoritmo riesce a generare un unico solido, in grado di approssimare la superficie cilindrica della volta minimizzando gli errori locali. Tuttavia, il cilindro teorico così ottenuto presenta scostamenti consistenti rispetto alla nuvola di punti, incompatibili con le irregolarità costruttive riscontrate.
La seconda sperimentazione di ricostruzione automatizzata della forma ha previsto l'impiego di un algoritmo di *best-fit* [8] [Bianchini, Carnevale, Griffo 2024]. L'algoritmo utilizzato è di natura iterativa, avente come funzione-obiettivo l'individuazione dei parametri caratteristici della funzione generica del cilindro retto con assi non paralleli a quelli cartesiani (componenti del vettore direzione, la posizione dell'asse e il valore del raggio). Questa procedura, eseguita in ambiente *Matlab*, privilegia un'unica soluzione globale di ricostruzione della forma rispetto a più riconoscimenti locali dettagliati (fig. 11).
A partire dal cilindro teorico costruito mediante l'algoritmo di *best fit*, l'ultima fase della sperimentazione ha riguardato l'individuazione dei suoi elementi caratteristici, ossia della posizione dell'asse, del raggio della sezione retta e dell'ellisse di intersezione con il piano verticale (fig. 12).

Dopo aver descritto il cilindro retto quale modello geometrico più efficace per approssimare la volta a botte inclinata, è opportuno soffermarsi sulle implicazioni pratiche che tale scelta comporta, in particolare rispetto alla progettazione delle opere provvisionali. La volta, realizzata con conci di grovacca e travertino eterogenei per forma e dimensione, presenta una apparecchiatura muraria listata, caratterizzata da ricorsi regolari di blocchi sottili e allungati alternati a elementi squadrati di maggiore pezzatura (fig. 1 d). Una tessitura di questo tipo richiede l'impiego di una centina lignea, la cui configurazione originaria non risulta però di immediata ricostruzione. Se si ipotizza una centina interamente verticale, con base coincidente con il diametro del cilindro, il profilo della curva guida assumere un andamento ellittico; al contrario, per adottare una centina ad arco semicircolare, questa avrebbe dovuto essere inclinata perpendicolarmente al piano di imposta. Queste due ipotesi suggeriscono una complicazione significativa della pratica costruttiva solita, motivata, probabilmente, solo da una volontà progettuale chiara nel voler costruire un cilindro retto. Raabe, Trautz e Di

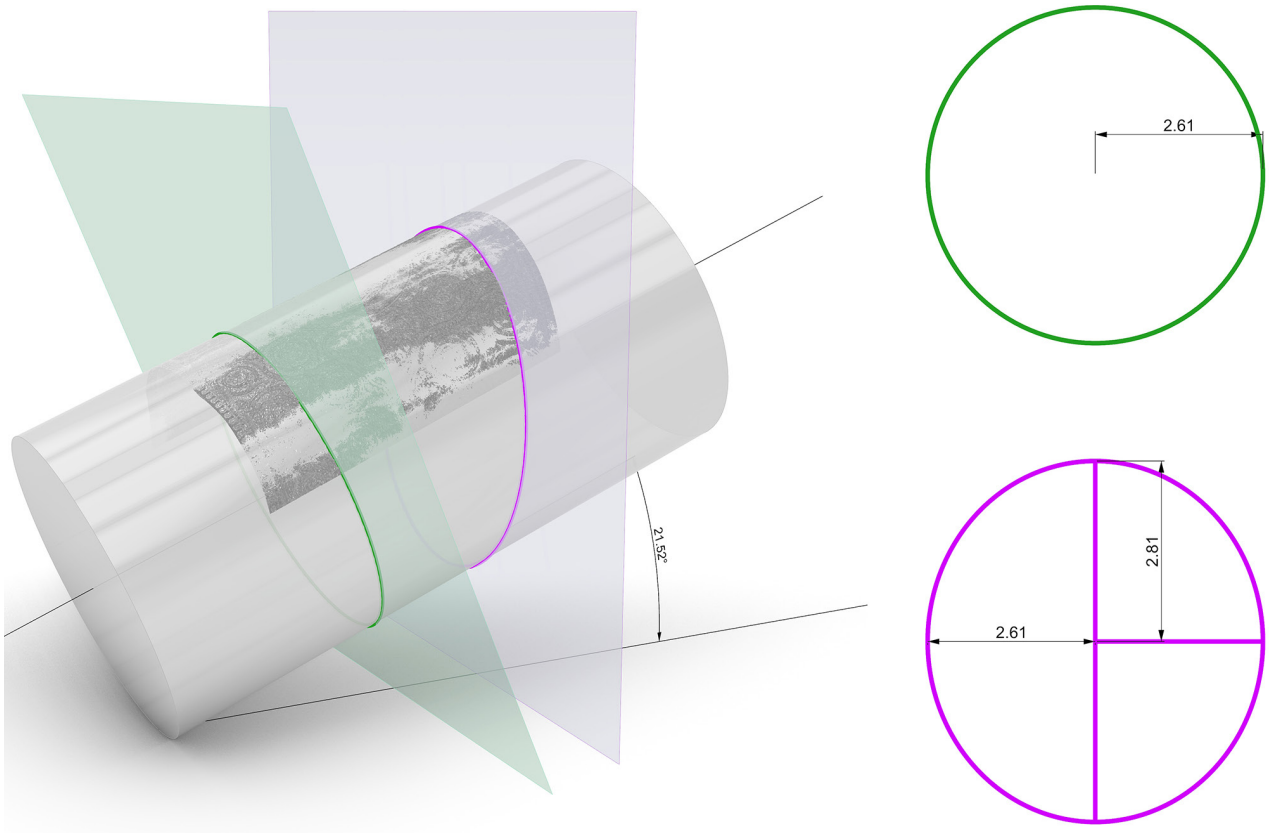


Fig. 12. A sinistra: costruzione del cilindro teorico (in grigio), del piano verticale (in viola) e del piano perpendicolare all'asse (in verde); a destra: rappresentazione delle due curve intersezione (elaborazione degli autori).

Pumpo [2019, pp. 26-29] propongono un modello costruttivo basato sull'impiego di una centina mobile, di dimensioni leggermente inferiori al diametro della volta, traslata orizzontalmente di circa 10 cm tra i due fianchi. Secondo gli autori, tale procedimento giustificherebbe la formazione di un arco ellittico disposto sul piano verticale. Questo principio operativo comporterebbe tuttavia la generazione di un arco ellittico ribassato, in contrasto con il profilo a sesto rialzato che si ricava dall'analisi del tracciato verticale della volta. In definitiva, mettendo a sistema i diversi dati sperimentali osservati, pare chiaro come emerga una profonda consapevolezza delle proprietà geometriche delle coniche unita alla loro traduzione in soluzioni pratiche per la costruzione.

Analisi dei risultati

Negli ultimi decenni, l'evoluzione delle metodologie di rilievo 3D ha segnato una tappa fondamentale nella storia della rappresentazione, aprendo scenari nuovi per la documentazione e l'interpretazione dell'architettura. Oggi stiamo assistendo a una fase ulteriore di questo percorso: l'attenzione non si concentra più soltanto sulle tecniche di acquisizione ed elaborazione dei dati, ma si sposta sempre più sul loro potenziale analitico. Le nuvole di punti, grazie all'elevato grado di accuratezza che possono raggiungere, non rappresentano semplicemente una fedele registrazione della realtà, ma diventano la materia prima per sperimentare strumenti capaci di interpretare in maniera coerente con la loro natura.
In questa prospettiva, il caso della Cappella Palatina ha offerto l'occasione per indagare le diverse strategie disponibili, con l'intento di restituire ai dati raccolti tutto il loro valore informativo. Dall'applicazione di algoritmi di *shape detection* e di *best fit*, fino al ricorso alla modellazione matematica più tradizionale, il ventaglio di possibilità mostra come lo studio della storia dell'architettura non possa più prescindere da approcci avanzati di analisi. Questi strumenti non solo permettono di rispondere a interrogativi consolidati, ma aprono la strada a nuove domande e prospettive, rivelando aspetti inattesi che la costruzione architettonica custodisce al proprio interno.

Conclusioni

Nel quadro generale dell'*Aachen Cathedral Project*, il presente studio rappresenta un'ulteriore tappa nell'approfondimento delle geometrie emergenti dalla lettura e interpretazione dei dati metrici rilevati sulla Cappella Palatina.
Le evidenze presentate, la cui affidabilità appare saldamente ancorata alla attendibilità dei dati di partenza e al rigore della metodologia di analisi applicata, mostrano una padronanza inaspettata della geometria delle coniche, che stride significativamente con lo stato del pensiero geometrico occidentale così come tramandato dai libri che raccontano la sua storia. Tale caratteristica, inoltre, ha conseguenze anche dal punto di vista architettonico, rafforzando l'ipotesi che la Cappella Palatina sia il prodotto di una progettazione unitaria, meticolosamente controllata in tutte le fasi. In questo quadro, la presenza di un unico talentuoso architetto, che le fonti identificano con Odone da Metz, appare un'ipotesi solida e ragionevole.
L'analisi compositiva dell'edificio mette inoltre in evidenza alcuni aspetti originali, come dimostra il rapporto dinamico instaurato tra la fascia degli ambulacri e il vuoto dell'ottagono centrale. Questa peculiarità, sia dal punto di vista costruttivo che da quello formale, ha permesso di supporre un collegamento con la tradizione costruttiva orientale [Raabe, Trautz, Di Pumpo 2019] e in particolare armena [Bianchini 2024]. Tale confronto, unito all'ipotesi storiografica che attribuisce la stessa origine a Odone da Metz, sembra delineare un quadro coerente: un architetto di eccezionale talento che concepisce la Cappella Palatina come progetto unitario, integrando elementi romani e bizantini senza rinunciare a richiamare la propria cultura di riferimento. In ciò Odone dimostra non solo una piena padronanza delle forme architettoniche, ma anche conoscenze geometriche straordinariamente avanzate rispetto a quanto abitualmente accettato dalla storiografia.
Il caso di Aachen rafforza infatti l'idea che, nel corso dei cosiddetti "secoli bui", sia stata la Geometria pratica medievale il luogo dove il pensiero geometrico occidentale poté conservarsi ed evolversi e non solo fornire basiche costruzioni utili a settori chiave come edilizia, urbanistica o difesa [Bianchini 1995]. Le volte della Cappella Palatina offrono un primo indizio significativo di quanto detto, benché ancora poco considerato nel quadro storiografico che ha fin qui privilegiato le fonti scritte trascurando tuttavia il fatto che che la trasmissione del sapere avveniva soprattutto per via orale e con l'apprendistato. Da qui l'ipotesi che esista una storia alternativa della geometria medievale, non fissata su pergamena ma incisa nella pietra, pronta a emergere oggi grazie agli strumenti di analisi, misura e simulazione che abbiamo a disposizione [9].

Note

[1] *Aachen Cathedral Project* è un progetto internazionale di ricerca che vede coinvolti Sapienza Università di Roma (Carlo Bianchini, Carlo Inglese, Guglielmo Villa, Martina Attenni, Marika Griffo, Roberto Barni), la Robert Gordon University di Aberdeen (Douglas Pritchard), la RWTH Aachen University (Yannick Ley) in *partnership* con la Dombauhütte della Cattedrale di Aachen (Jan Richarz). Obiettivo del progetto è la documentazione il più possibile completa degli edifici che compongono il complesso come pure dei loro materiali costitutivi mediante l'utilizzo integrato di tecnologie avanzate di rilevamento. Il progetto è co-finanziato nel quadro del PNRR, Partenariato Esteso 5 "CHANGES", Spoke 8, Linea Tematica 1 Produzione, organizzazione e comunicazione della conoscenza coordinata dal prof. Carlo Bianchini.

[2] L'*elevation map* del *software Autodesk ReCap* consente di attribuire un valore cromatico a ciascun punto della nuvola in funzione della sua quota rispetto a un asse di riferimento. Lo strumento non produce un'elaborazione metrica autonoma, ma una rappresentazione cromatica che facilita l'individuazione visiva di variazioni altimetriche o deformazioni locali.

[3] Non è stato possibile effettuare un'indagine diretta sulla pietra poiché tutte le strutture originarie al livello inferiore e superiore sono ricoperte dal mosaico di Hermann Schaper del XX secolo [Radel 2022]. Tuttavia, è plausibile ritenere che tali operazioni non abbiano comportato modifiche sostanziali nelle geometrie e nelle proporzioni originarie delle strutture al di sotto.

[4] La scelta di verificare la corrispondenza tra i dati di rilievo e le superfici di questi conoidi, oltre che di suggestioni puramente geometriche, tiene conto di un loro (molto) successivo probabile uso per fini "costruttivi". Ci riferiamo allo *shipwright's circular wedge* studiato da John Wallis noto come cono-cuneo di Wallis [Wallis 1648] e al «cono che termina in una linea» di Guarino Guarini [Guarini 1671, tr. XXV, theor. 1, prop. VIII; Guarini 1737, cap. IV, oss. 6]. Si tratta in entrambi i casi di un conoide a piano direttore in cui però, a differenza di quello esaminato nel presente articolo, la direttrice circolare risulta perpendicolare al piano orizzontale di imposta che identifica la giacitura del piano direttore.

[5] L'analisi è stata condotta impiegando lo strumento di calcolo delle caratteristiche geometriche integrato in *CloudCompare v2.13*.

[6] La nuvola di punti deriva dalle attività di rilievo 3D e modellazione HBIM coordinate dal Parco archeologico del Colosseo (RUP dott. ssa Federica Rinaldi) e realizzate da un raggruppamento temporaneo aggiudicatario costituito da Consorzio Futuro in Ricerca (CFR) di Ferrara – mandataria – (coordinamento scientifico: Marcello Balzani, Guido Galvani, Fabiana Raco), GEOGRA' Srl di Sermide, ETS Srl e JANUS Srl di Roma.

[7] Per la sperimentazione è stato impiegato il Plugin *RANSAC Shape Detection*, integrato in *CloudCompare V.2.13*.

[8] L'algoritmo di *best fit* cilindrico in ambiente *Matlab* è stato sviluppato e testato nella ricerca di dottorato di Flavio Carnevale [Carnevale 2026].

[9] Nella condivisione delle argomentazioni sviluppate, Carlo Bianchini ha redatto i paragrafi *Introduzione* e *Conclusioni*, Martina Attenni ha redatto i paragrafi *La cappella Palatina*, *Obiettivi della ricerca* e *Genesi geometrica delle volte a crociera*, Marika Griffo ha redatto i paragrafi *Genesi geometrica delle volte coniche*, *Genesi geometrica delle volte a botte inclinata* e *Analisi dei risultati*.

Autori

Martina Attenni, Scuola di Architettura e Design, Università di Camerino, martina.attenni@unicam.it
Carlo Bianchini, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, carlo.bianchini@uniroma1.it
Marika Griffo, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, marika.griffo@uniroma1.it

Riferimenti bibliografici

Adam, J.-P. (2014). *L'arte di costruire presso i Romani. Materiali e tecniche*. Milano: Longanesi.

Attenni, M., Barni, R., Bianchini, C., Griffo, M., Inglese, C., Ley, Y., Pritchard, D., Villa, G. (2023). The Vaulting System of the Palatine Chapel: the Aachen Cathedral World Heritage Site Documentation Project. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XLVIII-M-2-2023, pp. 119-128. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-119-2023.

Bianchini, C. (1995). Tecniche medievali di rilevamento. In *Disegnare. Idee Immagini*, n. 18, pp. 21-28.

Bianchini, C. (2024). Sulle unghie coniche della Cappella Palatina di Aachen / The conical vaults in the Palatine Chapel in Aachen. In *Disegnare: Idee Immagini*, n. 68, pp. 56-71. DOI: 10.61020/11239247-202468-06.

Bianchini, C., Carnevale, F., Griffo, M. (2024). Algoritmi di *best fit* applicati allo studio dell'architettura storica / Best fit algorithms applied to the study of historical architecture. In F. Bergamo, A. Calandriello, M. Ciammaichella, I. Friso, F. Gay, G. Liva, C. Monteleone (a cura di). *Misura / Dismisura. Ideare Conoscere Narrare*. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti della Rappresentazione. Padova-Venezia, 12-14 settembre 2024, pp. 879-898. Milano: FrancoAngeli. DOI: 10.3280/oa-1180-c515.

Buchkremer, J. (1955). *Dom zu Aachen. Beiträge zur Baugeschichte III. 100 Jahre Denkmalpflege am Aachener Dom*. Aachen: Wilhelm Metz.

Carnevale, F. (2026). *Dal rilievo alla forma. Metodologie di best fit 2D e 3D per l'interpretazione dell'architettura costruita*. Tesi di dottorato di ricerca in Heritage Science, tutor prof. C. Bianchini. Sapienza Università di Roma.

Guarini, G. (1671). *Euclides adauctus et methodicus mathematicaque universalis*. Torino (Augustae Taurinorum): Typis Bartholomaei Zapatae Bibliopolae S.R.C.

Guarini, G. (1737). *Architettura Civile*. Torino: Gianfrancesco Mairesse all'insegna di Santa Teresa di Gesù.

Olivier, T. (1852). *Cours de Géométrie Descriptive. Première partie, Du point, de la droite et du plan*. Paris: Carilian-Goeury et Vor Dalmont.

Pieper, J., Schindler, B. (2017). *Thron und Altar, Oktogon und Sechzehneck. Die Herrschaftsikonographie der karolingischen Pfalzkapelle zu Aachen*. Berlin: Geymüller Verlag für Architektur.

Raabe, C., Trautz, M., Di Pumpo, C. (2019). *Karolingische Tonnengewölbe im Aachener Dom. Baugeschichte, Konstruktion und Technik*. Aachen: RWTHpublications. DOI: 10.18154/RWTH-2019-01489.

Radel, W. (2022). *Der Aachener Dom: Erneuerung der Innenausstattung 1842 bis 1913*. Norderstedt: Tredition.

Salvatore, M. (2012a). Il cono, i suoi assi, le sue sezioni piane, da Apollonio alla rappresentazione matematica. In L. Carlevaris, L. De Carlo, R. Migliari (a cura di). *Attualità della geometria descrittiva*, pp. 315-324. Roma: Gangemi Editore.

Salvatore, M. (2012b). *La stereotomia scientifica in Amédée François Frézier: prodromi della geometria descrittiva nella scienza del taglio delle pietre*. Firenze: Firenze University Press. DOI: 10.36253/978-88-6655-279-6.

Ulrike, H., Beckmann, E.M. (2012). *Die karolingische Pfalzkapelle in Aachen. Material - Bautechnik - Restaurierung*. Worms: Wernersche Verlagsgesellschaft.

Wallis, J. (1648). *Cono-Cuneus: or, the Shipwright's Circular Wedge. That is, a Body resembling in part a Conus, in part a Cuneus, Geometrically considered*. London: John Playford for Richard Davis, University of Oxford.

Strutture in forma. La rappresentazione del progetto di ponti e viadotti nell'opera di Silvano Zorzi

Gianluca Capurso

Abstract

Il contributo espone i risultati di un'indagine sull'uso della rappresentazione grafica dei progetti di ponti e viadotti nell'attività di Silvano Zorzi, figura centrale della Scuola italiana di Ingegneria del Novecento, condotta nell'ambito della ricerca SIXXI - XX Century Structural Engineering: the Italian Contribution *(ERC Advanced Grant, PI: Sergio Poretti, Tullia Iori).*
L'obiettivo è mettere in luce il ruolo del disegno come mezzo per rendere visibile la logica interna della struttura progettata e in particolare la coerenza tra forma, comportamento statico e processo costruttivo. L'analisi è basata, oltre che sulla bibliografia disponibile, soprattutto sulla documentazione conservata nel Fondo Zorzi presso l'archivio del Politecnico di Milano e in numerosi altri archivi di committenti e imprese di costruzione. Attraverso questi materiali, il saggio indaga come Zorzi, designer strutturale, faccia uso della rappresentazione – dallo schizzo preliminare al dettaglio esecutivo – non soltanto come strumento critico di controllo, per descrivere e validare soluzioni tecniche, ma anche per esprimere la logica, razionale ed estetica insieme, che regola la forma strutturale.

Parole chiave: storia dell'ingegneria strutturale, infrastrutture, viadotti, cantieri, cemento armato.

Introduzione e stato dell'arte

Silvano Zorzi (Padova 1921 - Milano 1994) è uno dei principali Maestri della Scuola italiana di Ingegneria strutturale, nella cui storia – ricostruita nell'ambito della ricerca *SIXXI* [1] – spicca per la sua identità di ingegnere-designer, che disegna strutture e, in particolare, ponti dalle linee essenziali, oggetti progettati alla scala del paesaggio, inseriti armonicamente nell'ambiente. Per ottenere la straordinaria qualità formale delle sue opere sfrutta tutte le potenzialità dei materiali da costruzione, dedicandosi fin da subito al calcestruzzo armato e, in particolare, alla sua versione precompressa: realizza così strutture eleganti, dal profilo sottile, che superano fiumi e strade con luci che non sembrano nemmeno compatibili con le dimensioni dei piloni e degli impalcati [2].

Questo contributo propone un'indagine sull'uso della rappresentazione grafica relativamente ad alcune sue strutture significative, basata sul materiale grafico e fotografico, prevalentemente inedito, conservato nel Fondo Zorzi presso l'archivio del Politecnico di Milano e in numerosi altri archivi di committenti e imprese di costruzione, oltre che sulla bibliografia esistente sull'attività dell'ingegnere. L'analisi sviluppata in questo articolo è circoscritta alla progettazione di ponti e viadotti, che costituiscono la parte più significativa della sua attività da ingegnere [Zorzi 1981; Iori, Capurso 2019], e al nesso tra rappresentazione grafica, concezione statica e logica costruttiva. Quest'ultimo tema risulta, in particolare, non specificamente indagato nella letteratura scientifica.

 BY-NC-ND

Negli elaborati esecutivi si vede così materializzarsi l'evoluzione dell'approccio di Zorzi al progetto delle infrastrutture nelle varie fasi della sua lunga attività, mettendo in luce il ruolo del disegno come mezzo per rendere visibile la logica progettuale della struttura e in particolare la coerenza tra forma, comportamento statico e processo costruttivo.

Progetto e costruzione

Per i protagonisti della Scuola italiana di Ingegneria strutturale il disegno ha un ruolo intimamente connesso alla costruzione e alle loro invenzioni: Pier Luigi Nervi (1891-1979) lo usa non tanto per rappresentare il risultato finale ma per spiegare agli operai della sua impresa – la Ingg. Nervi e Bartoli – come realizzare operativamente le migliaia di piccoli elementi dell'originale sistema costruttivo, basato sulla prefabbricazione strutturale e sul ferrocemento, con cui "monta" le magnifiche cupole che lo rendono famoso in tutto il mondo. Gli elaborati di Riccardo Morandi (1902-1989) entrano in un tale dettaglio su posizione e bloccaggio dei cavi di precompressione con cappi e curve sinuose che sembra di vederne la coazione già sulla carta, come poi nei suoi originali cavalletti strallati. Sergio Musmeci (1926-1981) ha le sue difficoltà a rappresentare in pianta, prospetto e sezione le proprie "forme senza nome", che rifiutano le forme note e che nascono prima come bolle di sapone e poi come modelli fisici e solo alla fine sono trasposte sul foglio da disegno.
E nel caso di Zorzi?
In quale modo il controllo e la verifica della forma strutturale offerta dal disegno consente al suo studio e poi alla sua società, la In.Co. - Ingegneri Consulenti, di assicurare l'elevata qualità tecnica e formale delle sue opere?
La rivista *Casabella*, nel 1983 ospita un articolo scritto dallo stesso Zorzi sulla sopraelevata per la statale Pontebbana, introdotto da alcune considerazioni scritte da Giacomo Polin (1956) [Zorzi 1983]. Ad accompagnare efficacemente la presentazione, Zorzi utilizza cinque sezioni trasversali di ponti (fig. 1) – semplici schizzi, schematici e semplificati – che mostrano quale sia la direzione della sua ricerca formale e tecnologica nel progetto dei viadotti: dalle più banali travi prefabbricate su piloni massicci a sezione costante, passando per soluzioni sempre più leggere ed essenziali fino a quella a piastra monolitica, minimale, a sezione raccordata con la pila, scelta proprio per il viadotto della Pontebbana. Non sono però tanto gli schizzi a dominare l'articolo inconsueto sulla colta rivista di architettura, quanto i disegni tecnici: tracciati stradali, profili e livellette, sezioni costruttive che comparano le banali soluzioni poste a base di gara con quelle poi progettate e realizzate dallo stesso Zorzi, e soprattutto schemi costruttivi che illustrano ingegnosi procedimenti di cantiere, attuati grazie all'uso di innovative attrezzature. Insieme alle belle foto di cantiere e dell'opera realizzata, sono questi elaborati a riempire le pagine, a testimonianza dell'interesse di questi anni della cultura architettonica per la concezione strutturale ma anche dell'intima connessione tra il disegno e la costruzione nell'attività di Zorzi.
Analizzando quindi non tanto gli schizzi ideativi, quanto gli elaborati dei progetti esecutivi, sviluppati dai bravissimi partner di studio – da Giorgio Macchi (1930-2023) a Sabatino Procaccia, a Lucio Lonardo fino ad Aldo Muller – che sottoscrivono con Zorzi numerosi progetti e accompagnano il suo nome in occasione delle presentazioni sulle riviste specializzate, la produzione grafica di Zorzi va considerata come inscindibile da quella prodotta dallo studio, prima, e poi dalla In.Co..

Ponti nel paesaggio

Costretto ad abbandonare gli studi durante la Seconda Guerra Mondiale, rifugiatosi in Svizzera dove diventa allievo di Gustavo Colonnetti (1886-1968) e poi laureatosi alla fine della guerra, Zorzi ha 35 anni quando vince l'appalto concorso con l'impresa Rizzani, per il primo importante ponte dell'Autostrada del Sole, quello che scavalca il Po a Piacenza, in località Mortizza (fig. 2). Finito a marzo del 1959, il ponte è una struttura semplice: 16 travi di 75 m di luce ciascuna, di cemento armato, precompresso con il sistema BBRV, importato dalla Svizzera, semplicemente appoggiate sulle pile.
Gli elaborati del progetto costruttivo rappresentano con dovizia di particolari la geometria delle pile e delle travi e la disposizione dei cavi di precompressione, ma nel fascicolo compare anche una prospettiva di insieme del ponte che, preparata certamente da un collaboratore di studio, permette di verificare il rapporto visivo tra le parti della struttura – pile e travate – e l'effetto complessivo della successione delle campate, tutte uguali, mentre lo sfondo della vegetazione del fiume è appena accennato.
L'uso frequente delle viste prospettiche, forse richiesto dalle stazioni appaltanti per la valutazione degli interventi,

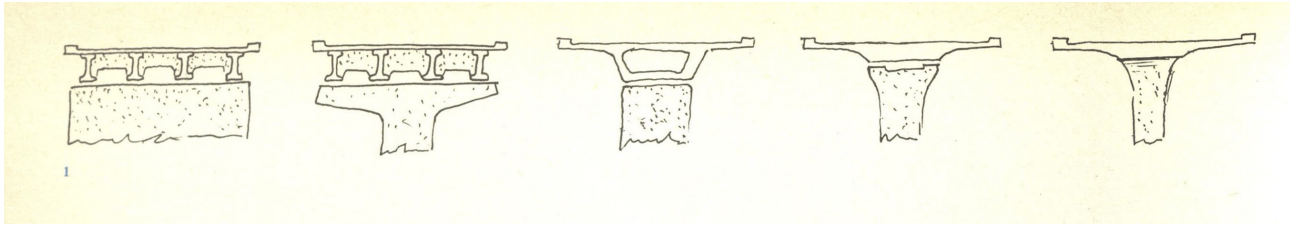


Fig. 1. Schemi di sezione trasversale per viadotti (Archivio Storico Politecnico di Milano, fondo Silvano Zorzi, Milano).



Fig. 2. Ponte sul Po, progetto esecutivo. Prospettiva (Archivio Storico ANAS, Cesano).

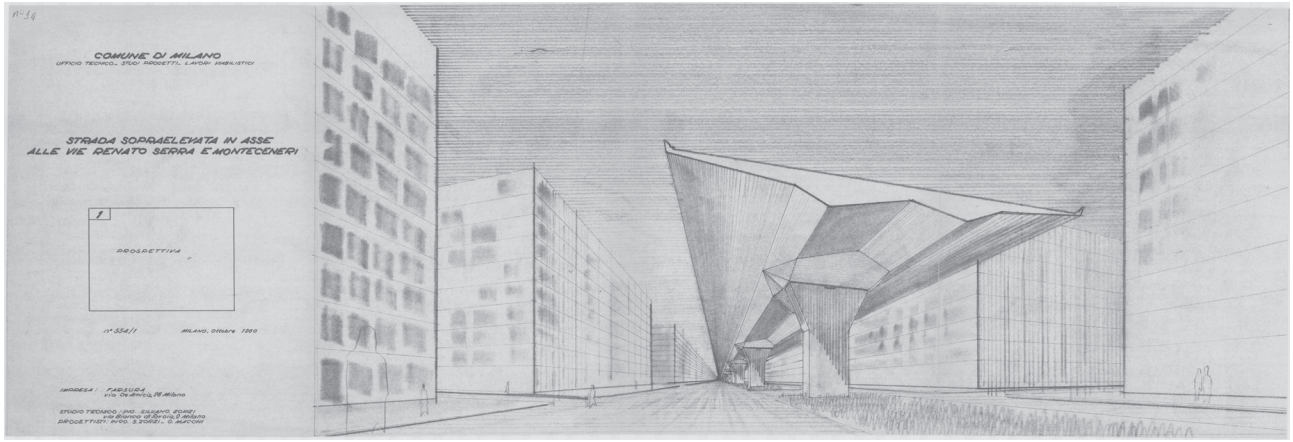


Fig. 3. Strada sopraelevata in asse alle vie Renato Serra e Monte Ceneri, progetto esecutivo. Prospettiva (Archivio Comunale di Milano, Settore Tecnico Infrastrutture, Milano).

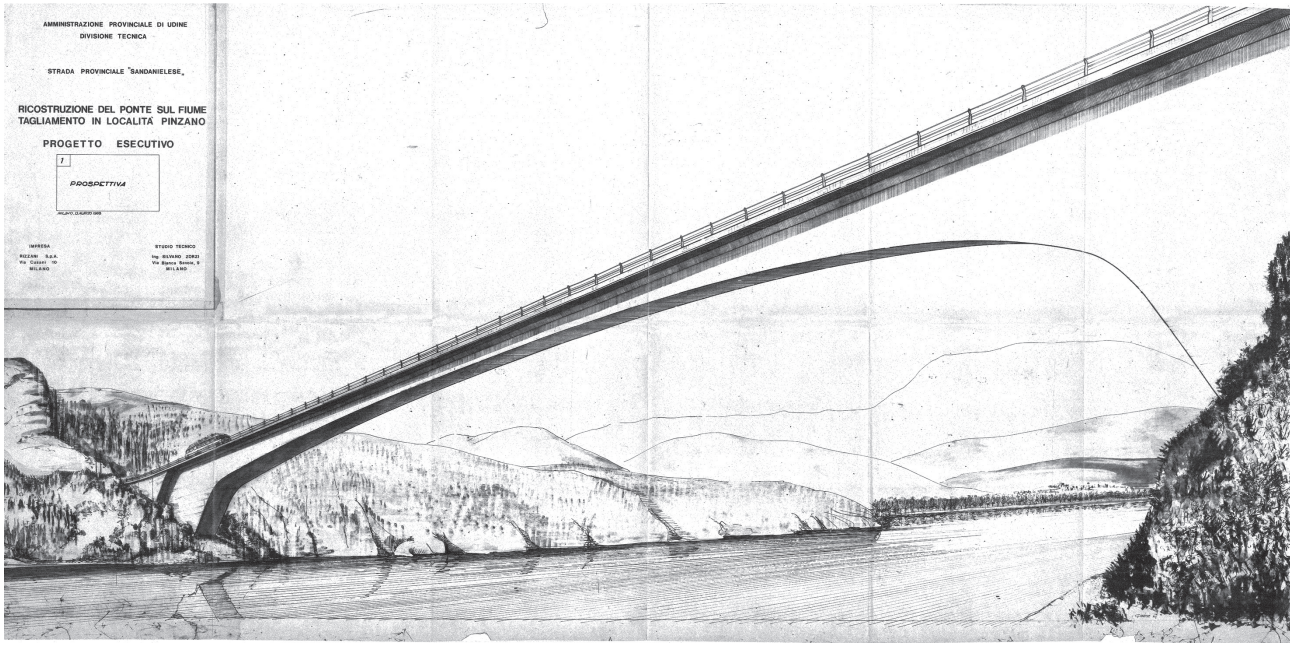


Fig. 4. Ponte sul fiume Tagliamento in località Pinzano, progetto esecutivo. Prospettiva (Archivio Storico In.Co. S.p.A., Roma).

dimostra anche l'attenzione di Zorzi per verificare la bontà delle soluzioni formali. Prospettive sono quindi elaborate dallo studio e poi dalla In.Co. in occasione di procedure di selezione pubbliche: si tratta spesso di viste dal basso o laterali, scorciate e ravvicinate. Quella che accompagna gli elaborati esecutivi della sopraelevata di Milano tra i viali Renato Serra e Monte Ceneri (1960) insiste sull'articolata composizione di superfici della pila e dell'intradosso dell'impalcato (fig. 3) e introduce alla raffinata vista in ipografia che illustra la disposizione delle assi dell'artigianale cassaforma di legno, la cui impronta sarà economicamente lasciata a vista. Un'opera pensata per far funzionare il traffico veicolare sopra l'impalcato, ma anche per essere guardata da sotto, dalla quota dei pedoni. La prospettiva che apre il fascicolo del progetto esecutivo del ponte sul Tagliamento a Pinzano (1968-1969), che aggiorna quella presentata in sede di appalto concorso, analizza la percezione dell'osservatore posto su una sponda del fiume e sottolinea l'eleganza della linea ad arco portale (fig. 4).

Una vista prospettica in apertura di fascicolo è scelta anche per illustrare il visionario progetto per il ponte di Guayllabamba (1968), in occasione della presentazione del progetto all'appalto concorso bandito dal Ministero delle Opere Pubbliche dell'Ecuador per la Carretera Panamericana Quito-Tulcan ed elaborato in collaborazione con Lonardo (fig. 5). Il ponte è immaginato come un nastro teso di cemento armato precompresso, di appena 30 cm di spessore, sospeso tra le due rive, distanti ben 300 m e sagomato sulla geometria di una catenaria dalla freccia ridotta, il cui funzionamento è poi descritto negli altri elaborati, in pianta, prospetto e sezione del fascicolo inviato alla gara. Secondo tali disegni, che rappresentano con verosimiglianza una struttura probabilmente impossibile da costruire, l'impalcato, da realizzare con cavi inguainati e poi iniettati a formare l'armatura di sostegno e di precompressione, sarebbe stato successivamente completato per segmenti, gettati grazie a una speciale centina e poi precompressi trasversalmente [Capurso, Martire 2017, pp. 98-115].

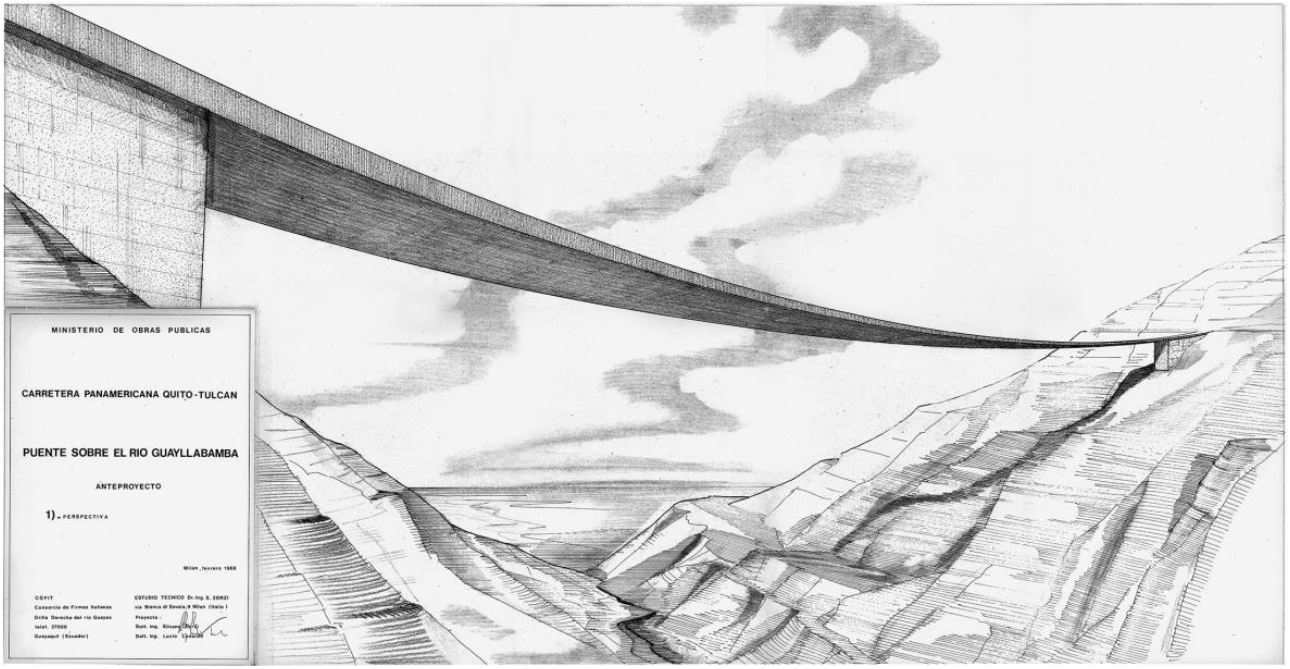


Fig. 5. Ponte sul fiume Guayllabamba, progetto di concorso. Prospettiva (Archivio Storico Politecnico di Milano, fondo Silvano Zorzi, Milano).

Dunque prospettive di ponti, per niente consuete negli archivi degli strutturisti, in cui si mettono in risalto, con mirati chiaroscuri e ombreggiature, i bordi, i confini, valorizzando l'essenzialità grafica delle opere, spesso ridotte a pochi elementi giustapposti: sembra di vedere il disegno di presentazione di una lampada o di una libreria, invece che di un'opera funzionale e "brut", come un viadotto.

Disegnare per il calcolo e per il montaggio

Nell'attività di Zorzi il disegno ha costituito anche uno strumento di supporto al calcolo analitico. Nel 1961, per il completamento del tracciato dell'Autosole, progetta altri due ponti, stavolta ad arco, entrambi sull'Arno e realizzati dall'impresa Astaldi, a Incisa e a Levane.
Per il primo, in particolare, accosta due archi portali in cemento armato precompresso, di 104 m di luce costruito su spettacolari castelli di tubi Innocenti. L'analisi delle sollecitazioni è qui condotta mediante il tracciato delle linee di influenza delle incognite iperstatiche, utilizzando il metodo dell'ellisse di elasticità (fig. 6). I calcoli sono sviluppati per via analitica, ma la rappresentazione grafica ne consente una verifica di coerenza e congruenza dei valori, utile anche per l'approvazione del progetto da parte delle amministrazioni competenti. La verifica delle fondazioni, poi, è condotta con un vero e proprio metodo grafico, usando il poligono funicolare. L'approccio misto al calcolo, analitico e grafico, sarà adottato a lungo nell'attività di Zorzi, ritrovandosi anche nel fascicolo del viadotto Gorsexio in Liguria, costruito a metà degli anni Settanta.
Quelli di Incisa e Levane sono tra gli ultimi ponti ad arco realizzati per un tracciato autostradale in Italia. Le ragioni sono tante: la nuova normativa antisismica scoraggia le strutture spingenti; le Soprintendenze ai Beni culturali iniziano a considerare il ponte ad arco troppo "ingombrante" nel

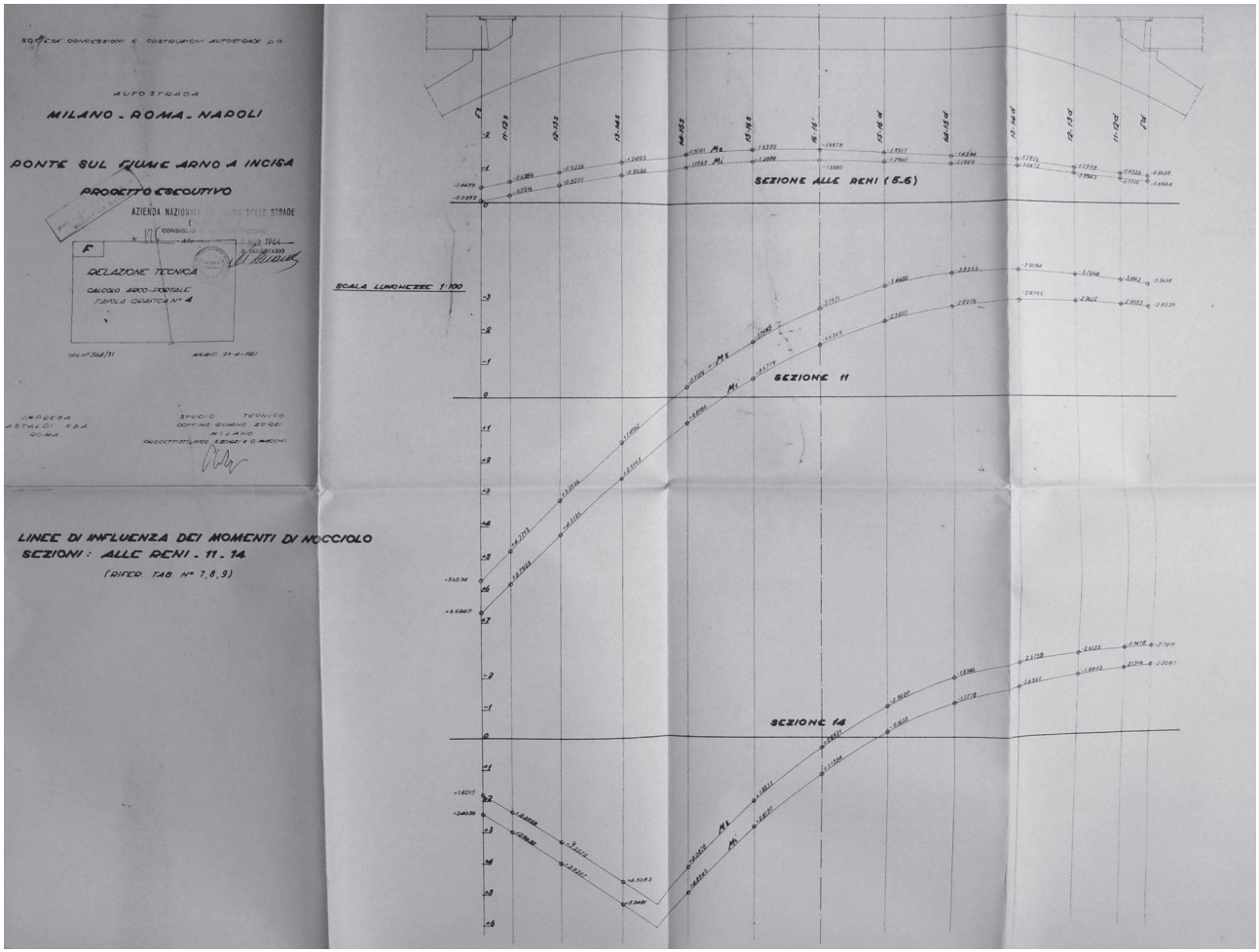


Fig. 6. Ponte dell'Autostrada del Sole a Incisa. Calcolo delle linee di influenza, grafico (Archivio Storico ANAS, Cesano).

paesaggio e chiedono soluzioni più astratte, lineari e slanciate; il costo della manodopera aumenta e rende sempre più costoso il montaggio delle centine; infine, la politica delle opere pubbliche italiana richiede ritmi costruttivi sempre più veloci e un'elevata produttività dei cantieri. All'artigianalità degli ultimi anni dei grandi ponti ad arco seguirà, quindi, la necessità di costruire sempre più rapidamente tanti viadotti per le tratte autostradali italiane, date in concessione negli anni Sessanta e costruite fino a tutto il decennio successivo. L'affermazione del nuovo tipo di viadotto, a pile alte e travate continue, non coglie Zorzi impreparato. Invece di subire le nuove necessità della produzione, l'ingegnere si dedica a inventare nuovi procedimenti costruttivi. Nei suoi progetti conquistano quindi un ruolo centrale le procedure



Fig. 7. Ponte dell'Autostrada del Sole a Incisa, in costruzione (Archivio Storico In.Co. S.p.A. - Milano).

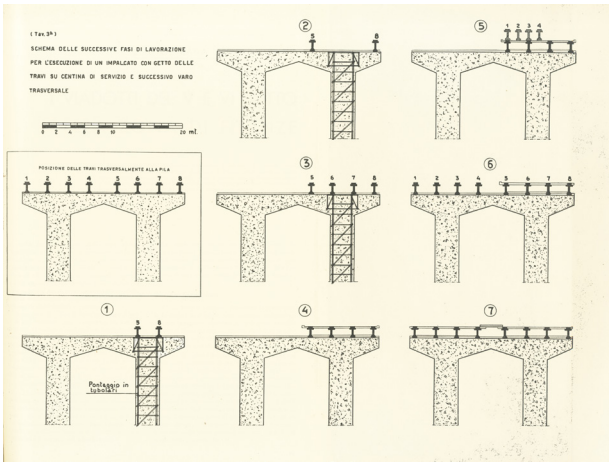


Fig. 8. Ponti dell'Autostrada del Sole al Mugello, schema fasi della costruzione (Archivio SIXXI).

di montaggio degli elementi, che dovranno essere assemblati per costituire gli impalcati dei viadotti.
Negli anni Sessanta Zorzi svolge anche un'assidua attività di divulgatore, tenendo conferenze su invito e scrivendo articoli per riviste specialistiche, come *Autostrade* e *L'Industria Italiana del Cemento*. Nell'illustrazione delle modalità realizzative adottate per i viadotti Mulinaccia, Bellosguardo, Baccheraia, Goccioloni I e Goccioloni II, sull'Autostrada del Sole per il V e VI lotto della Zona di Firenze (1959-1960), per esempio, l'ingegnere impiega, insieme alle foto di cantiere, schemi grafici, evidentemente estrapolati dagli elaborati di progetto, che comunicano le caratteristiche delle strutture e gli innovativi procedimenti di montaggio adottati (fig. 8). Così, oltre che per descrivere la disposizione delle armature, dei cavi di precompressione, la sagoma degli alloggiamenti della testa dei cavi nella trave, il disegno è utilizzato ora per mostrare lo "schema delle operazioni elementari per il varo" delle travi dei viadotti. Ne sono elaborate due versioni distinte, per diverse parti dell'infrastruttura: uno che prevede un piazzale di prefabbricazione e trasporto su carrelloni; l'altro con getto delle travi su centina di servizio appoggiata sulle strutture già realizzate e successivo varo trasversale: un'invenzione di Zorzi e dell'impresa costruttrice per ovviare all'indisponibilità degli spazi per installare il cantiere di prefabbricazione.

Disegni per officine mobili

La prefabbricazione sembrerebbe, comunque, lasciare poco spazio alla progettazione e alla ricerca sulla forma della struttura. In questi anni l'ingegnere si dedica perciò a reinventare il cantiere, riuscendo a disegnare nuovi capolavori [Zorzi, 1968]. Distinguendosi dai suoi colleghi che operano negli stessi anni, Zorzi affermerà che: «L'opera da realizzare deve infatti certamente essere la più funzionale, ma nel contempo essa deve configurarsi anche come un armonico e durevole inserimento nell'ambiente e costituire una visione di per sé appagante» [Zorzi 1981, pp. 11-12]. Solo razionalizzando e industrializzando il cantiere Zorzi può recuperare, nel nuovo contesto, la qualità e la flessibilità del getto in opera, cui non intende rinunciare. Introduce così in Italia due macchine speciali, importate dalla Germania ma adattate al cantiere italiano: la centina autovarante e il carrellone scorrevole.
La prima è una piccola officina mobile, coperta, che si appoggia sulle teste dei piloni e scivola avanzando da un pilone all'altro [Blandino 2014, pp. 104-113]. L'uso è conveniente quando le pile si ripetono tutte uguali, come nelle sopraelevate urbane e nei viadotti per le strade di scorrimento realizzate fuori città. Anche in queste esperienze la strada pensile è come un portico: l'intradosso

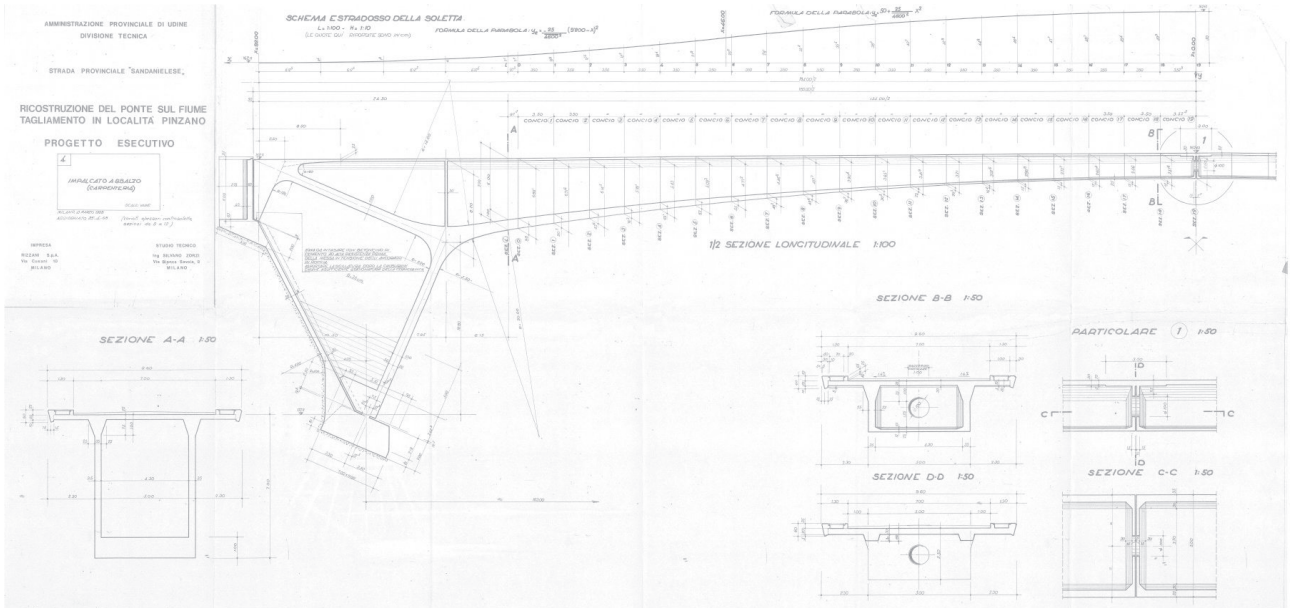


Fig. 9. Ponte sul fiume Tagliamento in località Pinzano, progetto esecutivo. Impalcato a sbalzo. Carpenteria, sezione longitudinale (Archivio Storico In.Co. S.p.A., Roma).

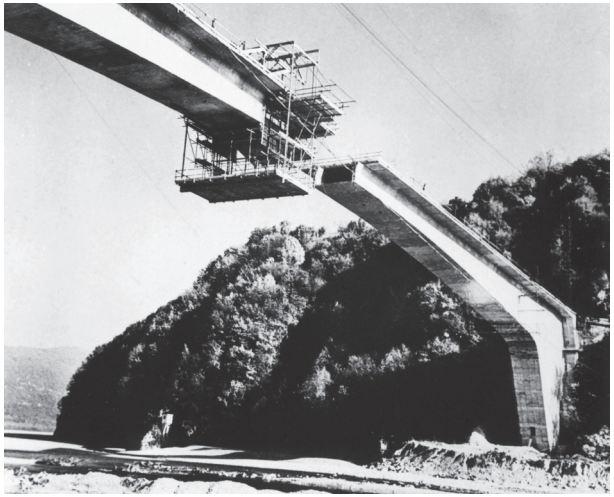


Fig. 10. Ponte sul fiume Tagliamento in località Pinzano, in costruzione (Archivio Storico Politecnico di Milano, fondo Silvano Zorzi, Milano).



Fig. 11. Viadotto Gorsexio a Voltri per l'autostrada Voltri-Alessandria (Archivio Storico Cooperativa Muratori & Cementisti C.M.C., Ravenna).

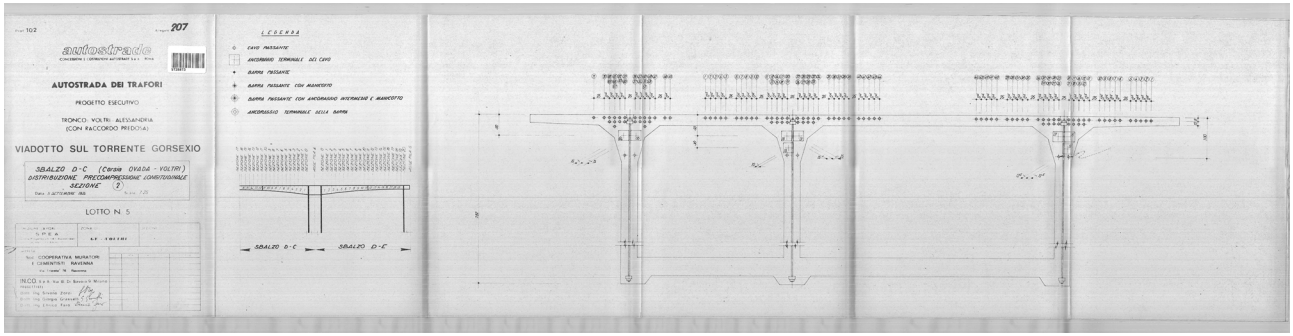


Fig. 12. Viadotto Gorsexio a Voltri per l'autostrada Voltri-Alessandria. Progetto esecutivo, sezione trasversale (Archivio Storico Cooperativa Muratori & Cementisti C.M.C., Ravenna).

deve essere bello, perché si apprezza da sotto. Zorzi è abile a disegnare pile snelle e sagomate, centrali alla piastra di impalcato che si apre a mensola, assottigliandosi ai bordi. Per la realizzazione di queste opere, tra cui spicca per arditezza il viadotto Teccio a Cadibona per l'autostrada Torino-Savona (1974), lo studio di Zorzi è impegnato anche nella progettazione del funzionamento delle macchine. Gli elaborati, sviluppati insieme a ditte specializzate, analizzano e validano gli schemi di montaggio e di avanzamento delle attrezzature utilizzate, che diventano centrali per la buona esecuzione delle opere.
Con il carrellone scorrevole, invece, Zorzi realizza ponti con la tecnica del "poco a poco". Rispetto all'immagine unitaria della struttura che si ottiene al termine della costruzione, i disegni dei progetti esecutivi devono precisare la dimensione dei conci da gettare, fatti per poter essere sostenuti dalla macchina di cantiere fino a quando il conglomerato raggiunge una sufficiente resistenza meccanica, nonché il tipo e la disposizione delle barre di precompressione, ormai quasi sempre di tipo Dywidag. L'ingegnere adotta i carrelloni scorrevoli per la prima volta nel 1967, in una serie di viadotti lungo l'autostrada Azzurra in Liguria, da Genova a Rapallo e poi per il citato ponte sul Tagliamento a Pinzano (figg. 4, 9, 10). Le analisi in prospetto, pianta e sezione mostrano le particolari soluzioni costruttive definite da Zorzi: l'attenta modellazione delle membrature cementizie, l'andamento delle barre punto per punto, le soluzioni speciali per ottenere le cerniere in chiave al ponte e la configurazione a tre cerniere che assicura l'eccezionale linea della struttura. Con la stessa tecnica realizza l'impalcato del Gorsexio (figg. 11, 12), uno dei suoi ultimi capolavori. Innalzato sulle vertiginose pile a sezione lamellare, la definizione delle fasi costruttive impegna a lungo i disegnatori dello studio: servono 20 dettagliatissime sezioni per ciascuna semicampata per descrivere l'esatta disposizione di tutti i dispositivi necessari alla precompressione: cavi passanti, ancoraggi delle barre passanti, con manicotto e con ancoraggio intermedio, ancoraggi terminali, la cui posizione è continuamente variabile all'interno della trave. Una progettazione tecnologica minuziosa e raffinata, che rivela il tentativo di Zorzi di conservare, nelle proprie opere, il suo distintivo tratto minimalista, la leggerezza strutturale, costruttiva e figurativa tipica del suo approccio alla progettazione.
Zorzi è cosciente dell'anacronismo, tanto che all'inizio degli anni '80, mentre nei cantieri delle infrastrutture italiane restano irrisolti i temi della qualità formale dei progetti e della permanenza delle opere nell'ambiente, afferma che il progettista responsabile, che abbia a cuore l'espressione essenziale della struttura e la sua corretta esecuzione, in un «clima di grande competitività e a fronte di Committenti per lo più distratti», si troverà, purtroppo, «sovente solo» [Zorzi 1981, p. 35].

Conclusioni

L'analisi della rappresentazione del progetto nell'opera di Silvano Zorzi consente di riconoscere come il disegno abbia rappresentato un dispositivo critico capace di rendere visibile l'intima connessione tra logica strutturale, processo costruttivo e qualità formale. Nei progetti di ponti

e viadotti, gli elaborati grafici non si limitano a registrare soluzioni tecniche, ma traducono un pensiero progettuale che integra calcolo, definizione delle procedure di montaggio e percezione della struttura come oggetto inserito nel paesaggio. In questo senso, la produzione grafica di Zorzi si colloca in continuità con la tradizione della Scuola italiana di Ingegneria strutturale, ma ne rappresenta anche un'evoluzione originale, orientata a conciliare le esigenze dell'industrializzazione dei cantieri con l'attenzione al rapporto tra la forma della struttura e il contesto, ambientale o urbano.

La rappresentazione del progetto, nell'attività di Zorzi, non va quindi letta solo sul piano della sperimentazione tecnica, ma anche su quello della costruzione di un linguaggio visivo, nuovo nel panorama della costruzione delle infrastrutture italiana, basato sull'affinità con il mondo del design. La sua opera testimonia come, nella cultura ingegneristica italiana del secondo dopoguerra, la rappresentazione non sia mai riducibile a mera trascrizione, ma si configuri come un vero e proprio strumento di invenzione, di controllo e di comunicazione della forma strutturale.

Crediti

L'autore ringrazia tutti coloro che hanno agevolato la ricerca nella consultazione dei fondi archivistici citati. Tra questi, in particolare: il professor Giulio Barazzetta (Fondo Zorzi - Archivio del Politecnico di Milano), Aurora Farah (Archivio Storico ANAS, Cesano) e i rappresentanti della società *Inco* (Archivio Storico Inco).

Note

[1] Sul progetto di ricerca *SIXXI - XX Century Structural Engineering: The Italian Contribution* ERC Adv Grant 2011. PI: Prof. Sergio Poretti, Tullia Iori, cfr.: https://www.tulliaiori.com/SIXXI/. Sulla Scuola italiana di Ingegneria strutturale e i suoi Maestri, cfr. i volumi *SIXXI – Storia dell'ingegneria strutturale in Italia*, curati da S. Poretti e T. Iori, editi per i tipi di Gangemi dal 2014 al 2020.

[2] Per il profilo di "designer strutturale" di Silvano Zorzi e la sua vicenda professionale, inquadrata nella Storia dell'ingegneria italiana del Novecento, cfr: Iori, Capurso 2019;

Autore

Gianluca Capurso, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", capurso@ing.uniroma2.it

Riferimenti bibliografici

Blandino, I. (2014). Le macchine per nastri sottili di rapido scorrimento. Alcune opere di Silvano Zorzi tra il 1960 e il 1972. In T. Iori, S. Poretti (a cura di), *Storia dell'ingegneria strutturale in Italia. SIXXI 1*, pp. 104-113. Roma: Gangemi.

Capurso, G. Martire, F. (2017). Cantieri nel vuoto. Viadotti in cerca d'autore. In In T. Iori, S. Poretti (a cura di), *Storia dell'ingegneria strutturale in Italia. SIXXI 4*, pp. 98-115. Roma: Gangemi.

Iori, T., Capurso, G. (2019) Silvano Zorzi, designer strutturale. In *Archi*, n. 5, pp. 19-22.

Iori, T., Poretti, S. (2015). Il Linguaggio delle strutture. In T. Iori, S. Poretti (a cura di), *SIXXI. Storia dell'ingegneria strutturale in Italia 2*, Gangemi, Roma 2015, pp. 7-21.

Zorzi, S. (1968). Strutture prefabbricate o calcestruzzo monolitico? In *L'Industria Italiana del Cemento*, n. 5, pp. 283-302.

Zorzi, S. (1981). *Silvano Zorzi: ponti e viadotti*. Roma: De Luca. (Catalogo della mostra a cura di L. Magagnato. Verona, Museo di Castelvecchio, gennaio-febbraio 1981).

Zorzi, S. (1983). Un nuovo viadotto. In *Casabella*, n. 490, pp. 2-11.

Metodi di dimensionamento e schemi geometrici nell'architettura adrianea: il caso del Tempio di Venere a Baia

Enrico Gallocchio, Elena Eramo, Silvia Bertacchi, Filippo Fantini

Abstract

Il cosiddetto Tempio di Venere a Baia (II sec. d.C.) è una delle più complesse architetture voltate di età adrianea oggi conservate. Sebbene tradizionalmente identificato come tempio, l'edificio era parte del complesso termale di Baia. La sua articolazione spaziale riflette il carattere sperimentale tipico della progettazione adrianea.
Il presente studio, basato su un rilievo integrato dell'edificio, investiga le logiche geometriche che ne hanno governato il progetto. L'indagine è rivolta a verificare se la composizione sia stata governata da uno schema modulare, con diametri multipli di sette, e articolata secondo uno schema ad quadratum*. Tali ipotesi sono state provate sfruttando protocolli di* reverse modeling *e algoritmi di* best-fitting *nell'analisi del modello poligonale del monumento. I risultati confermano un diametro di progetto di 91* pedes*, suddiviso in moduli di 13* pedes*, coerentemente con altre volte adrianee. In alzato, la copertura si configura come una volta composita, ottenuta dall'alternanza di segmenti cilindrici e* trikentron*. L'audacia strutturale del progetto è confermata da proporzioni eccezionalmente snelle, con un rapporto tra luce libera e spessore della muratura di 1:8,86. La ricerca mostra come nella progettazione adrianea si impiegassero strumenti geometrici flessibili e efficaci –multipli di sette, ad quadratum e griglie modulari– per generare soluzioni spaziali innovative e ottimizzate. I risultati contribuiscono alla più ampia comprensione della sperimentazione progettuale dell'epoca.*

Parole chiave: volte adrianee, griglie modulari di progetto, trikentron, reverse modeling, strutture voltate romane.

Introduzione

Il cosiddetto Tempio di Venere a Baia (Napoli) è una delle architetture di età adrianea (II sec. d.C.) fra le più innovative e ardite sotto il profilo strutturale, sebbene oggi sia solo parzialmente intuibile l'originale grandiosità del sistema voltato a copertura dell'aula circolare maggiore del complesso. L'edificio è dominato dall'imponente volume di tale sala [De Angelis d'Ossat 1977; Rakob 1988], coperta da una monumentale volta composta (figg. 1, 2). Intorno a questo nucleo, una serie di ambienti subordinati, di piccole dimensioni, definisce un basamento pressoché quadrato, oggi in larga parte interrato. Sul lato occidentale di tale basamento si innestano due volumi minori rispetto al corpo principale. La funzione e configurazione di questi ambienti restano incerte e la loro leggibilità è compromessa, oltre che dal cattivo stato di conservazione, anche dal passaggio di una strada moderna che ha obliterato parte dell'impianto originario (fig. 3).
Benché tradizionalmente identificato come "tempio", l'edificio aveva in realtà una funzione termale. L'impropria denominazione risulta fuorviante, in quanto la sua composizione architettonica riflette il carattere sperimentale proprio di molte costruzioni commissionate dall'imperatore Adriano e in parte forse progettate dallo stesso, nelle quali le tipologie convenzionali erano costante oggetto di reinterpretazione. Il presente studio si basa sull'acquisizione di dati eseguita tramite rilevamento integrato, finalizzata alla produzione di un modello tridimensionale ad alta risoluzione da impiegare come base per l'analisi del progetto.

https://doi.org/10.26375/disegno.17.2025.9

BY-NC-ND

La ricerca presentata si inserisce in un più ampio progetto rivolto alla comprensione delle peculiarità architettoniche e strutturali delle volte di età adrianea [Cipriani et al. 2020; Eramo & Fantini 2024; Roca et al. 2024]. In questo contesto, gli autori hanno sviluppato un metodo di interpretazione che muove dall'analisi della composizione planimetrica dell'edificio e procede attraverso indagini progressivamente più approfondite degli alzati. Oltre all'impiego di applicativi indirizzati alla lettura formale dei resti, il metodo prevede l'integrazione dell'apparato teorico derivante dall'esegesi vitruviana con i principi matematici formulati da Erone di Alessandria [Heiberg 1914a; 1914b], offrendo strumenti interpretativi per affrontare questioni archeologiche inerenti alle logiche progettuali e alla ricostruzione di elementi architettonici perduti o frammentari.

Fig. 1. Il complesso monumentale del Tempio di Venere, visto dall'ingresso ovest (fotografia di S. Bertacchi).

Fig. 2. Vista della porzione conservata della volta e delle aperture nel tamburo (fotografia di S. Bertacchi).





Oltre alle analisi condotte per interpretare e "ricostruire" i passaggi che dal progetto planimetrico permettono di giungere all'alzato e alla definizione dell'intradosso del sistema voltato, è stato possibile integrare nelle analisi l'esito dei recenti carotaggi effettuati al centro dell'aula maggiore (fig. 4). Tali evidenze hanno fornito elementi per una più accurata comprensione dell'elevazione e del livello di calpestio originali. Gli studi sull'alzato indicano, infatti, la presenza di un sistema voltato articolato, composto da otto segmenti cilindrici principali, impostati sul tamburo esternamente ottagonale, e da otto *trikentron* [1], superfici a doppia curvatura collocate al di sopra delle finestre.

Più nello specifico, la volta oggetto di indagine è tra le più ampie del mondo antico [Sanpaolesi 1971], con un diametro libero di 26,57 metri e uno spessore murario approssimativamente di 3 metri, in corrispondenza dei piloni ai vertici del perimetro ottagonale esterno. Il rapporto diametro-spessore che ne risulta è di circa 1:8,86, notevolmente snello se confrontato con la cupola del Pantheon di Roma, la cui luce di 43,56 metri è sorretta da muri spessi 6,2 metri, ossia in rapporto di circa 1:7,03. Tali proporzioni mettono in evidenza l'audacia tecnica della struttura di Baia e rinforzano il suo ruolo di esempio paradigmatico di innovazione architettonica.

Infine, le analisi dell'edificio e dei resti della volta contribuiscono a collocare il cosiddetto Tempio di Venere nel più vasto complesso archeologico sviluppato sul pendio retrostante, di cui costituisce un ampliamento successivo, non allineato alle adiacenti strutture preesistenti.

I risultati di seguito discussi pongono le basi per future indagini sull'articolazione complessiva del sito e sulla sua logica volumetrica e progettuale, la cui lettura è complicata dalla parziale rovina delle strutture e dai fenomeni bradisismici in atto, aprendo nuove prospettive di riflessione sulla sperimentazione architettonica adrianea.

Obiettivi e metodologia

Scopo del presente studio è porre in evidenza i sistemi di dimensionamento adottati dagli antichi architetti come insieme di regole e vincoli progettuali, sia nella planimetria sia

nell'alzato del complesso del Tempio di Venere a Baia. Attraverso l'analisi dei dati di rilevamento e delle fonti storiche, si intendono appurare le possibili relazioni con edifici caratterizzati da forme e soluzioni strutturali analoghe a quelle del Tempio. In particolare, si vuole verificare la presenza di una griglia modulare alla base dell'intera composizione e se il diametro dello spazio coperto sia un multiplo di 7, in linea con gli studi di Svenshon [Svenshon 2009] e Fuchs [Fuchs 2023]. Un ulteriore obiettivo dell'indagine è la formulazione di un'ipotesi sull'altezza originaria complessiva dell'aula circolare, allo scopo di verificare il rapporto proporzionale tra l'impianto planimetrico e lo sviluppo verticale dell'edificio. In diversi complessi coevi già analizzati – come le Piccole Terme [Cipriani et al. 2017], il Triclinio Orientale della Piazza d'Oro e il Serapeo [Eramo, Fantini 2024] di Villa Adriana – è stato costantemente osservato un rapporto 1:1 tra pianta e alzato. Tuttavia, in altri casi, lo sviluppo verticale supera la luce libera per diverse ragioni, spesso di natura strutturale, come nel Vestibolo di accesso alla Piazza d'Oro, dove l'altezza maggiorata risponde a specifiche esigenze di carattere ingegneristico e spaziale [Adembri et al. 2018].
La forma dei resti delle diverse porzioni che compongono la volta è, quindi, oggetto di uno studio quantitativo, finalizzato a ipotizzare la geometria complessiva che ne ha governato il progetto. A tal fine, dai dati di rilevamento acquisiti nel febbraio 2024, è stato prodotto un modello digitale ad alta risoluzione. La campagna di rilievo del monumento è stata condotta allo scopo di definire una base di dati completa e affidabile per le analisi geometriche e le successive interpretazioni. Nel rilievo sono state incluse anche le aree circostanti, al fine di "ricucire" il Tempio di Venere con i resti archeologici posti al livello superiore del sito, oggi separati dal passaggio della strada carrabile. Le attività di rilevamento hanno previsto una documentazione integrata, ossia: i) un'acquisizione con Terrestrial Laser Scanner (TLS), eseguita con una Leica ScanStation C5 basata su tecnologia Time-of-Flight (ToF), (80 scansioni a risoluzione media) per la generazione di un modello digitale tridimensionale dettagliato, ottenuto attraverso procedure standard di *meshing* e ottimizzazione; ii) un'acquisizione fotogrammetrica, specificamente dedicata al monumento oggetto di indagine, composta da 986 fotografie scattate con fotocamera Nikon D5200 (equipaggiata con obiettivo Nikon AF-P 18-55mm f/3.5-5.6 DX VR) e target X-Rite ColorChecker, allo scopo di ottenere una mappatura del colore apparente corretta da dominanti cromatiche presenti al momento del rilevamento (fig. 5).

I dati acquisiti sono stati elaborati utilizzando un'applicazione di *Reverse Modeling* (RM), che rappresenta lo stato dell'arte nel settore [2]. Se opportunamente impiegati, questi strumenti risultano pienamente coerenti con gli obiettivi dell'analisi del progetto architettonico. Il protocollo adottato prevede la conversione del modello a nuvola di punti in una *mesh* ad alta risoluzione, impiegata come base per le analisi successive. La *mesh* risultante è caratterizzata da una lunghezza media degli spigoli di circa 4 mm, valore che consente un'elaborazione efficiente e un'interpretazione accurata dei modelli derivati dalle nuvole di punti, secondo le fasi descritte di seguito:

- sono definiti interattivamente piani, vettori e punti diriferimento, necessari alla creazione di schemi bidimensionali. Questi riferimenti vengono posizionati in modo strategico per riconoscere gli elementi architettonici originali e distinguerli dagli interventi di restauro successivi o dalle alterazioni dovute a cause antropiche o naturali;
- gli elementi geometrici, in particolare i piani, sono impiegati in diverse operazioni di analisi:
  - estrazione di sezioni utili per un'accurata documentazione della struttura costruita;
  - generazione di profili bidimensionali di *best-fitting*, impiegati come base per le letture interpretative del progetto architettonico;
  - ottenimento di curve di livello, che rivelino le tracce del le superfici voltate originarie, specialmente nelle aree in cui l'intradosso è maggiormente interessato da fenomeni di degrado, offrendo così preziose indicazioni per la ricostruzione della configurazione spaziale iniziale;
- da collezioni attentamente selezionate di punti o regioni, definite manualmente dall'operatore o estratte automaticamente, vengono derivate primitive geometriche, come solidi o superfici, in grado di approssimare il sistema voltato originario. Queste forme idealizzate fungono da modelli di riferimento analitico, consentendo una lettura più rigorosa dei resti conservati;
- le forme idealizzate, definite mediante superfici o solidi NURBS, possono essere confrontate con la corrispondente *mesh* originale, al fine di migliorare l'accuratezza e l'affidabilità complessiva del processo di ricostruzione e interpretazione.

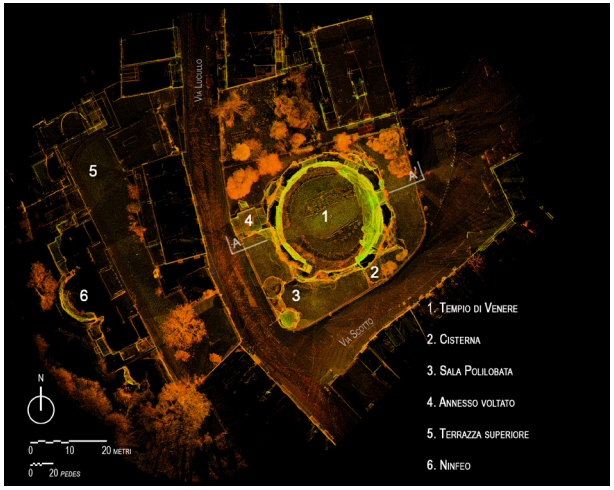
Inoltre, per alcune delle analisi di maggiore approfondimento è stato sviluppato un processo *ad hoc*, basato su algoritmi di *best-fitting* per curve e superfici quadriche.

I dati ottenuti attraverso i protocolli di *reverse modeling* sono stati impiegati per verificare l'ipotesi secondo cui gli antichi architetti possano aver adottato un approccio codificato alle strutture voltate, come delineato in alcuni testi attribuiti a Erone di Alessandria, in particolare negli *Stereometrica I*, *Stereometrica II* e nel *De Mensuris*. Benché il trattato originale di Erone sulle volte "*ta kamarika*" [Conti, Martines 2010] sia andato perduto, studi recenti di Roca, Juan-Vidal, Cipriani, Fantini [Roca et al. 2023] suggeriscono che parte dei suoi contenuti possa rintracciarsi nelle edizioni di Heiberg [Heiberg 1914a; 1914b]. Erone basa i propri studi sui più noti testi di Archimede, semplificandoli con un taglio tecnico e applicativo. Ridotte alle loro espressioni matematiche essenziali, le formule e i metodi relativi al calcolo del volume (ovvero della quantità di materiale da costruzione) di archi, cupole e spazi voltati possono essere sintetizzati come segue:

– sottrazione di volumi (intradosso meno estradosso): l'intrdosso di cupole e archi è spesso descritto con un diametro di sette unità o loro multipli;
– uso di superfici "medie", posizionate in mezzeria tra intradosso ed estradosso, che vengono poi moltiplicate per uno spessore costante al fine di stimare il volume (anche in questo caso, il diametro corrisponde a sette unità o loro multipli). Un metodo analogo è descritto da Erone per il calcolo del numero di spettatori di un teatro [Bianchini, Fantini 2015];
– un ulteriore metodo contempla l'applicazione di pezze di tessuto di forma rettangolare, su superfici complesse, successivamente disposti su di un piano per misurarli. Sebbene tale approccio fornisca un mezzo pratico per stimare le aree di forme irregolari, sembra essere più appropriato per sculture che per l'analisi di sistemi voltati complessi.

Uno degli aspetti chiave dei metodi di progettazione antica risiede nel riconciliare una componente strettamente quantitativa – che potremmo definire computazionale (*distributio*) – con un criterio modulare che permea l'intero edificio (*ordinatio*), e con costruzioni grafiche a riga e compasso di provata efficacia e agevole esecuzione, come lo schema *ad quadratum* o quello dodecagono del teatro latino [3].
Un'ultima osservazione riguarda il valore di π, che nei calcoli è sistematicamente approssimato con il rapporto 22/7. Per questa ragione, i diametri venivano spesso impostati come multipli di sette, al fine di agevolare i calcoli dei perimetri e, successivamente, di tutte le quantità correlate, come le aree delle superfici e i volumi.

Fig. 3. Vista planimetrica della nuvola di punti da TLS dei principali resti archeologici del complesso del Parco Archeologico delle Terme di Baia con i principali resti archeologici. (registrazione e processing della nuvola di punti di S. Bertacchi).



Analisi della pianta

In merito all'interpretazione del progetto in pianta (*ichnographia*), la rotonda sembra essere generata dalla sua circonferenza interna, che segue la stessa logica progettuale di altri edifici del tempo di Adriano, ossia l'uso di un diametro multiplo del numero sette. Ciò si osserva in ben noti complessi di Villa Adriana, in particolare in due cupole ancora in buono stato di conservazione, nel cosiddetto complesso della Piazza d'Oro. Nel caso del Triclinio Orientale, l'intradosso della semicupola emisferica presenta un diametro di sette moduli di 5,5 *pedes*. Il secondo esempio, sempre all'interno del medesimo complesso, è quello del vestibolo che dà accesso al vasto portico (fig. 6). Qui, la ricorrenza del numero sette è meno esplicita: mentre nel triclinio si manifesta attraverso il numero dei moduli, il vestibolo misura 6 moduli di 5,5 *pedes* (33 *pedes*), ai quali si devono sommare 2 *pedes* – corrispondenti alla distanza tra l'intradosso e l'estradosso – raggiungendo così un totale di 35 *pedes*. Una ricorrenza analoga si riscontra nella volta del Serapeo, in cui la pianta è impostata su otto moduli di 7 *pedes*, suggerendo

nuovamente una logica compositiva basata su multipli di sette (fig. 7).
Una volta determinato il diametro dello spazio interno (26,57 m alla quota di +9 m dal livello del terreno attuale) mediante strumenti di reverse *modeling*, questo è stato diviso per il *pes* standard (1 *pes* = 0,2956 m), ottenendo una misura di approssimativamente 90 *pedes* (89,88 *pedes*) per il diametro di *best-fitting* (D_{BF}) (fig. 8A). Assumendo tale arrotondamento, e considerando π = 22/7, si ricava il seguente modulo (M):

$$M = 90/7 = 12{,}86 \text{ pedes} \approx 13 \text{ pedes} \quad (1)$$

Non deve stupire che il risultato non restituisca un numero intero, verosimilmente a causa di principi precauzionali che gli ingegneri romani adottavano sistematicamente nel progetto di strutture innovative, come il grande spazio voltato del Tempio di Venere. In effetti, il calcolo per la determinazione del diametro di progetto (D_D - *Design Diameter*), condotto nelle fasi iniziali di dimensionamento, potrebbe essere stato quello qui di seguito espresso (fig. 9B), dove la circonferenza di progetto (in rosso) può essere suddivisa in sette moduli di 13 *pedes* ciascuno:

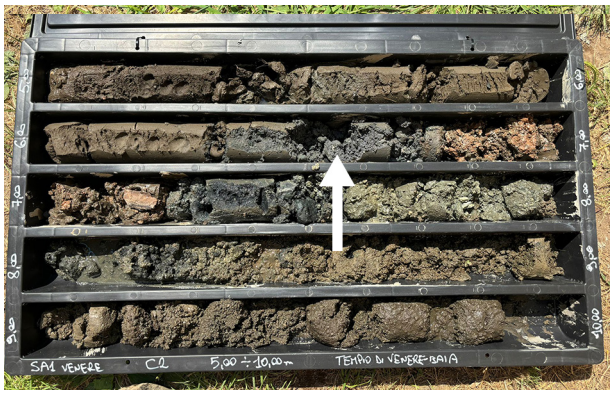
$$D_D = 7 \times 13 = 91 \text{ pedes} \quad (2)$$

Tale valore può essere stato ridotto a 90 *pedes* per fornire maggiore spessore murario. Considerando la muratura intorno ai lati dell'ottagono, lo spessore varia di pochi centimetri; ciononostante, il suo valore si adatti alla griglia modulare, essendo pari a mezzo modulo (*M*/2 = 1,921 m = 6,5 *pedes*). L'impianto planimetrico dell'edificio è basato anche sullo schema *ad quadratum*, all'interno del quale è inscritta una circonferenza di otto moduli: il tamburo è definito da una lunghezza del lato pari a S_{AQ} = 104 *pedes* (8 moduli di 13 *pedes*) (fig. 8B). Come osservato in precedenza da Rakob [Rakob 1988], alla maglia modulare di 13 *pedes* che governa il dimensionamento dell'edificio è rapportato anche lo spessore dei piloni. Inoltre, le facce piane della struttura ottagonale esterna, poste tra i piloni, misurano in media 26 *pedes* di larghezza, mentre le finestre misurano 13 *pedes*, fornendo ulteriore conferma della logica modulare (fig. 8C).
I vertici dell'ottagono sono rinforzati da masse angolari (ampiezza ca. 17°), che aumentano lo spessore resistente fino a circa 10 *pedes* (fig. 8D). La loro *silhouette* curvilinea accentua ulteriormente il ruolo strutturale di questi rinforzi, se confrontata con i 6,5 *pedes* di spessore delle pareti, coerenti con lo schema modulare.

Analisi dell'elevato

Per quanto concerne il progetto dell'elevazione, la volta presenta caratteristiche strettamente confrontabili con quelle di altri esempi adrianei concepiti a partire da piante circolari, in particolare il Serapeo di Villa Adriana e gli *Horti Sallustiani* a Roma [Eramo, Cinque 2024; Eramo, Fantini 2024]. In tali complessi, l'impostazione progettuale è fondata sulla definizione di una primitiva generale, coincidente con i segmenti di volta più semplici –qui genericamente indicati come fusi – successivamente integrata con elementi a *trikentron*. Le analisi, di seguito discusse, sono pertanto rivolte alla comprensione della forma generatrice del complesso qui indagato. Occorre sottolineare come la struttura superstite, specialmente la sua superficie di intradosso, sia fortemente degradata e levigata da fenomeni erosivi, rendendo una ricostruzione della sua forma originale, benché fondata su evidenze misurabili, soggetta a un inevitabile margine di interpretazione (fig. 9).
Una fase preliminare delle analisi ha pertanto previsto la segmentazione manuale del modello poligonale, per isolarne le porzioni meglio conservate, potenzialmente corrispondenti alla superficie di intradosso originale.
Il modello è stato quindi analizzato attraverso tre metodi complementari. Il primo ha riguardato l'esame di sezioni verticali dei fusi, tracciate secondo piani radiali significativi rispetto alla simmetria del disegno planimetrico (fig. 9A), per le

Fig. 4. Carotaggi estratti al centro del tempio, rivelano la presenza di un pavimento antico a circa -6,6 m dal piano di calpestio attuale (carotaggi di E. Gallocchio).



quali sono state valutate le circonferenze di *best-fitting* ($C_{BF}V$). Tali circonferenze mostrano un'elevata variabilità sia nei raggi (compresi tra 13,93 m e 15,52 m) sia nello scostamento dei loro centri dal centro del tamburo (tra 0,6 m e 1,2 m). Ciononostante, condividono alcune rilevanti caratteristiche: sono sistematicamente tangenti alla circonferenza di *best-fitting* dell'imposta ($C_{BF}H$) e presentano raggi sempre maggiori di quest'ultima (fig. 9B).

Parallelamente, le medesime porzioni del modello sono state analizzate nel loro complesso, mediante uno strumento di riconoscimento automatico della forma appositamente sviluppato, basato su una funzione Matlab per il *best-fitting* di superfici quadriche generiche [Petrov 2015]. La superficie risultante è un ellissoide (E_{BF}), i cui raggi principali, sebbene leggermente ruotati rispetto agli assi di simmetria del complesso, risultano confrontabili con essi. Tale rotazione può

Fig. 5. A. Modello poligonale del tempio (elaborazione digitale di S. Bertacchi); B. Modello fotogrammetrico con texture (elaborazione digitale di E. Eramo).

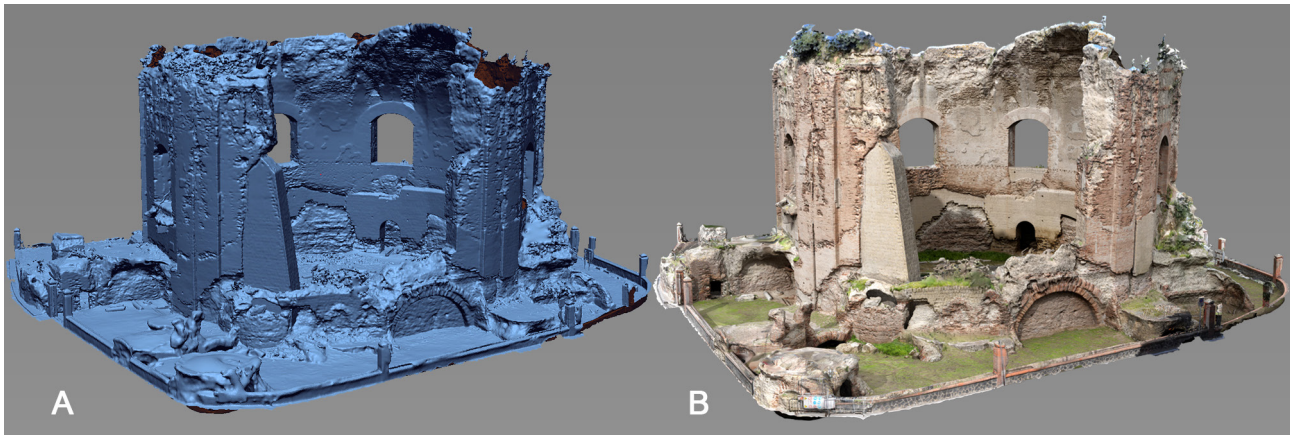
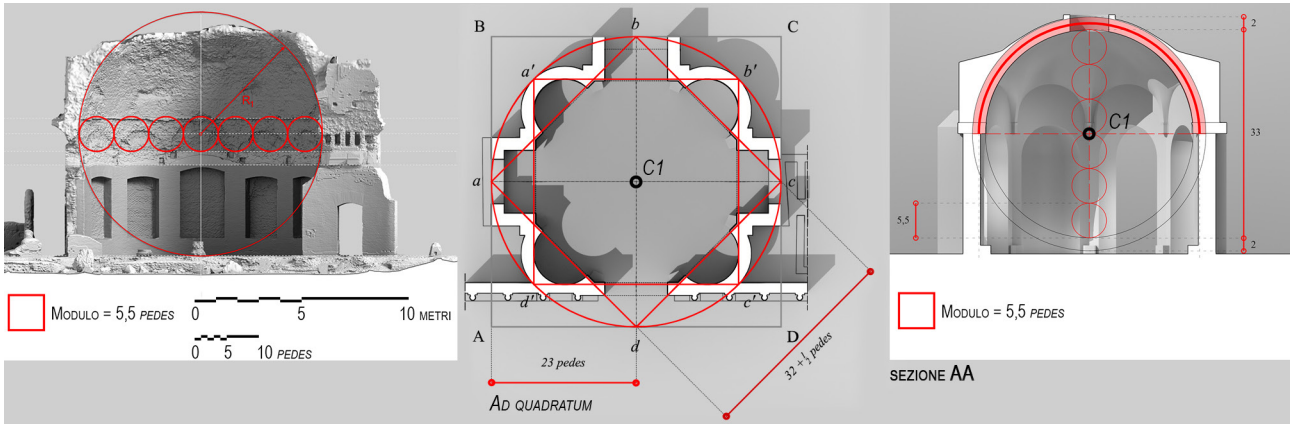
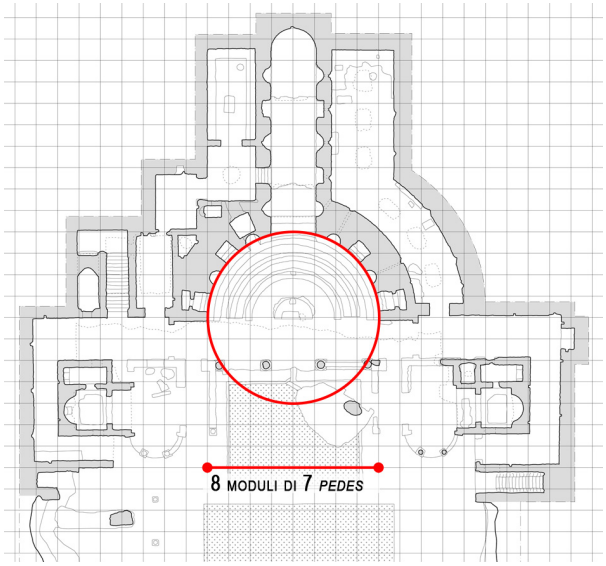


Fig. 6. A sinistra, alzato del Triclinio Orientale della Piazza d'Oro a Villa Adriana: intradosso della cupola emisferica con modularità di sette unità (modulo = 5,5 pedes). Al centro e a destra Vestibolo della Piazza d'Oro: il diametro di 35 pedes è misurato in mezzeria tra l'intradosso e l'estradosso (elaborazione grafica F. Fantini).



essere attribuita all'asimmetrica conservazione dei fusi tra il lato occidentale e quello orientale del complesso (fig. 3). I raggi dell'ellissoide pressoché orizzontali misurano 13,31 m e 13,38 m, valori assai prossimi a quello della circonferenza di imposta della copertura (13,28 m), mentre il raggio all'incirca verticale risulta di dimensione maggiore, pari a 13,69 m (fig. 9C).
I risultati delle prime due analisi indicano che la geometria complessiva della volta si discosta chiaramente da una forma sferica, quale quella degli *Horti Sallustiani*. Inoltre, il risultato del *fitting* attraverso superfici quadriche necessita di una interpretazione differente rispetto al caso del Serapeo di Villa Adriana, dove la geometria generatrice coincide esattamente con quella di un ellissoide. Per il Tempio di Venere, la procedura di *best-fitting* non ha restituito una forma perfettamente coerente con quella dei fusi della volta. Nondimeno, il risultato fornisce un'evidenza qualitativa della maggiore elongazione verticale della struttura rispetto a una superficie sferica.
Infine, i risultati delle precedenti analisi sono stati considerati alla luce dello studio delle isoipse. Per l'intero modello della volta, sono state estratte curve di livello a intervalli di 0,5 m. Come mostrato in figura 9A, le sezioni orizzontali, nei settori circolari corrispondenti ai fusi, presentano un andamento pressoché rettilineo, con pendenza decrescente lungo la direzione radiale. Nei settori corrispondenti alle aperture delle finestre all'imposta si riconoscono, invece, l'andamento marcatamente curvilineo e la maggior pendenza dei *trikentron*. Inoltre, tra i due insiemi di elementi si osservano delle strette fasce in cui le curve di livello hanno andamento lineare e inclinazione orizzontale variabile. Tali fasce, la cui larghezza si restringe verso la sommità della struttura, denotano chiaramente una funzione di raccordo tra i due gruppi principali.
Questi risultati confermano, come già proposto da Rakob [Rakob 1988], che la copertura del Tempio di Venere fu concepita come una grande volta a ombrello. La struttura è infatti formata da otto segmenti cilindrici, con raggio di curvatura maggiore rispetto a quello del tamburo di imposta, spingenti sui rinforzi angolari. I segmenti collocati al di sopra delle finestre, modellati dalle superfici a doppia curvatura dei *trikentron*, sono raccordati a quelli cilindrici tramite superfici di transizione che sfumano gli spigoli di intersezione. Tali evidenze sottolineano la raffinatezza della soluzione progettuale. A differenza dei casi di confronto sopra menzionati, nei quali alla geometria circolare della pianta corrisponde una geometria definita da una superficie convessa a doppia curvatura, la copertura del Tempio di Venere fu concepita attraverso segmenti geometricamente più semplici. In virtù dell'ampio raggio di imposta, tali segmenti approssimano con sufficiente precisione la curvatura del tamburo; sono connessi attraverso adeguamenti localizzati al tamburo e si alternano ai *trikentron*, il cui disegno originario resta ancora da chiarire. Tra i due gruppi di elementi, superfici di raccordo – generate da elementi rettilinei che seguono le curve di contorno delle porzioni adiacenti – risolvono le intersezioni e smussano l'intradosso, rendendo continua e sinuosa la sua superficie.
I risultati delle analisi sono stati confrontati con lo schema modulare identificato per la pianta, allo scopo di verificare se questo trovi corrispondenza anche nel progetto dell'alzato, consentendo di interpretare i dati in un quadro progettuale unitario e coerente. A tal fine, sono stati presi in considerazione i dati dei carotaggi (fig. 4), che indicano un possibile livello del pavimento originario alla quota di circa -6,6 m (fig. 10), valore inferiore all'attuale livello del mare e coerente con quello di alcune strutture archeologiche sommerse prossime al Tempio.

Fig. 7. Pianta del complesso del cosiddetto Serapeo-Canopo. L'intradosso misura 56 pedes, confermando la logica modulare fondata sui multipli dl numero sette (elaborazione grafica di F. Fantini).



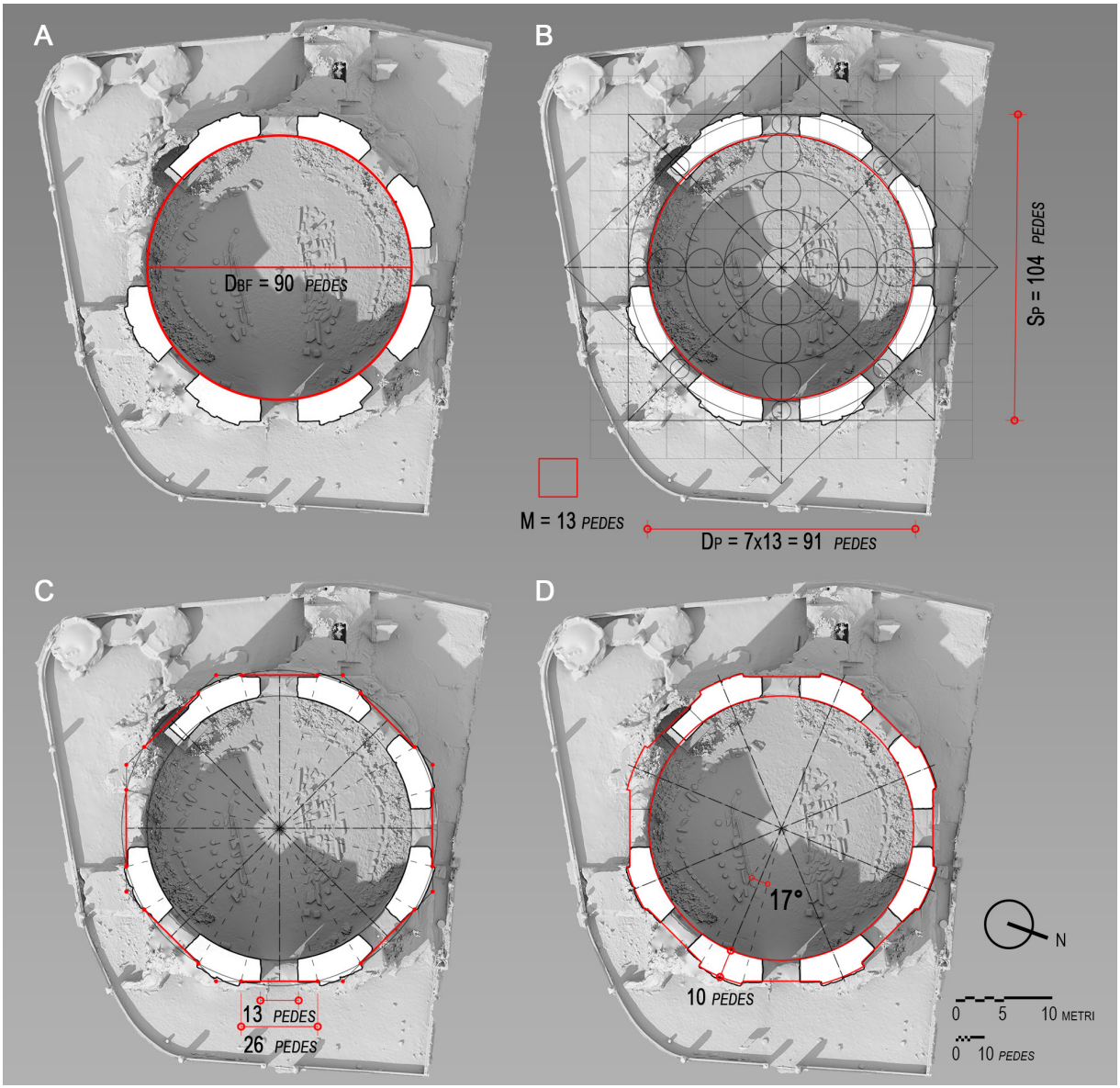


Fig. 8. Analisi geometrica della pianta. A. Circonferenza DBF, ca. 90 pedes; B. Circonferenza di progetto pari a 91 pedes con schema ad quadratum; C. Schema dimensionale dell'ottagono esterno della rotonda; D. Rinforzi angolari ai vertici (analisi geometriche di F. Fantini e S. Bertacchi).

Noto che la larghezza delle finestre corrisponde a un modulo *M* (13 *pedes*), si è osservato che l'altezza dei loro piedritti coincide con tale misura. Inoltre, il centro della circonferenza inscritta nelle finestre coincide con il piano di imposta dei segmenti cilindrici della volta che, pertanto, è stato assunto come centro compositivo dell'intero elevato (fig. 11A). Tale scelta ha fornito riscontri preliminari coerenti: il presunto pavimento antico sarebbe posizionato a circa -4,5 moduli dal centro individuato, mentre le facciate esterne, dal pavimento fino all'inizio dell'estradosso della volta, avrebbero un'altezza di 7 moduli.
Per quanto concerne l'altezza massima all'intradosso, in assenza di evidenze dirette, le analisi quantitative suggeriscono una maggiore elongazione verticale, non coerente con la maglia di 8×8 moduli adottata per l'impianto planimetrico. Una possibile interpretazione di tale elongazione rispetto allo schema modulare è stata sviluppata ipotizzando una costruzione modulare degli archi generatori dei segmenti cilindrici della volta. Una circonferenza di diametro pari a metà modulo – la stessa che definisce lo spessore della muratura del tamburo – tracciata dal centro della griglia, permette di identificare, lungo la direzione radiale, due punti eccentrici (C_1, C_2), (fig. 11A). Adottando tali punti quali centri, sono stati tracciati archi tangenti al tamburo dal lato opposto rispetto al centro della griglia, in accordo con i risultati del *best-fitting* di tali segmenti. Tale costruzione, se confrontata con l'ellissoide di *best-fitting* E_{BP} restituisce un'altezza massima coerente con i risultati delle analisi. Ulteriori riscontri quantitativi ne confermano la coerenza: gli archi presentano infatti un raggio di 3¾ di modulo e uno scostamento di ¼ di modulo dal centro (ossia circa 14,40 m e 0,95 m), valori pressoché intermedi rispetto a quelli individuati dalle analisi. Per il segmento cilindrico meglio conservato, sul lato nord-orientale, tale arco teorico fornisce un'approssimazione affidabile della circonferenza di *best-fitting* della sua sezione (fig. 11B).

Conclusioni

Nel complesso, il Tempio di Venere richiama temi ricorrenti riscontrati in altri esempi; in particolare, l'alternanza dei fusi

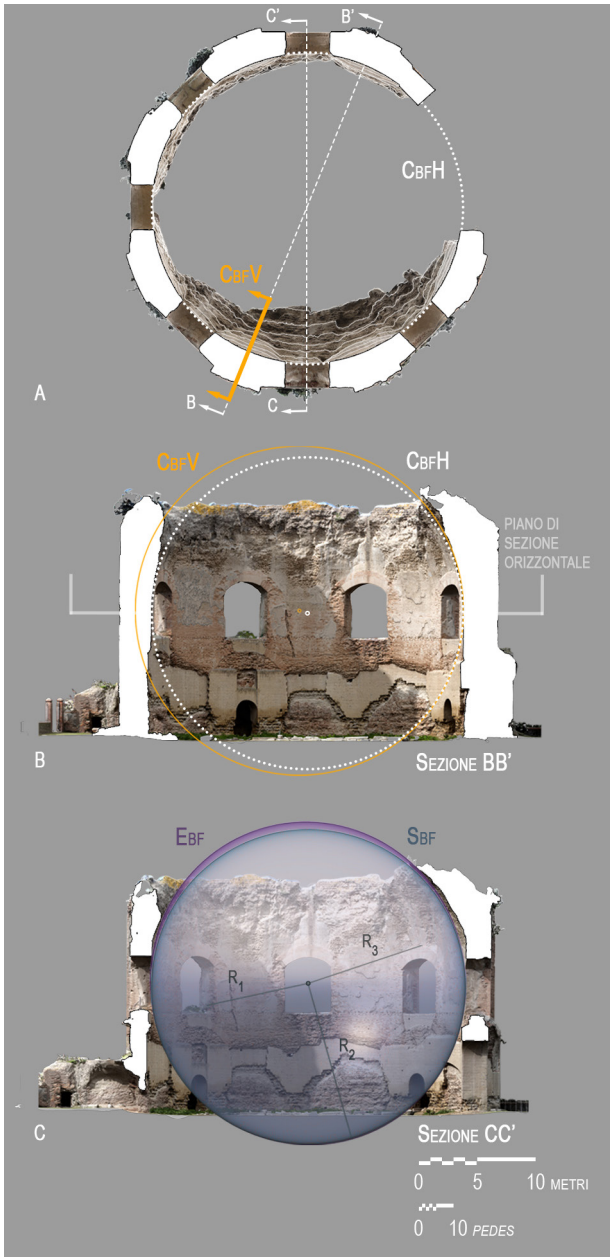


Fig. 9. A. Vista ipografica, curve di livello e circonferenza di best-fitting dell'imposta (C_{BFH}). B. Circonferenza di best-fitting (C_{BFV}) per la sezione mediana del fuso NE. C. Ellissoide e sfera di best-fitting (E_{BP}; S_{BF}) dell'intradosso dei fusi (analisi geometriche di E. Eramo).

e dei *trikentron* stabilisce un evidente parallelismo tra la sua volta (diametro 26,57 m) e quelle, già menzionate, degli *Horti Sallustiani*, di dimensioni minori (diametro 11,20 m), nonché con quella del Serapeo (diametro 16,55 m), che tuttavia manca di simmetria polare, essendo proiettata verso il fronte dell'edificio [Eramo, Fantini 2024].

È possibile rilevare due significativi parallelismi tra il progetto planimetrico della rotonda principale del Tempio e la sala ottagona delle Piccole Terme di Villa Adriana. Il primo riguarda, nel dimensionamento degli spazi interni, l'impiego di un diametro corrispondente a sette moduli (pari a 5 *pedes* nel caso delle Piccole Terme e 13 *pedes* nell'edificio

Fig. 10. Sezione AA' (cfr. fig. 3), che mostra la relazione tra il terrazzamento superiore, il Tempio di Venere e il livello di calpestio antico (-6,6 m), (elaborazione digitale di S. Bertacchi).

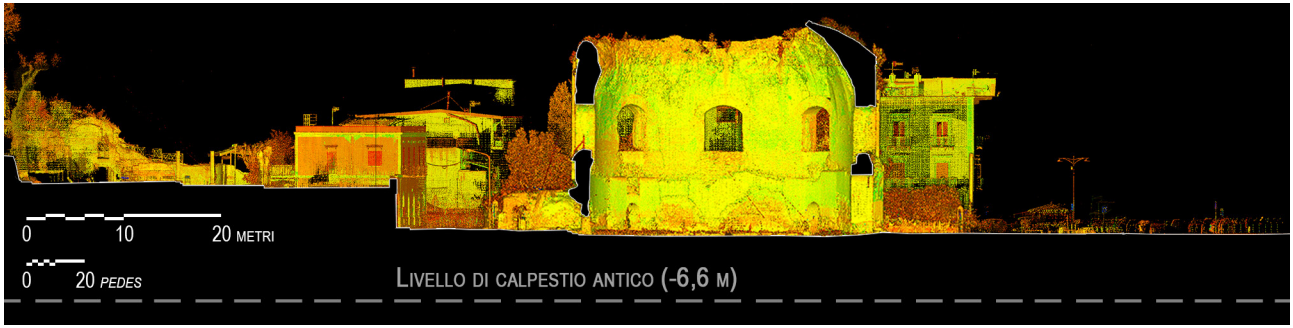
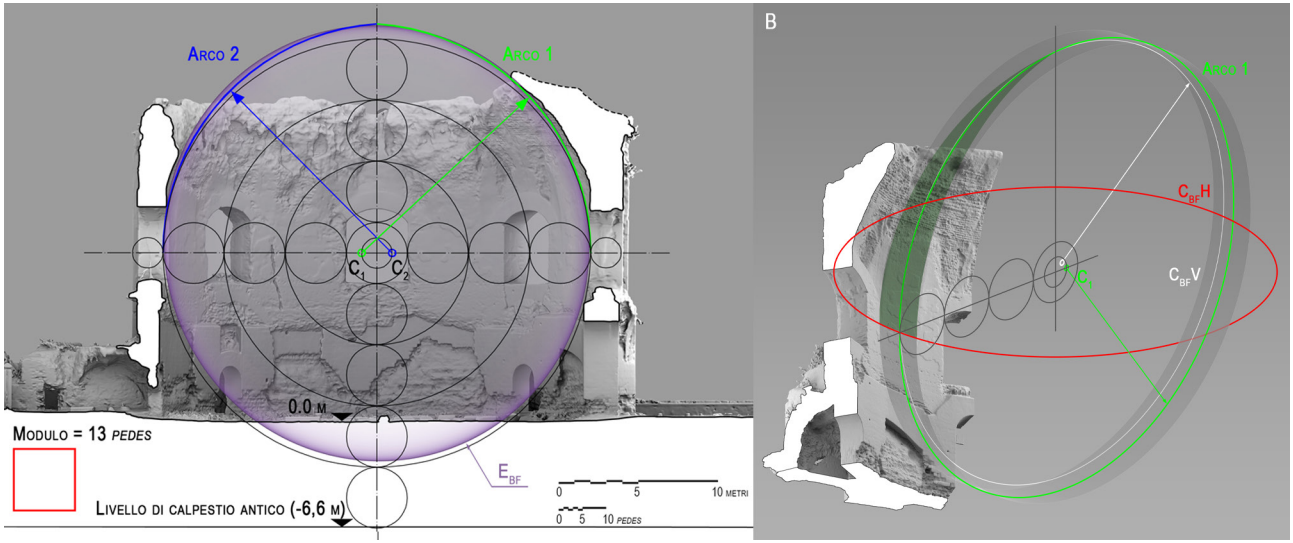


Fig. 11. Analisi geometriche dell'alzato. A. Sezione AA' con griglia modulare, ipotesi di tracciamento dei segmenti cilindrici (in blu e verde), ed ellissoide di best-fitting. B. Vista assonometrica del fuso NE con la circonferenza di progetto comparata a quella di best-fitting (analisi geometrica di E. Eramo).



di Baia); il secondo concerne lo spessore murario che, in entrambi i casi, è pari a metà del modulo. In entrambe le strutture è evidente l'uso dello schema *ad quadratum*, che appare come una caratteristica ricorrente degli spazi voltati nella progettazione architettonica adrianea [Fletcher 2019], siano essi impostati su piante ottagonali o circolari, nonostante le chiare differenze tipologiche e costruttive tra le due configurazioni [De Angelis d'Ossat 1936].
Tali schemi geometrici possono essere pensati come strumenti polivalenti – scalabili e flessibili – concepiti per facilitare i calcoli, in particolare quando relativi alle aree circolari. I diametri espressi come multipli del numero sette semplificano la determinazione delle misure delle superfici circolari, mentre lo schema ad quadratum consente di raddoppiare agevolmente la loro estensione. Considerazioni analoghe, seppure basate su differenti schemi per l'*ichnographia*, sono alla base della definizione delle piante dei teatri greci e latini (*De Architectura*, V, 5, 7) e, come dimostrato da Lara Ortega [1992], possono essere adattate tanto a nuove costruzioni che alla modifica di edifici esistenti. Al di là di questo approccio, fondato sull'analisi filologica applicata ai monumenti rilevati, le più recenti evidenze archeologiche hanno offerto contributi rilevanti alla comprensione della storia della progettazione architettonica, come nel caso della lastra sulla quale è inciso il disegno dell'Ottagono di Galerio a Salonicco [Savvides 2021]. Tale "progetto", rinvenuto nelle vicinanze del noto edificio costruito intorno alla fine del III sec. d.C., dimostra inequivocabilmente l'impiego dello schema *ad quadratum* e attesta, inoltre, la ricezione e l'uso continuativo di strumenti grafici analoghi a quelli impiegati nell'architettura adrianea anche in fasi storiche più tarde.
I risultati ottenuti con il presente lavoro aprono nuove prospettive di indagine. In particolare, merita un'analisi più approfondita la piccola estensione occidentale a pianta mistilinea del Tempio di Venere, che rappresenta un ulteriore esempio significativo di sperimentazione architettonica nel contesto degli edifici adrianei, come le Piccole Terme, l'Atrio Mistilineo della cosiddetta Accademia [Ottati 2022] e l'aula meridionale della Piazza d'Oro [Adembri et al. 2014] a Villa Adriana. Il complesso di Baia, inoltre, non era limitato al solo Tempio di Venere, ma si estendeva lungo il pendio retrostante [De Angelis d'Ossat 1977], articolato in una serie di terrazzamenti successivi, e fino all'area prospiciente il mare. Ulteriori sviluppi della ricerca saranno rivolti all'estensione dell'analisi alla griglia modulare sottesa all'intero complesso archeologico, al fine di indagare il suo progetto in un'ottica unitaria.

Attribuzioni e ringraziamenti

Tutti gli autori hanno contribuito allo studio e approvato la redazione del manoscritto finale. La ricerca è stata condotta sotto il coordinamento scientifico di FF e EG. Gli autori delle sezioni sono: *Introduzione* (FF); *Obiettivi e metodologia* (SB), *Analisi della pianta* (SB); *Analisi dell'elevato* (EE); *Conclusioni* (FF e EE). Gli autori ringraziano il Parco Archeologico dei Campi Flegrei.

Note

[1] Il termine *trikentron*, utilizzato da Erone di Alessandria (Stereometrica I, 96), è riferibile a una porzione di superficie definita da tre archi i cui centri giacciono su piani distinti. Può essere interpretato come una superficie, topologicamente analoga a un triangolo, proiettato su una superficie curva, la cui area è calcolata determinando dapprima quella di un triangolo piano e aggiungendo a questa un valore supplementare per approssimarne la curvatura tridimensionale [Roca et al. 2023].

[2] Il software di RM impiegato è 3D System Geomagic Design X.

[3] Un aspetto cruciale del progetto planimetrico del teatro latino –e, per estensione, di altri edifici con pianta circolare– consiste nell'identificare un cerchio principale (perimetros imi), il cui diametro deve essere diviso in moduli. Da questa geometria di base, si sviluppa quindi una costruzione basata su poligoni inscritti o circoscritti [Salvatore 2007].

Autori

Enrico Gallocchio, Parco Archeologico dei Campi Flegrei, Pozzuoli (NA), enrico.gallocchio@cultura.gov.it
Elena Eramo, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, eramo@ing.uniroma2.it
Silvia Bertacchi, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, silvia.bertacchi@unicampania.it
Filippo Fantini, Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, filippo.fantini2@unibo.it

Riferimenti bibliografici

Adembri, B., Cipriani, L., Ristori, F., Fantini, F. (2018). Rilievi e analisi geometriche sulle cupole adrianee. In G.E. Cinque, N. Marconi (a cura di). *Adriano: l'architettura al potere. Working Paper Series. Atti del Convegno Internazionale di studi di architettura Adventus Hadriani - l'architettura di Adriano*, Roma, 3-6 luglio 2018, pp. 8-11. Roma: Universitalia.

Adembri, B., Di Tondo, S., Fantini, F., Ristori, F. (2014). Nuove prospettive di ricerca su Piazza d'Oro e gli ambienti mistilinei a pianta centrale: confronti tipologici e ipotesi ricostruttive. In E. Calandra, B. Adembri (a cura di). *Adriano e la Grecia. Villa Adriana tra classicità ed ellenismo*, pp. 81-90. Milano: Electa.

Bianchini, C., Fantini, F. (2015). Dimensioning of ancient buildings for spectacles through Stereometrica and De mensuris by Heron of Alexandria. In *Nexus Network Journal*, No. 17, pp. 23-54. DOI:10.1007/s00004-014-0230-8.

Cipriani, L., Fantini, F., Bertacchi, S. (2020). Composition and shape of Hadrianic domes. In *Nexus Network Journal*, Vol. 22, pp. 1041-1061. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00514-z> (consultato il 16 dicembre 2025).

Cipriani, L., Fantini, F., Bertacchi, S. (2017). The geometric enigma of Small Baths at Hadrian's Villa: mixtilinear plan design and complex roofing conception. In *Nexus Network Journal*, Vol. 19, pp. 427-453. <https://doi.org/10.1007/s00004-017-0344-x> (consultato il 16 dicembre 2025).

De Angelis d'Ossat, G. (1936). Sugli edifici ottagonali a cupola nell'antichità e nel Medioevo. In AA.VV. *Atti del I Congresso Nazionale di Storia dell'Architettura, Firenze*, 29-31 ottobre 1936, pp. 13-24. Firenze: Sansoni.

De Angelis d'Ossat, G. (1977). L'architettura delle "Terme" di Baia. In AA.VV. *I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia. Atti del Convegno Internazionale*, Roma, 4-7 maggio 1976, pp. 227-274. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

Eramo, E., Cinque, G. E. (2024). The vault of the so-called Serapeum: an ellipsoidal geometry at Hadrian's Villa. In L. Hermida González, J. P. Xavier, I. Pernas Alonso, C. Losada Pérez (Eds.). *Graphic horizons. EGA 2024*. Proceedings of the International Conference of Architectural Graphic Expression, Oporto, 22-24 May 2024. Vol. 3, pp. 51-58. Cham: Springer.

Eramo, E., & Fantini, F. (2024). An integrated approach for investigating roman cupolas: from segmented models to *trikentron* analysis. In *DisegnareCon*, No. 17, pp. 5.1-5.12. <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.32.2024.5> (consultato il 16 dicembre 2025).

Fletcher, R. (2019). Geometric proportions in measured plans of the Pantheon of Rome. In *Nexus Network Journal*, Vol. 21, pp. 329-345. <https://doi.org/10.1007/s00004-018-00423-2> (consultato il 16 dicembre 2025).

Fuchs, W. (2023). The new theory of the metrological framework of the Pantheon. In *Nexus Network Journal*, Vol. 25 (Suppl. 1), pp. 103-110. DOI:10.1007/s00004-023-00679-3.

Heiberg, J.L. (1914a). *Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia. Volumen IV: Heronis definitiones cum variis collectionibus. Heronis quae feruntur geometrica* (1976 reprint). Stuttgart: Teubner.

Heiberg, J.L. (1914b). *Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia. Volumen V: Heronis quae feruntur stereometrica et de mensuris*. Stuttgart: Teubner (ristampa 1976).

Lara Ortega, S. (1992). El trazado Vitruviano como mecanismo abierto de implantación y ampliacíon de los Teatros Romanos. In *Archivo Español de Arqueologia*, Vol. 65 (Nos. 165-166), pp. 151-179. <https://doi.org/10.3989/aespa.1992.v65.475> (consultato il 16 dicembre 2025).

Ottati, A. (2022). *Accademia di Villa Adriana. Tecniche, processi di costruzione ed evoluzione architettonica del cd. piccolo palazzo*. Roma: Quasar.

Petrov, Y. (2015). *Ellipsoid fit [MATLAB Central File Exchange* <https://www.math-works.com/matlabcentral/fileexchange/24693-ellipsoid-fit>(consutato il 25 luglio 2025).

Rakob, F. (1988). Römische Kuppelbauten in Baiae. In *Römische Mitteilungen*, No. 95, pp. 257-301.

Roca, A., Juan-Vidal, F., Cipriani, L., Fantini, F. (2023) Heron's legacy: An example of ancient calculations applied to Roman imperial architecture. In *Nexus Network Journal*, Vol. 25 (Suppl. 1), pp. 185-192. <https://doi.org/10.1007/s00004-023-00704-5> (consultato il 16 dicembre 2025).

Roca, A., Juan-Vidal, F., Cipriani, L., Fantini, F. (2024). On vaulting: Heron's manuals and their role in Roman dome design. In *Nexus Network Journal*, Vol. 26, pp. 571-592. <https://doi.org/10.1007/s00004-024-00771-2> (consultato il 16 dicembre 2025).

Salvatore, M. (2007). Le geometrie del Teatro Latino di Vitruvio. Interpretazioni e sviluppi nella trattatistica rinascimentale. In E. Mandelli (a cura di). *Dalla didattica alla ricerca, esperienze di studio nell'ambito del dottorato*, pp. 63-74, Firenze: Alinea.

Sanpaolesi, P. (1971). Strutture a cupola autoportanti. In *Palladio*, ser. 3, Vol. 21, pp. 3-64.

Svenshon, H. (2009). Heron of Alexandria and the dome of Hagia Sophia in Istanbul. In *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*, Brandenburg University of Technology Cottbus, 20-24 May 2009, pp. 1387-1394. Berlin: NEUNPLUS1.

Savvides, D. (2021). The conceptual design of the Octagon at Thessaloniki. In *Nexus Network Journal*, Vol. 23, pp. 395-432. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00506-z> (consultato il 16 dicembre 2025).

La struttura fuori. Per una estetica della facciata

Paola Raffa

Abstract

Nella scena urbana che aveva visto la forte adesione ai linguaggi riferiti a un eclettismo neoclassico, come necessità di decoro civile, durante la fase di ricostruzione pre-bellica, l'architettura residenziale di Messina, tra gli anni '50 e '60, partecipa al dibattito, nazionale e internazionale, assimilando i codici linguistici del Movimento Moderno e dell'International Style.
I nuovi palazzi collettivi e multipiano collocati negli isolati vuoti o a completamento di parti ancora non edificate, apportano riferimenti a una casa moderna nei linguaggi così come nelle dotazioni. L'aspirazione verso la modernità internazionale diventa anche un connotato sociale.
Sono soprattutto gli ingegneri, progettisti e costruttori, che intraprendono rivisitazioni sintattiche in cui il linguaggio della facciata declina inedite e ardite soluzioni, in linea con le sperimentazioni tecniche. L'apertura alle nuove tensioni, moderne e razionaliste, consente comunque la capacità di unificare la configurazione della compagine architettonica a partire dai dati strutturali.
Le facciate, si dispongono nell'isolato urbano, talvolta come parti a sé stanti, per altezza, cromia, materiali, altre volte perfettamente inseriti nella regolarità e nella misura della rigida griglia urbana.

Parole chiave: disegno dell'architettura, grafica del progetto, disegni d'archivio, linguaggi grafici, analisi dell'architettura.

Introduzione

La produzione architettonica tra gli anni '50 e '60 del Novecento a Messina [1] raggruppa una serie di esempi il cui riferimento principale può essere individuato negli edifici residenziali collettivi della Cortina del Porto progettati da Giuseppe Samonà, e realizzati tra il 1952 e il 1958, nel complesso delle case INCIS, realizzate tra il 1949 e il 1952 e progettate da Mario Ridolfi, nei linguaggi sperimentali e innovativi delle architetture di Roberto Calandra, Filippo Rovigo e Vincenzo Pantano che partecipano attivamente al dibattito architettonico contemporaneo, nazionale e internazionale [2]. Le facciate della Cortina di Samonà (fig. 1), i cui enunciati sono disponibili in un chilometro di lungomare, assurgono a manifesto fisico, visibile nella sua materialità, e teorico, in cui si declinano gli assunti della composizione architettonica, che trova i maggiori riferimenti nella contaminazione tra l'eredità del Movimento Moderno e quella dell'*International Style* (fig. 2).
Ingegneri e architetti, provenienti, principalmente, dalle scuole di Palermo e di Roma o dalle Accademie di Belle Arti [3], intraprendono rivisitazioni stilistiche in cui il linguaggio della facciata declina inedite e ardite soluzioni, che si inseriscono nelle orditure regolari del Piano Regolatore di Luigi Borzì, attuato per la ricostruzione post-terremoto 1908. Le leggi antisismiche emanate appositamente per l'Area dello Stretto di Messina, l'utilizzo di nuove tecnologie costruttive, l'uso sperimentale del cemento armato, conferiscono alla città la dimensione di laboratorio innovativo sia alla scala dell'architettura che a quella urbana.

 BY-NC-ND

Si ridefinisce, in quegli anni, lo *skyline* di città orizzontale, con edilizia bassa e strade larghe, prevista dal Piano Borzì e dalle stringenti norme edilizie. I nuovi palazzi collettivi e multipiano, collocati negli isolati vuoti, o a completamento di parti ancora non edificate, apportano i riferimenti a una casa moderna nei linguaggi così come nelle dotazioni [Caramellino et al. 2015] e l'aspirazione verso una modernità internazionale.

La residenza collettiva e borghese

In coincidenza con gli anni del "miracolo economico" nel ventennio tra gli inizi degli anni '50 e gli anni '70, si assiste a una forte crescita della città compatta. Messina, distrutta dal terremoto e dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale, è interessata da un ripopolamento massivo di famiglie provenienti dalla provincia e più in generale dalla regione. Si istituisce una nascente borghesia, che in linea con l'andamento nazionale, rivendica le esigenze di nuovi comfort abitativi associati alla crescente prosperità economica. In questo contesto aumenta la domanda incontrollata di nuove case. Le "case del boom", prevalentemente edilizia collettiva multipiano, sono destinate al ceto medio che, dato l'innalzamento del reddito, può ambire a un «appartamento in condominio di taglio medio-grande, con caratteristiche distributive moderne e confortevoli, elementi architettonici distintivi che conferiscono il carattere di abitazioni di lusso» [Zanfi 2014, p. 3]. La casa in appartamento comprende una tipologia capace di contenere alcuni elementi simbolo dello spazio abitativo moderno, che si concretizza nel «gioco delle rappresentazioni attraverso cui l'edificio può essere percepito come adeguato a un determinato tipo di abitanti» [De Pieri et al. 2014, p. XIX] [4]. Lo spazio abitativo, in linea con i nuovi comportamenti sociali, tende ad aprirsi sempre più verso l'esterno «e a porsi come una sorta di vetrina dell'edificio» [De Pieri et al. 2014, p. XX]. La casa aperta verso l'esterno e la richiesta di ampi spazi su cui proiettare l'abitare interno, favoriscoo l'articolazione della facciata nel rapporto tra gli elementi compositivi che ne determinano il linguaggio dell'architettura.
Le bucature diventano molto ampie rispetto a ridotti, ma necessari, elementi verticali, e si combinano con artefatti strutturali, estremamente sporgenti, esito di una sperimentazione strutturale fino ad allora inedita.
Ne deriva una modificazione del paesaggio urbano, che aveva visto, nella produzione architettonica della ricostruzione tra le due guerre, la forte adesione a linguaggi riferiti a un eclettismo neoclassico come necessità di decoro civile. La città proveniva da un periodo di *revival* neoclassico, in cui i materiali da costruzione moderni venivano utilizzati per riprodurre decorazioni e stilemi che fanno riferimento al linguaggio classico delle Accademie. Un evidente scollamento nella ricerca di simulazioni estetiche perdute.
L'atteggiamento degli ingegneri è invece quello di abilitare i nuovi materiali in *performances* tecnico-costruttive collegate

Fig. 1. G. Samonà, Cortina del Porto, 1952-1958. Isolati IV, V, VI (foto dell'autrice).



a una espressività linguistico-formale, in un inconsapevole accordo al disvelamento heideggeriano.
Prima ancora che l'opera sia realizzata, è necessaria una intensa attività di produzione grafica del progetto. Mario Manganaro a proposito di Messina scrive che «la città di carta rappresenta la città delle idee possibili […] senza la quale quella reale è meno comprensibile, appare come una città ridotta […] la città esistente, dal punto di vista materiale è solo la parte visibile di quanto è riuscito a concretizzarsi della città possibile» [Manganaro 2011, p. 8] sottolineando la faticosa condizione degli archivi messinesi.
La costruzione edilizia in quegli anni è un processo altamente burocratizzato, la richiesta del permesso edilizio è preceduta dall'ampia consistenza di documenti che garantiscono la conformità della costruzione dell'opera (fig 3).
Nei fascicoli d'archivio emerge una produzione grafica che mette in evidenza una originale sperimentazione dei codici metalinguistici del disegno, il cui riferimento principale è il *Manuale dell'Architetto* di Mario Ridolfi del 1946. Questo costituisce un eccellente riferimento per i progettisti, non solo per la codificazione della rappresentazione ma quale strumento di soluzioni funzionali, tecniche, costruttive e formali [Unali 2003; Unali 2008].
Le carte d'archivio mettono in luce una serie di figure professionali [5] che si prodigano nella produzione di documenti amministrativi, dalla richiesta di licenza edilizia, al continuo susseguirsi di varianti, certificazioni di collaudo, corrispondenze tra uffici, etc.

I professionisti messinesi, solo ingegneri, almeno per quanto riguarda la prima fase, in associazione con le imprese edili, hanno giocato un ruolo centrale nel processo di costruzione estetica della città. Messina «affida agli ingegneri, anzi al singolo ingegnere, quasi nella totalità, la responsabilità di tutto il processo progettuale: dall'architettonico allo strutturale, all'impiantistico, alla cantierizzazione» [Cardullo 2009, p. 84].

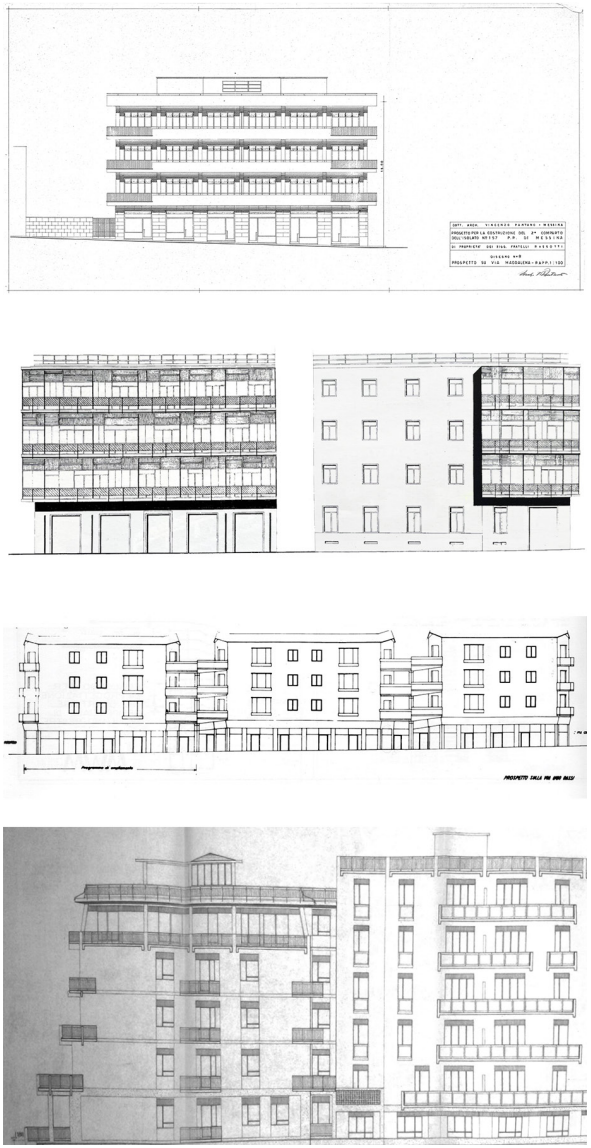
Le facciate degli ingegneri (e di pochi architetti)

Nel panorama della produzione edilizia nazionale i professionisti colti e intellettuali, non disdegnano la ricerca strutturale e la sperimentazione sui materiali [Capitanucci 2021]. Sono di grande riferimento i filoni avanguardistici promossi dalla rivista *Casabella* diretta da Ernesto Nathan Rogers, dalla rivista *Domus* di Gio Ponti, da *Stile*, l'*Edilizia Moderna*, *L'Architettura*, oltre a una pubblicistica sullo stato delle nuove architetture di qualità, edificate nelle grandi città italiane. In questo contesto, spicca fra tutti l'*Antologia di Edifici Moderni in Milano* compilata da Pietro Bottoni del 1954. Bruno Zevi, direttore de *L'Architettura. Cronache e storia*, affida a Roberto Calandra la direzione de *L'Architettura in Sicilia*, supplemento della rivista edito il 1956 e il 1957.
Il tema della residenza collettiva multipiano diviene campo di sperimentazione e confronto a partire dall'edilizia

Fig. 2. F. Rovigo, isolato 156 (1956) e isolato 131(1955); V. Pantano, isolato 157 (1952); M. Ridolfi, Case INCIS, isolato 276 (1949-1952), (foto dell'autrice).



Fig. 3. Disegni d'Archivio, (dall'alto): V. Pantano, prospetto isolato 157 (1952); F. Rovigo, Casa Donato, is. 270 (1953); M. Rifdolfi, Case INCIS, is. 276 (1949-1952); R. Calandra, G. De Cola, A. D'Amore, is. 481(1955); (Archivio del Genio Civile di Messina).



sovvenzionata e dal piano INA casa, primi esempi su cui si concentra il dibattito architettonico del razionalismo italiano. L'attenzione è sempre rivolta alla struttura, alla industrializzazione dei materiali, a espressioni compositive che vedono uno stretto legame con le avanguardie artistiche, motivo delle collaborazioni tra progettisti e artisti.
Alcuni studi professionali impegnati nella ricostruzione di Messina sono sorretti da pulsioni intellettuali da cui traggono i temi di originali elaborazioni semantiche con lo sguardo rivolto a contesti nazionali e internazionali molto ampi. La frenesia della costruzione, tuttavia, impone la proliferazione di schemi linguistici ripetitivi e simulativi.
Gli anni '50 sono anni di transito da un fare ancora legato alle forme classiciste a un linguaggio aperto alle nuove tensioni moderne e razionaliste [Lingeri, Spinelli 1995] esiste comunque la capacità di tenere insieme nello stile l'unità dell'opera a partire dai dati strutturali. Il tema dell'isolato, o del comparto, viene trattato in modo unitario, sia dal punto di vista morfo-tipologico, sia dal punto di vista urbano. Atteggiamento che rimanda chiaramente agli stereotipi del razionalismo e del Movimento Moderno.
Al di là della dottrina ideologica, alla quale ha fatto ricorso il piccolo gruppo della corporazione degli architetti, e tralasciando i fondamenti teorici dell'architettura razionalista e modernista, alcuni ingegneri si votano alla risoluzione dei problemi legati alla casa (ampiezza, disposizione dei servizi, ambienti di rappresentanza) e alla costruzione di un linguaggio dedotto dal comportamento strutturale, che negli esempi più interessanti non tralascia l'impaginato unitario dell'intera facciata.
La chiara sequenza del basamento, con locali destinati alle attività commerciali, i piani intermedi delle residenze inquadrati in cornici marcate da intonaci, mosaici o lastre di pietra, con la definizione di simmetrie speculari o assiali, date dall'allineamento verticale delle bucature, da elementi pieni continui, o semplicemente dalla trasparenza di parapetti in metallo, il coronamento dell'ultimo piano con le aeree soluzioni pensili definiscono l'architettura in configurazioni compiute (fig. 4).
Lo schema prevalente che si riscontra nelle facciate messinesi accentua la struttura primaria della campata in cemento armato, da pilastro a pilastro, mantenendo la ripetizione dell'elemento portante, con cadenze intermedie di strutture secondarie che si inseriscono in scansioni ritmiche seriali. In alcuni casi si ricorre alla sporgenza, in linea o alternata, di stretti balconi pronunciati, talvolta intervallati da finestre allineate. Rifasci di intonaci colorati o di tessere di pasta di

vetro sottolineano la verticalità della struttura portante senza interruzione intermedia.
Quando la facciata è piana, nessun elemento assume prevalenza gerarchica. La rigida partitura non consente eccezioni: la misura e il ritmo si ripetono. Ne derivano regioni geometriche semplici, il quadrato e il rettangolo, scomponibili in elementi figurativi complementari (fig. 5).
Nel caso di una fitta rete di elementi verticali che avanzano, la facciata, in accordo con la luce del giorno, partecipa alla scansione del tempo.
La struttura a telaio degli ingegneri, sovrapposta al blocco scatolare dell'edificio, consolida nuove spazialità intermedie, generate da linee e superfici staccate dal piano della facciata. Il reticolo ordinatore, come avancorpo che esprime l'ossatura geometrica, è un supporto astratto indipendente dalla collocazione delle bucature. Dipende interamente dalla struttura portante, di cui marca la posizione nel raddoppio delle colonne. Una filigrana traslata in cui lo spazio esterno si materializza in volume in un rapporto stabilito dalla correlazione degli elementi: balconi continui con parapetti in cemento, parete di chiusura, pilastri. Rimarcare il coronamento con pilastrini che si infittiscono, o con pensiline sporgenti, consolida la facciata in riferimenti classici (fig. 6).
Quando la soluzione prevede terrazzi, la struttura si pronuncia con setti che avanzano per tutta la lunghezza dell'aggetto; la necessità di rompere la monotonia impone un disallineamento o interruzione delle parti non strutturali.
L'angolo presenta sempre soluzioni specifiche, tali da accentuare una gerarchia strutturale, nella messa in evidenza del pilastro d'angolo, o compositiva in cui appaiono elementi eccezionali in corrispondenza di incroci, solai o balconi in aggetto. È il punto in cui confluiscono tutte le tensioni compositive della facciata (fig. 7).
I ballatoi aerei esaltano le ampie vetrate che si proiettano verso l'esterno affrontando il tema dello spazio domestico e della sua relazione con le pratiche dell'abitare moderno, ed anche del rapporto con lo spazio urbano e con il panorama. Gli isolati, nell'assumere la negazione del tipo a corte attingono direttamente dalle proposte milanesi di Terragni e Lingeri, in cui la sintesi unitaria di un corpo unico è risolta con alternanza di volumi e collegamenti aerei dei balconi e delle pensiline (fig. 8).
I colori degli intonaci, delle tessere di pasta di vetro o dei pannelli rivestiti con piastrelle di ceramica sottolineano il riferimento alle arti figurative pittoriche delle avanguardie di cui ancora riecheggiano i sentimenti. Definire l'architettura attraverso il colore è una scelta che deriva da una

Fig. 4. V. Cacopardo, isolato 106 (1953); Viale della Libertà, isolato 515 (foto dell'autrice).





Fig. 5. Edifici con facciata definita da elementi strutturali complanari (foto dell'autrice).



lunga mediazione che rimanda agli studi sui cromatismi architettonici «una parte essenziale del processo ideativo di un'opera che proprio attraverso questi elementi entra in relazione forte con la città» [Lingeri, Spinelli 1995, p. 105]. Fasce che corrono orizzontali o longitudinali, pannelli inseriti in riquadri definiti tra le bucature, parapetti colorati che si staccano da ringhiere in ferro, colori brillanti, forti, prevalentemente l'azzurro, il giallo e il verde utilizzati per contrastare i piani di riferimento tinteggiati di bianco compongono ordini formali e evidenti riferimenti De Stijl (fig. 9).

Letture ordinate

La lettura della facciata come testo multi-layer si pone nello «stretto rapporto tra orientamento teorico e prassi operativa» [Lingeri, Spinelli 1995, p. 41] che mira alla composizione unitaria dell'architettura.
Nelle facciate appare una evidente esaltazione della linea, prevalentemente verticale, di alcuni elementi strutturali primari che presentano regole compositive scandite da ritmi seriali, e secondari quando lo sbalzo dei balconi supera i limiti dimensionali consentiti e si rendono necessari espedienti tecnici per attenuare i carichi. La struttura diventa ordine nel linguaggio dell'architettura e ne definisce i canoni estetici [Raffa 2021].
Il modulo strutturale che individua l'unità elementare della composizione, delinea la geometria, l'articolazione formale, l'equilibrio e anche la tecnica costruttiva.
Si tratta di un insieme staticamente definito nel sistema geometrico-strutturale che sul piano della facciata ribalta la struttura formale dell'intera costruzione, le regole compositive, l'aggregazione logico-strutturale; «anzi si può dire che la caratteristica formale-costruttiva dell'opera di architettura che la rende diversa dalle altre espressioni artistiche figurativo-spaziali sia proprio tutta contenuta in questa sua suddivisibilità in parti formalmente autonome, staticamente definite, atte a ripetersi uguali a se stesse […] che intervengono nella definizione del corpo finale dell'opera» [Ricci 2011, p. 15].
La messa in evidenza delle linee di forza strutturali si combina in una sintesi di individuazione delle linee plastiche dell'edificio. Nel disegno si organizzano gli elementi per far emergere le relazioni d'ordine e le leggi che legano le parti. Si presuppone una scelta, una interpretazione, che risiede nella descrizione, nella collocazione della sequenza e quindi nella messa in evidenza delle parti.

Fig. 6. Via Ghibellina, isolato 160, sistema a telaio esterno al blocco dell'edificio (foto dell'autrice).

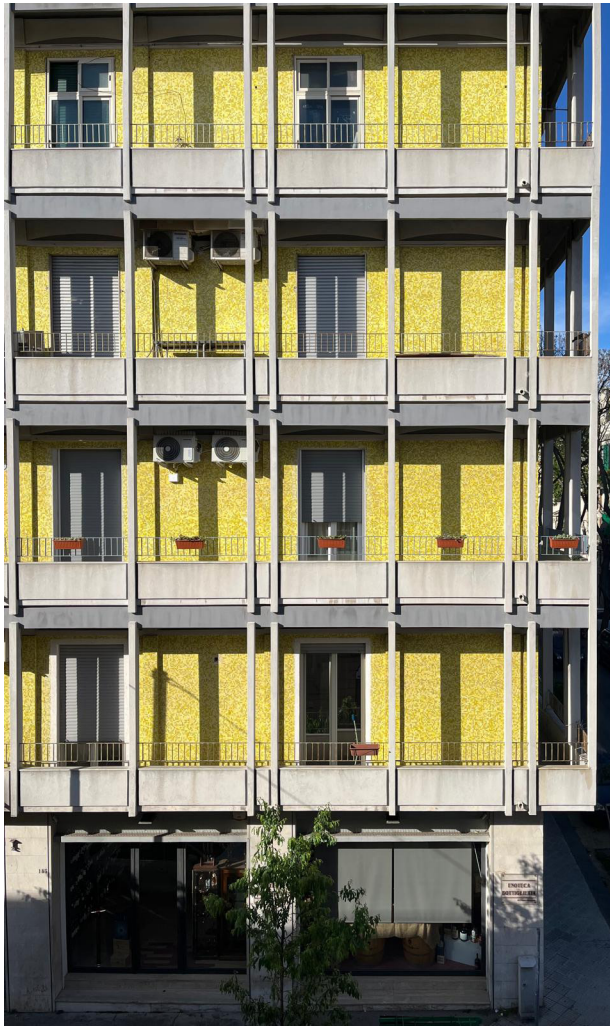


Fig. 7. Edifici con facciata definita da elementi strutturali esterni (foto dell'autrice).



L'organizzazione grammaticale e sintattica degli elementi compositivi avvia il processo conoscitivo non solo riferito alla definizione, degli elementi e delle forme fisiche, dell'architettura realizzata ma, attraverso le norme del disegno tecnico, si forniscono nozioni che introducono alla conoscenza del processo progettuale.
La ricerca di formalizzazione dell'architettura ha favorito la semplificazione dei codici rappresentativi nell'incontro tra struttura e forma. La definizione del disegno è data dalla elementare composizione geometrica degli elementi e dalla esigua consistenza dei materiali che occorre tradure in segno. Le caratteristiche di serialità, associate alla semplificazione dei processi tecnici, hanno legittimato una economia del segno che, tuttavia, non corrisponde all'impoverimento della configurazione dell'architettura.
Il confronto tra elementi congruenti conduce alla conoscenza e alla comprensione sintattica del linguaggio formale, della tipologia, della logica costruttiva: «dalla comparazione delle nozioni che derivano dall'osservazione in architettura si deducono, infatti, ad esempio, quegli elementi dell'architettura che sono caratterizzati da una maggiore stabilità formale: la comparazione costituisce cioè la base stessa su cui si costruiscono le classificazioni in architettura» [Grassi 1967, p. 39].
Il telaio che si esterna nella struttura reticolare, ad esempio, conduce alla possibilità di mettere in evidenza la matrice generativa del principio ideativo.
La scomposizione per piani e la distinzione tra le parti, in cui si esplicita il carattere funzionale, riconduce alla identificazione del modello in cui ripetitività e modularità si collocano, tra l'altro, come frammenti dell'espressione estetica della standardizzazione e della produzione industriale.
La ricerca del modulo, nel sistema a telaio, consente la definizione delle relazioni sintattiche tra gli elementi, caratterizzati da una forma propria e materiali differenti. Inoltre, il sistema a telaio discontinuo mette in relazione l'esterno con l'interno, sia in maniera fisica, sia attraverso la percezione visuale.

Conclusioni

Il tema della casa collettiva condominiale, a livello nazionale, si confronta con la tipologia, i nuovi comfort, l'uso sociale dello spazio e il linguaggio della facciata. La sperimentazione dei nuovi sistemi di costruzione speculativa, l'efficienza tecnica legata ai materiali della nuova industrializzazione di massa diventano il campo della ricerca formale per i modi dell'abitare moderno. Le nuove esigenze della nascente borghesia mirano ad avanzare aspirazioni non solo verso l'interno dell'abitazione ma anche verso la configurazione esterna come elemento identitario dello *status* sociale.
Dal punto di vista compositivo gli isolati di Messina rimarcano i limiti dell'area da costruire, l'intero isolato o un comparto, generalmente una figura regolare che viene considerata come volume unico.

Fig. 8. Soluzioni d'angolo di alcuni isolati localizzati nel centro urbano (foto dell'autrice).



Il progetto e la realizzazione sono soggetti ai meccanismi normativi, edili e soprattutto antisismici; nascono da azioni razionali basati su criteri funzionali, tecnici ed economici, che hanno fortemente condizionato l'ideazione progettuale [De Pasquale, Pino 1996].
Gli edifici degli ingegneri sembrano non essere connotati da pulsioni intellettuali o da ricerche linguistiche basate su presupposti teorici, piuttosto da emulazioni di riferimenti locali, da declinazioni strutturali e dalla ripetizione di stilemi consolidati.

Emergono, tuttavia, temi quali la leggerezza e la solidità, che non risultano mai assoluti ma reciprocamente bilanciati [Arena 2002]. Nel volume compatto si sovrappone l'inserimento di terrazzi, balconi, schermi o solamente rifasci; ampie balconate sorrette da esili schermi di cemento o da profilati di metallo proteggono gli ambienti interni dalla eccessiva luce meridiana. Le facciate si dispongono nell'isolato urbano, talvolta come parti a sé stanti, per altezza, cromia, materiali, altre volte perfettamente inserite nella regolarità e nella misura della rigida griglia urbana.

Fig. 9. Facciate con inserzioni di elementi che fanno riferimento alle arti figurative (foto dell'autrice).



Fig. 10. I prospetti degli isolati (da sinistra, dall'alto in basso): isolato 362, isolato 154, isolato 476, isolato 13, isolato 244, isolato 376 (elabrazione grafica dell'autrice).



Note

[1] Francesco Cardullo, professore di Progettazione architettonica presso l'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, e Vincenzo Melluso, professore di Progettazione architettonica presso l'Università degli Studi di Palermo, sono i principali studiosi delle ricerche sull'architettura e la struttura urbana di Messina dopo la ricostruzione post-terremoto del 1908, che fa riferimento ai caratteri figurativi e compositivi dell'architettura moderna. Si veda in particolare: Cardullo 1993; AA.VV. 1986.

[2] Roberto Calandra (1915-2015) e Filippo Rovigo (1916-1986), dopo la laurea preso la Scuola Superiore di Architettura di Roma, frequentano la School of Architecture della Columbia University di New York a diretto contatto con i Maestri del Movimento Moderno. Rientrato in Italia, Calandra collabora tra gli altri con Carlo Scarpa, mentre Rovigo con Giuseppe Vaccaro, Mario Ridolfi e Giuseppe Samonà [Passalacqua 2021].

[3] A questo proposito una esaustiva ricostruzione è contenuta nel volume di Adriana Arena, *I disegni dei progetti per la ricostruzione di Messina* [Arena 2011] il cui nel primo capitolo dal titolo *Il percorso formativo per ingegneri e architetti tra Otto e Novecento in Italia con particolare riferimento alle discipline del disegno* è fornita una dettagliata descrizione degli insegnamenti del disegno nel panorama italiano e nel paragrafo *L'insegnamento pubblico del disegno a Messina* (pp. 28-34) si descrive il caso di Messina. Molto interessante risulta, nella *Presentazione* (pp. 6-9) il racconto del professore Mario Manganaro riguardo l'Istituto di Disegno attivato presso la Facoltà di Matematica dell'Università di Messina.

[4] «Un riconoscimento che è oggetto di continue contrattazioni tra gli attori e chiama in causa gli aspetti simbolici e negoziali della costruzione delle gerarchie sociali» [De Pieri, el al. 2014, p. XIX].

[5] «Negli anni Cinquanta, praticamente il 100% dei progetti presentati e approvati è a firma di ingegneri. Negli anni Sessanta il 90% dei progetti è opera di ingegneri e il 10% opera di architetti. Negli anni Settanta l'85/90% dei progetti è di ingegneri e il restante di architetti […] Più diffusamente le specializzazioni degli ingegneri non civili e edili, che hanno presentato progetti di edilizia civile a Messina dopo gli anni Cinquanta sono: idraulica, industriale, elettrotecnica, trasporti, meccanica» [Cardullo 2009, p. 84].

Autore

Paola Raffa, *Dipartimento Architettura e Design, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, paola.raffa@unirc.it*

Riferimenti bibliografici

Arena, A. (2011). *I disegni dei progetti per la ricostruzione di Messina*. Messina: MagiKa.

Arena, M. (2002). *Architetture Moderne. Catania, Messina, Reggio Calabria*. Roma: Kappa Editore.

AA.VV. (1986). *L'isolato di Messina*. Cefalù: Edizioni Medina.

Caramellino, G., De Pieri, F. Renzoni, C. (2015). *Esplorazioni nella città dei ceti medi*. Siracusa: LetteraVentidue.

Capitanucci, M.V. (2021). *Il professionismo colto nel dopoguerra nei filoni avanguardistici. Itinerari di architettura milanese. L'architettura moderna come descrizione della città*. Milano: Ordine APPC della Provincia di Milano.

Cardullo, F. (1993). *La ricostruzione di Messina 1909-1940*. Officina Edizioni.

Cardullo, F. (2009). La ricostruzione di Messina: tra piani, case e ingegneri. In G. Campione (a cura di). *La furia di Poseidon: Messina 1908 e dintorni*, pp. 80-96 Fondazione Banco di Sicilia, 2 volumi. Milano: Silvana Editoriale.

De Pasquale, F. Pino, N. (1996). Filippo Rovigo. Messina: La Grafica Editoriale.

De Pieri, F., Bonomo, B., Caramellino, G., Zanfi, F. (2014). *Storie di Case. Abitare l'Italia del boom*. Roma: Donzelli Editore.

Grassi, G. (1967). *La costruzione logica dell'architettura*. Venezia: Marsilio.

Lingeri, E., Spinelli, L. (1995). *Pietro Lingeri. La figura e l'opera. Atti della giornata di Studio*. Ordine degli Architetti di Milano. Fondazione Triennale di Milano, 28 Novembre 1995. Milano: Arti Grafiche.

Manganaro, M. [2011]. Libri, Fogli, Disegni, Architetture. In A. Arena. *I disegni dei progetti per la ricostruzione di Messina*, pp. 6-9. Messina: MagiKa.

Passalacqua, F. (2021). Architettura residenziale a Messina nel secondo dopoguerra. In *Paradosso* anno I n: 03/01.

Raffa, P. (2021). La Cortina del porto di Messina di Giuseppe Samonà. Tra disegni di progetto e opera realizzata. In *Disegnare Idee Immagini*, n. 62, pp. 24-37.

Ricci, G. (2001). *La logica di dedalo. Tecnologia, progetto e parole dell'architettura*. Napoli: Liguori Editore.

Unali, M. (2003). Il disegno della scuola romana degli anni Venti: analisi di un linguaggio. In C. Mezzetti (a cura di). Il Disegno dell'architettura italiana del XX secolo, pp. 109-147. Roma Edizioni Kappa.

Unali, M. (2008). Lessico famigliare. Il disegno della palazzina romana degli anni '60, pp. 104-137. In C. Mezzetti (a cura di). *Il disegno della palazzina romana*. Roma: Edizioni Kappa

Zanfi F. (2014). Le case del boom nella città contemporanea. Un'interpretazione e un programma di lavoro. In A. G. Calafati (a cura di). *Città tra sviluppo e declino. Un'agenda urbana per l'Italia*, pp. 371-399. Roma: Donzelli.

Forme della resistenza.
Estetica e immaginario strutturale

I coni invisibili del Pantheon

Kristin Jones

Questo saggio si concentra su una delle grandi meraviglie del mondo costruito – il Pantheon, realizzato intorno al 126 – e, attraverso il disegno, propone un possibile indizio sulla genesi della sua forma, individuato in relazione al modo in cui l'essere umano percepisce lo spazio. L'oculo è interpretato come una lente, capace di mettere in relazione l'osservatore con l'infinito che si apre oltre il suo perimetro. Tra l'apertura circolare in alto e il punto finito dell'osservatore in basso si forma una geometria invisibile: il cono. Questo cono centrale è interpretato come il "DNA generativo" dell'edificio, strettamente legato ai meccanismi interni dell'occhio umano e ai coni stereografici attraverso i quali percepiamo il mondo. Nel tentativo di comprendere come un edificio di tale perfezione formale possa essere stato concepito e disegnato in età antica, il saggio ripercorre alcune ricerche sul tracciamento dei cassettoni della cupola e ipotizza che i principi di proiezione stereografica possano aver guidato sia la geometria dei cassettoni sia il diametro esatto dell'oculo. Questo contributo si inserisce in un più ampio lavoro artistico, avviato con disegni tridimensionali che esplorano le geometrie invisibili del Pantheon, il fenomeno della luce e del tempo al suo interno e la sua connessione con l'infinito. Nel suo esito finale, il lavoro ha come obiettivo il progetto di un'installazione effimera che vuole mettere in dialogo la monumentalità del Pantheon con la fragilità della vita umana.

Introduzione

Il Pantheon, comunemente considerato uno dei monumenti più iconici del mondo antico, resta per molti

Articolo a invito per inquadramento del tema del focus, non sottoposto a revisione anonima, pubblicato con responsabilità della direzione.

 BY-NC-ND

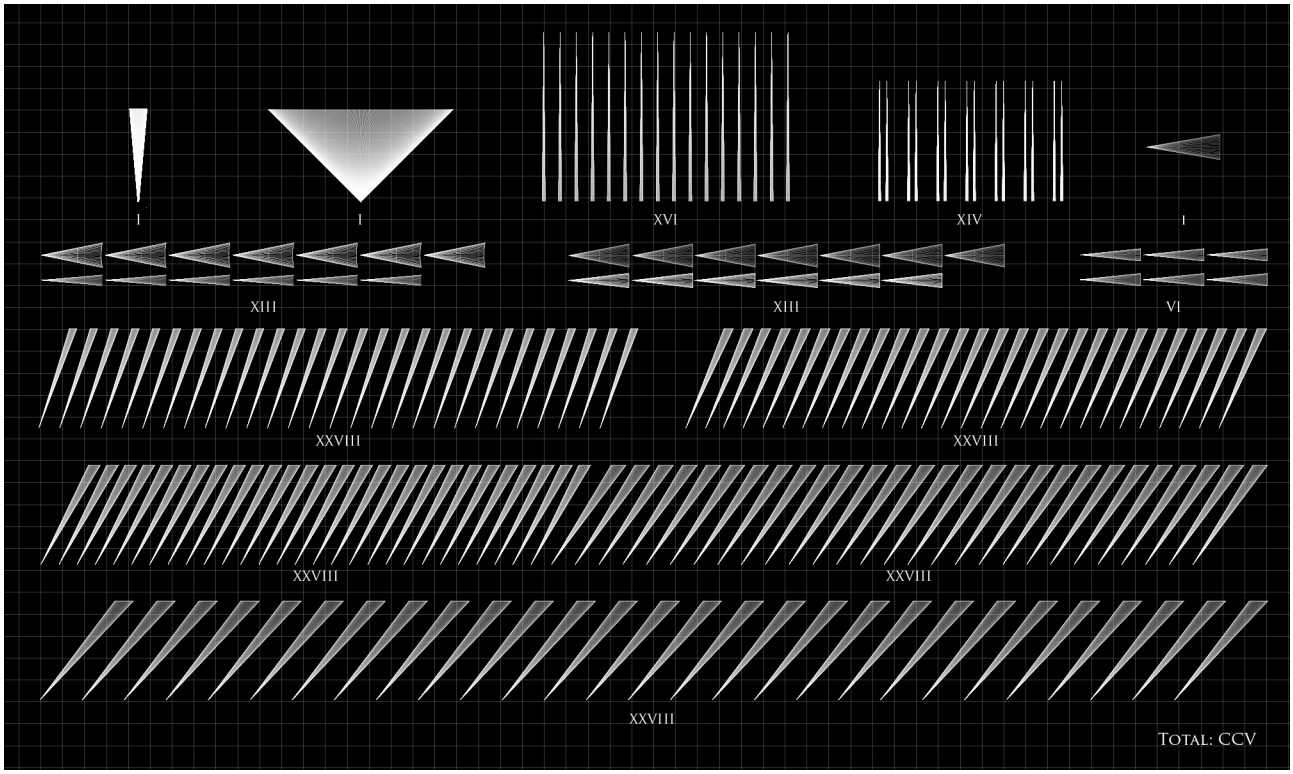


Fig. 1. I 205 coni invisibili del Pantheon (diagramma di Brooklyn Richardson, 2025).

aspetti enigmatico. La sua storia, il suo disegno e la sua costruzione continuano ad alimentare il dibattito tra gli studiosi. Questa indagine artistica affronta la relazione tra l'occhio umano e la geometria dell'edificio, a partire dall'oculo. Al centro dell'analisi vi è un'ipotesi di Yuhao Jiang (all'epoca dei disegni laureando in architettura), sviluppata in collaborazione con l'artista Kristin Jones per il progetto *Oculus: A Tribute to the Pantheon*, in cui si suggerisce come la proiezione stereografica possa aver guidato il progetto e il diametro dell'oculo. Attraverso una serie di illustrazioni originali di Jiang e di altri, l'articolo indaga e rende manifesta la presenza invisibile di un cono, incorporato nell'architettura e nella logica spaziale del Pantheon. L'ipotesi avanzata è che questa geometria conica possa offrire una chiave interpretativa per svelare l'intelligenza simbolica e ottica della struttura.

Geometria e *symmetria*

Elemento chiave per la costruzione del Pantheon è il principio di *symmetria*, ovvero di armonia matematica, adottato dagli architetti romani [Marder, Wilson Jones 2015]. Questo principio, cardine dell'architettura classica, si fondava sull'uso di rapporti aritmetici semplici e suddivisioni in numeri "interi" nella progettazione degli edifici. L'interno del Pantheon è noto per essere alto quanto è largo, in accordo con l'idea di una sfera

inscritta o, più precisamente, di una semisfera impostata su un cilindro della stessa altezza. La costruzione è inoltre governata da principi di geometria elementare: le parti rettilinee dell'edificio si possono assimilare alla figura di un cubo che si innesta nella sfera, che conforma l'interno della rotonda (fig. 2).
La geometria sottesa al progetto del Pantheon richiama anche l'importanza simbolica della struttura. Già nel III secolo, l'immensa cupola veniva interpretata come simbolo della volta celeste. L'autore greco Cassio Dione così scrive nella sua opera *Romaikά*, a proposito dell'origine del nome dell'edificio: «Il Pantheon si chiama così, forse, perché contiene le statue di molti dèi, tra cui Marte e Venere; ma, secondo la mia opinione, è perché il suo tetto a volta somiglia al cielo» [Dio, 53.27.2].
Inoltre, descrivendo la visione offerta dall'interno dell'edificio, Giangiacomo Martines, architetto della Soprintendenza Archeologica di Roma, scrive dell'unione fondamentale tra cupola e cilindro presenti nella rotonda, nei termini seguenti: «L'unica fonte di luce, l'oculo, attira il visitatore al centro dello spazio, dove con meraviglia può lasciarsi stupire dall'imponente relazione tra la cupola emisferica e il cilindro della stessa altezza su cui essa si innesta, una geometria confermata dai moderni rilievi di precisione» [Martines 2015, p. 100].
L'uso di questa relazione geometrica nel progetto del Pantheon è stato, senza dubbio, influenzato dall'opera fondamentale di Archimede sull'argomento, *Della sfera e del cilindro*, scritto circa nel 225 a.C. In quest'opera, Archimede enuncia risultati chiave, tra i quali il fatto che il rapporto tra il volume di una sfera e quello di un cilindro di pari altezza è 2 : 3 e che la superficie di una sfera è pari alla superficie laterale di un cilindro avente altezza uguale al diametro della sfera e raggio pari a quello della sfera.

Il cono nel Pantheon

Una volta entrati nello spazio della rotonda del Pantheon, i visitatori alzano gli occhi per guardare il cielo attraverso l'oculo. Questa configurazione conica tra osservatore e oculo è illustrata in figura 3.
Come esseri umani, tutto ciò che vediamo raggiunge i nostri occhi attraverso la forma geometrica del cono. Il nostro campo visivo stereografico è, letteralmente, inteso come conico (fig. 4). Sebbene le nostre conoscenze attuali sull'ottica differiscano da quelle degli antichi, il concetto di cono visivo era conosciuto dagli autori del mondo greco-romano, in particolare dal matematico Euclide e dall'astronomo Claudio Tolomeo [Euclid 1945; Lindberg1976, pp. 15, 16].
Il cono visivo riveste un significato aggiuntivo quando si esamina la geometria architettonica del Pantheon, in particolare in relazione al lavoro di Amelia Sparavigna e Lidia Dastrù (fig. 5) e al loro articolo pre-pubblicazione del 2018, *The Pantheon, Eye of Rome, and its Glimpse of the Sky*. Qui le studiose sostengono che «l'architetto che progettò il tempio fosse stato ispirato dalla forma dell'occhio umano per creare un edificio rappresentativo del legame tra Roma e il cielo» [Sparavigna, Dastrù 2018, p. 1]. Questa lettura suggerisce che l'oculo possa essere interpretato come un occhio simbolico attraverso il quale il visitatore, mortale, guarda verso l'alto con una visione conica, verso la distesa divina sopra di sé. In uno spazio sacro di questo tipo, la geometria diventa non solo architettonica ma anche metafisica.
Come illustra la figura 5, il diametro di nove metri dell'oculo consente al visitatore che si trova esattamente al centro dell'impianto di vedere con un angolo dell'ampiezza di dieci gradi. Considerati posizionamento e proporzione dell'oculo, il Pantheon funziona come un telescopio zenitale: consente di osservare una piccola porzione di cielo direttamente sopra Roma, restringendo la visione della calotta celeste e consentendo un'osservazione più focalizzata e dettagliata di una sua parte. In questo modo, tramite il software di simulazione astronomica *Stellarium*, Sparavigna e Dastrù hanno potuto calcolare quali stelle sarebbero state visibili a un romano antico che guardasse verso l'alto attraverso l'oculo, di notte [Sparavigna, Dastrù 2018, p. 4].
Tuttavia, è significativo che, studiando il Pantheon attraverso un modello digitale ad alta definizione generato da LiDAR, la porzione angolare di cielo risulti leggermente maggiore di dieci gradi (fig. 6). Questo accade perché affinché l'angolo sia esattamente di dieci gradi gli occhi dell'osservatore dovrebbero trovarsi sul vertice del cono che appartiene al piano del pavimento.
Questa collocazione del punto di vista potrebbe spiegare la presenza della curiosa lastra in bronzo con due fori circolari per il drenaggio dell'acqua piovana, che ricorda proprio una maschera per gli occhi (fig. 7)?
A sostegno della proposta interpretativa relativa al ruolo della "maschera-oculare", la letteratura nell'ambito

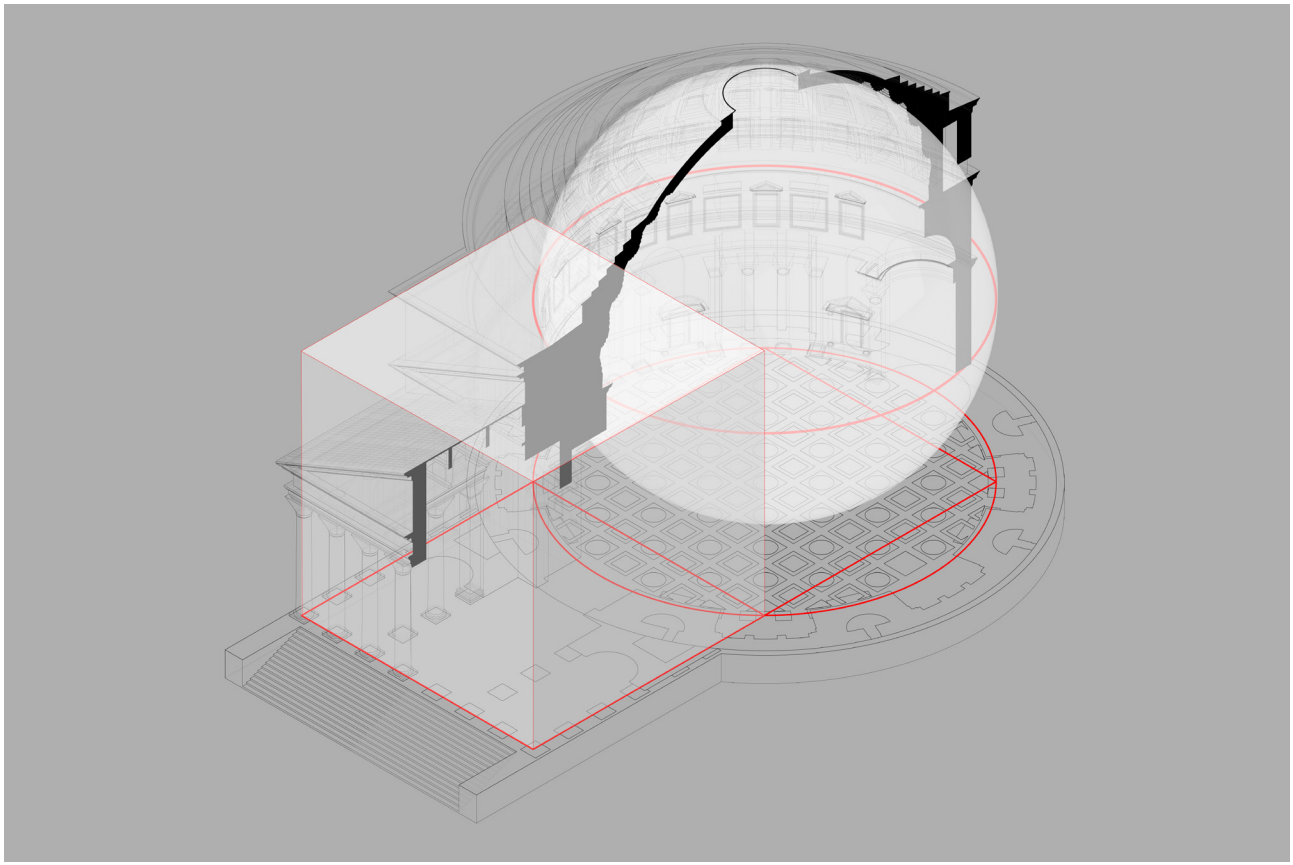


Fig. 2. Analisi geometrica, da Mark Wilson Jones, ridisegnata da Yuhao Jiang.

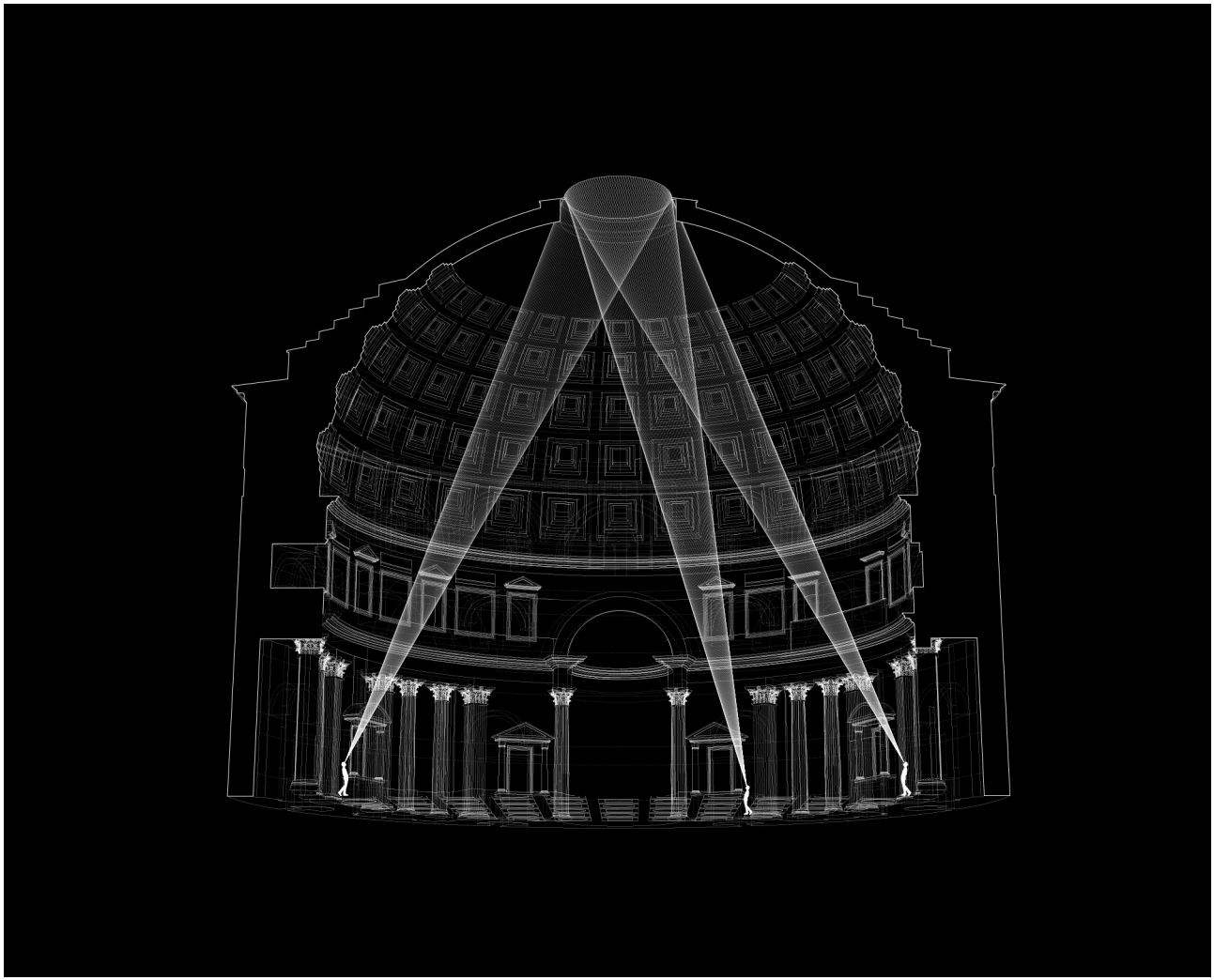


Fig. 3. Sezione trasversale 3D che mostra tre diverse prospettive dei visitatori che guardano verso l'alto attraverso l'oculo. Disegnato da Caleb Skene per Kristin Jones Studio.

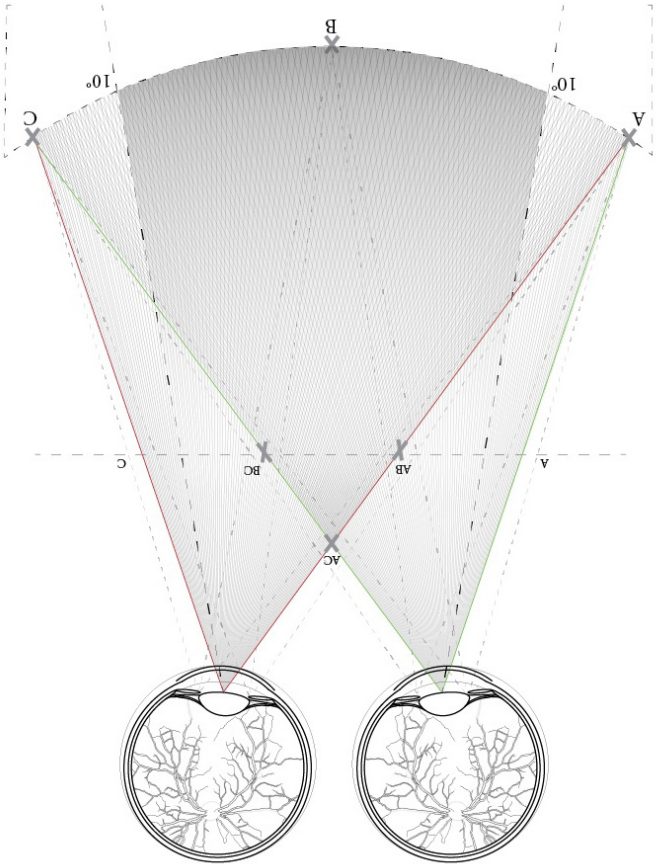


Fig. 4. Diagramma della visione stereografica che mostra l'occhio sinistro delineato in rosso e l'occhio destro in verde. Disegnato da Caleb Skene.

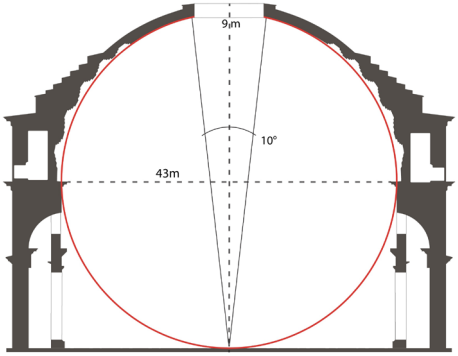


Fig. 5. Schema che mostra la porzione di cielo visibile attraverso l'oculo secondo Sparavigna, Dastrù, ridisegnato da Caleb Skene.

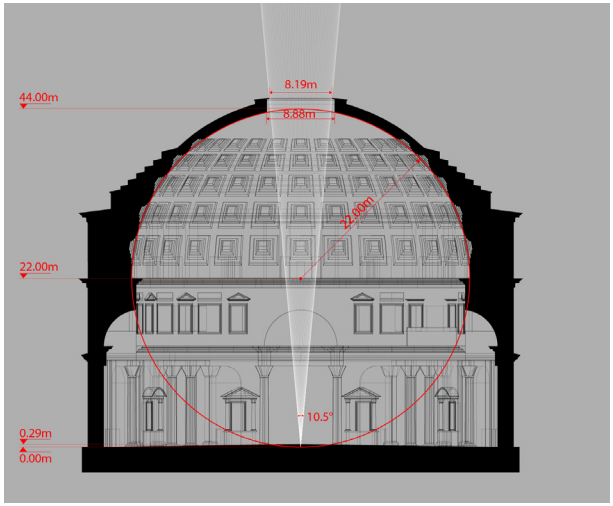


Fig. 6. Sezione frontale quotata che mostra la geometria della proiezione del cono nel cielo attraverso l'oculo, disegnata da Yuhao Jiang.

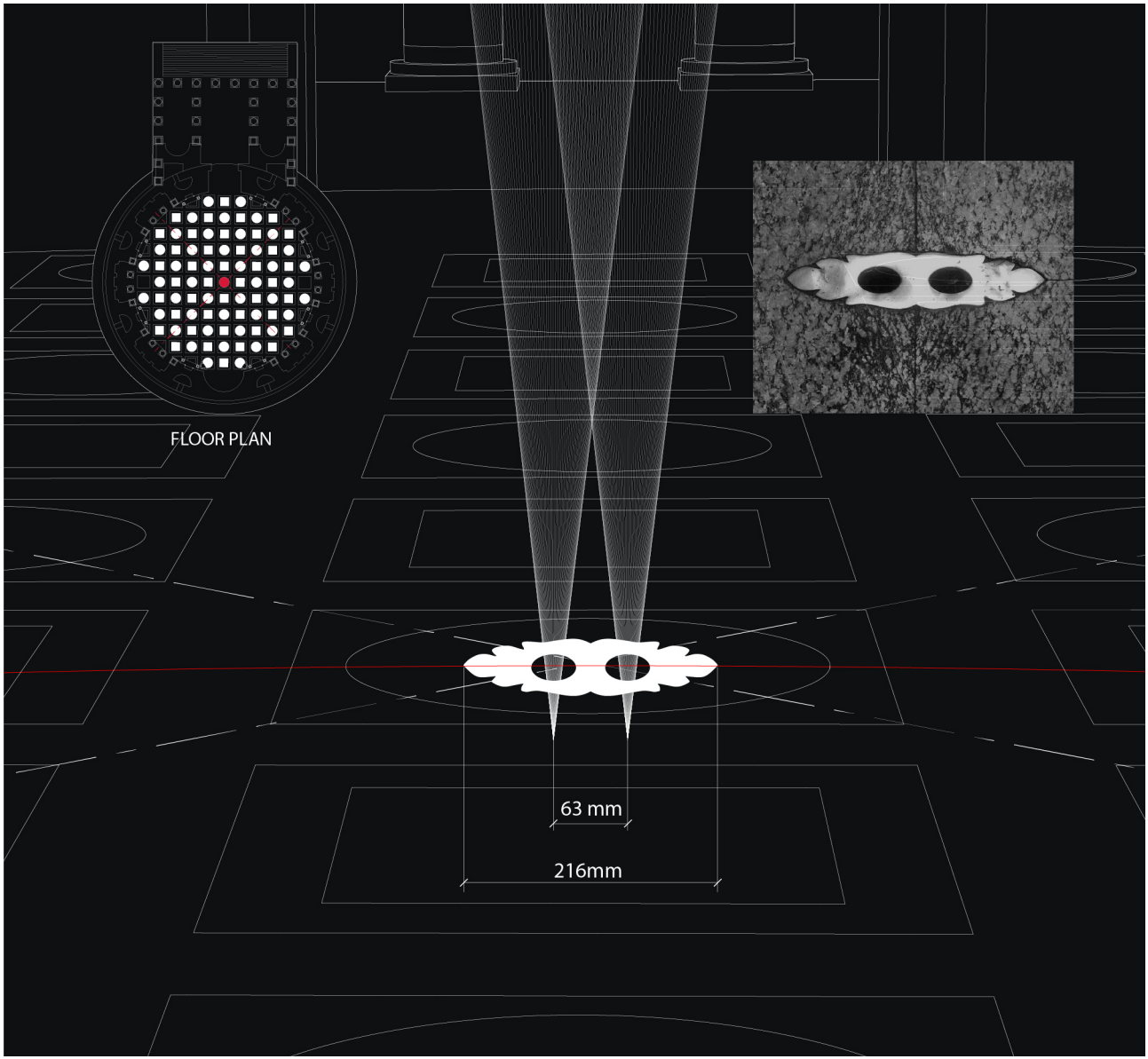


Fig. 7. Disegno della lastra metallica con i fori circolari per il drenaggio dell'acqua piovana presente sul pavimento del Pantheon, interpretata come una maschera stereografica con due orbite oculari. Disegnato da Caleb Skene.

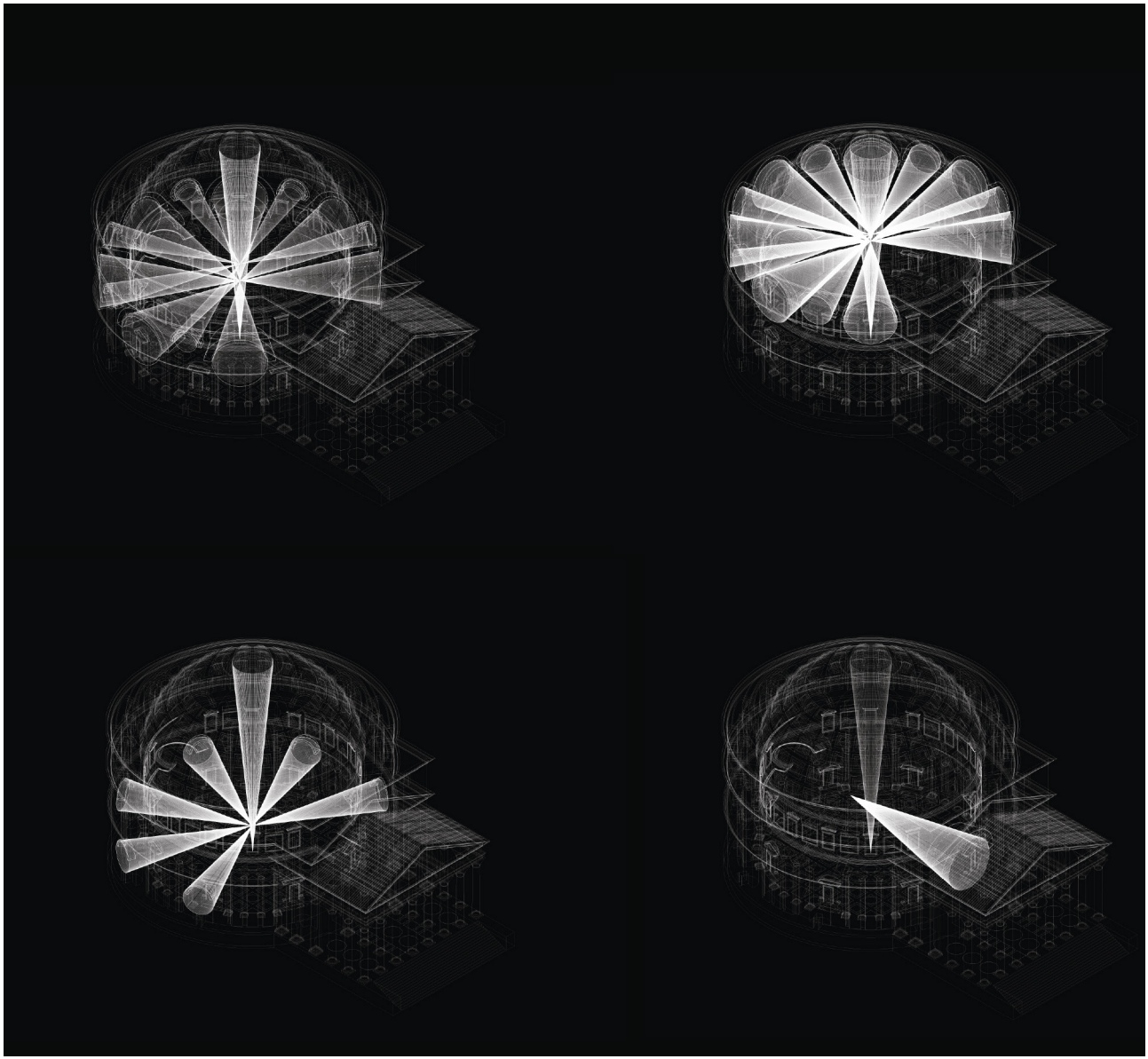


Fig. 8. Coni invisibili nel cilindro, generati da tutti gli archi di sostegno, convergenti verso l'asse centrale verticale, immaginati dall'artista Kristin Jones e disegnati da Yuhao Jiang e Caleb Skene.

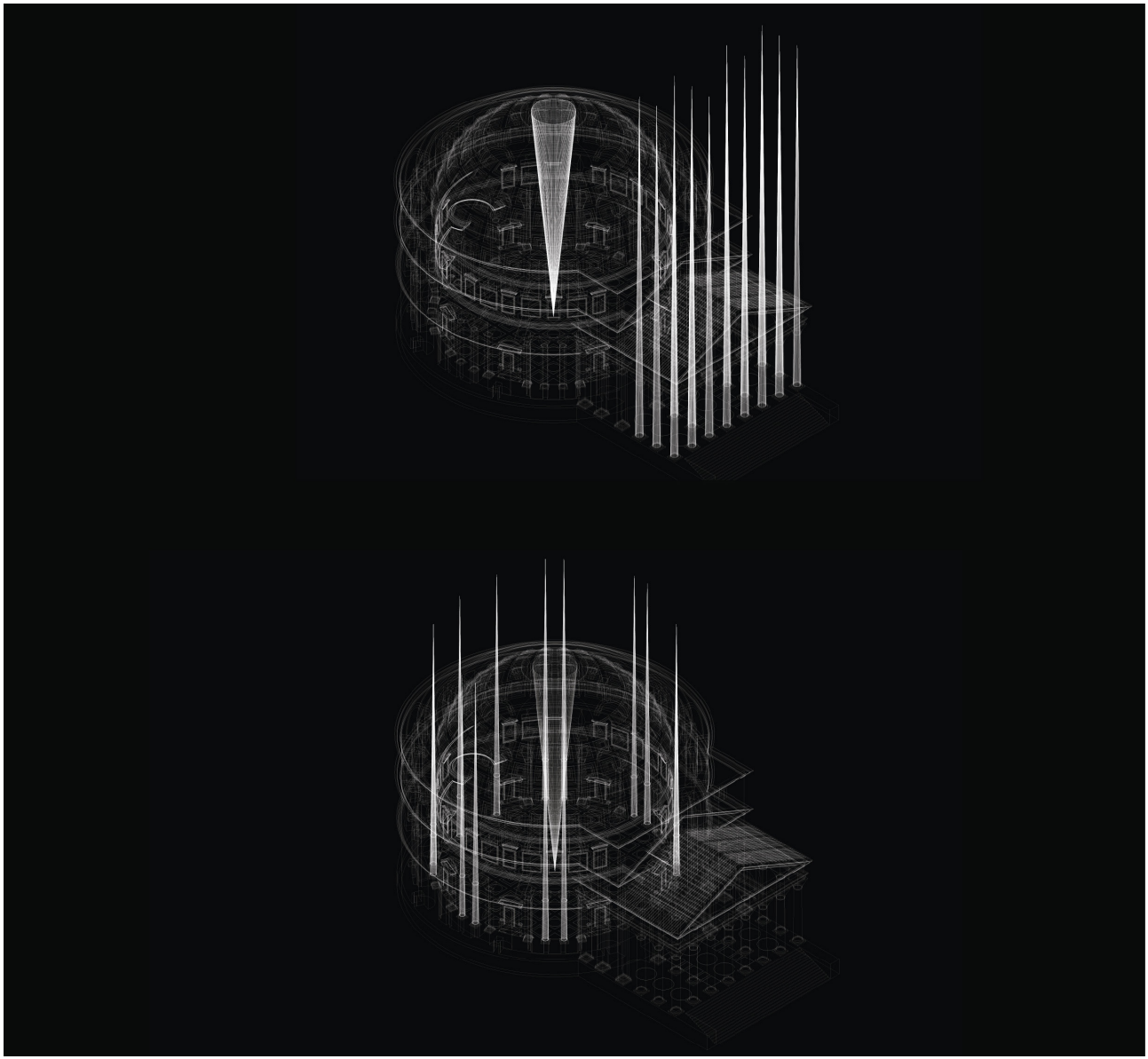


Fig. 9. Coni invisibili, generati dalla rastremazione verticale delle colonne immaginati dall'artista Kristin Jones e disegnati da Yuhao Jiang e Caleb Skene.

delle neuroscienze visive e della neurofisiologia della visione evidenzia che i 5-10 gradi centrali del campo visivo – corrispondenti alle regioni foveale e parafoveale prossimale – sono di importanza cruciale per il riconoscimento dettagliato delle forme e per la visione ad alta acuità [Strasburger, Rentschler, Jüttner 2011].
Questo ristretto campo visivo, in cui i fotorecettori a cono sono più densamente concentrati, consente, quindi, una percezione visiva nitida e focalizzata [Curcio et al. 1990]. Nel Pantheon, questo cono visivo di 10 gradi che si apre verso l'oculo rafforza l'idea che il progetto architettonico possa aver intenzionalmente considerato lo sguardo del visitatore proprio a partire dal punto in cui è collocata la piastra in bronzo, canalizzandone l'attenzione verso l'alto entro questo range ristretto, al fine di enfatizzare una connessione precisa e forte tra l'osservatore e la sfera celeste soprastante [Silverstein 1995].
Sebbene le intenzioni dell'architetto del Pantheon restino ignote, la correlazione simbolica tra la struttura architettonica del Pantheon e l'occhio umano rimane suggestiva. Questa interpretazione acquista ulteriore peso se si considera che il Pantheon sorge sul sito tradizionalmente associato all'apoteosi di Romolo [Coarelli 2014]. Nel quadro di questa simbologia, il Pantheon funge da punto di connessione tra i romani mortali e il cielo divino.
Come già osservato, la forma latente del cono si manifesta nel Pantheon attraverso la configurazione spaziale tra osservatore e oculo [1]. Tuttavia, non è questo l'unico caso in cui la presenza della figura geometrica del cono è suggerita dall'architettura dell'edificio. Anzi, la presenza invisibile del cono si ritrova ovunque nella struttura (figg. 8, 9). Ad esempio, gli archi di scarico entro lo spessore delle murature della rotonda, curvati tridimensionalmente per via della costruzione radiale dell'edificio, delineano una forma complessiva che può essere interpretata come composta da coni diretti verso il centro.

Proiezione stereografica

Un altro cono invisibile si rivela esaminando i cassettoni dell'intradosso della cupola del Pantheon, oggetto di ampio dibattito tra gli studiosi per secoli. Le rientranze dei singoli cassettoni della cupola, apparentemente ortogonali tra loro, potrebbero sembrare piuttosto semplici nella loro geometria, ma ciò è smentito da misurazioni approfondite, come quelle condotte nel 2006 dal Bern Digital Pantheon Project e successivamente nel 2015 dall'architetto Mauro Saccone [Graßhoff, Heinzelmann, Theocharis, Wäfler 2009; Saccone 2017].
I cassettoni sono stati realizzati in modo da apparire al visitatore come composti da una serie di quadrati concentrici, regolarmente decrescenti. Inoltre, il loro disegno consente che il campo centrale di ciascuno resti visibile al visitatore, ovunque egli si trovi sul pavimento della rotonda. La regolare diminuzione e l'aspetto ortogonale dei cassettoni costituiscono, tuttavia, un'illusione ottica, poiché la natura emisferica della cupola richiede una deformazione di queste forme geometriche per preservarne l'apparenza di regolarità [Fernández-Cabo 2013, p. 543]. Questo processo è paragonabile a quello che ha guidato la realizzazione dell'entasi nelle colonne, come accade ad esempio nel Partenone, che conferisce loro l'apparenza di verticalità [2].
Sebbene non sia stato possibile determinare con precisione il metodo impiegato dai costruttori del Pantheon per progettare l'intradosso cassettonato della cupola, esistono solide evidenze a favore dell'utilizzo della proiezione stereografica. Questa tecnica, il cui uso per il Pantheon è stato ipotizzato da Maria Teresa Bartoli nel 1995 [Bartoli 1995], consiste nel proiettare un disegno bidimensionale su una sfera. Una volta completato il disegno, esso viene proiettato da un punto sull'antipolo della sfera, cioè dal centro di proiezione. Nel caso del Pantheon, il centro di proiezione è al di sotto del pavimento dell'edificio [Saccone 2017, pp. 268-272]. Questa operazione geometrica era nota al tempo della costruzione del Pantheon, essendo stata descritta dall'astronomo e matematico del II secolo Claudio Tolomeo [Radojevic 2018, p. 8].
Una recente ipotesi avanzata da Yuhao Jiang durante un'analisi geometrica del Pantheon svolta per il progetto *Oculus* di Kristin Jones, rafforza l'argomento a favore dell'uso di questa tecnica. Da tale analisi emerge una corrispondenza numerica che collega il processo di proiezione stereografica al diametro dell'oculo.
Data una sfera, questa operazione geometrica prevede un cono di proiezione il cui vertice ha origine in un polo (fig. 10). Il cono interseca l'equatore della sfera e viene esteso fino a che la sua base risulta tangente all'antipolo del centro di proiezione. Questo grande cerchio avrà un diametro esattamente doppio rispetto a quello della sfera. La tecnica di mappatura avrebbe consentito di progettare in due dimensioni il disegno dei cassettoni del Pantheon, così come apparirebbero a un ipotetico osservatore che

guardasse verso l'alto dal centro di proiezione. A proposito dei disegni in scala reale, è interessante notare che esiste un disegno in scala reale dei profili dell'elevato del portico, trovato inciso nella pavimentazione in calcare davanti al Mausoleo di Augusto [Haselberger 1995, fig. 1], distante non più di 600 m. dalla Rotonda.
Per realizzare il disegno di cinque file di ventotto cassettoni occorre dividere il cerchio «con 28 meridiani e inscrivere il primo cerchio tangente ai due meridiani e al massimo cerchio parallelo, che determina il raggio del parallelo successivo. Il cerchio seguente è tangente su un nuovo parallelo e ai due meridiani, e così via» [Radojevic 2018, p. 8].
Tuttavia, il "massimo cerchio parallelo" nominato da Radojevic, usato per generare i cassettoni del Pantheon, non coincide con il cerchio che forma la base del cono di proiezione che interseca l'equatore della rotonda. Infatti, per consentire al visitatore che percorre il pavimento della rotonda la visibilità del primo giro di cassettoni, il disegno parte più in alto rispetto al bordo del cerchio maggiore, e questo corrisponde a un cono di proiezione che interseca la sfera della rotonda leggermente al di sopra dell'equatore.
Questo cerchio maggiore, pur non essendo usato direttamente per generare il disegno dei cassettoni, fornisce comunque la chiave della scoperta di Jones e Jiang. Estendendo i 28 meridiani fino al diametro completo del cerchio maggiore, è possibile inscrivere un cerchio più piccolo, tangente a due meridiani e al cerchio maggiore. Questo cerchio più piccolo, indicato nelle figure 10 e 11, corrisponde direttamente al diametro dell'oculo.
Questa corrispondenza corrobora la teoria proposta, secondo cui la proiezione stereografica sarebbe stata impiegata per progettare la disposizione dei cassettoni della cupola. Tale metodo di proiezione fu sviluppato dall'astronomo Claudio Tolomeo (ca. 90-170) – che visse all'incirca durante la costruzione del Pantheon adrianeo – ai fini della rappresentazione cartografica del cielo e della Terra. Pur non essendo forse possibile stabilire con certezza se questo metodo sia stato effettivamente impiegato, i risultati cui giungono Jones e Jiang, chiaramente illustrati nelle figure 10 e 11, vanno in tal senso, riaffermando il lavoro di Bartoli 1995 e Radojevic 2018, e ampliandone l'applicazione fino a includere la considerazione sulla genesi geometrica del diametro esatto dell'oculo.
Va sottolineato che altre corrispondenze riguardanti le dimensioni dell'oculo sono state segnalate da più studiosi del Pantheon. Gert Sperling, nella sua monografia del 1999 sull'edificio, nota che il diametro dell'oculo è uguale all'altezza dei fusti delle colonne interne [Sperling1999, p. 122]. Inoltre, molti hanno identificato il diametro dell'oculo come un quinto di quello della cupola [Fernández-Cabo 2013, p. 534].
Entrambe queste corrispondenze si accordano bene con il principio della simmetria. La larghezza dell'oculo e l'altezza dei fusti delle colonne interne, insieme a quelle dell'attico, equivalgono a 30 piedi romani, una misura pari a un quinto del diametro del cerchio generativo dell'edificio, che è pari a 150 piedi romani. Tuttavia, piuttosto che concentrarsi su singole corrispondenze tra misure specifiche, l'armonia generata dall'applicazione della simmetria si rivela pienamente solo osservando l'insieme nel suo complesso.

Altre considerazioni

Considerata la molteplicità delle misurazioni dell'edificio effettuate nel tempo, e tenendo conto dei cedimenti e degli scostamenti ammissibili dell'edificio reale rispetto alla sua forma ideale di progetto, esiste un margine entro il quale le "corrispondenze esatte" possono risultare meno che esatte. Entro questo margine di errore possono essere individuate numerose corrispondenze. Resta però l'interrogativo su quali fossero le intenzioni, nelle menti dei progettisti, nel momento in cui determinavano le distanze tra gli elementi architettonici. Ad esempio, da dove andrebbero misurate tali distanze: dal centro delle colonne o dalla loro superficie? E come possiamo sapere quale di questi criteri sia stato impiegato nella costruzione? [3].
Questo non intende sminuire i risultati ottenuti, ma vuole mettere in evidenza come le singole ipotesi vadano considerate *cum grano salis*. Ciononostante, le varie possibili connessioni che l'oculo stabilisce con altri aspetti del disegno dell'edificio testimoniano l'inesauribilità del Pantheon come oggetto di studio. Quest'opera, di antica grandiosità, ha affascinato generazioni di studiosi e ancora oggi si continua a scandagliarne la complessità, per comprendere appieno la meraviglia della sua geometria.

Il finito e l'infinito

Considerata la natura enigmatica del progetto e della funzione del Pantheon, nonché la centralità e il ruolo

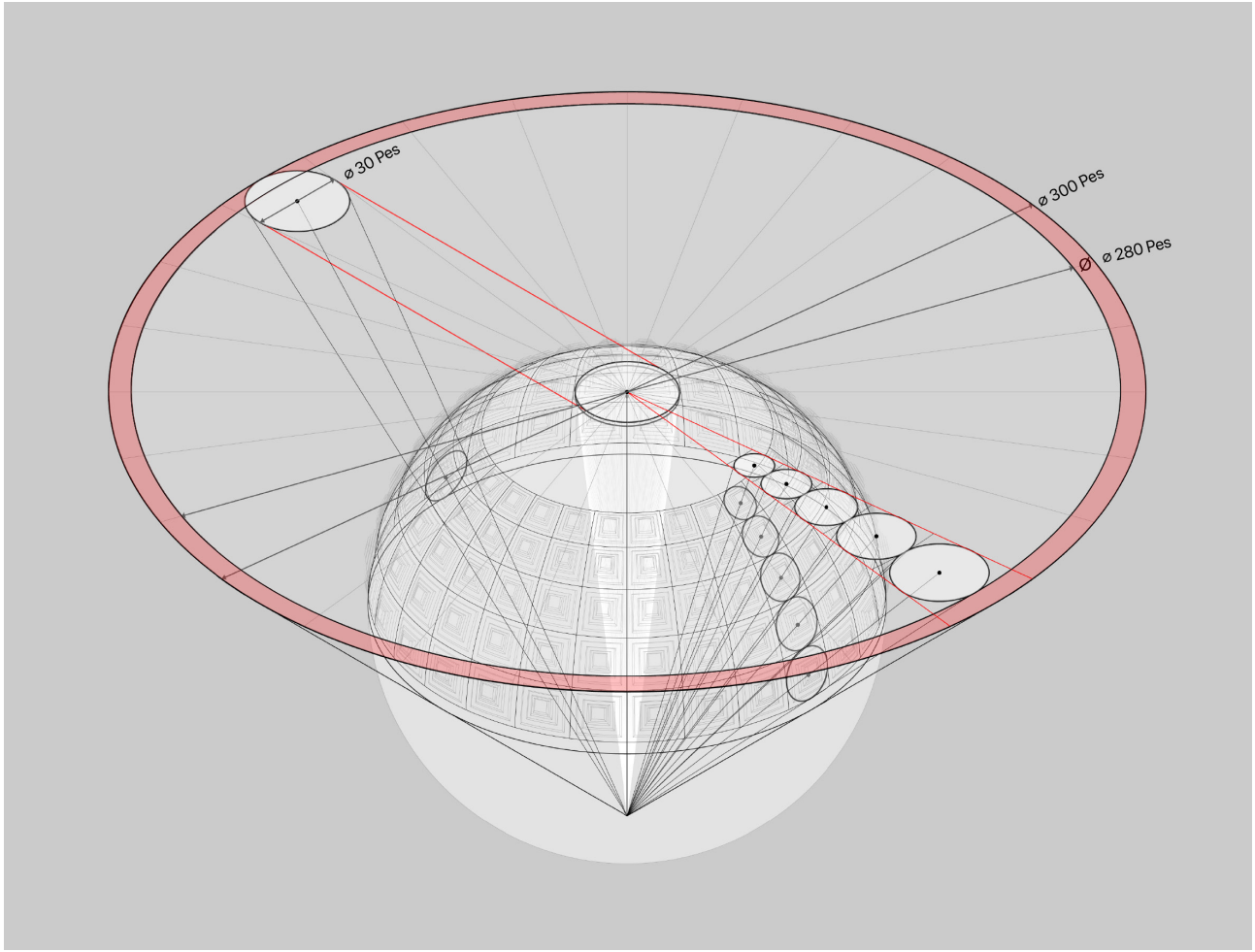
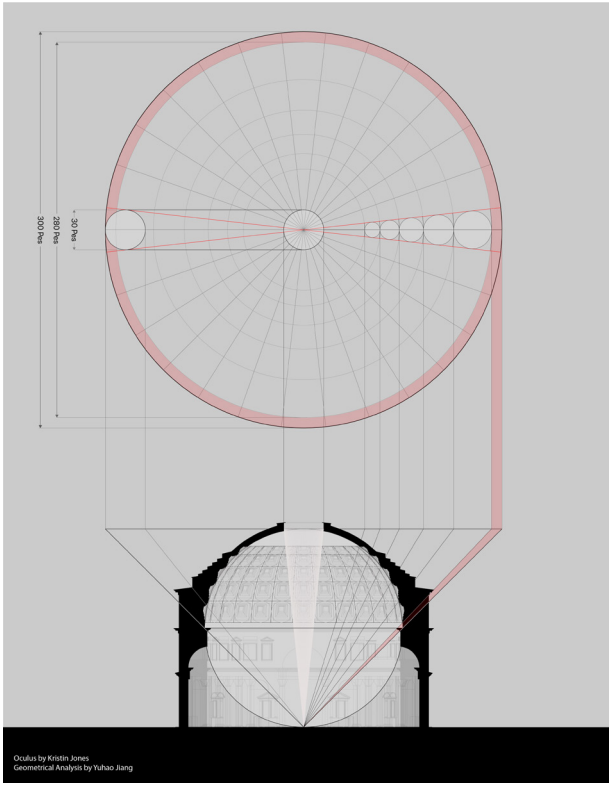


Fig. 10. Disegno assonometrico che mostra la dimensione dell'oculo generata dalla proiezione stereografica (disegno di Yuhao Jiang per Kristin Jones Studio).

fondamentale dell'oculo nella concezione dell'edificio, è plausibile che le dimensioni di quest'ultimo siano in relazione con numerosi altri elementi del progetto architettonico. L'oculo è il punto di contatto tra microcosmo e macrocosmo. Portando la luce del sole all'interno, altrimenti in ombra, dell'edificio, l'oculo può essere compreso, sul piano esperienziale, come un punto di contatto tra il regno degli astri e il mondo ordinario del quotidiano. Come scrive Eugenio La Rocca in *The Pantheon: From Antiquity to the Present*: «L'oculo nella cupola presentava quell'unione tra terra e cielo che simboleggiava un'apoteosi verso il cosmo» [La Rocca 2015, p. 76].
Questo aspetto del Pantheon come legame tra finito e infinito, tra essere mortale e cosmo immortale, si distilla nella geometria del cono. Come figura geometrica, il cono connette la finitezza del punto singolo con la relativa infinità del cerchio. Nella nostra visione, il cono è la forma mediante la quale la luce ci raggiunge. È alla base dell'intera nostra esperienza visiva, che costituisce uno dei principali modi attraverso cui entriamo in contatto con il mondo esterno. In questo senso, il cono, come il Pantheon stesso, può essere inteso come emblema della relazione tra microcosmo e macrocosmo. La presenza implicita di questa geometria invisibile nello spazio dell'edificio, dunque, offre una lente inedita per comprendere l'elegante simbolismo di questa meraviglia antica (figg. 13-15).



Unità romana	Denominazione inglese	Equivalente metrico	Equivalente imperiale
Pes	(Roman) foot	0,296 m	0,971 ft
Passus	Pace	1.48 m	4.854 ft

Fig. 11. Disegno in pianta e sezione della proiezione stereografica nel Pantheon (disegno di Yuhao Jiang per Kristin Jones Studio).

Crediti

Questo articolo è un lavoro collettivo del Kristin Jones Studio, con il contributo di Nate Sloan, Yuhao Jiang, Caleb Skene e Brooklyn Richardson.
Un ringraziamento speciale a: Giovanna Spadafora, Mauro Saccone, Christopher Bardt, Daniel K. Brown, Kirila Cvetkovska, Jacqueline Pearse.
L'Autrice desidera ringraziare la prof.ssa Giovanna Spadafora non soltanto per la traduzione del testo dalla lingua inglese a quella italiana ma per il costante apporto alla redazione dell'intero contributo.

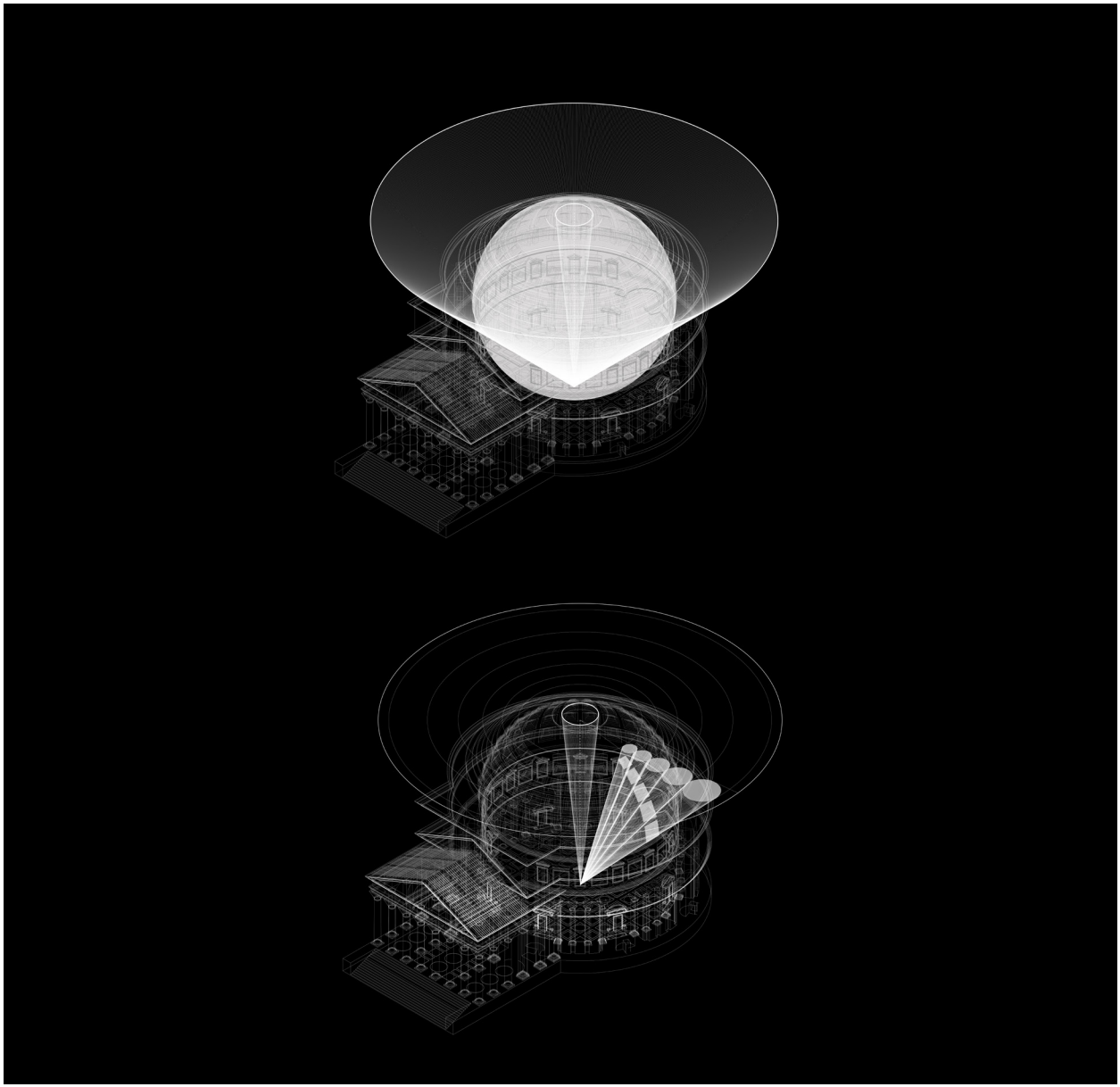


Fig. 12. Disegni dei coni di proiezione stereografica (disegno di Caleb Skene e Yuhao Jiang, 2025).

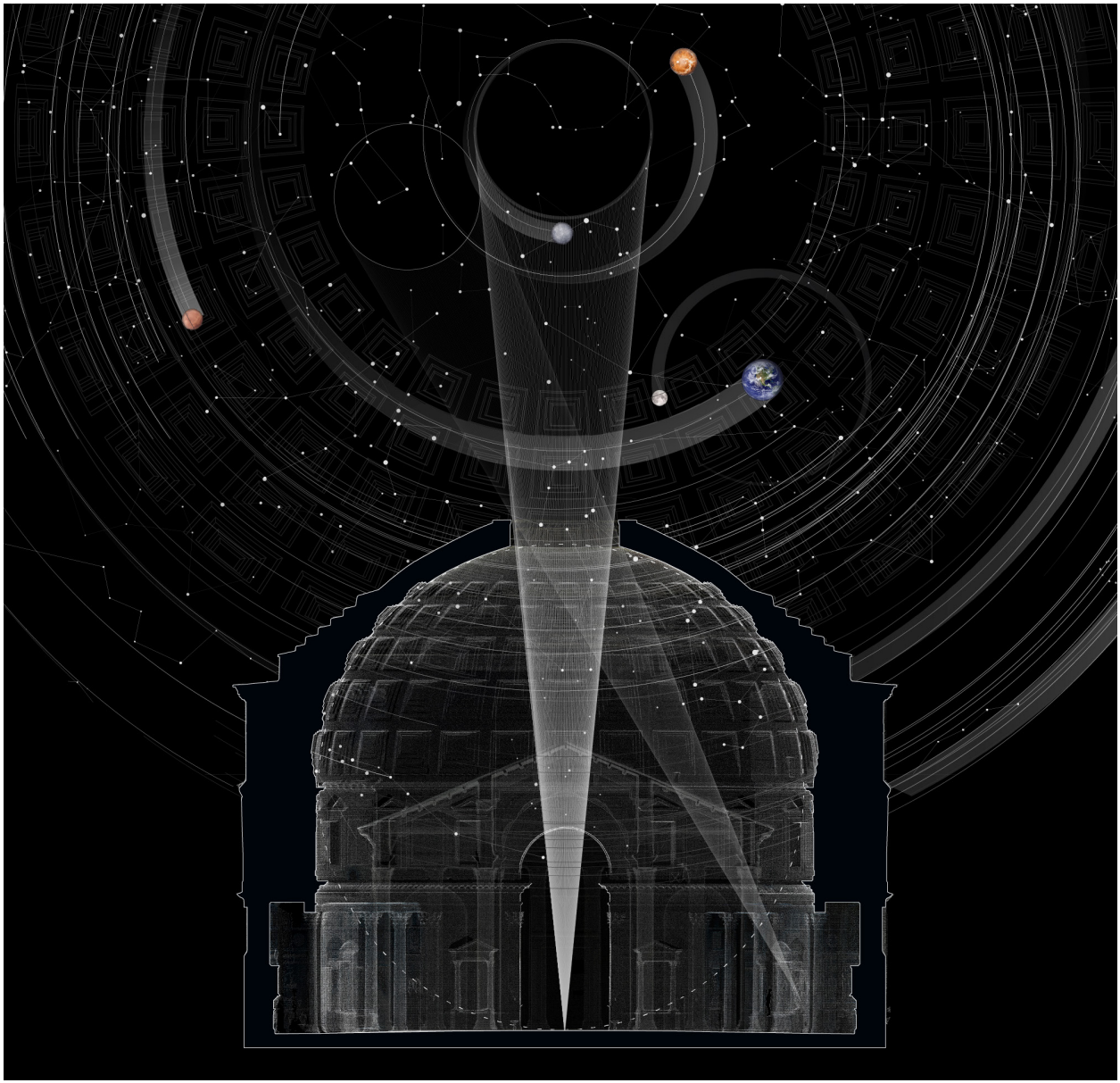


Fig. 13. Disegno del Pantheon come legame tra il finito e l'infinito. Disegno di Brooklyn Richardson per Kristin Jones Studio.

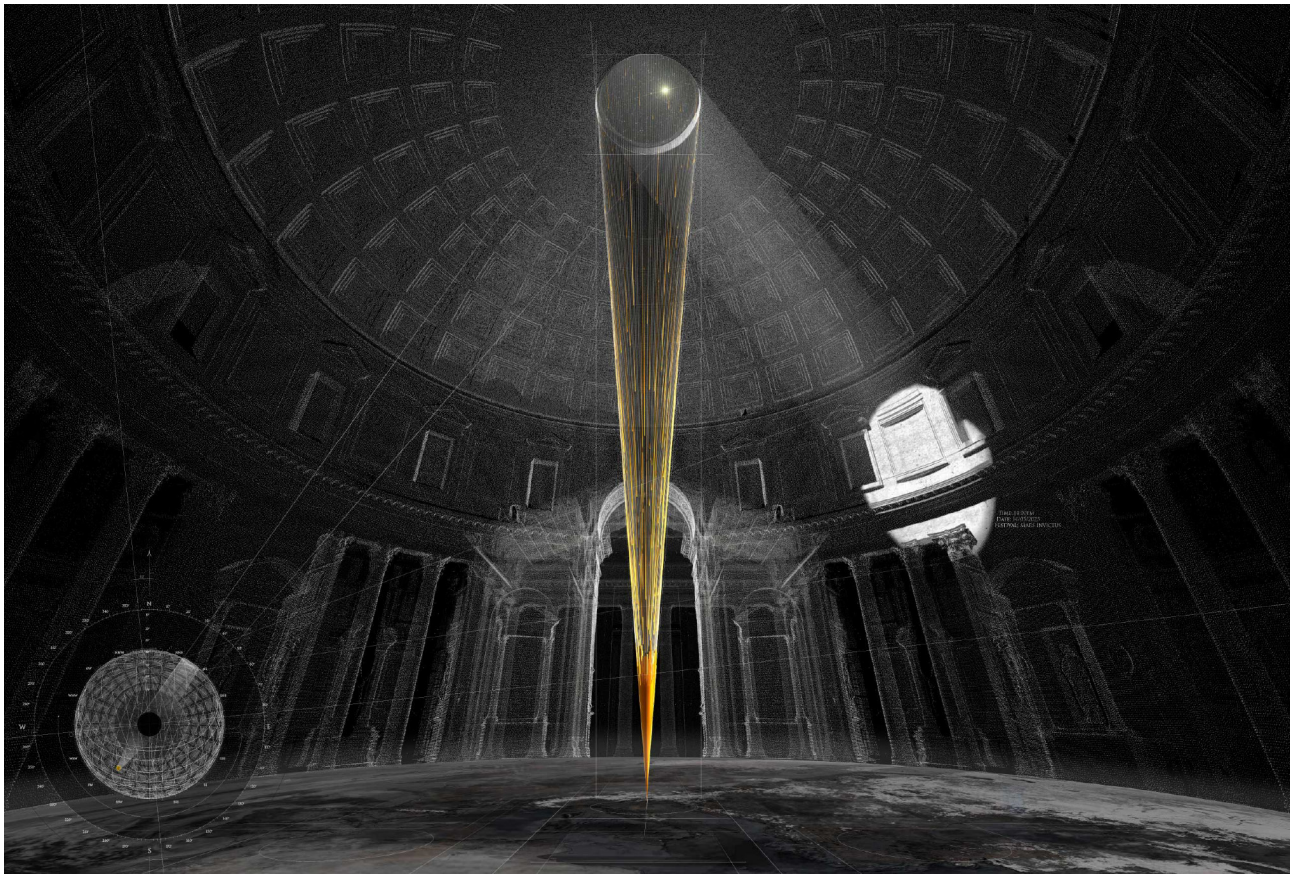


Fig. 14. Mars Invictus. Vista interna di un momento nel tempo (15 maggio) con pavimento 'a cupola' e diagramma del soffitto riflesso, che mostra la posizione del sole (disegno di Caleb Skene per Kristin Jones Studio).

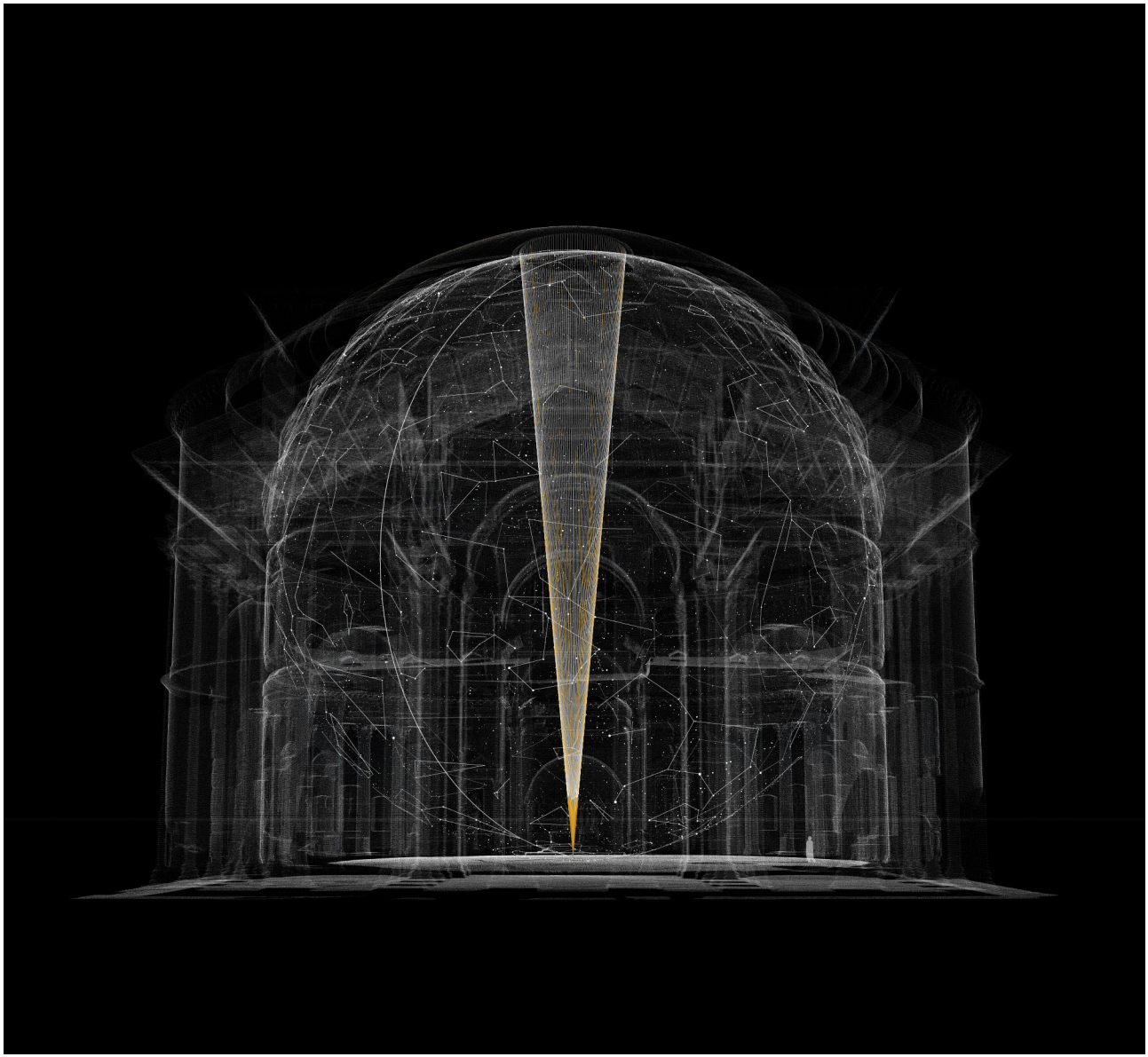


Fig. 15. Vessel of the Cosmos, composizione di un modello del Pantheon di circa 20 milioni di punti LiDAR, con cono dell'oculo e sfera celeste di circa 9.000 stelle (disegno di Brooklyn Richardson per Kristin Jones Studio).

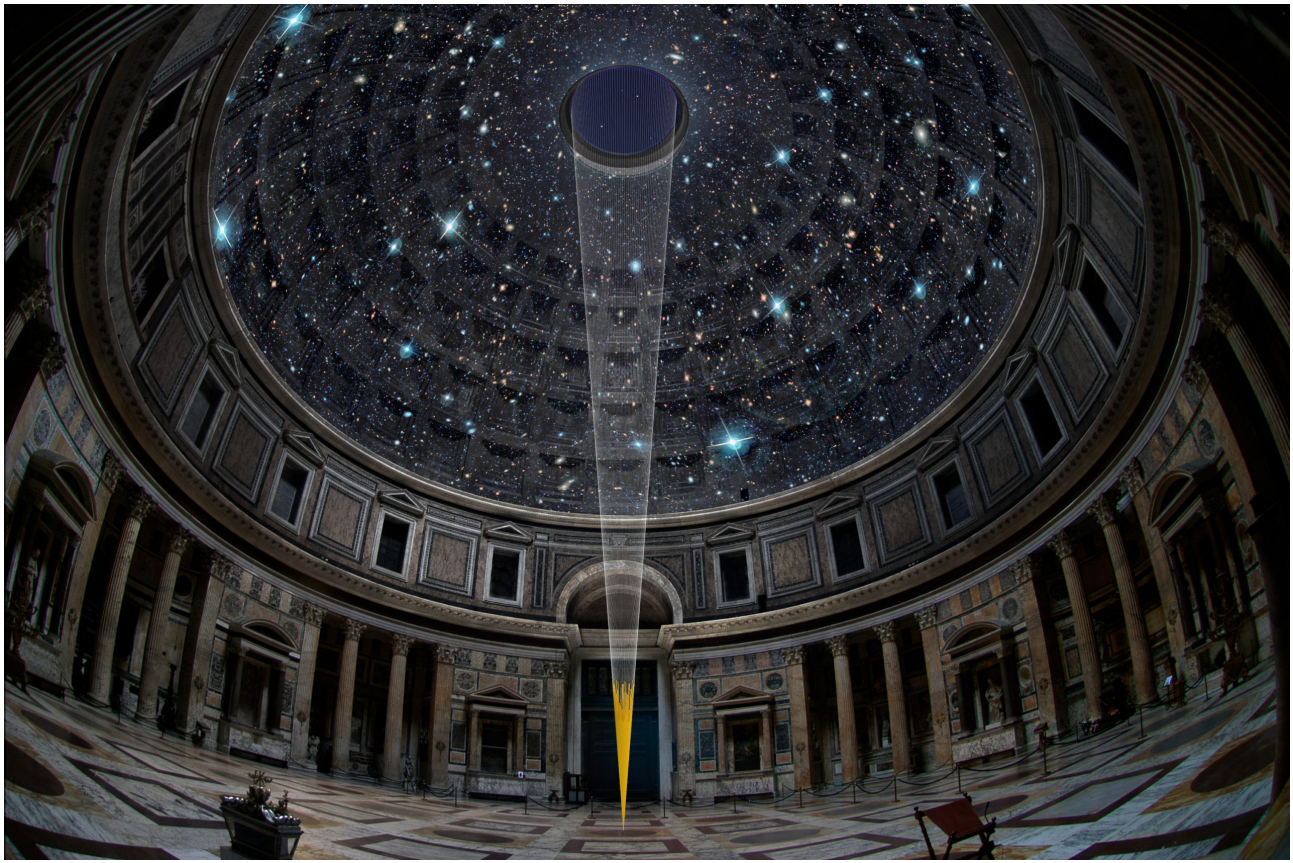


Fig. 16. OCULUS. Vista notturna dall'altare (rendering). Installazione composta da tre elementi: forma conica, proiezione e suono. Il cono di filo ideato da Kristin Jones scende per 150 piedi dall'oculo di 30 piedi. La proiezione è un'immagine Deep Field, che include oltre 300.000 galassie lontane, distanti da milioni a molti miliardi di anni luce, composta da Michael Benson a partire da immagini digitali raccolte con il telescopio CFHT tra il 2003 e il 2009.



Fig. 17. OCULUS. Vista diurna dall'altare. Ideazione e direzione artistica: Kristin Jones. Immagine originale: Marcello Melis. Analisi geometrica e disegno: Yuhao Jiang.

Note

[1] Va sottolineato che, sebbene le configurazioni geometriche sopra descritte siano tutte coni, esse differiscono nei loro aspetti specifici di altezza, vertice ecc.

[2] L'entasi è un artificio ottico mediante il quale il fusto di una colonna viene scolpito in modo che il profilo verticale appaia leggermente convesso. Se scolpita perfettamente dritta, la colonna sembrerebbe diminuire in larghezza nel suo punto medio. L'entasi corregge questa illusione. Va notato, tuttavia, che alcuni casi il suo uso va ben oltre la correzione di un'illusione, ma è motivato dal suo intrinseco valore estetico: si veda Jones 1999.

[3] Questo problema, presente in tutti gli edifici romani radiali, è esplorato più approfonditamente in Jones 1989, pp. 106-151.

Autore

Kristin Jones, Kristin Jones Studio, kristinandreajones.com, kristinjonesstudio@gmail.com

Riferimenti bibliografici

Bartoli, M.T. (1995). Scaenographia vitruviana: il disegno delle volte a lacunari tra rappresentazione e costruzione. In *Disegnare. Idee, Immagini*, n. 9, pp. 51-62.

Coarelli, F. (2014). Il Pantheon e Il Tempio Di Adriano. In L. Abbondanza , F. Coarelli, E. Lo Sardo (a cura di). *Apoteosi da Uomini a Dei: Il Mausoleo di Adriano*, Catalogo della Mostra, Roma 21 dicembre 2013 - 27 aprile 2014, p. 238. Roma: Munus; Palombi.

Curcio, C.A., Sloan, K.R., Kalina, R.E., Hendrickson, Anita E. (1990). Human Photoreceptor Topography. In *Journal of Comparative Neurology* 292, no. 4, pp. 497-523. DOI: 10.1002/cne.902920402.

Dio, C. (n.d.). *Roman History*, n. 53.27.2. <https://lexundria.com/dio/53/cy> (consultato il 9 febbraio 2026).

Euclid. (1945). The Optics of Euclid. H.E. Burton (trans. by). In *Journal of the Optical Society of America*, 35, no. 5, pp. 357-372.

Fernández-Cabo, M.C. (2013). Analysis of Different Hypotheses about the Geometric Pattern of the Pantheon's Coffered Dome. In *Nexus Network Journal*, 15, no. 3, pp. 527-547. DOI: 10.1007/s00004-013-0165-5.

Graßhoff, G., Heinzelmann M., Theocharis, N., Wäfler, M. (Eds.). (2009). *The Pantheon in Rome. The Bern Digital Pantheon Project. Plates. Pantheon 2*. Bern: LIT Verlag.

Haselberger, L. (1995). Deciphering a Roman Blueprint. In *Scientific American*, vol. 272, n. 6, pp. 84-89.

Jones, M.W. (1989). Principles of Design in Roman Architecture: The Setting Out of Centralised Buildings. In *Papers of the British School at Rome*, 5, pp. 106-151.

Jones, M.W. (1999). The Practicalities of Roman Entasis. In L. Haselberger (Ed.). *Appearance and Essence: Refinements of Classical Architecture: Curvature*. Philadelphia: The University Museum-University of Pennsylvania, pp. 225-249.

La Rocca, E. (2015). Agrippa's Pantheon and Its Origin. In Marder, Jones 2015, pp. 49-78. DOI: 10.1017/CBO9781139015974.003.

Lindberg, D.C. (1976). *Theories of Vision from Al-Kindi to Kepler*. Chicago-London: University of Chicago Press.

Marder, T.A., Jones, M.W. (Eds.). (2015). *The Pantheon*. Cambridge: Cambridge University Press.

Martines, G. (2015). The Conception and Construction of Drum and Dome. In Marder, Jones 2015, pp. 99-131. DOI: 10.1017/CBO9781139015974.005.

Radojevic, N. (2018). Generating the Pantheon's Dome: Cultural Paradigms and Shape Grammars. In M. Rossi, G. Buratti (Eds.). *Computational Morphologies*, pp. 223-234. Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-60919-5_18.

Saccone, M. (2017). *Disegnare il Pantheon. La pratica del rilievo nell'insegnamento accademico del XIX secolo e nel disegno digitale contemporaneo*. Tesi di dottorato in Architettura. Relatore prof. M. Canciani. Università Roma Tre. <http://researchgate.net/publication/321939079_Disegnare_il_Pantheon_La_pratica_del_rilievonell'insegnamento_accademico_del_XIX_secolo_e_nel_disegno_digitale_contemporaneo_Phd_thesis> (consultato il 9 febbraio 2026).

Silverstein, L.D. (2008). Foundations of Vision, by Brian A. Wandell, Sinauer Associates, Inc., Sunderland, MA, 1995. In *Color Research & Application*, 21, no. 2, pp. 142-144. DOI: 10.1002/col.5080210213.

Sparavigna, A.C., Dastrù, L. (2018). The Pantheon, Eye of Rome, and Its Glimpse of the Sky. Disponibile in *SSRN*. DOI: 10.2139/ssrn.3185748.
Sperling, G. (1999). *Das Pantheon in Rom: Abbild und Mass des Kosmos. Horrea 1*. Neuried: Ars Una.

Strasburger, H., Rentschler, I. Jüttner, M. (2011). Peripheral Vision and Pattern Recognition: A Review. In *JOV, Journal of Vision*, vol. 11, 13. DOI: 10.1167/11.5.13.

Evolución geométrica de la estructura en la arquitectura gótica de Guillem Sagrera en Perpignan. Análisis Gráfico

Luis Agustín-Hernández, Aurelio Vallespín-Muniesa, Marta Quintilla-Castán

Abstract

Guillem Sagrera es un arquitecto esencial durante el siglo XV en la Corona de Aragón. Es conocida su participación en la Catedral de Mallorca, primero como aprendiz en el Pórtico del Mirador, desde 1397 y posteriormente como maestro. También se le encargó la construcción de la Lonja de Mallorca, iniciada en 1426. En ese intervalo está documentada su residencia en Perpignan, al menos desde 1410, pero existen ciertas incógnitas sobre las obras en las que pudo participar en el Rosellón durante este periodo, como su intervención en la Lonja del Mar, de Perpignan o la cronología en las obras de la sala capitular de Sant Jean Baptiste. Este periodo, influyó y modificó la forma de concebir el trazado geométrico de la estructura en sus edificios. Este estudio tiene como objetivo determinar dos aspectos: 1. A través de los paralelismos en su escultura, determinar las obras que pudo realizar en este periodo en el Rosellón. 2. Confirmada su participación en la Sala capitular de Sant Jean Baptiste, realizar un profundo análisis gráfico, modelando el espacio arquitectónico, donde comprobar la experimentación estructural y geométrica que realiza, observando cómo se produce un cambio del trazado gótico meridional, eliminando capiteles y mensulas, a un trazado más libre con un dominio del trazado geométrico por encima de los cánones y como esto se plasmará en dos de sus obras posteriores la Lonja de los Mercaderes en Palma y la Sala dei Baroni, en Castell Nuovo de Napoli.

Palabras clave: Gótico mediterráneo, modelo digital, Guillem de Sagrera, Sant Jean Baptiste Perpignan, Lonja del Mar Perpignan.

Introducción

Guillem Sagrera, nació en Felanitx, en la isla de Mallorca, en torno a 1380 y murió en Napoli en 1454. En 1397 es citado por primera vez cobrando un jornal como aprendiz en el Portal del Mirador de la Catedral de Mallorca [Alomar 1970, p. 51], este inicio es importante, porque las influencias de los maestros con los que trabajó es clave para entender su evolución y sus obras.

Sagrera y su obra escultórica

En el 1396, [Teres 2011, p. 174] empezó a dirigir la obra del Portal del Mirador el maestro Pere de Santjoan, que sustituyó, tras su muerte, a Pere Mora. También participaban otros maestros como Enrique el Alemán [1] y Johan de Valencines [2]. Se debe señalar que en estos años, durante el reinado de Juan I, hay un acercamiento a la cultura francesa debido a los intercambios matrimoniales [Teres 2011, p. 150]. La influencia no resultaba extraña en Palma debido a la independencia temporal del reino de Mallorca respecto de la Corona de Aragón. Las primeras influencias de Sagrera provienen de la arquitectura gótica más septentrional, del denominado gótico borgoñés, de la corte de Valois en Dijon.
En ese momento Claus Sluter estaba iniciando un nuevo estilo con su obra más conocida, el Pozo de Moisés, cuestionando la escultura flamenca de la época, representada en Catedrales como Amiens, donde las figuras esbeltas,

 BY-NC-ND

son delicadas y se curvan imitando marfil, con suaves pliegues. En el Pozo de Moisés las figuras se desligan de sus marcos góticos, estas ya no son esbeltas, los ropajes se tratan de forma rotunda con pliegues profundos, ocultando todo el cuerpo salvo las manos y la cabeza. Las manos tienen movimiento, mientras las expresiones de las caras se convierten en retratos.

Guillem Sagrera fue el maestro de la Seo mallorquina desde 1416 a 1435 [Alomar 1970, p. 115]. Durante esos años, se realizó el cuarto y quinto tramo de las naves, la sala capitular y labores escultóricas. En el Pórtico del Mirador se atribuye a Guillem Sagrera, por documento escrito hacia 1422, la figura de San Pedro (fig. 1) donde: «ha superado el estilo que aprendió de Joan de Valencines, trabajando para acercarse al estilo de Sluter» [Alomar 1970, p. 94]. Por similitud estilística, la figura de San Pablo, también sería obra suya, incluso la figura a su lado San Antonio, por el báculo con forma de Tau (fig. 1), de las 4 figuras que jalonan el pórtico, la de San Juan Bautista, es la que parece diferente, resulta menos realista desde el punto de vista de la expresividad de la cara, alejándose de los principios estéticos iniciados por Claus Sluter.

Unos años más tarde, el 1426 se inicia la Lonja de Mercaderes [3], de todo el repertorio escultórico que aparece en ella, según Gabriel Alomar [Alomar 1970, p. 131], podemos confirmar la autoría de Sagrera en muy pocas piezas, aunque muy importantes, como el ángel de la portada de la plaza, el San Juan Bautista de la esquina, o la Virgen con el niño situada en la puerta oeste del jardín, realizada entre 1430 y 1440. Observando la imagen de la Virgen (fig. 2), podemos apreciar influencias de Claus Sluter, Alomar lo compara con el Moisés de Sluter por su ropaje, sin duda la expresividad de la cara de la virgen, a pesar del deterioro de la escultura, es notable y se acerca a la expresividad del maestro flamenco [Alomar 1970, p. 88]. El ángel encima de la virgen resulta más original, por su posición boca abajo y sus piernas descubiertas. Su cabeza recuerda el ángel de la anunciación del nacimiento de San Juan a Zacarias, una de las pocas peanas originales que se conservan de las realizadas por Joan de Valencines en el Ayuntamiento de Brugge.

La figura de San Juan Bautista (fig. 3) recuerda a la figura de Isaías del pozo de Moisés de Sluter, no solo porque se



Fig. 1. Guillem Sagrera. Imagen de San Pedro y San Pablo en el Portal del Mirador, Catedral de Mallorca (fotografías de los autores).



Fig. 2. Guillem Sagrera, Imagen de la Virgen en la puerta del jardín y San Juan Bautista, Lonja de los Mercaderes, Palma de Mallorca (fotografías de los autores).



Fig. 3. Guillem Sagrera. Fachada Este, Lonja del Mar, Perpignan (fotografías de los autores).

libera del nicho sobre el que se sitúa, sino porque tiene unas facciones parecidas, la profundidad de sus ropajes, recuerdan al maestro flamenco, sobre todo la de la manga que deja el brazo descubierto con gran naturalidad.

Sagrera en Perpignan

Primeros años de Sagrera en Perpignan

Sagrera aparece documentado por primera vez en Perpignan, el 1410, firmando junto con Rotli Vautier [4], el pulpito hoy desaparecido de la iglesia de los Franciscanos, documento dado a conocer por Pierre Vidal [Alomar 1970, p. 86]. Ese mismo año aparece como albacea testamentario de un picapedrero y aparece como «arquitecto, peyrer, de la ciudad de Mallorca, habitando en Perpiñan» [Alomar 1970, p. 90]. En el 1411 aparece en un documento profesional junto con Rotli Vautier, Jean de Liho, de Bruselas y el carpintero Leonart Raholf [Alomar 1970, p. 90]. Lo que confirma su relación con maestros flamencos, en este periodo.

El 1416, Guillem Sagrera fue consultado sobre el cambio de plan de la Catedral de Girona [5] en calidad de maestro de Sant Jean le Nou de Perpignan, por lo que se tiene la certeza de que en ese año era el maestro de esta Catedral [Alomar 1970, p. 90].

Se desconoce con qué fecha abandonó Mallorca, para viajar al Rosellón, se ha sugerido que pudo ser alrededor de 1410, porque está documentada su presencia en Perpignan ese año [Alomar 1970, p. 90]. Una hipótesis puede ser que fuese junto con Pere Santjoan, del cual está documentada su presencia en Elna 1404 y en Perpignan

el 1406 [Sabater 2010, p. 301], estando acreditado que trabajaron juntos en el Portal del Mirador.
Alomar indica que alrededor del 1416 debían ser continuos sus viajes a la corte de Dijon, gobernada por los duques de Borgoña, para aprender de los maestros flamencos y seguir las huellas de Claus Sluter [Alomar 1970, p. 92]. No parece que haya duda sobre los viajes de Sagrera a Dijon, por la influencia en sus piezas a partir de la segunda década del siglo XV, la duda es cuándo pudo realizar estos viajes. Si se tiene en cuenta la hipótesis de que Sagrera residiera en el Rosellón desde alrededor de 1405, es posible defender que estos viajes al Norte se intensificaran en estos primeros años del siglo XV, periodo en el que además se desconoce su actividad.
La relación de Sagrera con Rotli Vautier, también, es una incógnita. Se tiene documentada la estancia en Perpignan entre 1410 y 1432 [Catafau 2018, p. 201], Alomar afirma que pudo actuar como segundo de Sagrera en sus trabajos en el Rosellón, durante ese periodo en el que Sagrera alternaba su residencia entre Mallorca y el Rosellón, además de realizar sus propias obras [Alomar 1970, p. 90] [6]. Es importante determinar hasta qué año realizaría estas labores, Alomar, como se ha dicho, indica hasta 1432 pero, a su vez indica que entre 1427 y 1430, Vautier trabajó como maestro en la Catedral de Girona. Posteriormente se sabe que trabajó en Barcelona en el claustro de la Catedral, por lo menos en el año 1432 estuvo en la ciudad Condal. Por último, del 1436 hasta su muerte en 1441 trabajo en la Seo de Lleida. Por lo que parece que sería hasta 1427 o hasta el 1430, dada la cercanía de Girona, cuando Rotli Vautier podría haber trabajado como segundo de Sagrera.

La Lonja del Mar de Perpignan y sus grupos escultóricos
Una orden real de 1397 autorizó la construcción de la Lonja del Mar, [7] a cargo del Consulado del Mar, fundado en 1388, como una institución comercial dependiente de la villa [Poisson 2011, p. 87]. Los trabajos empezaran 1402, completándose en el primer cuarto del siglo XV. En el 1540, el edificio será ampliado debido a la importancia de los puertos de Colliure y Canet. La ampliación con otros dos tramos en 1540 genero ciertas dudas en la fachada Norte sobre el tratamiento de la decoración del proyecto original y su ampliación [8], la investigadora Tina Sabater plantea la posibilidad de que Sagrera y Vaulter trabajaran en ella, a parte de las coincidencias cronológicas, ambos maestros trabajaban con la piedra de Fonts, piedra utilizada en la zona medieval [Sabater 2010, p. 302].



Fig.4. Guillem Sagrera. San Bartolomé (ventana izquierda fachada este) y Profeta (ventana izquierda fachada norte), Lonja del Mar, Perpignan (fotografías de los autores).

Los trabajos de Sagrera en la Lonja se realizarían en el periodo entre 1410 y 1415, por lo que corresponderían a la fachada oriental y puntualmente a la Norte. Esta edificación ha sufrido varias reformas, también respecto a la decoración, como indica [Poisson 2020, pp. 142-144]. En la fachada oriental, además de la figura de San Juan situada entre los dos arcos, se conserva integra la ventana derecha, mientras que en la ventana izquierda solo se conserva la parte exterior del muro, la decoración vegetal del borde del goterón que se remata con dos esculturas a la altura de los capiteles y la decoración inferior corrida del alfeizar. Mientras que en las dos ventanas de la fachada norte solo se conserva la decoración inferior corrida del alfeizar.
Las cuatro esculturas en la fachada oriental que rematan la decoración vegetal del borde del goterón son la parte más singular de la escultura de este edificio, donde el estilo borgoñón para los pliegues y el cabello sugiere una conexión general con Sagrera [Poisson 2020, pp. 142-144] (fig. 4). Se debe destacar, por su calidad y estado de conservación, la escultura situada a la derecha de la ventana izquierda que representa San Bartolomé, [Sabater 2010, p. 298] (fig. 5). La serena expresividad de su rostro y la delicadeza de sus manos, así como la profundidad de los ropajes recuerdan a Sagrera. El tratamiento de la manga del brazo derecho, recuerdan al del mismo brazo del San Juan de la Lonja de Mallorca.
En el primer tramo de la fachada norte también aparecen esculturas denominadas sagrerianas, es decir, de marcada expresividad como las de la corriente borgoñona [Sabater 2010, p. 302]. Resaltan dos piezas de los extremos, en la parte inferior del alfeizar de la primera ventana de la fachada norte, donde se aprecia un profeta y un ángel (fig. 5).
Resulta destacable la expresividad de estas figuras, a pesar de su tamaño, el profeta, de nuevo, recuerda por la expresividad de su rostro, al San Juan de la Lonja de Mallorca. Probablemente esta fue la obra que proyecto a Sagrera para llegar a ser maestro de la Catedral de Perpignan y participar en la consulta de Girona.
Tal como se ha evidenciado, en la escultura de Guillem de Sagrera puede identificarse una influencia significativa de los artistas de la corte de Borgoñona, que modificará y evolucionará su estilo. En el mismo sentido se pretende establecer, la evolución que experimentará su manera de concebir el espacio y sus trazas arquitectónicas, durante su estancia en Rosellón y que como se verá proviene de las mismas influencias que la escultura, enfatizando la originalidad del autor al tener unas influencias sensiblemente diferentes al resto de constructores que operaban en la Corona de Aragón. Este aprendizaje, con una gran aportación personal, lo experimentará en la Sala capitular de la Catedral de Sant Jean Baptiste. Una pequeña sala, de baja altura respecto al edificio y de relativa importancia en el conjunto, situada más allá de los contrafuertes del ábside. Sin duda, el lugar adecuado para experimentar una forma diferente de concebir la estructura gótica. El resultado es una sala magnífica, donde los nervios de las bóvedas se funden con la columna y los contrafuertes preexistentes, eliminando capiteles, columnas fasciculadas con columnillas y ménsulas, facilitando libertad proyectual y dinamismo al resultado. Las experiencias obtenidas se trasladarán y evolucionarán en sus obras posteriores, la Lonja de Mercaderes en Mallorca y la Sala dei Baroni en Castelnuovo de Napoli. Influyendo a otros arquitectos como Pere Comte en la Lonja de la Seda de Valencia o muy posteriormente a Antoni Gaudí en el Parque Güell.



Fig. 5. Vautier. San Juan Bautista, fachada este Lonja del Mar, clave, Sala capitular, Catedral de Saint Jean Baptiste, Perpignan (fotografías de los autores).

Metodología de análisis

Para realizar el análisis es necesario un levantamiento gráfico, «El levantamiento debe ser fundamentalmente un método de análisis y su objetivo final tiene que ver fundamentalmente con el conocimiento del edificio.» [Almagro 2004, p. 14]. Para realizar este trabajo y poder mostrar la experimentación estructural, se ha realizado un análisis gráfico del conjunto, en primer lugar, se ha

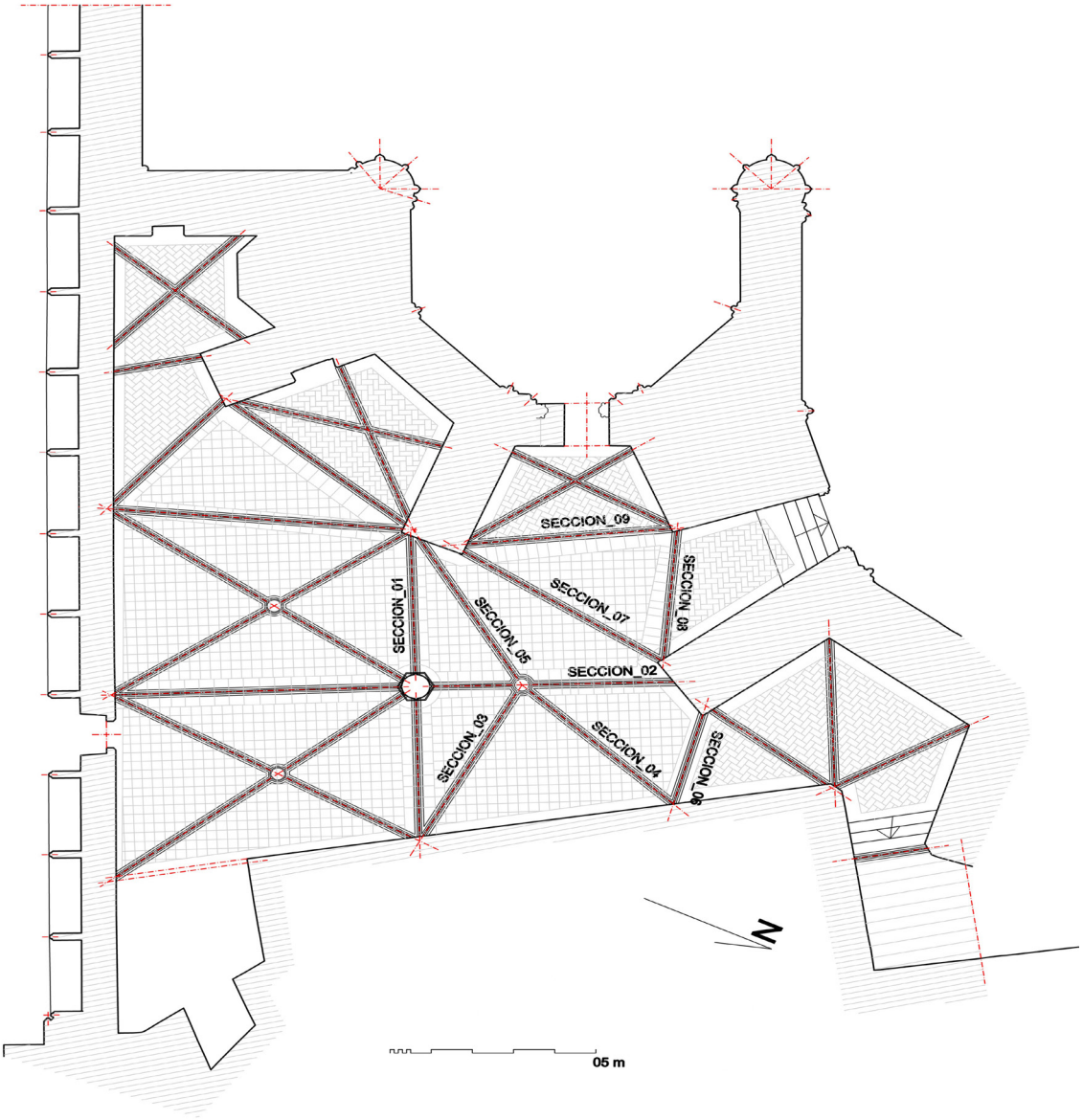


Fig. 6. Guillem Sagrera. Planta sala capitular, Catedral de Saint Jean Baptiste, Perpignan (elaboración gráfica de los autores).



Fig. 7. Guillem Sagrera. Columna central, Sala capitular, Catedral de Saint Jean Baptiste, Perpignan (fotografía de los autores).

realizado una nube de puntos, con precisiones milimétricas, utilizando un escáner láser (LS), con el que se garantiza una gran precisión, es una técnica muy adecuada para el análisis espacial.
La herramienta utilizada ha sido un escáner láser Faro Focus S70, con medición entre 0,6 m y 70 m, con sensores: GPS, brújula, altímetro, compensador de eje dual y precisión de distancia de hasta ±1 mm, incluyendo superposición fotográfica HDR. Con la nube de puntos obtenida, utilizando un software de CAD 2D, Autocad de Autodesk y un software BIM Archicad de Graphisoft, se ha procedido al análisis. «El levantamiento gráfico del patrimonio pasa, necesariamente, por la obtención de una réplica digital tridimensional de altísima precisión y calidad gráfica. Este modelo tridimensional lo obtendremos mediante fotogrametría SfM (*Structure from Motion*) y/o escáner láser 3D» [Rodríguez-Navarro, Gil-Piqueras 2024, p. 557].

Estudio de la sala capitular

Cronología y autores de la sala capitular
Ponsich señala por primera vez como autor de la sala capitular de la "futura" Catedral de Sant Jean Baptista a Sagrera y que probablemente se realizará entre 1433 y 1447, sin aportar datos [9]. Alomar indica que si las razones históricas para esta atribución son satisfactorias, las estilísticas son decisivas [Alomar 1970, p. 110]. Sabater discrepa de esta fecha e indica que lo lógico sería que Sagrera asumiera esta empresa entre 1410 y 1415 [Sabater 2010, p. 305]. Así se justificaría su presencia en Girona en 1416 como maestro de la Catedral, aporta otra evidencia a nivel escultórico, la similitud que existe entre el San Juan Bautista de la fachada de la Lonja del Mar de Perpignan obra de Rotli Vautier y el San Juan Bautista de las claves de la sala capitular (fig. 6).
La clave de la bóveda más singular, con 5 nervios, tiene una figura de San Juan Bautista, sobre un fondo con las barras de la Corona de Aragón, con una expresión facial que recuerda al de la Lonja del Mar. Si se asume que Vautier trabajaba como segundo de Sagrera en sus obras en el Rosellón y también la autoría en esta clave, la tuvo de realizar antes de 1427 ó 1432 fechas en la que se ha indicado abandonó el Rosellón, por tanto cuestionando sobre la propuesta de Alomar, de que la Sala capitular se realizó a partir de 1433. Sin que, en ningún caso, ningún autor, se establezca duda sobre la autoría de Sagrera.

La Sala capitular desde sus trazas arquitectónicas
El espacio de la sala capitular es singular debido a la geometría de su planta (fig. 7) Sagrera se enfrenta a un problema complejo, resolver la cubrición de una sala, adaptando la geometría curva del ábside de la Catedral y sus contrafuertes, con la geometría recta del límite con el camposanto, respetando además un fondo muy limitado por la propiedad, también de geometría recta. La solución resulta brillante, frente a una geometría más homogénea



Fig. 8. Guillem Sagrera. Imagen cenital. Sala capitular, Catedral de Saint Jean Baptiste, Perpignan (elaboración gráfica de los autores).

y pautada, como la sala capitular que él mismo construyó esos mismos años en la Catedral de Mallorca.
Para resolver la geometría de la estructura colocó aproximadamente el centro del espacio, una única columna, desde esta proyectó nervios a las aristas irregulares que delimitan la sala, formando arcos ojivales de diferentes longitudes, como se detallará en el estudio de las bóvedas, pero con una curvatura aproximadamente constante en prácticamente todos sus arcos.
La columna elemento esencial del espacio, tiene una base de sección hexagonal, en sus obras posteriores se perderá esta base, con un fuste aproximadamente cilíndrico recorrido por la prolongación de los nervios de los arcos en forma vertical, ubicados en general en la proyección del centro de los lados del hexágono, aunque en otros casos también coincide con sus vértices, manteniendo un correcto respeto por la proporción y la geometría. Lo más destacado de esta columna es que carece de capitel, esta ausencia no solo es por una cuestión estética, tiene una justificación geométrica (fig.8). En obras posteriores como la Lonja de Mallorca se roscarán alrededor de la columna desapareciendo no solo los capiteles sino también las basas. De la misma forma que desaparece el capitel, desaparecen las ménsulas en el encuentro del arco y el muro, empotrándose en el mismo, salvo en un caso, que se estudiara más adelante por su singularidad. Esta solución innovadora pudo tener su inspiración en el claustro de la inacabada Catedral de Narbonne que se empezó a construir hacia el 1.360, o en la Sala de Teología del Palacio de los Papas en Avignon, o el Palacio de los Duques de Borgoña en Dijon, que al igual que se ha expuesto con la influencia en su obra escultórica, debió conocer durante

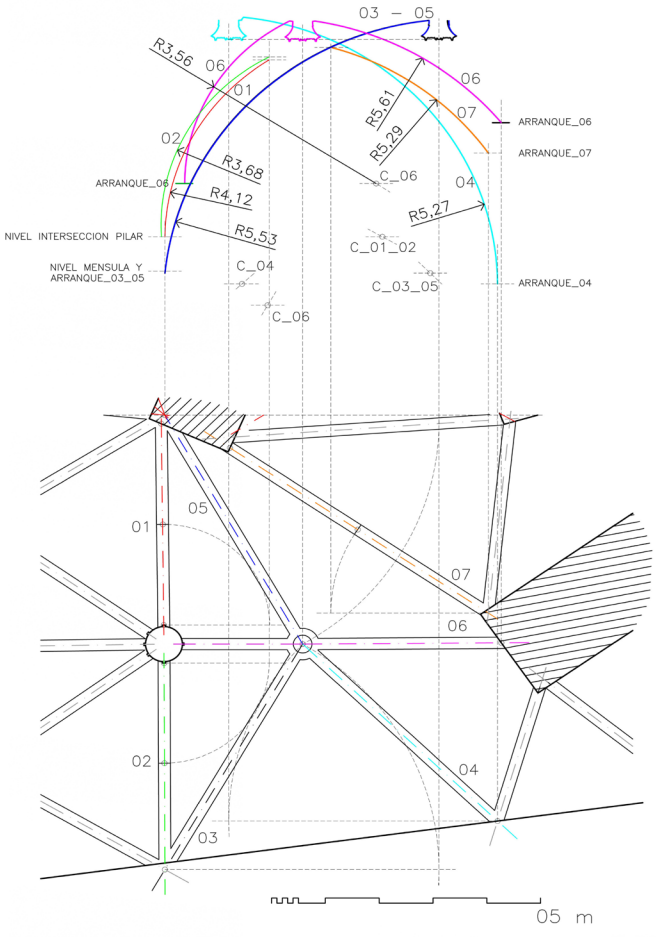


Fig. 9. Guillem Sagrera. Trazas de la bóveda pentagonal irregular, Sala capitular, Catedral de Saint Jean Baptiste, Perpignan Abatimiento de las trazas de los arcos sobre un plano vertical para su visión en verdadera magnitud, basado en la interpretación de Viollet-le-duc del dibujo de Villard de Honnecourt y difundido entre otros por Enrique Rabasa y José Carlos Palacios (elaboración gráfica de los autores).

su estancia en el Rosellón, pero en el caso que nos ocupa le da a esta solución, un mayor sentido estructural.

Para cubrir este espacio apoyándose en la columna central ideo tres cubriciones, dos bóvedas clásicas apoyadas en el muro del camposanto y la columna, solución regular, geométricamente paralelas y con la curvatura predominante en la sala de 5,50 m aproximadamente, tres trapezoidales, con una considerable simetría en los huecos de los contrafuertes de la Catedral, con curvaturas diferentes y una bóveda pentagonal irregular, que le permitirá resolver los desencuentros geométricos y objeto principal del estudio, por su singularidad. (fig. 9).

Esta bóveda con diferentes luces y aproximadamente la misma curvatura de los arcos que llegan a la clave, 5,50 m, excepto el de menor longitud con una curvatura de 3,56 m, con diferente curvatura los arcos que arrancan del pilar, pero no llegan a la clave, arcos formeros de 4,21 y 3,68 m, indicados en la fig. 9 con los números 1 y 2. Exige que los arcos que forman la bóveda tengan diferentes alturas, pues deben unirse en una clave de cota fija, por lo que se debe bajar la cota de arranque del arco, lo que impide tener capiteles o ménsulas en la misma cota, a pesar del daño estético, se podría desde un punto de vista estructural, pero cuando convergen en un pilar, como es el caso de Sant Jean Baptista, no es posible (fig. 9).

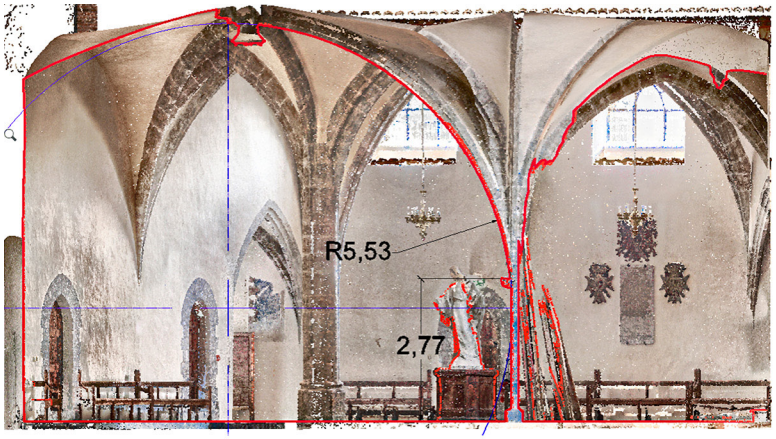
Será aquí, en este momento, donde desaparezca el capitel y por simbiosis las ménsulas, arrancando el arco directamente desde los muros. Esta solución, desde un punto de vista estructural es más sincera. El capitel proveniente de la arquitectura tradicional adintelada y de arcos de medio punto tiene la labor de centrar cargas en el pilar; mientras que en la arquitectura gótica de arcos ojivales no realizaría esta función porque los empujes laterales son mucho menores y la carga es prácticamente vertical, comportándose el capitel como un ornamento estilístico.

Para el estudio de la bóveda pentagonal se ha realizado un análisis gráfico sobre el modelo 3D, con secciones planas, observando curvaturas, arranque de arcos, centro de cada arco y la propia geometría (fig.10); donde se puede observar a través del dibujo, porqué se toman las decisiones geométricas del trazado de arcos, que podrían parecernos concesiones estilísticas, pero son estructurales y constructivas «El diseño, control y construcción de la bóveda se realizan mediante solo tres dibujos: el plano de las nervaduras, el alzado de cada nervadura y su sección» [Senent Domínguez et al. 2012, p. 79].

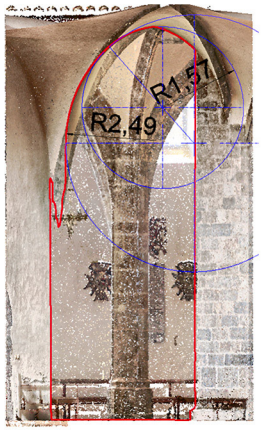
Al observar la bóveda la primera cuestión que se plantea es, porqué realizó estas trazas de tres bóvedas, en vez de cubrir



Fig. 10a. Guillem Sagrera. Secciones de los arcos bóveda pentagonal. Sala capitular, Catedral de Saint Jean Baptiste, Perpignan (elaboración gráfica de los autores).



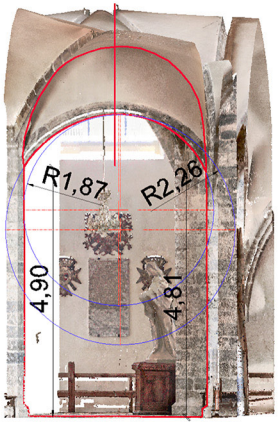
SEC._05



SEC._06



SEC._07



SEC._08

Fig. 10b. Guillem Sagrera. Secciones de los arcos bóveda pentagonal. Sala capitular, Catedral de Saint Jean Baptiste, Perpignan (elaboración gráfica de los autores).

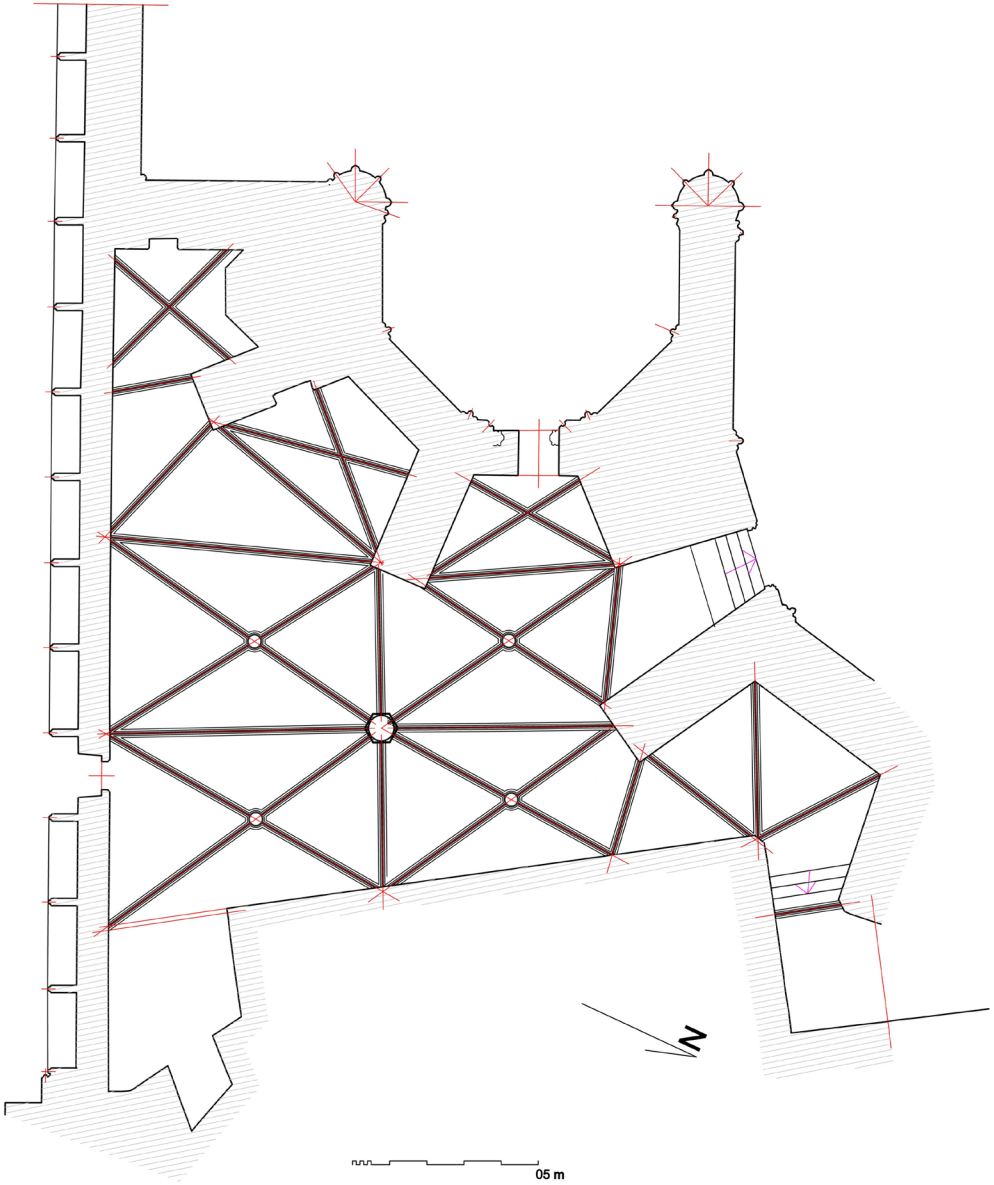


Figura 11. Guillem Sagrera. Plano solución final de tres bóvedas y convencional de cuatro. Sala capitular, Catedral de Saint Jean Baptiste, Perpignan (elaboración gráfica de los autores).



Fig. 12. Guillem Sagrera. Sala capitular, Catedral de Saint Jean Baptiste, Perpignan (fotografía de los autores).

el espacio con cuatro bóvedas desde la columna central (fig. 11), que sería la solución utilizada cuando aparece una doble girola, con la diferencia que en estos casos los nervios siguen la dirección radial. En Perpignan al ser una porción triangular con dos direcciones claras desechó la idea de trazas radiales, en opinión de los autores el motivo es doble. Por un lado, la solución ejecutada es más eficiente, desde un punto de vista estructural, ya que soluciona la cubrición del mismo espacio con tres bóvedas en vez de cuatro. Por otro lado, el motivo también es estético, consigue un efecto orgánico en la columna, por un lado, con los arranques de los nervios a distintas alturas, debido al tamaño de los arcos.

La ménsula de la Sala capitular

Llama la atención en este espacio la única ménsula existente, aparece en la arista de uno de los contrafuertes (fig. 12). Una ménsula floral que es la única decoración del conjunto además de las tres claves. «No está claro su origen, pero parece extraño que únicamente aparezca una en todo el conjunto» [Senent Domínguez et al. 2012, p. 77] se fija en esta ménsula, considerando que no es un error [Senent Domínguez et al. 2012, p. 80], planteando la hipótesis, de que de no aparecer, dicha ménsula hubiera obligado a desmontar tres hiladas más del contrafuerte, unos 77 cm, para empotrar este nervio, debido al sistema constructivo del *tas-de-charge* [10], ya que esta ménsula recoge el nervio más largo, cuya elevación está determinada por la altura de la clave. También opina que el pilar no se sitúa en el centro entre el contrafuerte y la pared, sino que se sitúa ligeramente desplazado hacia la pared [Senent Domínguez et al. 2012, p. 80]. Utilizando el modelo digital se puede observar que efectivamente el pilar está ligeramente desplazado, pero este desplazamiento es de 24 mm, que consideramos despreciable en una longitud cubierta por el arco de 8.000 mm, por lo que la intención de Sagrera era situar ese pilar en el centro del espacio y así lo hizo.

Para evitar la ménsula sin tener que desmontar el contrafuerte, hay dos posibles soluciones: una solución habría sido modificar la posición del pilar, para reducir esa luz, pero esta solución contradeciría la idea de pilar central, que parece clara en Sagrera, por lo que es claramente descartable. La segunda sería, que el nervio más largo no recayera en la arista del contrafuerte, sino sobre la superficie vertical del mismo, reduciendo de esta forma su longitud. Pero estéticamente no sería una solución tan refinada, por lo que también se descarta. Por otra parte, colocar la ménsula para evitar desmontar tres hiladas más del contrafuerte, hasta una altura de 1,84 m del suelo, siendo que en la zona de la izquierda aparece un contrafuerte que se desmonta hasta una altura de 1,64 cm, tampoco parece definitivo.

Sagrera coloca el pilar en el centro potenciando los únicos arcos simétricos del conjunto, con una doble arista profunda [11], el borde vertical, referido a estos arcos sobre la ménsula, pudo realizarlo para enfatizar no solo la idea de la ménsula, sino también la idea de los dos arcos simétricos, qué otro sentido podría tener que esta arista sobresalga 8 cm del contrafuerte, cuando el arco solo mide 2,5 cm más que su simétrico, donde no se enfatiza de esta forma. En opinión de los autores esta ménsula aparece proyectada desde el principio, no es un error, ni una revisión del coste, sino la voluntad de experimentar estructuralmente y estéticamente, donde, desde la sinceridad estructural podemos colocar una ménsula para no desmontar un contrafuerte, cuando en el resto del edificio no es necesario. Este conocimiento lo aplicó en la Lonja de Mallorca hacia el 1426, por lo que cronológicamente la Sala capitular, debió de realizarla antes de lo que indica Alomar.

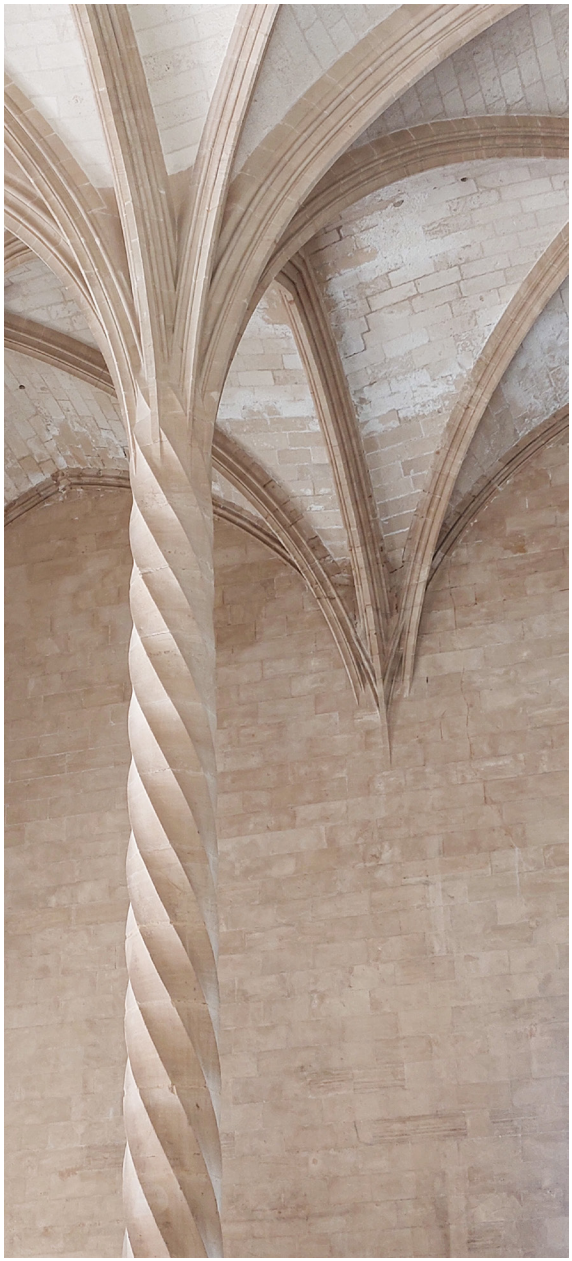




Fig. 13. Guillem Sagrera. Detalle del encuentro de los nervios con el muro, Lonja de los Mercaderes, Palma de Mallorca (fotografía de los autores).

Fig. 14. Guillem Sagrera. Detalle del encuentro de los nervios con el muro, Sala dei Baroni, en Castell Nuovo de Nápoles (elaboración gráfica de los autores).

Conclusiones

Estudiando la obra de Sagrera desde un punto de vista gráfico, se aportan datos del resultado del análisis tridimensional, respecto a su etapa más desconocida entre 1400 y 1416, años en los que residió en el Rosellón, con frecuentes viajes al norte y al sur, se establecen paralelismos entre su escultura, con clara influencia de la Borgoña, para determinar que pudo participar junto con Vaulter en la construcción de la Lonja del Mar de Perpignan, que esta obra pudo facilitarle el acceso como maestro a la futura Catedral de Sant Jean Baptiste, tal como queda acreditado en la consulta de Girona de 1416.
Esta misma influencia escultórica también fue arquitectónica. Materializándose en su primera gran obra arquitectónica, la sala capitular de la futura catedral de Perpignan. El camino habitual entre Perpignan y Dijon pasa por Narbonne y Avignon, en estos lugares probablemente conoció el claustro de la Catedral de Narbonne, donde no aparecen ménsulas o el Palacio de los Duques de Dijon y de los Papas de Avignon, donde se pueden observar ejemplos donde también un pilar central carece de capitel.
Se rebate la idea de que la sala capitular de la Catedral se realizó entre 1433 y 1447, indicando que debió de ser al menos antes de 1427. Sobre esta influencia escultórica se propone, que tiene una equivalencia en su obra arquitectónica, que marcará un notable cambio estilístico en su obra, simplificando las líneas y dándole una importancia estética a los elementos estructurales, este proceso de aprendizaje lo

plasmará en la sala capitular de la Catedral, que la utilizará para experimentar soluciones formales. Para este análisis de la sala se ha obtenido un modelo 3D con precisión milimétrica y como resultado del uso de esta herramienta se ha comprobado cuando, donde y porque desaparecen los capiteles y las ménsulas en la arquitectura de Sagrera.
La consecuencia de esta experimentación en la pequeña sala, casi residual de la Catedral de Perpignan, se verá reflejada en sus dos obras posteriores más relevantes: la Lonja de Mallorca (fig. 13) y la Sala dei Baroni (fig. 14). En el primero «para conseguir el espacio interior deseado Sagrera tuvo que resolver unos elementos constructivos mediante unas soluciones singulares, que solo usando la modulación no hubiera sido posible lograr» [Cifuentes Utrero 2015, p. 459]. Es decir, Sagrera trasgrede el módulo según lo aprendido en la sala capitular de Perpignan. Mientras que, en el segundo caso, la Sala dei Baroni en Castelnuovo de Napoli, como indica Ricardo Filangieri: «Un informe firmado en mayo de 1458 aclara que Sagrera –con sus colaboradores– fue el responsable de la construcción del gran Salón» [Domenge 2007, p. 78].

Créditos

Este articulo forma parte de la línea de investigación del grupo de investigación GRAHyC, Grupo de Representación Arquitectónica Histórica y Contemporánea.

Notas

[1] Conocido como Rich Alamant, maestro flamenco que antes había trabajado en la Catedral de Barcelona [Teres 2011, p. 174].

[2] Puede ser que este escultor sea el mismo conocido como Jean de Valenciennes, documentado en Brujas entre 1379 y 1386 encargado de la decoración escultórica del Ayuntamiento de Brujas [Teres 2011, p. 174]. Este maestro pertenece al círculo de artistas de estilo pre-borgoñón, junto con Sluter [Alomar 1970, p. 94].

[3] En el contrato, fechado el 11 de marzo de 1426, figura un precio de contrata de 22.000 libras de Mallorca y se estipula la forma de los pagos, por lo que, en esta obra, no sólo iba a realizar las labores de arquitecto y escultor, sino también como contratista y coordinador [Alomar 1970, p. 124].

[4] Todo parece indicar que Rotlino o Raoul o Rotlli Vautier o Vaulter o Gaulter era natural de Normandía y tenía un hermano también maestro constructor llamado Carli, que trabajó en las trazas de la Catedral de Sevilla y en la Seu de Lérida.

[5] La Catedral de Girona fue proyectada inicialmente con tres naves, tras la construcción de los ábsides, se optó por una nave única. Se consultó a diez maestros de la Corona de Aragón sobre la viabilidad técnica y estilística. Todos avalaron la posibilidad técnica, aunque solo cuatro la apoyaron estilísticamente. Sagrera defendió la opción de nave única.

[6] Como por ejemplo la realización de los tres arcos ojivales, que se conservan en la actualidad, pertenecientes a una logia del palacio de las Cortes de Perpignan realizadas entre 1424 y 1427.

[7] La Lonja es un volumen cúbico de dos plantas: la inferior, porticada, se abre a la calle Mercaderes y a la plaza de la Lonja. La fachada a Mercaderes, primera en ejecutarse, presenta dos pórticos ojivales sin ornamentación en planta baja y dos ventanas en la superior.

[8] Existe una tabla conservada en el Museo Rigaud, pintada en 1488, perteneciente al retablo de la Trinidad donde se aprecia un edificio que puede corresponder con la Lonja del Mar.

[9] Estas fechas coinciden con el nombramiento de Galceran Albert como obispo de Elna en 1430, tras haberlo sido de Mallorca (1426-1429), donde impulsó la catedral con Sagrera como maestro [Alomar 1970, p. 106]. En el Rosellón promovió la reforma de Sant Jean Baptiste con nuevas trazas, acordes a las defendidas en Girona y adaptadas a las nuevas funciones del templo tras la pérdida de la capitalidad de Perpignan.

[10] Término francés, "*Tas-de-charge*" (base de carga), se aplica para denominar a las hiladas inferiores de nervios de una bóveda, se disponen en horizontal y reciben la carga vertical. Generalmente se elevan aproximadamente un tercio de la altura de la bóveda y, al proyectarse hacia adelante, reducen la luz a abovedar.

[11] Sagrera solo distingue con doble arista tres arcos, los dos simétricos y el del acceso desde la iglesia, aunque este último es más estrecho que los otros dos.

Autores

Luis Agustín-Hernández, Departamento de Arquitectura, Universidad de Zaragoza, lagustin@unizar.es
Aurelio Vallespín-Muniesa, Departamento de Arquitectura, Universidad de Zaragoza, aureliov@unizar.es
Marta Quintilla-Castán, Departamento de Arquitectura, Universidad de Zaragoza, mquintilla@unizar.es

Referencias bibliográficas

Almagro, A. (2004). *Levantamiento arquitectónico*. Granada: Universidad de Granada.

Alomar, G. (1970). *Guillem Sagrera y la arquitectura gótica del siglo XV*. Barcelona: Ed. Blume.
Catafau, A. (2018). Rauli Vauter (Rotlli Gautier) Tailleur de pierres, sculpteur et architecte, á Perpignan, d'après quelques documents inconnus ou inédits (1410-1432). En *Lambard. Estudis d'art medieval*, vol. XXVII (2016-2018), pp. 201-215.

Cifuentes Utrero, F. (2015). *La Lonja de Guillem Sagrera. El Salón de los Mercaderes*. Tesis doctoral, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, director: J. Quetglas Riusech, co-director: A. Armesto Aira. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona.. Universidad Politécnica de Catalunya.

Domenge, J. (2007). Guillem Sagrera. En E. Garofalo, M.R. Nobile(Eds.). *Gli ultimi indipendenti. Architetti del gotico nel Mediterraneo tra XV e XVI secolo*, pp. 59-93. Palermo: Caracol.

Poisson, O. (2014). L´architecture civile á Perpignan,a l´epocque de la construction du chateau Royal. En A. Catafau, O. Passarrius (Eds.). *Un Palais dans la ville, vol. 2 Perpignan des rois de Majorque*, pp. 87-103. Canet: Éditions Trabucaire.

Poisson, O. (2020). La llotja de mar de Perpinyà. En *Els Pirineus Marítims 16es Trobades Culturals Pirinenques,* pp. 137-153. DOI: 10.2436/15.8060.20.1

Rodríguez-Navarro, P, Gil-Piqueras, T. (2024). Estandares y métodos para optimizar la diguitalización 3D de las fortificaciones. En G. Islami, D. Veizaj (Eds.). *International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast. FORTMED 2024 - Defensive Architecture of the Mediterranean*. Tirana, 18-20 Abril 2024, vol. XVII, pp. 555-562. Universiteti Politeknik i Tiranës: edUPV. DOI: 10.4995/Fortmed2024.2024.18097

Senent Domínguez, R, Alonso-Rodríguez, M.A, Rabasa-Díaz, E.; Calvo López, J. (2012). The Irregular Ribbed Vault of the Sacristy of the Cathedral of Saint-Jean Baptiste in Perpignan. En *Nuts & Bolts of Construction History: Culture, Technology and Society. Proceedings of the 4th International Congress on Construction History*. París 3-7 julio 2012, pp. 75-82. Paris: Picard.

Sabater,T. (2010). La «Loge de Mer» de Perpignan y sus conjuntos escultóricos. En *Anuario de Estudios Medievales,* 40/1, pp. 293-315.

Teres, M.R. (2011). La escultura del Gótico internacional en la Corona de Aragón: los primeros años (ca1400-1416). En *Artigrama,* n. 26, pp. 149-183. DOI: 10.26754/ojs_artigrama/artigrama.2011267859

Giotto e la costruzione dello spazio. Le *Storie di San Francesco* nella Basilica Superiore di Assisi

Stefano Bertocci, Roberta Ferretti

Abstract

L'interesse per la raffigurazione pittorica dello spazio architettonico affonda le radici nell'antichità classica e romana e si è sviluppato come forma di decorazione o integrazione con spazi virtuali dell'architettura costruita fino all'età moderna. Nella prima metà del XIV secolo si assiste a un'evoluzione sostanziale: l'architettura dipinta si svincola dalla funzione di semplice fondale, tipica della tradizione bizantina, per acquisire una consistenza volumetrica prospettica, capace di interagire attivamente con la costruzione simbolica e narrativa della scena. Questo cambiamento è riconducibile in larga parte all'attività di Giotto, che rielabora in modo originale il patrimonio figurativo romano, attingendo ad un ampio repertorio di fonti classiche, integrando le sue figurazioni con modelli architettonici di edifici coevi. Il ciclo delle Storie di San Francesco*, attribuito a Giotto e alla sua bottega, realizzato tra la fine del XIII e l'inizio del XIV secolo nella Basilica Superiore di Assisi, costituisce il primo esempio compiuto di questo nuovo approccio. Lo studio qui presentato si configura come una riflessione iniziale relativa ad un più ampio progetto, fondato su un rilievo digitale ad alta affidabilità delle superfici decorate interne della Basilica. Il ciclo pittorico viene così indagato non solo come principio ordinatore dello spazio reale, ma anche come occasione per interrogarsi sul disegno quale strumento di conoscenza, analisi e mediazione tra concezione progettuale e narrazione figurativa.*

Parole chiave: rilievo digitale integrato, Basilica di San Francesco ad Assisi, documentazione e interpretazione degli affreschi medievali, perspectiva (prospettiva) naturalis.

Introduzione

Nella prima metà del XIV secolo si assiste a un'evoluzione della rappresentazione degli spazi che, nella pittura, acquistano maggiore consistenza volumetrica. Questo rinnovamento è principalmente legato a Giotto, che rielabora il linguaggio pittorico con un maggiore realismo adattandolo alla sensibilità del suo tempo. Il ciclo delle *Storie di San Francesco* nella Basilica Superiore di Assisi, eseguito tra la fine del XIII e l'inizio del XIV secolo, costituisce l'esempio più compiuto di questo momento innovativo mostrando un'interazione consapevole tra figure e spazio, fondata su principi di coerenza strutturale e verosimiglianza. La costruzione della Basilica di San Francesco ad Assisi, articolata su due livelli, si configura come un processo articolato, sviluppatosi nell'arco di diversi decenni; la chiesa superiore (fig. 1) costituisce una novità radicale nel panorama architettonico dell'Italia centrale del tempo, recependo le grandi innovazioni stilistiche e strutturali in corso nell'area transalpina. Le forme gotiche, reinterpretate attraverso il filtro della tradizione costruttiva locale, danno vita a un organismo inedito, in cui architettura, pittura e decorazione – si pensi anche alle vetrate realizzate da maestranze d'oltralpe – si fondono in un insieme coerente e integrato. A questa svolta contribuisce in modo determinante Giotto, che rielabora con originalità la tradizione figurativa toscana e romana, attingendo a un vasto repertorio di fonti classiche – bassorilievi, pitture murali, monete e mosaici – integrandole con elementi dell'architettura medievale coeva [Benelli 2016].

 BY-NC-ND

Fin dall'antichità, l'interesse per la rappresentazione pittorica dello spazio architettonico è stato un tema ricorrente, ma è tra la fine del Duecento e l'inizio del Trecento che l'architettura si emancipa definitivamente dalla funzione di sfondo scenografico e bizantineggiante, acquisendo una propria autonomia volumetrica e prospettica [Benelli 2016].
Non costituisce certo una novità guardare le grandi opere d'arte con uno spirito critico, alla ricerca di elementi inediti o spunti originali, considerando l'opera stessa non solo sotto il profilo storico-artistico o come espressione estetica, ma anche come una fonte preziosa di informazioni per la ricostruzione delle dinamiche culturali del tempo. Il ciclo delle *Storie di San Francesco*, realizzato da Giotto e dalla sua bottega nella Basilica Superiore di Assisi, rappresenta l'esempio più compiuto di quanto prima accennato.
L'impianto decorativo della navata centrale – con le narrazioni parallele della vita di San Francesco, del *Nuovo* e dell'*Antico Testamento* [Romano 2017] – riflette una tradizione pittorica consolidata nell'Italia centrale, che trova illustri precedenti nella decorazione musiva della cupola del Battistero di San Giovanni a Firenze, nei mosaici romani di Pietro Cavallini o nelle pitture dell'eremo di San Benedetto a Subiaco. Nel ciclo affrescato da Giotto e dalla sua bottega si giunge ad una nuova chiarezza nell'articolazione dell'apparato architettonico dipinto, che non solo organizza e sostiene visivamente le scene, ma potenzia anche la coerenza strutturale con lo spazio reale della Basilica. L'analisi delle pitture condotta dal nostro gruppo di studio unitamente al rilievo architettonico degli interni della basilica evidenzia un'evidente integrazione tra le strutture reali e quelle raffigurate, le quali mimano logge, aggetti e membrature di notevole impatto, che influiscono sulla percezione complessiva della parte bassa delle pareti della navata. Inoltre, le architetture dipinte come paesaggio o contesto architettonico all'interno delle ventotto scene del ciclo non svolgono un ruolo passivo, ma si configurano come dispositivi narrativi attivi e contribuiscono alla costruzione e alla lettura del racconto visivo.
Il progetto di ricerca presentato propone una lettura innovativa del ciclo di affreschi, focalizzandosi sull'analisi degli spazi e delle ambientazioni raffigurate, proponendo un'ulteriore interpretazione delle rappresentazioni di ambienti interni, architetture e città alla luce delle conoscenze tecniche e scientifiche maturate nel corso del Medioevo sulla base della tradizione classica. Queste rappresentazioni sembrano proporsi come una *summa* visiva delle novità in ambito architettonico e possono oggi essere lette come un vero e proprio trattato di architettura medievale per immagini. Appaiono infatti, oltre a chiari riferimenti agli aspetti costruttivi delle architetture rappresentate, anche espliciti riferimenti ai maggiori cantieri allora in atto nel centro Italia, quali la facciata della cattedrale di Orvieto e la facciata del Battistero del Duomo di Siena. In questo contesto, il disegno – inteso sia come operazione grafica dell'artista frescante, sia come strumento di indagine restituito tramite il rilievo digitale – assume un ruolo centrale nella comprensione e nell'interpretazione critica dell'opera.

Fig. 1. Interno della Basilica Superiore di San Francesco, Assisi (fotografie di S. Bertocci).



Lo studio qui presentato costituisce, quindi, una prima riflessione nell'ambito di un progetto di più ampio respiro, che si fonda sull'acquisizione di un rilievo digitale ad alta affidabilità delle superfici interne della Basilica Superiore di Assisi. Tale progetto intende analizzare il ciclo pittorico delle *Storie di san Francesco* non solo come principio ordinatore dello spazio architettonico, ma anche come chiave per comprendere il valore conoscitivo e comunicativo del disegno stesso, in quanto mediatore tra pensiero progettuale e narrazione figurativa. L'opera in esame si presta a una lettura stratificata, articolata su più livelli di rappresentazione architettonica. Un primo livello riguarda la partitura architettonica dipinta che inquadra il ciclo pittorico caratterizzato da colonne tortili e architravi dipinti, che fungono da impianto organizzativo delle scene e da elemento di mediazione tra struttura reale e finzione narrativa. Un secondo livello è costituito dalle architetture e dai paesaggi raffigurati all'interno delle singole scene, che plasmano lo spazio figurativo, definendo gerarchie visive e significati simbolici. Particolarmente significativo in tal senso è il quarto episodio del ciclo, la *Preghiera in San Damiano*, nella quale, attraverso l'espediente della rovina architettonica, l'edificio raffigurato viene aperto in uno spaccato quasi assonometrico, che ne rivela la struttura interna e i principi costruttivi, utilizzando un linguaggio visivo che anticipa la sezione architettonica come strumento tecnico e narrativo. In questa prospettiva, il ciclo delle *Storie di San Francesco* non solo mette in evidenza le potenzialità espressive delle strutture architettoniche come principio ordinatore dello spazio reale e figurato, ma consente anche una riflessione approfondita sul disegno come veicolo di conoscenza, strumento di analisi critica e ponte tra immaginazione progettuale e rappresentazione iconografica.

Metodologia d'indagine

Lo studio del ciclo pittorico delle *Storie di San Francesco* nella Basilica Superiore di Assisi è stato affrontato attraverso una consolidata metodologia d'indagine integrata, che ha coniugato strumenti di rilievo digitale e tecniche di analisi grafica, con l'obiettivo di restituire una lettura critica approfondita delle superfici affrescate, dell'architettura nella quale sono inserite e della relazione che intercorre tra le due. La fase di acquisizione dei dati ha previsto l'impiego combinato di rilievo laser scanner e rilievo fotogrammetrico, al fine di acquisire dati relativi alla componente metrica e morfologica e a quella cromatica e materica. Questa sinergia ha reso possibile la produzione di un modello tridimensionale ad alta risoluzione dell'aula basilicale, utile non solo per la documentazione geometrica ma anche come base di riferimento per la calibrazione dei modelli fotogrammetrici delle superfici pittoriche. La mappatura fotografica ad alta definizione ha permesso di ottenere modelli accurati delle superfici affrescate, correttamente orientati e scalati rispetto al rilievo architettonico, garantendo la coerenza metrica e spaziale dell'intero impianto. A seguito della campagna di rilievo digitale, per sviluppare una ricostruzione digitale affidabile dell'apparato decorativo, è stato eseguito il processo di vettorializzazione della decorazione pittorica e dell'architettura in cui essa è collocata, ottenendo disegni bidimensionali e rappresentazioni grafiche attendibili [Parrinello, La Placa 2019] fondamentali per la successiva fase di analisi (fig. 2). Attraverso gli strumenti del disegno è stato, infatti, possibile analizzare i criteri compositivi adottati dagli artisti, le matrici geometriche che sottendono l'organizzazione spaziale delle scene, nonché gli espedienti ottici e percettivi messi in atto per conferire tridimensionalità e profondità all'architettura

Fig. 2. Esempio di restituzione del rilievo digitale della Basilica Superiore di Assisi, ottenuto tramite laser scanner e integrato con dati fotogrammetrici, relativo ad una delle campate (elaborazione grafica di R. Ferretti).





Fig. 3. Prospettiva ad asse di fuga: in alto, un esempio dagli scavi di Oplontis, Villa di Poppaea; in basso, una campata della Basilica Superiore di Assisi con i tre riquadri del finto loggiato con interpretazione prospettica (elaborazione grafica di R. Ferretti).

dipinta. L'intera superficie affrescata è stata quindi analizzata secondo una logica stratificata, suddividendo le informazioni in differenti *layer* interpretativi che restituiscono la complessità e la coerenza interna del progetto figurativo. Un primo livello riguarda la definizione dell'impianto decorativo, costituito da una cornice architettonica dipinta che inquadra le singole scene. Un secondo livello comprende le scene vere e proprie, insieme agli elementi paesaggistici e figurativi, che si articolano all'interno delle inquadrature stabilite e dialogano con lo spazio reale della basilica. L'analisi critica degli affreschi è stata condotta adottando un approccio integrato, che tiene conto dei diversi piani di lettura dell'opera. Particolare attenzione è stata rivolta all'iconografia e ai modelli figurativi e architettonici di riferimento, alla composizione dello spazio pittorico e alla distribuzione dei soggetti all'interno delle scene, alle modalità di rappresentazione dello spazio, nonché al ruolo del colore nella costruzione delle forme e nella definizione volumetrica. Questa metodologia, fondata sull'integrazione tra rilievo digitale, restituzione grafica e analisi interpretativa, ha consentito di superare la semplice documentazione per arrivare a una comprensione più profonda della struttura tecnico-progettuale che sta alla base del ciclo pittorico, rivelando la sua natura di dispositivo narrativo e spaziale pienamente integrato dall'architettura.

Strategie spaziali nella pittura della Basilica di San Francesco ad Assisi

L'analisi dell'apparato decorativo della Basilica Superiore di Assisi implica, in primo luogo, un attento esame della struttura architettonica che incornicia le scene del ciclo pittorico, dei modelli iconografici e formali che ne hanno guidato la concezione, nonché delle strategie rappresentative adottate per costruire un articolato effetto di profondità e coerenza spaziale. La navata della Basilica è suddivisa in quattro campate voltate a crociera, sorrette da pilastri a fascio che scandiscono le vaste superfici delle pareti laterali. La decorazione è scandita in tre registri: le storie dell'*Antico* e del *Nuovo Testamento* si dispiegano nei due ordini superiori mentre in quello inferiore si svolgono le *Storie di San Francesco* che trovano posto al di sotto dell'ambulacro, su un alto zoccolo aggettante rispetto alla parete della navata. La fascia più bassa è decorata da una cortina di tendaggi dipinti, simile a quella presente nel coro e nei transetti, che introduce visivamente alla sequenza narrativa soprastante. Ad inquadrare le ventotto scene si articola una sontuosa architettura dipinta: un colonnato monumentale con colonne tortili, sovrastate da un fregio riccamente decorato, sorregge un architrave cassettonato, a sua volta sormontato da mensole dipinte che reggono illusionisticamente la cornice superiore, delimitando il margine sommitale del campo figurativo. Questa raffinata invenzione formale, che alterna la continuità delle linee orizzontali alla solennità verticale delle colonne, costituisce la chiave di lettura dell'intera concezione strutturale del ciclo decorativo [Gioseffi 1963]. Un rilevante termine di confronto, in questo senso, è rappresentato dal ciclo musivo della cupola del Battistero di San Giovanni a Firenze, realizzato tra il 1225 e il 1330.

In tale contesto, risulta particolarmente evidente l'impiego strutturato di partiture architettoniche: le scene, infatti, sono organizzate entro riquadri distinti, delimitati da colonne che suddividono lo spazio secondo una logica compositiva ordinatrice, conferendo al racconto visivo un ritmo regolare e coerente. Anche nella pittura monumentale non mancano esempi significativi in questo ambito; si possono citare, tra gli altri, il ciclo di San Crisogono alla Cafferella, nonché gli elementi tortili e le mensole prospettiche presenti nella zona attribuita a Consolo nella decorazione del Sacro Speco di Subiaco [White 1971]. Un precedente significativo che può aver orientato le scelte di Giotto nell'organizzazione dello spazio pittorico della navata è rappresentato senz'altro dall'incorniciatura delle storie realizzate da Cimabue nel transetto della medesima Basilica Superiore, da cui l'artista ha ripreso il modello delle mensole per la propria struttura compositiva. Tuttavia, la portata illusionistica delle campate giottesche si distacca radicalmente dai precedenti: basti confrontare l'andamento regolare, obliquo e simmetricamente parallelo delle mensole in Cimabue – che nel punto mediano si raccordano in una prospettiva rovesciata – con il più convincente effetto di profondità generato dal sapiente uso della prospettiva ad "asse di fuga" e del conseguente "ventaglio spaziale" determinato dalle stesse mensole e dal sottostante soffitto cassettonato nelle rappresentazioni giottesche [Gioseffi 1963]. L'impiego di elementi architettonici dipinti non risponde, dunque, unicamente ad esigenze compositive, ma introduce una dimensione illusionistica che trasforma la superficie parietale in uno spazio ritmicamente organizzato, suggerendo un'analogia con la scansione architettonica reale e creando un filtro tra l'architettura reale e le singole scene che, invece, rispondono ad una logica propria.
In questo contesto, la divisione dello spazio pittorico e la gestione prospettica delle campate assumono un ruolo cruciale nella definizione dell'effetto di profondità e nella riorganizzazione dello spazio visivo all'interno della navata. La divisione dello spazio della parete creata dagli intercolumni non è accettata passivamente dall'artista; ciò emerge con chiarezza dall'analisi della costruzione prospettica che, invece di trattare la navata come un unico spazio, attribuisce a ciascuna campata un punto focale distinto [Gioseffi 1963]. In ogni campata, infatti, tutte le ortogonali al quadro delle basi e dei capitelli delle colonne, del cassettonato e degli elementi aggettanti delle cornici superiori ed inferiori convergono in fuga prospettica parallela verso l'asse centrale della campata stessa. La modalità di rappresentazione

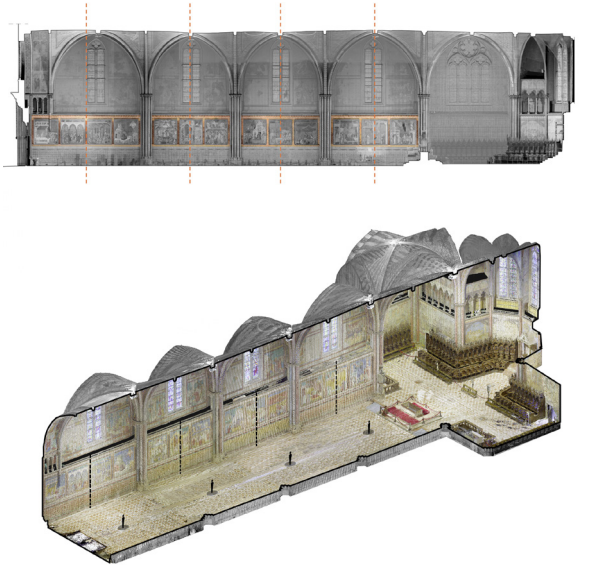
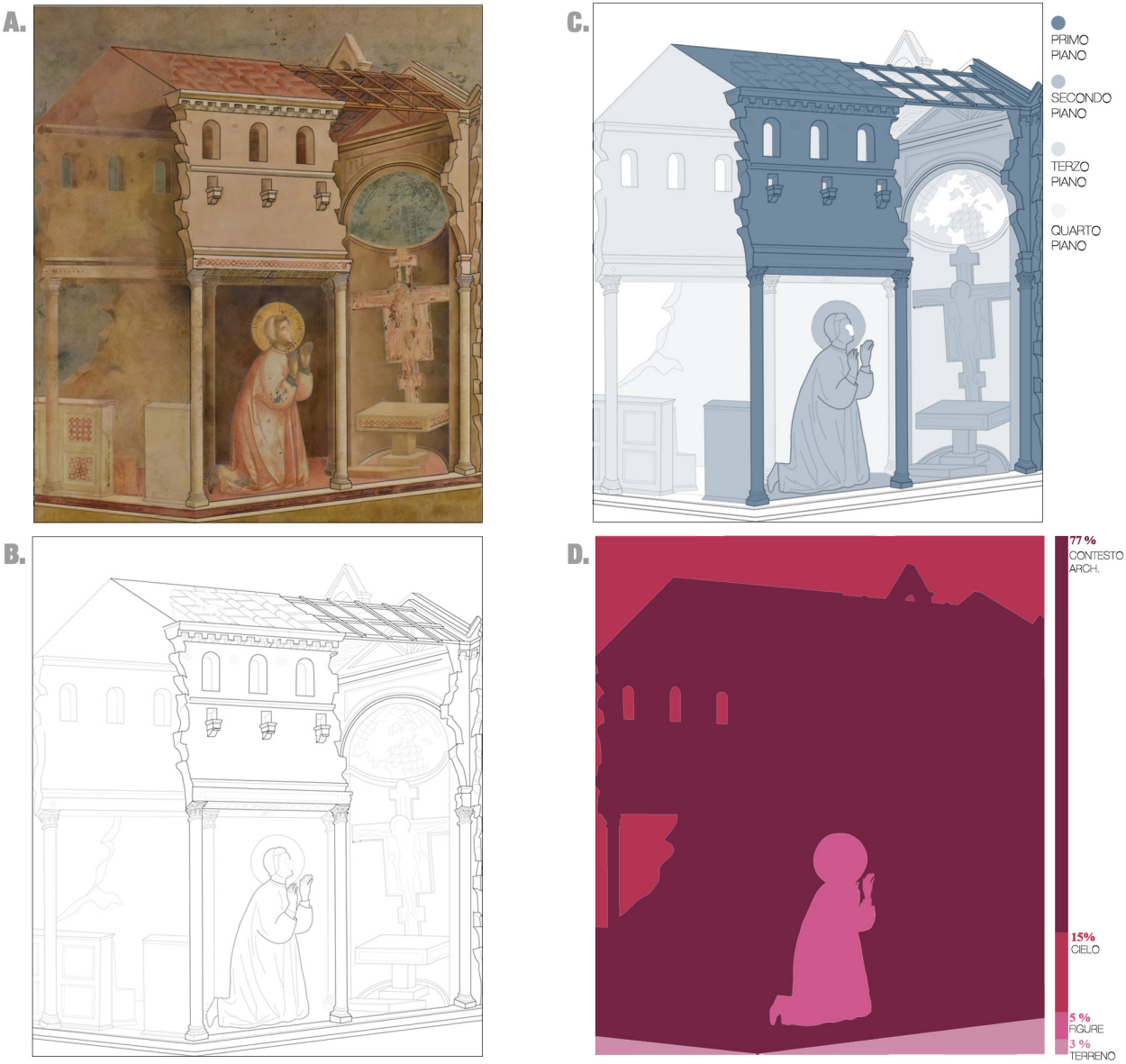


Fig. 4. In alto, elaborazione della sezione longitudinale degli interni della Basilica Superiore da una nuvola di punti, con interpretazione dell'organizzazione del ciclo pittorico delle Storie di San Francesco e, in basso, spaccato assonometrico con schematizzazione dei punti di sosta dell'osservatore suggeriti dalla posizione degli assi di fuga (elaborazione grafica di R. Ferretti).

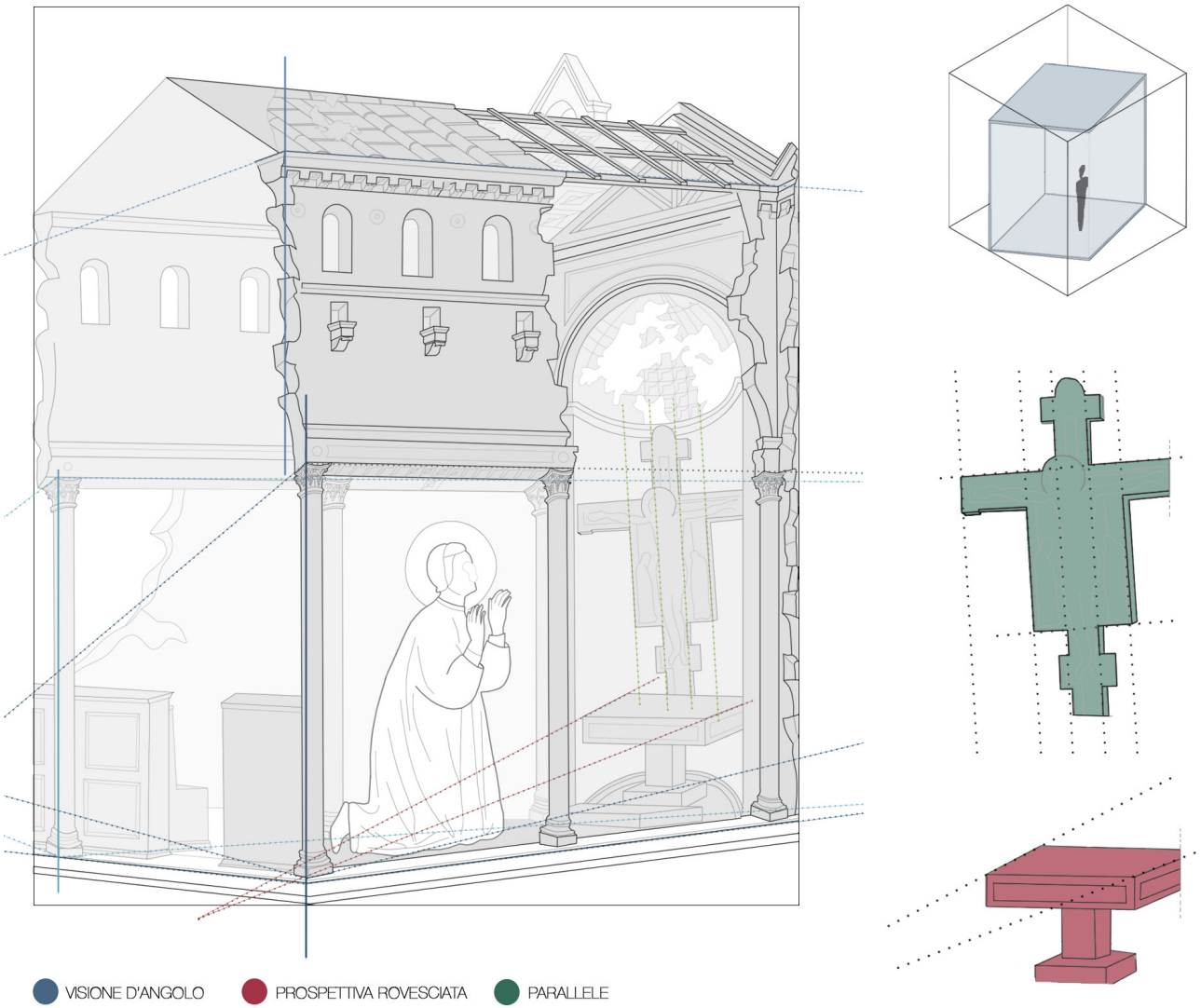
utilizzata in questo caso è la rappresentazione detta "ad asse di fuga" [White 1971] o "spina di pesce" [Panofsky 2013], tipica dei dipinti romani (fig. 3), in particolare del secondo stile pompeiano, in cui tutte le ortogonali al quadro convergono in punti posti lungo uno stesso asse posto al centro della figurazione.
Tale costruzione segnala un profondo mutamento rispetto al modello di Cimabue, in cui, come detto, le ortogonali erano dirette verso l'esterno. Il senso del realismo è rafforzato dal fatto che l'artista concepisce l'intera composizione come se fosse osservata dal basso, in accordo con la reale posizione dello spettatore. Per comprendere appieno il senso della scelta di considerare ogni campata come un'unità spaziale autonoma, l'osservatore non deve limitarsi a seguire la narrazione o a godere del gioco formale del singolo affresco, ma deve percepire ogni campata sia come unità autonoma sia come parte integrante di un sistema decorativo più vasto, in relazione alle campate adiacenti e a quelle opposte attraverso lo spazio libero [White 1971].

Fig. 5. Analisi dell'episodio della Preghiera in San Damiano: a. fotopiano della scena; b. restituzione a fil di ferro; c. interpretazione dei piani di profondità della scatola prospettica; d. valutazione quantitativa della componente figurativa e della componente architettonica della scena (elaborazione grafica di R. Ferretti).



Tale modalità di rappresentazione suggerisce all'osservatore delle soste al centro di ciascuna campata, articolando così il processo di fruizione dell'opera in momenti distinti che permettono di valorizzare simultaneamente l'autonomia compositiva delle singole scene e la coerenza narrativa dell'intero ciclo decorativo (fig. 4).
Entrando nel dettaglio delle singole scene, si osservano diverse modalità di rappresentazione dello spazio. La storiografia e la critica si sono tradizionalmente concentrate maggiormente su questioni legate all'attribuzione [1] e allo studio della componente figurativa, dedicando invece un'attenzione più limitata alla raffigurazione dei contesti paesaggistici, urbani o architettonici che fanno da sfondo all'azione scenica. Per tali ragioni, la nostra indagine si è concentrata in particolare sugli sfondi delle ambientazioni, intesi come il contesto scenico entro cui si sviluppa la rappresentazione, al fine di approfondirne la funzione e l'incidenza nel complesso narrativo. Da questo punto di vista, emerge nuovamente la portata innovativa del cosiddetto 'realismo gotico', che si manifesta soprattutto nell'attenta contestualizzazione di alcune scene di particolare impatto, quali la *Cacciata dei diavoli da Arezzo*, l'*Omaggio all'uomo semplice* in cui è rappresentato il Tempio di Minerva ancora visibile nella piazza del Comune di Assisi, la *Preghiera in San Damiano*, l'episodio delle *Stimmate* ambientato a La Verna, l'*Accertamento delle Stimmate* che ha luogo all'interno della Porziuncola e il *Sogno di Innocenzo III* con la Basilica del Laterano sorretta dal santo. In tutti questi casi la rappresentazione oggettiva e puntuale degli ambienti conferisce al racconto una maggiore verosimiglianza e sembra finalizzata a stimolare il pellegrino a visitare i luoghi francescani, offrendo così l'opportunità di rivivere simbolicamente quelle specifiche esperienze spirituali [Bertocci 2024a].
L'episodio della Preghiera in San Damiano [2] viene trasposto da Giotto in una scena pittorica di straordinaria intensità narrativa e innovazione formale. L'ambientazione rappresenta una chiesa in stato di rovina, con pareti e copertura parzialmente crollate, al cui interno si scorge la figura del santo inginocchiato in preghiera davanti a un crocifisso collocato su un piccolo altare, entro un'abside semicircolare.
Questa scena assume una rilevanza particolare in quanto, come sottolineato da Francesco Benelli [Benelli 2012], è all'interno di questo ciclo pittorico che si registra, per la prima volta e verosimilmente anche nel più ampio contesto della pittura italiana, la scelta di rappresentare un edificio sacro nella forma di rovina. Tale espediente iconografico verrà successivamente ripreso sia dallo stesso autore sia da altri, diventando un elemento espressivo ricorrente. Per quanto concerne l'architettura dipinta nella scena, è evidente che l'edificio raffigurato non costituisce una riproduzione fedele della chiesa di San Damiano. In particolare, la rappresentazione mostra chiaramente una configurazione a tre navate, come testimoniano i fori destinati all'alloggio delle travi del tetto nelle navate laterali. Tale scelta iconografica si discosta dalla reale struttura della chiesa, che all'epoca era caratterizzata da un'unica navata coperta da una volta a botte acuta, a cui furono aggiunte solo in epoche successive delle cappelle laterali, conformemente alla prassi diffusa nell'architettura francescana [Bertocci 2024b]. Dal punto di vista tipologico, l'edificio raffigurato nell'affresco della *Preghiera in San Damiano* costituisce una rappresentazione accurata della tipologia ecclesiastica propria dei secoli XII e XIII. L'artista dimostra una conoscenza puntuale delle caratteristiche architettoniche dell'epoca, restituendo con precisione elementi formali e costruttivi che richiamano modelli reali riconducibili al contesto romanico e alle prime fasi del gotico. In particolare, la soluzione costruttiva basata sull'impiego di colonne sormontate da un architrave – in questo caso arricchito da decorazioni cosmatesche – risulta coerente con la prassi architettonica del tempo, riflettendo una concezione strutturale ancora legata alla tradizione romanica. A conferma di ciò si evidenzia anche la presenza di tre monofore, funzionali all'illuminazione della navata centrale. Tale configurazione si ritrova in diversi edifici di riferimento, tra cui le basiliche romane di Santa Maria in Maggiore, San Lorenzo fuori le mura e Santa Maria in Trastevere, che fungono da modelli tipologici per molte chiese tra il XII e il XIII secolo, specialmente nell'Italia centrale. Ancora Benelli osserva come, in questo caso, la chiesa non venga rappresentata unicamente come rovina, ma piuttosto come un edificio disassemblato in maniera arbitraria per finalità narrative. Gli elementi in rovina sono selezionati strategicamente al fine di rendere visibili gli altri soggetti presenti nella scena, in particolare l'unica figura umana che la popola e il crocifisso. Le porzioni dell'edificio che risultano integre contribuiscono comunque a mantenere la verosimiglianza della sua stabilità strutturale. Particolarmente significativo è il trattamento del tetto, generalmente il primo elemento architettonico a crollare e dunque simbolo per eccellenza della rovina che, in questo caso, viene raffigurato per metà intatto, mentre l'altra metà lascia intravedere la struttura lignea delle capriate. Tale soluzione iconografica, a nostro avviso, più che documentare uno stato di reale degrado, richiama il moderno

Fig. 6. Analisi delle modalità di rappresentazione dello spazio pittorico. In evidenza: lo schema generale dello spazio, un dettaglio della croce realizzata con linee parallele e l'altare reso con prospettiva rovesciata (elaborazione grafica di R. Ferretti).



principio dello spaccato assonometrico con lo sfogliato di dettaglio delle coperture, e fornisce importanti informazioni sulle pratiche costruttive del tempo. Proseguendo con l'analisi, all'interno della scena pittorica si possono individuare quattro piani di profondità (fig. 5c): il primo, il terzo e il quarto comprendono le pareti che delimitano le tre navate della chiesa, mentre la figura del santo in preghiera, l'altare e il crocifisso si trovano in secondo piano. Un altro approccio analitico particolarmente significativo sperimentato in questo ambito consiste nella valutazione quantitativa delle componenti delle superfici affrescate (fig. 5d), suddivise in figure, sfondo, terreno e contesto architettonico. Questo dato numerico consente di riconsiderare l'impegno dell'artista nella resa complessiva della figurazione e di attribuire al contesto scenico un ruolo di maggiore rilievo all'interno della composizione pittorica. Per l'edificio che occupa quasi interamente la superficie della scena pittorica, l'artista adotta una composizione riconducibile alla tipologia della 'rappresentazione obliqua' [3] la costruzione è infatti disposta diagonalmente rispetto al quadro, con un angolo rivolto frontalmente verso lo spettatore, mostrando simultaneamente due lati principali in rapida fuga prospettica [White 1971]. Questa configurazione accentua la profondità spaziale e conferisce maggiore plasticità alla scena, segnando un significativo distacco dalla frontalità propria della tradizione bizantina. La struttura, raffigurata in rovina attraverso scorci prospettici e tagli compositivi calibrati, non si limita a facilitare la leggibilità della scena, ma riflette un avanzato livello di riflessione sulla costruzione dello spazio pittorico. White [White 1971] interpreta tale scelta come l'inizio di una nuova fase nella storia della prospettiva empirica, segno di un interesse crescente per l'osservazione diretta e per una resa più naturalistica dell'esperienza visiva. L'elemento strutturale predominante in questa rappresentazione è la verticale d'angolo dell'edificio, che assume la funzione di asse organizzatore della composizione e punto di riferimento spaziale. Come osserva Gioseffi [Gioseffi 1963], la scena costituisce un *unicum* ad Assisi, essendo l'unica 'scatola spaziale' raffigurata di scorcio; una soluzione che, sebbene comune nelle rappresentazioni di oggetti o corpi di fabbrica concepiti come blocchi, risulta insolita applicata a un ambiente architettonico esterno-interno, concepito come contenitore spaziale. Una tale impostazione visiva sembra



Fig. 7. Fotografia della semicolonnetta interessata dalla pittura della falsa cornice architettonica: in alto, vista al di fuori del punto di osservazione privilegiato; in basso, vista dal punto di osservazione privilegiato (fotografie di S. Bertocci).





riflettere, seppur in forma intuitiva, i principi della tradizione ottico-geometrica antica, come formulati da Vitruvio nel contesto della rappresentazione architettonica [4].
A conferma della coesistenza tra elementi della tradizione precedente e innovazioni formali nella rappresentazione, si osserva l'impiego della "prospettiva rovesciata" [Florenskij 1990] per la rappresentazione dell'altare. In questo caso le linee parallele che non si trovano sul quadro e che dovrebbero convergere verso la linea dell'orizzonte, invece, sono divergenti. Questa tecnica, tipica della tradizione bizantina e medievale, non risponde a un'esigenza mimetica, bensì riflette una concezione simbolica dello spazio, riservata alla rappresentazione di elementi connessi a una dimensione trascendente, enfatizzandone così l'inafferrabilità e la sacralità. Al contrario, il crocifisso viene raffigurato attraverso un sistema di linee parallele, una sorta di assonometria adottata in tutto il ciclo pittorico per gli oggetti inclinati. La compresenza, nella scena, di una rappresentazione empiricamente orientata per l'edificio e di una rappresentazione simbolica per l'altare rivela la complessità del linguaggio figurativo giottesco, sospeso tra osservazione del mondo sensibile e tensione verso il trascendente (fig. 6).

Conclusioni

È stato osservato come Giotto, soprattutto durante il suo soggiorno romano, possa aver assimilato le teorie ottiche provenienti dal pensiero filosofico e scientifico, inaugurando una nuova concezione dello spazio rappresentato [De Rosa et al. 2000]. Nel Medioevo, l'ottica, ancora basata sulle teorie di Euclide e Tolomeo, venne rielaborata dagli studiosi islamici e latini secondo un modello geometrico della visione basato sulla propagazione rettilinea della luce. Per Euclide, l'occhio rappresenta il vertice di una piramide visiva i cui raggi si estendono verso l'oggetto osservato; la grandezza apparente degli oggetti dipende dall'ampiezza dell'angolo visivo ed è proporzionale alla distanza dall'osservatore. Con Robert Grosseteste e Roger Bacon la luce assume una valenza universale e matematica: si diffonde secondo linee e figure geometriche, e le sue azioni sono misurabili. Bacon formula il principio secondo cui l'intensità dell'effetto visivo si realizza lungo la linea retta,

Fig. 8. Dettaglio della decorazione del sottarco che si estende sul contrafforte circolare. Cappella della Maddalena, Basilica Inferiore. (fotografie di S. Bertocci).

consolidando l'idea di uno spazio regolato da leggi proporzionali [Carlevaris 2024]. I trattati di John Peckham e Witelo, disponibili allora in varie biblioteche francescane del centro Italia, consolidano il concetto di *perspectiva naturalis*, che interpreta la visione come fenomeno fisico e misurabile [5]. L'analisi del ciclo pittorico di Assisi, oltre a quanto riguarda le scene vere e proprie del racconto, evidenzia come anche alcuni dettagli secondari rispetto alla narrazione principale siano funzionali all'integrazione dell'apparato decorativo con la struttura architettonica della basilica. Questi temi sembrano confermare quanto sopra ipotizzato: i principi geometrici fondamentali delle figurazioni giottesche – la rettilineità della trasmissione della luce, il concetto di piramide visiva, la proporzionalità delle grandezze in relazione alla distanza dall'osservatore e la geometria pratica delle scuole d'abaco – sono elementi essenziali per la nuova cultura figurativa. Questi presupposti hanno reso possibile la costruzione di uno spazio coerente e funzionale alla narrazione delle storie di San Francesco.
Giotto sviluppa così un nuovo modo di rappresentare la realtà, fondato su rapporti ottici e geometrici che coinvolgono maggiormente il fruitore medievale, pellegrino o fedele, nel dialogo tra ambiente gotico e contenuti religiosi. Particolare attenzione merita la prima campata adiacente all'ingresso, dove l'artista non rispetta la reale partizione architettonica tra il ristretto pseudo-nartece coperto a botte e la prima campata a crociera, unificando pittoricamente i due spazi in un unico ambiente percepito dal visitatore come centrale e raccolto. In questo spazio le scene si dispongono quattro per lato, a differenza dei gruppi di tre delle altre campate. La rappresentazione del colonnato riflette questa organizzazione, presentando al centro della scena una colonna tortile che occupa lo spazio centrale del finto porticato, anziché lasciare il vuoto della campata centrale come nelle altre.
La performance prospettica di Giotto coinvolge non solo le superfici piane ma anche elementi architettonici tridimensionali, come la semicolonnetta superiore che separa le due campate: qui la finta cornice architettonica si estende sulla superficie semicilindrica emergente dalla parete, realizzata in modo tale da apparire rettilinea all'osservatore collocato al centro della campata (fig. 7) mentre la parte inferiore della stessa appare campita come il cielo della figurazione sottostante. Questo anticipa effetti anamorfici che verranno ampiamente sviluppati dal tardo Rinascimento al Barocco [Aterini 2012]. Nella Basilica inferiore, ristrutturata e decorata nuovamente agli inizi del Trecento, si riscontrano ulteriori esempi di tali tecniche volte a "correggere" la percezione spaziale. Si citano, ad esempio, le decorazioni dell'intradosso dei varchi di collegamento della cappella della Maddalena (fig. 8). In particolare, quello che conduce al braccio destro del transetto ha una complessa fascia decorativa del sottarco, che prosegue anaforicamente deformata sulla base del grande contrafforte cilindrico, offrendo all'osservatore posto dal lato dell'altare, la continuità visiva dell'arcata.
L'attenzione di Giotto all'effetto complessivo dell'opera, così come alla relazione con l'architettura che la contiene, è evidente anche nell'impressionante decorazione delle vele del transetto, dove si sviluppa il tema dell'apoteosi di San Francesco, o in dettagli minuti come la finta panca dipinta sulla parete del transetto meridionale, che pare uscire dalla superficie dipinta della alta zoccolatura coperta da un morbido tessuto per invadere illusionisticamente lo spazio reale. Tali effetti illusionistici confermano quanto Giovanni Boccaccio in una novella del Decamerone fa asserire ad un personaggio: «Giotto ebbe uno ingegno di tanta eccellenzia […] in tanto che molte volte nelle cose da lui fatte si truova che il visivo senso degli uomini vi prese errore, quello credendo esser vero che era dipinto» [Boccaccio 1927].

Crediti

Si deve a Stefano Bertocci la redazione dei paragrafi *Introduzione* e *Conclusioni*; a Roberta Ferretti la redazione dei paragrafi *Metodologia d'indagine* e *Strategie spaziali nella pittura della Basilica di San Francesco ad Assisi*. Si ringraziano i frati e l'ufficio tecnico del Sacro Convento di Assisi.

Note

[1] Vasari, nelle *Vite*, riporta che Giotto fu chiamato da Giovanni di Minio da Morrovalle, generale dell'ordine dal 1296 al 1304; tuttavia, l'attribuzione tradizionale a Giotto del ciclo di affreschi era già stata messa in discussione all'inizio del XX secolo. Studi più recenti, condotti dopo il restauro della Basilica di Assisi del 1997, hanno riaperto la questione dell'attribuzione [Fry 2008]. Per le finalità di questa indagine, la mano esecutrice degli affreschi non costituisce un dato rilevante; pertanto, nel corso della trattazione si farà riferimento all'autore o agli autori dell'opera con l'espressione "Giotto e la sua bottega".

[2] Tratto dal secondo capitolo della *Legenda Maior* di San Francesco, segna un momento cruciale nella biografia del santo: la sua conversione spirituale. L'incontro miracoloso con il crocifisso, avvenuto secondo la tradizione nella piccola chiesa di San Damiano ad Assisi.

[3] Questa tipologia di rappresentazione è stata definita da Panofsky [Panofsky 2013] anche con il nome di 'visione d'angolo'.

[4] Come osservano Migliari e Fasolo [Migliari, Fasolo 2022], la distinzione vitruviana tra *ichnographia*, *orthographia* e *scaenographia* riflette un'articolazione del disegno architettonico fondata su modalità percettive differenti. In particolare, l'*ichnographia* descrive la disposizione planimetrica dell'opera, l'*orthographia* ne restituisce l'elevazione frontale, mentre la *scaenographia* sembra alludere a una rappresentazione tridimensionale priva di punto di fuga, affine a ciò che oggi definiamo assonometria.

[5] Nel Rinascimento si assiste al passaggio dalla *perspectiva naturalis* – eredità della tradizione medievale, basata sull'analisi del funzionamento della visione diretta e riflessa – alla *perspectiva artificialis*. La *perspectiva naturalis* indaga i meccanismi che determinano la formazione delle immagini ridotte degli oggetti, mentre la perspectiva artificialis si configura come la disciplina che regola la loro rappresentazione. Per approfondire questa distinzione, si può fare riferimento a Luigi Vagnetti, *De naturali et artificiali perspectiva* [Vagnetti 1979].

Autori

Stefano Bertocci, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, stefano.bertocci@unifi.it
Roberta Ferretti, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, roberta.ferretti@unifi.it

Riferimenti bibliografici

Benelli, F. (2012). *The Architecture in Giotto's paintings. Cambridge*: Cambridge University Press. I

Benelli, F. (2016). Architettura dipinta nella pittura toscana medievale. In S. Frommel, G. Wolf (a cura di). *Architettura Picta nell'arte italiana da Giotto a Veronese*, pp. 21-41, Modena: Franco Cosimo Panini Editore.

Bertocci, S. (2024a). Una storia per immagini: l'iconografia dell'insediamento francescano della Verna. In S. Bertocci, A. Guarducci. *Il convento della Verna. Storia, architettura e arte francescana*. Firenze: Edizioni Polistampa.

Bertocci, S. (2024b). Franciscan Landscapes. Recording and monitoring European religious architectural heritage. In S. Bertocci, F. Cioli (Eds.). *Franciscan Landscapes. Conservation, Protection and Use of Religious Cultural Heritage in the Digital Era*, vol.1, pp. 181-194. Firenze: Dida Press.

Boccaccio, G. (1927). *Decameron* (a cura di A.F. Massera). Bari: Laterza.

Carlevaris, L. (2024). *L'ottica di Claudio Tolomeo nella storia della prospettiva*. Roma: Edizioni Quasar.

De Rosa, A., Sgrosso, A., Giordano, A. (2000). *La geometria nell'immagine. Storia dei metodi di rappresentazione*. Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese.

Florenskij, P. (1990). *La prospettiva rovesciata e altri scritti sull'arte*. Roma: Gangemi Editore.

Fry, R. (2008). *Giotto*. Milano: Abscondita.

Gioseffi, D. (1963). *Giotto architetto*. Milano: Edizioni di Comunità.

Migliari, R., Fasolo, M. (2022). *Prospettiva. Teoria e Applicazioni*. Milano: Hoepli.

Panofsky, E. (2013). *La prospettiva come forma simbolica* (Carte d'artisti 90). Milano: Abscondita [Prima ed. Die Perspektive als "symbolische Form". Leipzig-Berlin 1927].

Parrinello, S., La Placa, S. (2019). Vectorialization practices of the image drawing of the floor mosaics of the Basilica of Nativity in Bethlehem. In *Scrires-IT*, vol 9, Issue 2 <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v9n2p95> (consultato il 16 dicembre 2025).

Romano, S. (2017). Giotto narratore. In A. Tomei, A. Giotto (a cura di). *Pictor egregius*. Torino: Utet.

Vagnetti, L. (1979). *De naturali et artificiali perspectiva*. Firenze: Edizione della Cattedra di composizione architettonica IA di Firenze e della L.E.F.

White, J. (1971). *Nascita e rinascita dello spazio pittorico*. Milano: Il saggiatore.

Sketching Structural Lightness: Frei Otto and the Treehouses (1959-1987)

Virginia De Jorge Huertas

Abstract

Frei Otto's treehouse projects offer his vision through their detailed drawings and unbuilt architecture's structure hybrids. These works echo the ecological and anatomical analogies proposed by Philip Steadman, underscoring the deep connection between the built environment and natural systems. The concept of the 'treehouse' or Baumhäuser, and its intrinsic relationship with architecture and nature, was a consistent theme in Otto's work from 1959 to 1989. The treehouse is a timeless architectural idea, found across cultures and centuries from Papua New Guinea to modern designs by Baumraum studio. These structures blend structural design, nature, and spatial adaptability. The objective of this research focus in Otto's 'treehouse' concept through four key case studies from New York to Berlin. It begins by examining interviews, drawings and literature on his philosophy, tracing the concept's evolution from early unbuilt proposals to the Ökohaus in Tiergarten. This project, the most comprehensive built expression of these principles, was studied via fieldwork and drawing analysis to understand its materialization. Otto's earlier works –including watercolours, sketches, and experimental models– demonstrate his interest in architecture rooted in the genius loci and a holistic ecological vision. His treehouse projects exemplify a synthesis of form, construction, and environmental awareness, an approach that remains pertinent to contemporary architectural discourse.

Keywords: Frei Otto, treehouse, ecological architecture, Ökohaus*, architectural drawings.*

Introduction: drawing architecture and ecology, a symbiotic evolution

The complex relationship between architecture and nature, and the broader dialogue concerning ecology and the environment, has been a consistent thread in both theoretical research and applied projects. This fruitful discourse spans decades, encompassing pivotal works from Reyner Banham's *Four ecologies* philosophy [Banham 1971] and Murray Bookchin's *For an ecological society* [Bookchin 1978], to Philip Steadman's classification of architecture and nature [Steadman 1982] or Juhani Pallasmaa's research and exhibition in Helsinki published under *Animal Architecture* [Pallasmaa 2020]. More recent contributions include Kenneth Frampton's *Seven points for the new millennium* [Frampton 2003], Eduardo Prieto's *Historia medioambiental de la arquitectura* [Prieto 2019], Philippe Rahm with his *Natural history of architecture* [Rahm 2020] or Neri Oxman's *Biomorphism* and *Material ecology* [Antonelli 2020].

Steadman's 1982 framework provides a valuable lens, classifying this multifaceted dialogue into five key analogies: organic, classificatory, anatomical, ecological, and Darwinian. This research specifically focuses on the case of treehouses and the architecture of Frei Otto, emphasizing its strong ties to ecological and anatomical analogies. Otto's approach is characterized by two distinct yet interconnected 'ways of thinking'. The first, often termed 'thinking diagrammatically', involves his detailed study of

 BY-NC-ND

organic forms and their inherent relationship to climate. The second, 'thinking by modelling', centers on his exploration of ultra-lightweight structures, drawing inspiration from the skeletal forms of prototypes developed at his Institut für Leichte Flächentragwerke (IL). Both models are fundamental to his conceptualization of treehouses, linking a profound respect for trees with the innovative idea of their structure resembling an inverted catenary. On this basis, the treehouse operates as a model for an ecological architecture of adaptability.

Frei Otto's advanced treehouse projects, discover for his sketches, diagrams and models, draw from a valuable history of examples and design strategies. The concept of arboreal dwellings has European roots stretching back to the Roman Empire in the province of Lycia and monasteries during the Middle Ages [Aikman 1988]. Beyond Europe, precedents like the Airy dwellings nestled among the Itá palm trees in the Orinoco Delta and Kenya's renowned Treetops Hotel also stand out. A particularly significant historical reference is the Parco Mediceo in Pratolino, near Florence, established in the mid-19th century by the de' Medici ducal family (fig. 1). This project showcases a double spiral staircase winding around a tree, providing access to hanging gardens and platforms at various heights for social gatherings. An engraving by Stefano della Balla vividly illustrates this structure, depicting a wide-trunked tree with two staircases coiling around its expansive central trunk. This imagery is further contextualized by the 1599 lunetta by Giusto Utens of 1599, offering a glimpse into the historical design. The historical lineage of treehouses, and their function as elevated social spaces, provides vivid context for understanding Frei Otto's projects. Anthony Aikman's work developed on treehouses [Aikman 1988], for instance, recreates the intricate spiral staircases of the Fontana della Rovere, an example seemingly in dialogue with other early references like those at Cobham Hall and nearby Plessy. These structures illustrate a shift from utopian ideals to practical, elevated platforms for gathering, playing, eating, and debating, offering families a retreat from urban life, particularly near Paris. The 17th-century diarist John Evelyn, a keen observer of gardens and woodlands, was so captivated by Lord Cobham's treehouse that it inspired his treatise *Silva* and led him to construct his own treehouse in 1646. Beyond

Fig. 1. Medicean tree house in Pratolino and the Tree house at Cobham Hall (redrawing by the author after Anthony Aikman) [Aikman 1988, p. 44].



European examples, diverse global precedents exist, such as the dwellings of the Koiari people in Papua New Guinea, the temporary shelters crafted from felled trees by settlers in Klallam lands in Washington, and the bamboo structures built by residents around a central tree near Aldeia Marakanã [Beaumont 2021]. Contemporaries of Frei Otto also explored the symbiotic relationship between trees and architecture. Notable examples include 1951 Glass house by Lina Bo Bardi, 1962 Venezia Pavilion by Sverre Fehn, and the Smithsons' work, exemplified by the tree integrated into the Wayland Young Pavilion in 1959 [Fernández, Jiménez 2020]. These diverse projects highlight a shared fascination with integrating nature and built environments, a theme central to Otto's own architectural philosophy. This paper analyses Otto's unbuilt and built treehouse projects, exploring their potential to redefine a type of collective housing through the lens of the human ecology approach [Boughey 1973]. The paper is structured as follows: behind an introduction that establishes the historical background and context of treehouses, it details the methodology used in this research. Next, it introduces a part of the pivotal work done at the IL Institute and delves into the symbiosis between architecture and biology. The core of the paper then focuses on an in-depth analysis of Frei Otto's treehouse case studies, concluding with the findings and insights derived from the research.

Methodology

Fieldwork, handmade drawings and interviews

This research employs a qualitative and graphic-based methodology [De Jorge-Huertas 2019a], primarily centred on a detailed analysis of specific case studies (fig. 2). This first phase of the research begins by examining diagrams and interviews with Frei Otto himself [AA. VV. 1994; Lendt 2011; Escher, Förster 2012], providing invaluable insights into his foundational thinking. This phase is complemented by second one, a comprehensive review of existing literature, specifically focusing on the broader concept of treehouses [Aikman 1988; Martinez 2015; Nugraha 2023], Otto's own philosophical framework of *Occupying and Connecting* [Otto 2009], and the overarching principle of lightness as it permeates his architectural work.

The third phase involves a selection and analysis of all type of drawings (diagrams, sketches, watercolours, etc.), of both built and unbuilt treehouse case studies by Frei Otto, from 1959 to 1989. This comparative approach allows for a nuanced understanding of how the treehouse concept evolved and ultimately materialized, particularly in the context of the Ökohaus in Berlin. As the only constructed example among the studied projects, this casestudy became the subject of intensive fieldwork. This included on-site visits to directly observe its design and integration, conceptual diagrams, handmade sketches, digital redrawing and interpretation of the architecture along with interviews with its inhabitants to gather firsthand accounts of living within Otto's vision.

The four specific Otto treehouse projects under study in this third phase are: the 1959 visionary, yet unbuilt project for New York; the collaborative design of "a funicular model of a tree-like structure" that emerged from a student workshop at Yale University in 1960 [Roland 1970, p. 123]; the theoretical case study at Askanischer Platz in Berlin; and finally, the 'tangible' Ökohaus in Berlin, completed in 1991. This comprehensive selection aims to provide a robust framework for tracing the conceptual and material trajectory of Frei Otto's enduring interest with the relationship of ecology, the tree-like concept together with branched structures, and lightweight architecture.

Frei Otto's research: dragonflies, lightness and future housing

Dragonflies as bio-indicators: Otto's lightweight structures

In his key work, *Occupying and Connecting: Thoughts on Territories and Spheres of Influence with Particular Reference to Human Settlement* [Otto 2009], Frei Otto structured with drawings and geometrical diagrams each section around a concept or case study directly tied to human habitat networks within their ecosystems. This approach underscored the inherent connection between habitat design, architectural ecology, and the exploration of non-permanent forms [Ciezadlo 2013]. A particularly compelling example of this is Otto's use of the dragonfly as a metaphor and as structural micro-scale research (fig. 3). Dragonflies hold significant ecological importance; they are remarkably sensitive indicators of shifts in the health of aquatic ecosystems. Their rapid response makes them invaluable bio-indicators, capable of signalling both current environmental well-being and predicting future changes. Furthermore, their role as efficient predators, especially of mosquitoes, contributes significantly to environmental balance.

Fig. 2. Diagram of tree house projects and influences related to the projects (elaboration by the author).

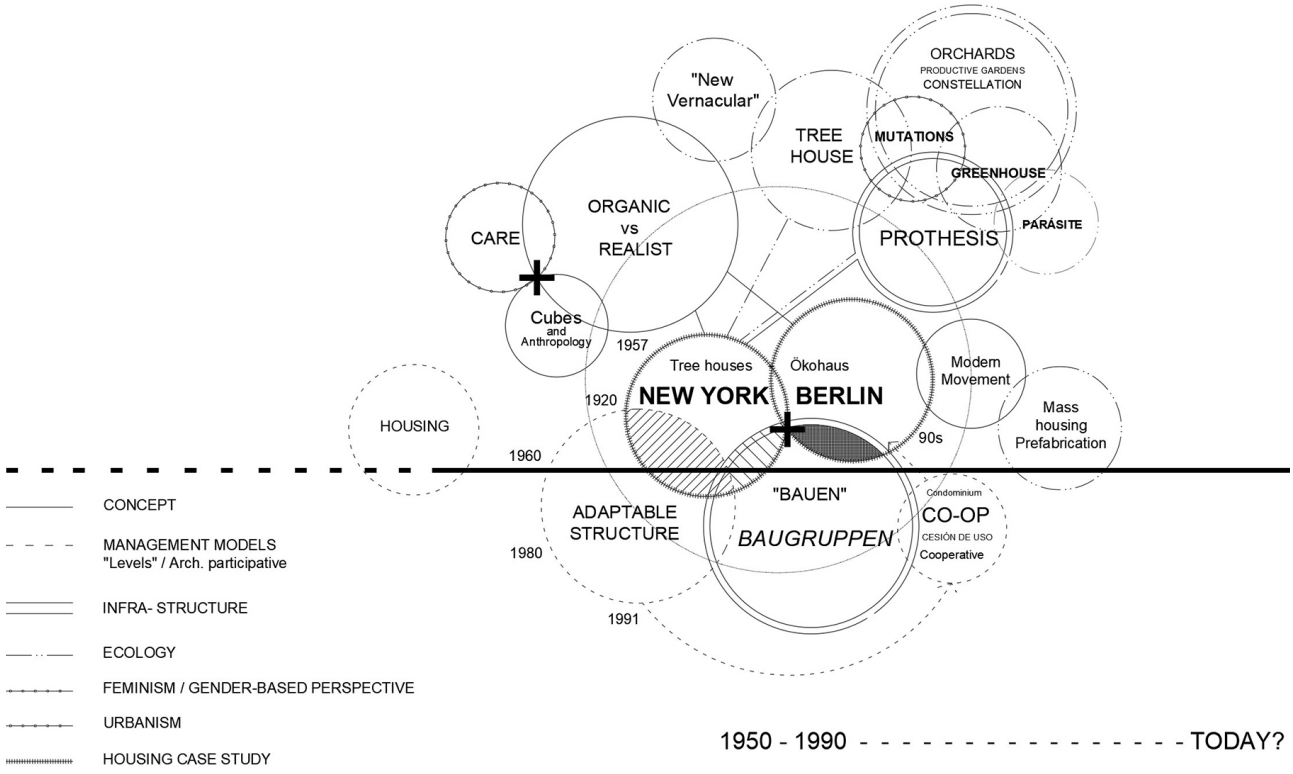
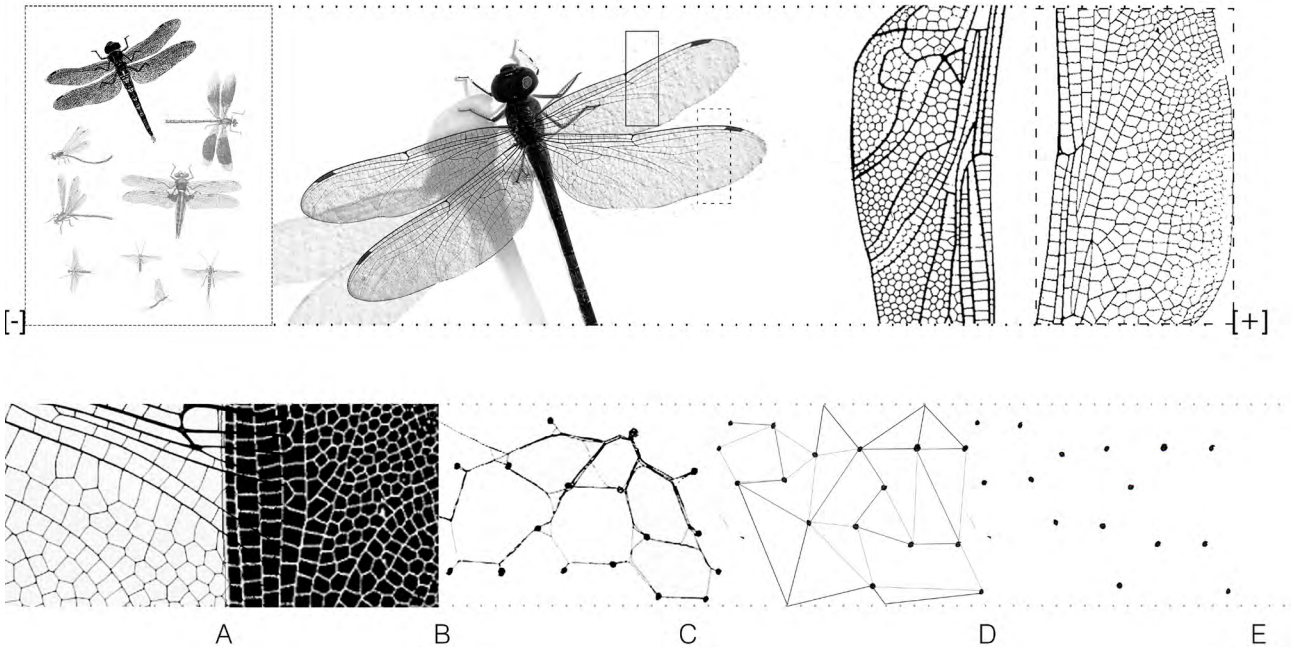


Fig. 3. Evolution and scalar structures (A-E) of the dragonfly and the wings geometry (A-B) towards patterns of occupation (D-E) (elaboration by the author).



Thinking by sketching: thinking diagrammatically and thinking by modelling

Dragonflies, which need stable oxygen levels and clean water, are also considered reliable bio-indicators of ecosystem health [Córdoba-Aguilar et al. 2023]. This ecological significance made them a key *leitmotif* in the analyses at Otto's institute for Structures and Conceptual Design (IL). This focus is a prime example of Otto's 'thinking diagrammatically' approach, a cornerstone of his extensive wok and unbuilt projects known [De Jorge-Huertas, De Jorge-Moreno 2024] and handed down to other generations by his drawings and pre-parametric diagrams. In his *Occupying and Connecting* [Otto 2009] illuminates, with handmade drawings and models, how various projects are crucial for understanding alternative methods of creating collective housing that prioritize lightness and customizability, contrasting sharply with traditional compact, serialized, and homogeneous designs. His experiments, theories, and prototypes reveal other ways to conceive collective housing from an 'ultra-light' perspective, as opposed to heavy and mass-produced solutions.

Otto's dragonfly structures are infra-light in time and ultra-light in matter, much like the soap bubbles extensively studied by the IL Institute. Both offer insights into developing experimental and alternative methods of eco-prefabrication and mass housing within Otto's broader research. The experimental essence of projects like the tree-house is further showcased in the IL's 'thinking by modelling' section, where Otto and his team experimented with ultra-thin membranes using physical models and line drawings. Dragonfly structures, light membranes and roofs, soap bubble assemblies and processes of occupation and connection [Otto, Nerdinger 2005; Otto 2009], as seen in the diagrams in (fig. 3), were central to Frei Otto's Atelier's studies from the 1950s to the 1970s. Their research explored flexible territories within self-constituting triangular grids, allowing for variable spatial sizes. Otto's drawings consistently feature three categories of light structures: small adaptable roofs, 'shield, umbrella, hood' (fig. 4) and numerous designs emphasizing lightness, a concept he intrinsically linked to saving material and, consequently, energy.

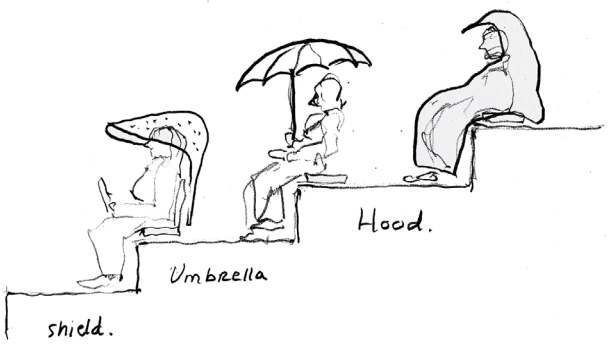


Fig. 4. Small adaptable roofs: shield, umbrella, hood and lightweight structures (elaboration by the author after Frei Otto) [Otto 2009].

Ökohaus' organic genesis: biology, architecture and art

"Biology has become indispensable for architecture, but architecture has also become indispensable for biology" [Otto 1971b, p. 8]. The organic principles embodied in the Ökohaus likely stem from a confluence of influences: the interconnected diagrams analysing organic occupation patterns in Otto's research at his Institute, and the profound discussions between Otto and German anthropological biologist Johann-Gerhard Helmcke during the 1950s [Helmcke 1963]. Their conversations explored the intricate symbiosis between biology, architecture, and anthropology. Helmcke, a specialist in microorganisms, particularly skeletons of radiolarians and diatoms (a type of algae with silicified walls), introduced Otto to the concept of 'building form' in biology through the stereoscopic observation of these minute organisms. As Otto recounted in an interview [Escher 2012], Helmcke's insights came partly from his time as an unpaid tutor with professor Hans Poelzig, a close friend of Konrad Wachsmann's in Berlin. It was through a pair of students that Otto was introduced to Helmcke, who subsequently became a regular visitor to Otto's studio in Warmbronn and the Stuttgart department. Within this rich constellation of influences, Frei Otto also frequently cited Constantin Brancusi as the sculptor he most admired, recognizing Brancusi's exceptional mastery of plastic forms and craftsmanship [Glaesser 1972]. Otto systematically analyzed Brancusi's surfaces through a scientific process. These analytical processes were directly reflected in the seminars organized by the IL Institute for professionals and academics, where the focus was on the relationship between biological structures (animals and

Fig. 5. Stairs structure around the existing trees in the garden of the Ökohaus in Berlin (drawing and photos by the author).



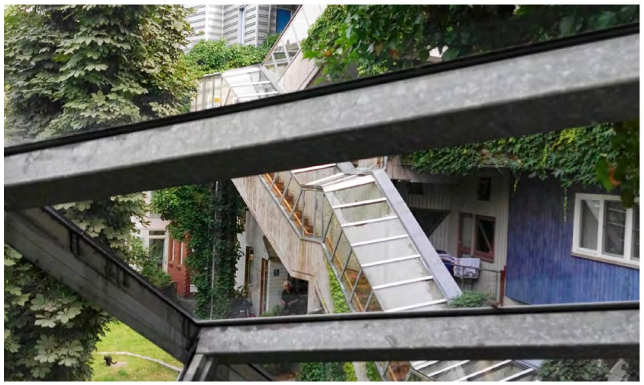
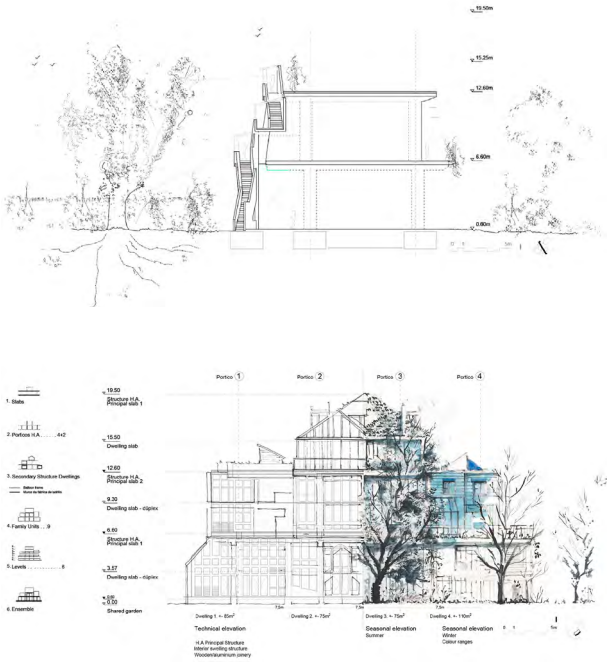




Fig. 6. Exterior stairs and concrete skeleton structure section near the existing trees (drawing by the author).

Fig. 7. The Ökohaus elevation juxtaposes a structural line drawing with a phenomenological depiction (drawing by the author).



plants) and architectural design through drawings and models. These investigations, often captured in Otto's detailed diagrams, ultimately defined the highly spatial and organic character of the arboreal structures and frameworks that are hallmarks of his influential work.

A multidisciplinary manifesto for organic living. "A tree is not a tool for a living being, it is a living being itself" [Helmcke, Otto 1962, p. 856]. The Ökohaus in Berlin (fig. 5), co-directed by Frei Otto and its inhabitants, stands as a tangible manifestation of a multidisciplinary approach that bridges biology, sculpture, art, anthropology, and architecture. This concept finds its broader expression within the Baugruppe movement [De Jorge-Huertas 2019b] and is intimately connected to Otto's earlier, unbuilt experimental projects where the organic played a central role. These designs were infused with a utopian vision, which Otto articulated in his writings to improve future living conditions. This wasn't achieved through rigid, complete designs and drawings, but rather by establishing a foundational 'game board' with flexible guidelines and subtle rules, positioning architecture as a guiding framework rather than a prescriptive blueprint.

From microorganisms to mass housing. The Ökohaus, with its distinctive 'empty' structural section (fig. 6) and complete elevation (fig. 7), embodies the treehouse concept as an aggregation of diverse 'micro-organisms' within a single infrastructure. The Atelier Warmbronn and the IL research Institute meticulously analyzed the organic structures of various insects, such as the mathematically precise, unequal wings of anisoptera or zygoptera dragonflies. Their studies also extended to deformed meshes based on biological patterns, observing these not only in nature but also in the spatial arrangements of people around corners, analyzing their associative behaviors. While the Munich Pavilion remains a well-known example of a Voronian pattern application, the aim in the Baugruppe Ökohaus and its unbuilt treehouse predecessors was the abstraction and creation of a space entirely personalized by its inhabitants, where the structure and architecture recede into the background.

The Ökohaus's proximity to the Philharmonie and the Scharoun Library –a seminal figure in organic architecture– underscores the Warmbronn Atelier's deliberate move to create a built manifesto. This manifesto stands on the very edge of their experimental work with ultra-light structures. The Ökohaus's role as a 'drawing-built manifesto' and a political statement reflecting public engagement

within the context of the IBA Berlin *(Internationale Bauausstellung Berlin*) also formed a crucial part of the research conducted by the Atelier and the IL Institute. This research focused on developing millimetric, almost imperceptible, living, and extremely slender envelopes for a new generation of building materials. For Frei Otto, these structures and materials were the driving force, enabling matter to lose thickness and mass while consistently prioritizing internal, adaptable, and mobile use.

Evolving conceptually through drawing

From Central Park in New York to Tiergarten in Berlin
Dreams, ecologies, and growth are core concepts underlying Frei Otto's projects and drawings centered on the 'tree house' or '*Baumhäuser*'. These include the New York project from the late 1950s with green roofs arranged like the branches of a growing tree (fig. 8), the 1960 Tree Structures Project (fig. 9), the unbuilt Berlin precedent at Askanischer Platz, and the, previously analyzed, 1989 Ökohaus in Tiergarten. Collectively, these works served as a laboratory for experimenting with the concept of the house, vertical density, and the multifaceted nature of the tree, as a metaphor and in its direct applicability.
The 'tree structure' of 1960 directly stemmed from Frei Otto's research into minimum surfaces and spatial relationships. Collaborating with students at Yale University, this experiment focused on multiplying compression elements to reduce individual buckling lengths, thereby decreasing both material use and structural thickness. Once the interconnected chords were stiffened and the model inverted, its organic configuration transformed into a tree-like structure [Glaesser 1972]. Parallel to this, a 1959

Fig. 8. Structure and construction process of the New York treehouse, 1958 (drawing by the author).

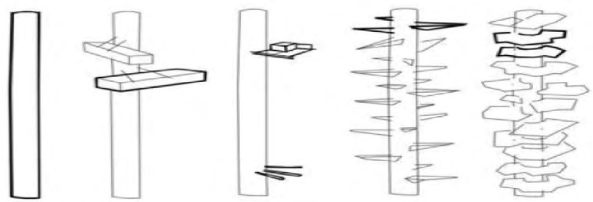


Fig. 9. Theoretical Tree-Structure Project, 1960. Funicular model (1). Once stiffened, the model is inverted (2-3) (drawing by the author).

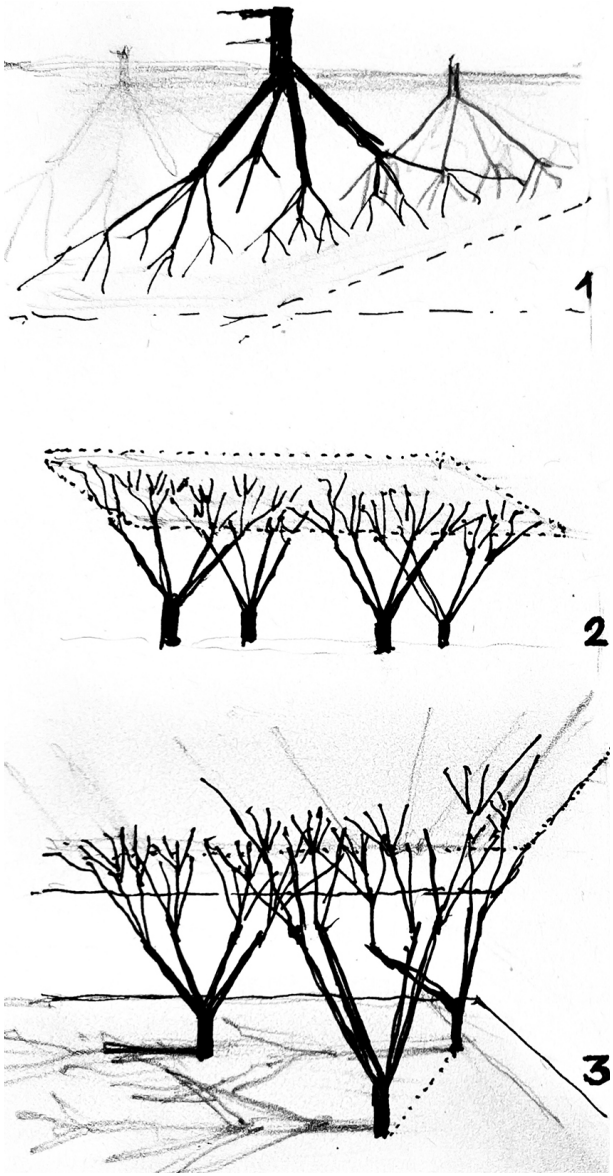
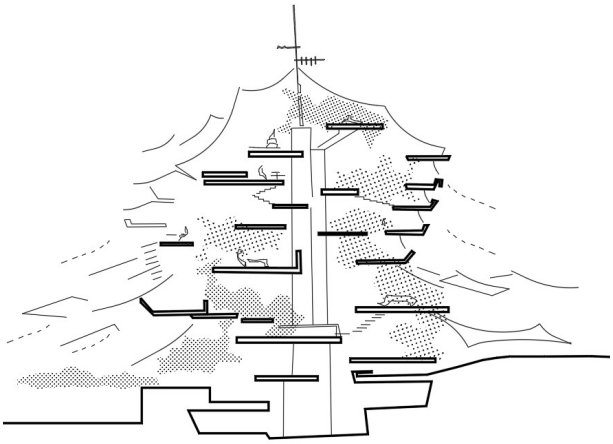
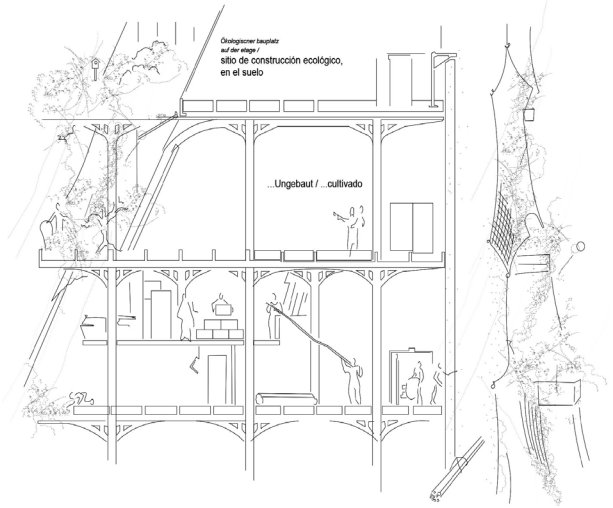


Fig. 10. Structure diagram of the Baumhäuser watercolour in 1980 (redrawing after Frei Otto by the author).

Fig. 11. Structure detail of the unbuilt treehouse project in New York, 1959-1960 (redrawing by the author after ARCH+ 57).



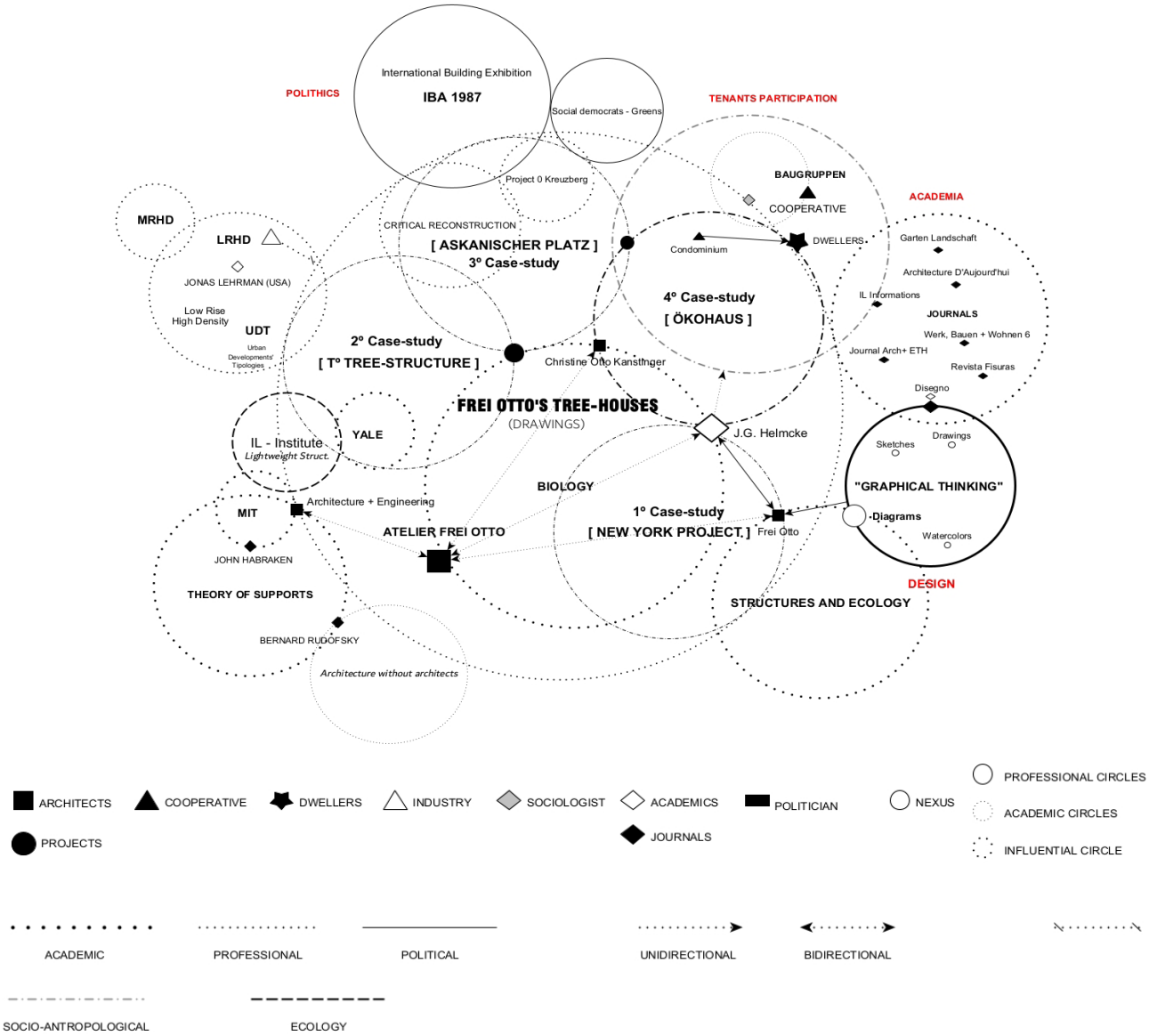


research project for a large-scale agricultural canopy, while serving as a greenhouse roof rather than housing roof, also thoughtfully integrated the growth of trees into its design. The genesis of Otto's treehouse ideas and drawings, surprisingly, came from a textile factory in Zehlendorf with a towering 220-meter chimney. As Otto recounted in an interview [Escher 2012], he envisioned drilling horizontal beams, 40 to 50 meters in diameter, into this chimney (fig. 10). This imaginative concept led to an adaptable skyscraper approach, allowing for cantilevered floors of varying sizes. Otto considered where such innovative apartment buildings could be realized, immediately thinking of New York. His familiarity with Central Park, gained through family in the city, provided the ideal backdrop for his conceptual treehouse towers [Escher, Otto 2012].
The most recent treehouse experiment, the Baugruppe-based Ökohaus in Berlin, represents a unique construction laboratory [Hamiduddin, Gallent 2016; Urban 2018]. Here, the builders are simultaneously the future tenants, collaborating directly with architectural firms and the construction team in a truly non-hierarchical structure. As we have seen before, this project stands as a powerful manifesto for architecture reimagined as a guide and tool to secure the fundamental right to housing. Frei Otto articulated his distinct views on housing through this innovative approach: "If housing units are taken to the third dimension, the hitherto unsurpassed degree of freedom of the detached single-family house must also be preserved" [Otto 1971a, p. 21].

Results: from tree house sketches to ecological cities

Ecological thinking, tree house conception and experimental housing
Frei Otto, in his correspondence with Giancarlo De Carlo [AA.VV. 1994], articulated a vision for housing units in the third dimension, conceptualizing a 'three-dimensional village' with utopic drawings [1]. This approach, consistently linked to an ethereal or mutable experimental dwelling, emphasized a degree of freedom rooted in ecological characteristics, while crucially preserving the privacy typically afforded by single-family homes. Otto further elaborated on these views in his 1980 lecture, *Natürlich Bauen*, delivered at the IL Institute in Stuttgart. The Ökohaus exemplifies this philosophy, offering an alternative, hybrid experiment between the single-family house and collective

Fig. 12. Network diagram of the research (elaboration by the author).



dwelling. It achieves this through a system of adaptable platforms that allow for mutable domesticity, a concept directly building upon Frei Otto's earlier proposals for New York. Building on these principles, the innovative architect articulated his core perspective regarding housing and its inherent need for adaptation: "What we have not yet had in houses is the adaptable construction, able to follow without delay all the modification of the wishes and needs of the occupant. Adaptable construction represents the total mastery of technique; it is very old and has been proposed. It is only cultivated in mud houses and in modern industrial construction. We know it in its different forms. First, we have the house, but also the large, anonymous, discrete structures, whose shape is not visible, which can grow or shrink, which multiply the area of the building site and which, according to needs and aspirations, can be extended with complete freedom of form inside and outside" [Otto 1971a, p. 21].
In 1959, Otto had already begun researching ecological housing for his New York tree house proposal. Domestic spaces, alongside courtyards, were integrated into branches or slabs, interspersed with raised gardens between dwellings. The design strategy featured a central, vertebral cylinder structure to which irregular floor slabs were anchored. This allowed for free floor plans and varying heights (within limits), where residences would coexist with their own gardens and orchards, as illustrated in the section in figure 11 (fig. 11). Frei Otto's unbuilt proposals for Skyscraper Trees, or three-dimensional garden cities as he termed them in 1958, represent parallel utopias. These concepts predate the Ökohaus and serve as antecedents to the Foundation for Architectural Research (SAR) Support Theory [Habraken 1961]. Both proposals share an initial design strategy centred on the treehouse concept, yet their scale varies significantly: one is a high-density, high-rise macro project for New York, while the other is a medium-to-low-density proposal for Berlin. Both were designed for competitions.
The design and drawing strategy from the New York project found a parallel in the initial 1981 proposal draw for the Ökohaus at Askanischer Platz in Kreuzberg. Here, the vision was to construct two skyscrapers of varying heights, featuring domestic hanging gardens every six meters. Within these intervals, each resident would insert their unique 'nest', a deliberate contrast to the standardized, homogeneous 'honeycomb' housing model. This treehouse project, a precursor to the built Ökohaus in Tiergarten, was a collaborative effort with Heinz Doster and Johannes Fritz in 1981. The concept centred on a 'three-dimensional garden city' [Archiv für Architektur und Ingenieurbau], reaching a total height of 60 meters and a width of approximately 35 meters. This prototype was designed to accommodate 50 one- or two-story dwellings, primarily powered by renewable energy sources, notably solar. In this early design, Frei Otto was already envisioning a lifestyle that diverged from the traditional single-family house. He sought to reconcile the individual's need for horizontal space and privacy within a domestic setting with the advantages of high-rise buildings. These pioneering ideas, mainly known thanks to the drawings and 'invisible' networks (fig. 12), directly paved the way for the *Baugruppe* Ökohaus, which would be constructed in Berlin a decade later.

Conclusions

The concept of the tree house, or 'Baumhäuser', and its profound link to architecture and nature were constants throughout Frei Otto's work. While the Ökohaus in Berlin stands as the most significant built example of this idea, his earlier studies –captured and known thanks to his diagrams, sketches, watercolours, and experimental models– reveal a long-standing interest in developing an architecture deeply connected to the *genius loci*, or spirit of place. Otto's vision for housing moved beyond traditional forms, imagining a 'three-dimensional village' where mutable dwellings provided freedom and ecological harmony while preserving individual privacy.
The treehouse is a timeless concept, with a history spanning centuries; from the dwellings of the Koiari people in Papua New Guinea to contemporary projects like the one by Baumraum studio in Osnabrück. Ultimately, Frei Otto's treehouse drawn projects are a powerful example of his deep interest in ecology, lightness and the environment. Also, on scientific communication through his IL Institute with the drawings, texts and models published, concepts that remain profoundly relevant in architecture today. These ideas resonate with current debates on participatory, adaptive and lightweight housing. This strength the contemporary relevance of these findings. Future research could be focus on other unbuild projects and his drawings, examining quantitatively the 'IL Informations' or deep on his watercolour-approach, sketches or diagrams.

Note

[1] For more detail on original sketches, see drawings online: <https://www.moma.org/artists/66414-frei-otto> (accessed 1 July 2025), <https://www.e-flux.com/architecture/housing/332652/apartment-buildings-for-new-york> (accessed 1 June 2025).

Author

Virginia De Jorge Huertas, Universidad Rey Juan Carlos, Departamento Teoría de la Señal y Comunicaciones y Sistemas Telemáticos y Computación, virginia.dejorge@urjc.es

Reference List

AA.VV. (1994). Correspondence between Frei Otto and Giancarlo De Carlo. *Archivio Progetti IUAV.*

Aikman, A. (1988). *Treehouses.* London: Hale.

Antonelli, P. et al. (2020). *Neri Oxman: Mediated Matter*. New York: The Museum of Modern Art.

Banham, R. (1971). *Los Angeles. The Architecture of Four Ecologies*. Berkeley: University of California Press.

Beaumont, E. (2021). Round the tree houses: buildings that circle trees. In *The Architectural Review*, No. 1485.

Bookchin, M. (1978). *Por una sociedad ecológica*. Barcelona: Gustavo Gili.

Boughey, S. A. (1973). *Reading in Man, the environment and human ecology.* New York: Macmillan Publishing Co.

Ciezadlo, J. (2013). Marketing and dreaming. In *Afterimage*, Vol. 41 (2), pp. 35-37.

Córdoba-Aguilar, A., Beatty, C., Bried, J.T. (Eds.). (2023). *Dragonflies and damselflies: model organisms for ecological and evolutionary research*. Oxford University Press.

De Jorge-Huertas, V. y De Jorge-Moreno, J. (2024). Network analysis of F. Otto's architecture: a global vision. In *Journal of Architectural Engineering*. Vol. 30, No 3. DOI: 10.1061/JAEIED.AEENG-1679.

De Jorge-Huertas, V. (2019a). *Esferas, Umbrales e Infraestructuras*. PhD thesis in Architectural projects. Supervisor: Fernando Quesada. Universidad de Alcalá. DOI: 10.13128/Techne-23879.

De Jorge-Huertas, V. (2019b). Baugruppen. Innovation through collaborative infrastructures. In *Journal of Technology for Architecture and Environment,* (17), pp. 171-182.

Escher C., Förster, K. (2012). I Was Dr. Tent. Frei Otto on Adaptability, Ecology, and Economy in Architecture. In *Journal ARCH+*, pp. 211-212.

Fernández Villalobos, N., Jiménez Sanz, A. (2020). The Tree in Alison and Peter Smithson's Architecture. In *VLC Arquitectura,* 7(2), pp. 59-89. DOI: 10.4995/vlc.2020.11862.

Frampton, K. (2003). Siete Puntos para el milenio: un manifiesto inoportuno. In *Ecología y ciudad: raíces de nuestros males y modos de tratarlos*. Barcelona: Fundación de Investigaciones Marxistas: El Viejo Topo.

Glaeser, L. (1972). *The work of Frei Otto. Catalogue MOMA.* New York: The Museum of Modern Art.

Habraken, J. (1961). *Supports: An Alternative to Mass Housing*. London-New York: Architectural Press.

Hamiduddin, I., Gallent, N. (2016). Self-build communities: the rationale and experiences of group-build (Baugruppen) housing development in Germany. In *Housing Studies*, 31:4, pp. 365-383.

Helmcke, J.G. (1963). Structures vivantes et structures techniques. In *L'Architecture d'Aujourd'hui*, 108, pp. 78-84.

Helmcke, J.-G., Otto, F. (1962). Lebende und Technische Konstruktionen: Bemerkungen zu Schalen und Raumtragwerken in Natur und Technik. In *Deutsche Bauzeitung*, 11, pp. 856-861.

Nugraha, I. (2023). Inside the Treehouse: Ethnographic Musings on an Architectural Research in Korowai, Southern Papua. In *Antropologi Indonesia*, 44(2), article 5. DOI: 10.7454/jai.v44i2.1028.

Otto, F. (1971a) ¿Cambia de rumbo la arquitectura?. In *Revista Temas de Arquitectura*, 145-146, pp. 7-27.

Otto, F. (1971b). *IL Biologie und Bauen Teil 1*. Germania: University of Stuttgart.

Otto, F., Nerdinger, W. (2005). *Frei Otto: complete works, lightweight construction, natural design*. Basel: Birkhäuser.

Otto, F. (2009). *Occupying and connecting: Thoughts on territories and spheres of influence with particular reference to human settlement*. Stuttgart; London: Edition Axel Menges.

Pallasmaa, J. (2020). *Animales Arquitectos*. Barcelona: Gustavo Gili.

Prieto, E. (2019). *Historia medioambiental de la arquitectura*. Madrid: Ediciones Cátedra.

Rahm, P. (2024). *Historia natural de la arquitectura: cómo el clima, las epidemias y la energía dieron forma a la ciudad y los edificios*. Barcelona: Editorial GG.

Roland, C. (1970). *Frei Otto: tension structures*. Westport: Praeger Publishers.

Steadman, P. (1982). *Arquitectura y naturaleza. Las analogías biológicas en el diseño*. Madrid: H. Blume Ediciones.

Urban, F. (2018). Berlin's Construction Groups and the Politics of Bottom-Up Architecture. In *Urban History*, Vol. 45, No. 2, pp. 1-32.

Sitography

Archiv für Architektur und Ingenieurbau. <https://www.saai.kit.edu/search.php?searchquery=frei+otto&local_search=true> (accessed 15 May 2025).

ARCH+ features 57. *Learning from Frei Otto*. <https://vimeo.com/204152617> (accessed 20 February 2020).

E-flux, Architecture. *Apartment Buildings for New York*. <https://www.e-flux.com/architecture/housing/332652/apartment-buildings-for-new-york> (accessed 15 April 2025).

Lendt, B. (2011). *Der traum Vom Baumhaus* <https://icarusfilms.com/ifdth> (accessed 15 April 2025).

Oltre i limiti della veduta vincolata: spazi digitali interattivi per le quadrature prospettiche della Reggia di Portici

Alessandra Pagliano, Barbara Ansaldi

Abstract

Tra XVII e XVIII secolo, il quadraturismo si afferma come dispositivo tecnico e concettuale capace di alterare la percezione dello spazio architettonico: mediante l'uso della prospettiva aerea e lineare, talvolta rigoroso, altre volte in deroga ai principi geometrici al fine di generare voluti artifici, le quadrature generano l'illusione di una profondità che smaterializza la superficie muraria, dilatando lo spazio oltre i suoi confini fisici. Ne derivano spazi alternativi e immaginari dalle profondità illimitate, che dialogano con la struttura reale, arricchendone la spazialità fino a renderle impossibile mantenere un'identità indipendente e autonoma. Si instaura così una tensione tra costruito e rappresentato attraverso l'uso, a fini illusori, del disegno in prospettiva: è proprio tale tensione a rendere la Sala delle Guardie della Reggia di Portici (Napoli) un caso emblematico di "struttura rivelata" dal disegno, quest'ultimo inteso come atto di conoscenza, interpretazione e organizzazione dello spazio visibile. Attraverso rilievo fotogrammetrico digitale e restituzione prospettica delle architetture dipinte, la ricerca ha inteso rileggere in chiave critica regole e deroghe dell'artista-scenografo nella costruzione del suo spazio "aumentato" in termini di percezione spaziale, offrendo una ricostruzione tridimensionale delle architetture dipinte allo scopo di permetterne l'esplorazione da punti di vista non vincolati mediante la Realtà Aumentata e la Realtà Virtuale.

Parole chiave: quadraturismo, prospettiva inversa, Realtà Aumentata, Reggia di Portici.

Introduzione

Il quadraturismo è uno stile di decorazione pittorica sviluppatosi principalmente durante il XVII e XVIII secolo ed è caratterizzato dalla rappresentazione prospettica di architetture dipinte che si integrano con lo spazio reale in maniera illusionistica, fingendo con essa una relazione in termini spaziali. La qualità dell'esperienza psicologica ed emotiva di tali spazi, "aumentati' dalle prospettive dipinte, risiede nel riconoscimento e nella fruizione consapevole del loro valore illusorio: analogamente a quanto avviene osservando una scena teatrale, lo spettatore è maggiormente coinvolto nell'esperienza degli spazi illusori proprio quando il valore artistico della rappresentazione viene apprezzato mediante la comprensione della complessità geometrica dei processi proiettivi che lo hanno generato. Non a caso, fu proprio lo scenografo Vincenzo Re ad essere chiamato da Carlo di Borbone ad affrescare gli spazi più rappresentativi della Reggia di Portici, ove applicò la sua esperienza in campo teatrale alla decorazione dell'atrio, della Scala Reale, dell'anticamera al primo piano e della Sala delle Guardie. Scopo delle quadrature non era tanto di decorare le superfici intonacate, ma piuttosto quello di conferire maggiore imponenza agli spazi, le cui dimensioni apparivano inadeguate al rango di un palazzo reale. Re, con la collaborazione del pittore figurista Crescenzo Gamba, eseguì tra il 1744 ed il 1746 le prospettive architettoniche della Sala delle Guardie del corpo e della prima e seconda

 BY-NC-ND

anticamera [Visone 2019, p. 153]. Egli fece ricorso alla rappresentazione di scenografiche prospettive di false architetture barocche che, sfondando le pareti, dessero la sensazione illusoria della presenza di altri spazi contigui. Nel sopperire alla mancanza di vere e proprie membrature architettoniche, Re mise in scena l'illusione di spazi di più vasto respiro, aperti in alto verso la visione di rappresentazioni allegoriche. La ricerca propone dunque una lettura di tipo tradizionale dei processi geometrici operati da Re e Gamba nella realizzazione delle quadrature prospettiche della Sala delle Guardie, per poi predisporre un prodotto digitale di fruizione interattiva e consapevole degli spazi prospettici illusori dipinti, contribuendo a una comprensione più profonda dei meccanismi progettuali che danno senso allo spazio architettonico reale e non.

L'architettura come cornice degli spazi disegnati: il quadraturismo e lo spazio oltre i limiti fisici

Nel cuore della produzione artistica barocca e tardo-barocca, il quadraturismo si configura non soltanto come linguaggio decorativo, ma come uno strumento tecnico e teorico capace di intervenire sulla percezione dello spazio architettonico. Si tratta di «rappresentazioni di architettura che, sfruttando ora la prospettiva lineare, ora la prospettiva aerea e altri accorgimenti, inducono nello spettatore una percezione di profondità che "sfonda" la compagine muraria, dilatando lo spazio che le ospita fino ai limiti dello sguardo» [Migliari 2014, p. 1]. Il quadraturismo affonda le sue radici nelle finzioni illusionistiche già presenti nelle pitture parietali delle *domus* romane [Mazzoleni, Pappalardo 2004; Cardone 2014; Migliari 2014] – nei cosiddetti Secondo e Quarto stile pompeiano – in particolar modo nei *cubicula*, in cui il ristretto vano destinato al riposo appariva più ampio grazie allo sfondamento illusorio della barriera fisica della parete. Il dispositivo prospettico del quadraturismo si basa sull'integrazione di due modalità percettive complementari: la *perspectiva naturalis*, legata alla percezione empirica dello spazio da parte dell'osservatore, e la *perspectiva artificialis*, costruita secondo regole geometriche codificate e controllabili. Le quadrature ampliano e alterano la struttura logica dello spazio poiché le architetture dipinte, inserite in una rigorosa intelaiatura prospettica, sottintendono l'intenzione di creare una struttura o un insieme di strutture in sostituzione di quella reale o anche in stretto legame con essa [Pascariello 2005, p. 15]. In tal senso, pur partendo da esigenze illusionistiche, le quadrature si fondano su un impianto razionale e progettuale, configurandosi come veri e propri spazi progettati la cui percezione è dipendente dalla scelta del punto di vista. Esse sono capaci di trasformare spazi reali dai confini delimitati in "sfondati" architettonici, caricati di significati e sensazioni nuove: l'osservatore è invitato a entrarvi e a percorrerli idealmente con lo sguardo, in un turbine di dinamicità che in genere privilegia il movimento circolare intorno alla sala [Aterini 2015, p. 428]. L'efficacia illusionistica della quadratura, dunque, non risiede tanto nel realismo pittorico, quanto nella capacità di generare *una architectura picta* coerente con i principi statici, geometrici e prospettici propri della costruzione reale. È tale principio di coerenza interna a consentire un dialogo tra architettura reale e architettura dipinta, dove l'una sconfina nell'altra in modo credibile e funzionale. La rappresentazione quadraturista si fa così "disegno disvelatore": essa mostra e rende visibile una struttura spaziale che non esiste fisicamente ma che è logicamente plausibile, celando al tempo stesso la superficie fisica bidimensionale che occupa, sovrascrivendola. Nella Sala delle Guardie della Reggia di Portici le strutture architettoniche dipinte operano infatti una vera e propria riscrittura dello spazio fisico: la parete, la superficie voltata e l'angolo cessano di essere limiti statici per diventare soglie attraversabili dalla visione, al di là delle quali l'immagine dipinta moltiplica illusionisticamente gli spazi. Ciò avviene anche attraverso un'attenta imitazione dello stile architettonico degli spazi reali, riprendendo schemi di colonne, paraste, archi, capitelli, pilastri, piani d'imposta e dimensionamento. L'osservatore è quindi guidato in un'esperienza spaziale ampliata, in cui le architetture dipinte appaiono come prolungamento necessario delle pareti reali: l'intenzione è quella di immaginare e rappresentare lo spazio simulato come parte integrante dello spazio reale che lo contiene, con l'evidente scopo di ricostruire l'architettura illusoria e di poterla ricomporre con quella reale [Migliari 1999]. L'effetto illusorio, infatti, è tanto più efficace quanto più risulta strutturalmente coerente: non si tratta di un *trompe-l'œil* fine a se stesso, ma di una costruzione visiva che implica un'intelligenza compositiva fondata su principi architettonici condivisi. In questo senso, il quadraturismo si presenta come uno strumento rivelatore prima ancora che estetico: attraverso il disegno prospettico, la pittura svela ciò che l'architettura non può

 BY-NC-ND

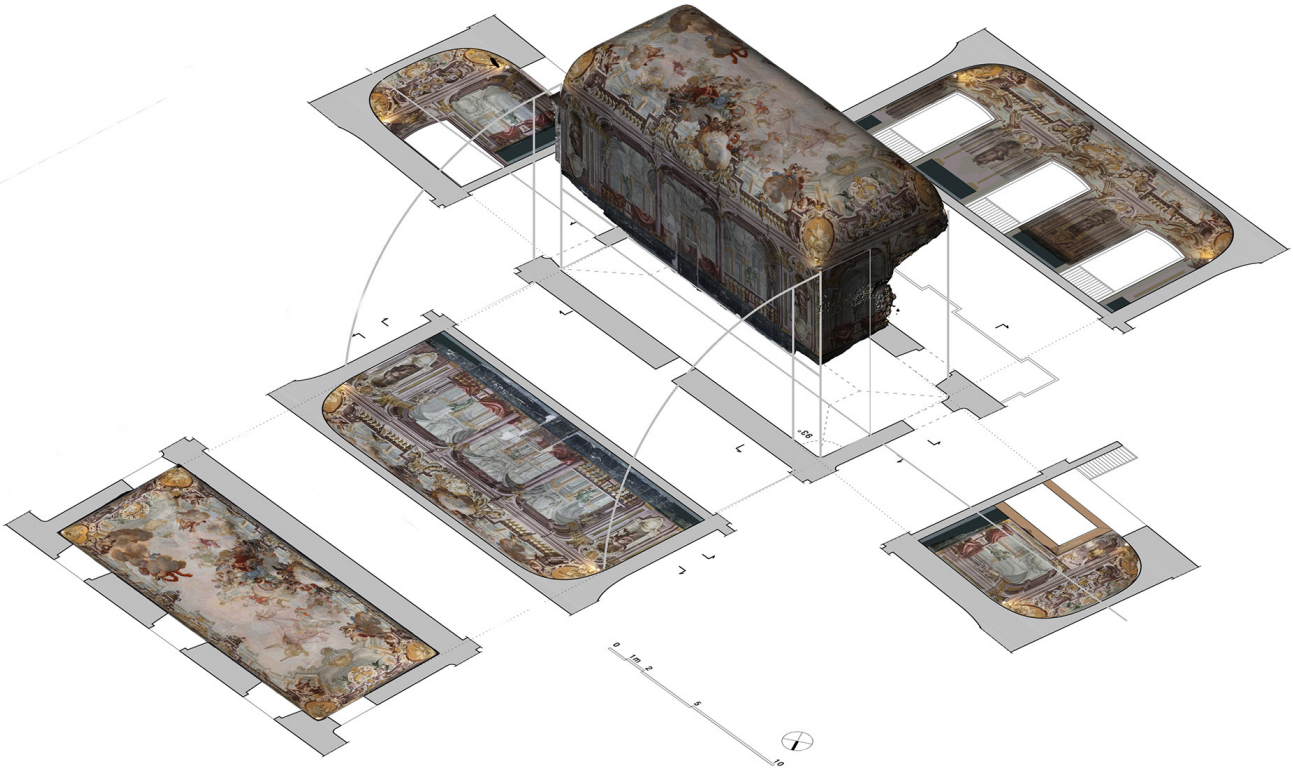


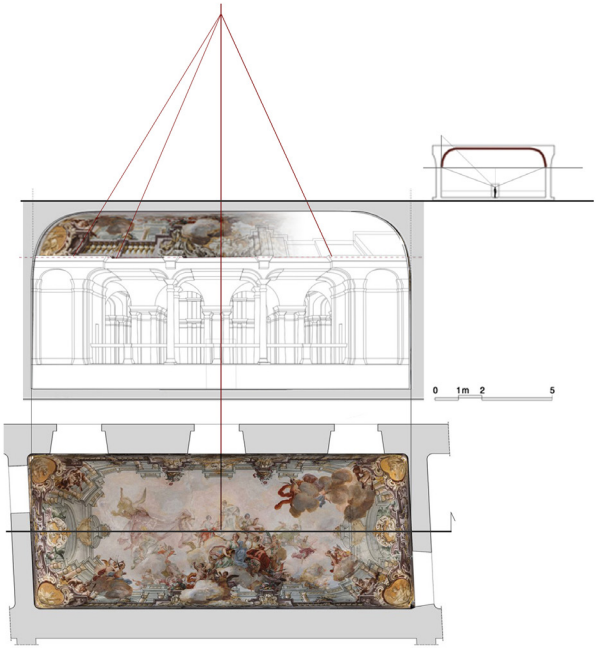
Fig. 1. Grafici mongiani ottenuti dal modello mesh con texture ad alta definizione (elaborazione grafica delle autrici).

realizzare fisicamente, mostrando un potenziale strutturale "oltre" le pareti. La griglia prospettica, invisibile ma rigorosa, agisce come intelaiatura generativa dello spazio dipinto: una struttura non portante ma ordinatrice, che regge la coerenza dell'immagine architettonica e ne guida la percezione. È proprio questa tensione tra costruito e rappresentato a rendere la Sala delle Guardie un caso emblematico di quella che si può definire una "struttura rivelata": non nel senso tecnico della portanza, ma in quello profondo del disegno come atto di conoscenza, interpretazione e organizzazione dello spazio visibile. Il disegno prospettico, in questo contesto, non è semplice strumento mimetico, ma linguaggio mediatore tra idea e percezione, capace di far emergere l'ordine invisibile che regola e sostiene l'apparenza architettonica.

Il disegno come struttura dello spazio illusorio

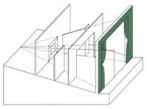
La relazione tra spazi dipinti e architetture reali si fonda sul disegno inteso come mezzo per espandere l'esperienza spaziale attraverso la percezione. Il disegno è infatti la struttura latente dei due spazi liminali, che dalla forma del primo trae quelle leggi nascoste e quei rapporti geometrici che regolano il progetto illusorio al fine della verosimiglianza. Il disegno prospettico diventa, tuttavia, un linguaggio autonomo poiché in grado di generare forme architettoniche del tutto inesistenti nella realtà fisica, ma perfettamente coerenti nel mondo dell'apparenza. Il disegno, in tal senso, è stato uno strumento di progetto per lo scenografo Vincenzo Re nella Sala delle Guardie e una forma di "rivelazione" per lo studioso che voglia comprendere le regole compositive, ma anche le inevitabili deroghe, di uno spazio "altro", indagato attraverso la geometria che ne ripercorre la costruzione della forma illusoria. Gli strumenti fondamentali di questa antica pratica di indagine delle architetture dipinte sono in *primis* la prospettiva lineare conica, nel suo processo inverso che va dall'immagine alla vera forma dello spazio mediante proiezione centrale, ma anche la profonda analisi e conoscenza degli stilemi architettonici dello spazio reale, cui quelli dipinti si ispirano per ottenere la percezione di un *unicum* architettonico dotato di globale armonia formale, ma con un effetto ampliato della profondità. Nel caso di architetture dipinte, la riconoscibilità delle qualità formali dello spazio rappresentato costituisce uno dei

Fig. 2. Ipografia della volta a padiglione e sezione, con individuazione del punto di vista privilegiato (elaborazione grafica delle autrici).



fattori determinanti quel meccanismo di volontaria caduta nell'illusione dell'osservatore. Indubbia è la libertà che l'assenza di problemi statici e costruttivi fornisce al progetto delle spazialità dipinte, nel quale il disegno prospettico è struttura dello spazio rappresentato, da derogare in base a principi pittorici e compositivi senza alterarne il progetto generale. Nel caso della percezione di quadrature architettoniche, appare fondamentale il richiamo alla differenza che Immanuel Kant opera tra termini "illusione" e "inganno", in relazione alle parvenze sensoriali e trascendentali. Afferma Cassandra Basile che il termine "illusione" si accompagna a una consapevolezza da parte del soggetto che valuta un oggetto o una situazione [Basile 2018, p. 416]. Una volta che una parvenza sensoriale viene scoperta, questa viene chiamata da Kant "illusione", al fine di far emergere la sua inoffensività per il soggetto percipiente, che è consapevole, e dunque in grado di giudicare correttamente l'oggetto osservato. La correttezza del giudizio non fa











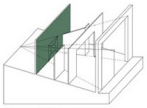


Fig. 3. Individuazione dei piani di profondità (elaborazione grafica delle autrici).

Fig. 4. Individuazione del centro di proiezione mediante simulazione del cono visivo nello spazio tridimensionale del modello (elaborazione grafica delle autrici.

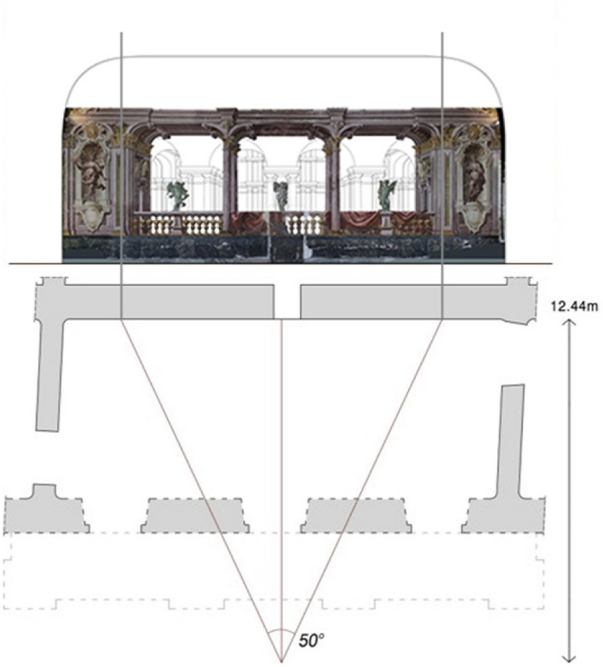
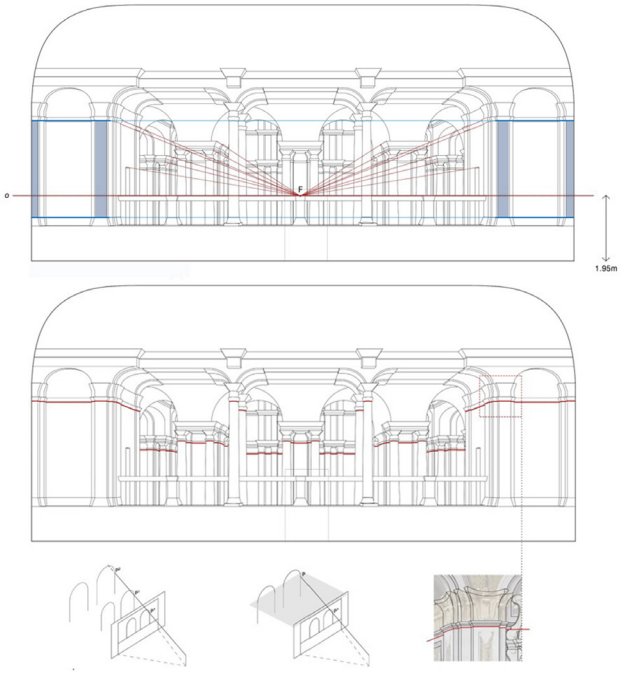
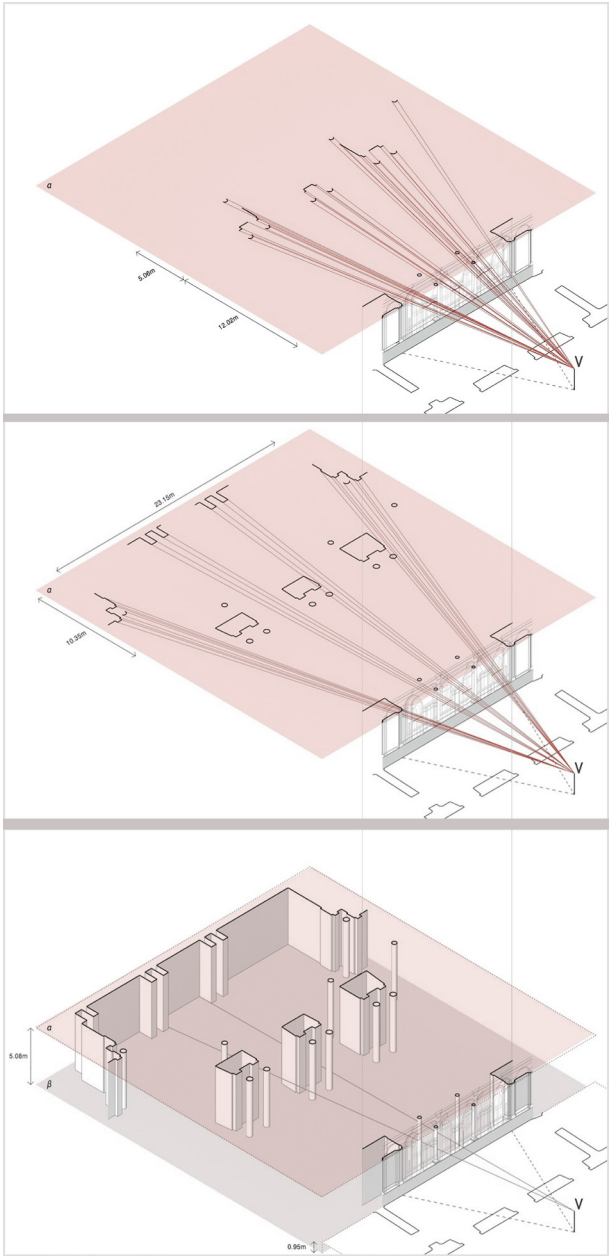


Fig. 5. Individuazione della retta di orizzonte, delle paraste coincidenti con il quadro prospettico e degli elementi orizzontali che si intendono collocati alla stessa quota (elaborazione grafica delle autrici).

Fig. 6. Proiezione degli elementi dipinti sul piano orizzontale per definirne la collocazione spaziale (elaborazione grafica delle autrici).





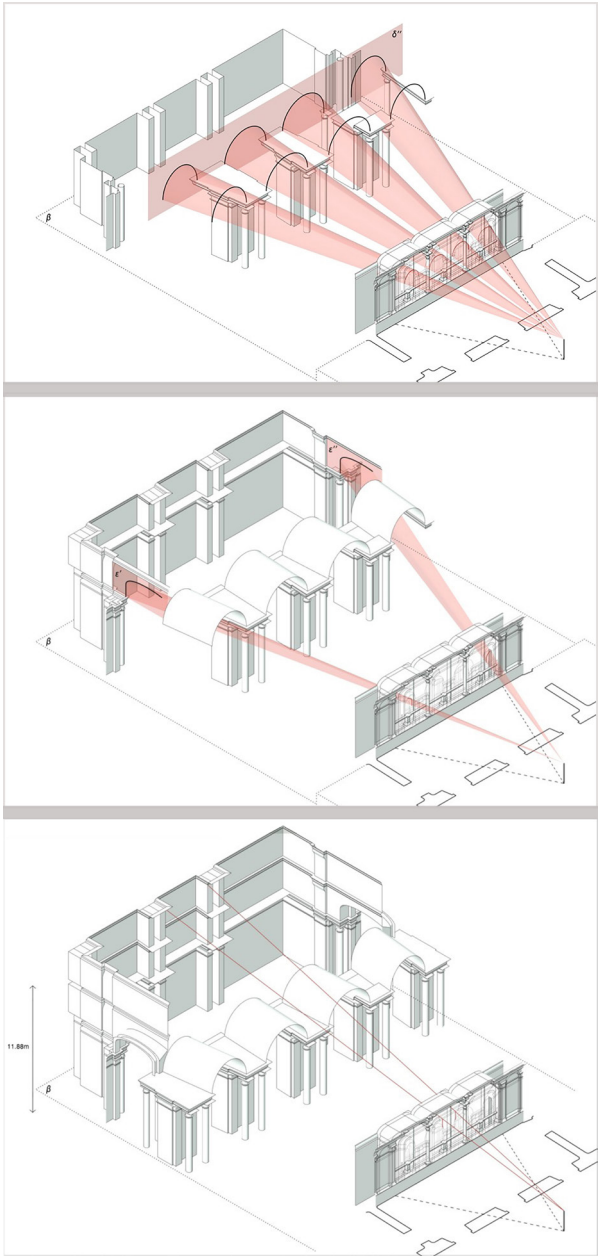
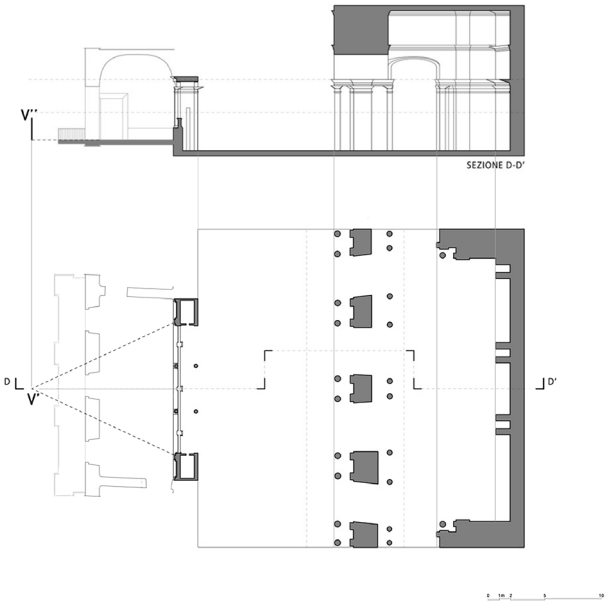


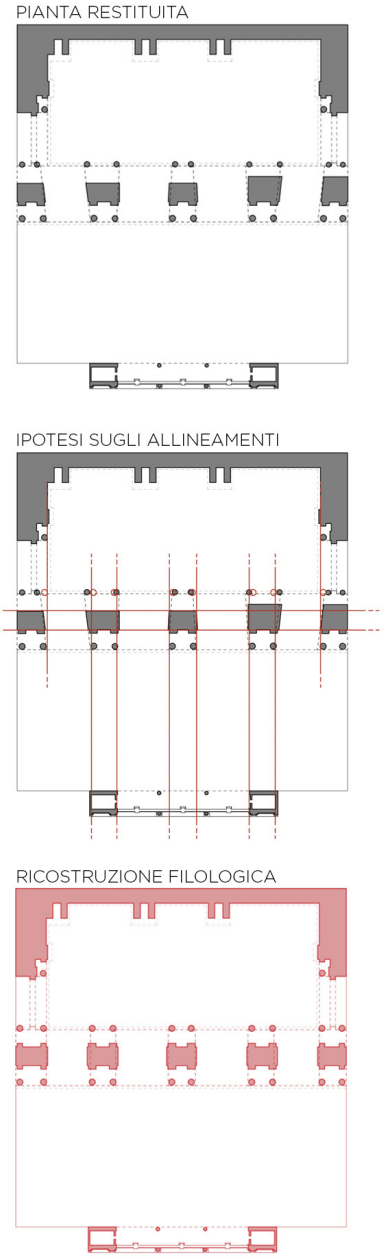
Fig. 7. Restituzione prospettica di ulteriori elementi architettonici dipinti attraverso gli allineamenti prospettici tra centro di proiezione, immagine prospettica e posizione spaziale coerente con gli elementi architettonici precedentemente restituiti (elaborazione grafica delle autrici).

scomparire la parvenza ma rimane come illusione [Basile 2018, p. 416], di cui si sottolinea il gioco che coinvolge l'osservatore nell'apprezzare l'illusione della parvenza sensoriale anche quando capisce che il presunto oggetto non è reale. La questione, dunque, della coerenza architettonica dello spazio dipinto con quello reale dell'architettura che lo incornicia è stata la posizione critico-interpretativa fondamentale del nostro approccio nella definizione di quegli elementi dipinti che potessero essere riconosciuti in relazione spaziale con i corrispondenti dello spazio fisico. Al fine di avere un modello tridimensionale che registrasse la forma e le reciproche collocazioni spaziali degli elementi fisici reali e di quelli dipinti in prospettiva, la sala è stata rilevata mediante restituzione fotogrammetria digitale eseguita con 165 foto, scattate con una camera Canon EOS 250 D, con sovrapposizione parziale del 70% elaborate poi con il software *Metashape,* scalata in base ai dati del rilievo diretto. È stato così predisposto un modello *mesh* poligonale texturizzato sul quale operare, nella modalità inversa della restituzione prospettica, mediante gli stessi processi proiettivi che hanno portato alla definizione delle forme architettoniche dipinte, spazializzando tali procedimenti nella tridimensionalità dell'ambiente digitale. Ottenute, dunque, le piante, le sezioni e l'ipografia della superficie voltata, è stato possibile lavorare sulla vera forma delle pareti dipinte (fig. 1). La presenza di una volta a padiglione affrescata illusoriamente in prospettiva zenitale ci ha spinto a collocarne il relativo centro di proiezione al centro della sala, ad un'altezza di 150 cm dal piano di calpestio; da tale posizione, le decorazioni illusorie proiettate sulla volta, che simulano uno sfondamento della superficie di copertura, forniscono all'osservatore la percezione che l'altezza delle pareti verticali sia maggiore di quella realmente disponibile nella sala. La simmetria della prospettiva architettonica dipinta sulla volta rispetto al punto di vista così determinato ha confermato la collocazione scelta, che d'altronde è quella tradizionalmente più usata dai pittori quadraturisti (fig. 2). La linea d'orizzonte è stata individuata mediante la convergenza delle rette che sono immagine prospettica di rette perpendicolari al

Fig. 8. Pianta e sezione dello spazio dipinto restituito dalla parete in posizione frontale rispetto alle finestre della sala (elaborazione grafica delle autrici).

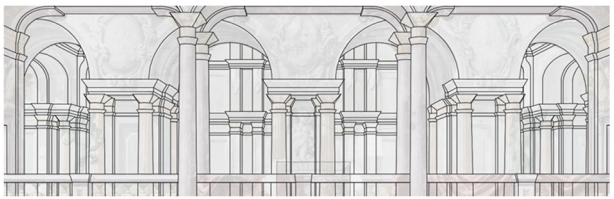
Fig. 9. Confronto tra la pianta restituita e la pianta ricostruita filologicamente, elaborata sulla base delle ipotesi relative alla logica spaziale sottesa al progetto prospettico dell'artista (elaborazione grafica delle autrici).

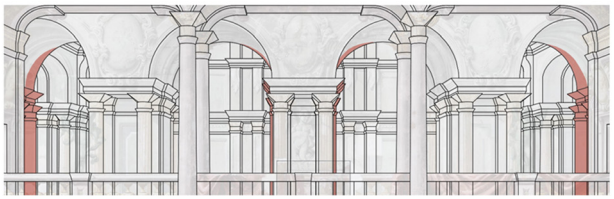




quadro; il punto V_0 cade, come prevedibile, lungo l'asse verticale di mezzeria della parete, all'intersezione con la linea superiore della balaustrata.
Il disegno diventa allora struttura, intesa nell'accezione più ampia del termine come l'insieme degli elementi che formano un sistema organico grazie ai rapporti di dipendenza reciproca. Se la struttura è quindi il complesso organizzato delle parti di un organismo, di una costruzione o di un sistema, considerati nei loro rapporti reciproci, il disegno prospettico delle quadrature diviene struttura di due spazi topologicamente difformi ma apparentemente collegati e uniformi. I diversi piani di profondità secondo i quali si articolano le file di colonne e di archi sono stati discretizzati, grazie a una lettura ispirata ai principi della scenografia teatrale coeva (fig. 3), secondo piani di profondità paralleli al quadro prospettico, ripercorrendo così la ricca tradizione dei bozzetti del XVII e XVIII secolo, di cui lo scenografo Vincenzo Re aveva profonda conoscenza e dai quali ha potuto certamente trarre ispirazione. La prima necessaria operazione per la restituzione della vera forma delle architetture dipinte è stata quella di completare l'individuazione dell'orientamento interno del riferimento prospettico e, dunque, la posizione del punto di vista *V*, che coincide con il centro di proiezione. Abbiamo

Fig. 10. Confronto tra l'immagine prospettica dipinta sulla parete della Sala e la corrispondente veduta del modello 3D, ottenuto dalla ricostruzione filologica e osservato dal medesimo punto di vista (elaborazione grafica delle autrici).





verificato che un osservatore al centro della stanza, posizione idonea per la prospettiva zenitale lungo la volta di copertura, non sarebbe invece capace di osservare, con un unico sguardo, l'intera parete corrispondente al lato lungo della sala a causa dei limiti fisiologici del cono visivo, stabiliti in letteratura in massimo 60°. Secondo i principi scenografici posti da Sebastiano Serlio [Serlio 1545], così come da molti altri trattatisti successivi, il punto di vista ideale di una scenografia, ovvero l'osservatore privilegiato (che coincide con il centro di proiezione dell'intero sistema prospettico), viene spesso collocato al di fuori dello spazio fisico dell'edificio teatrale, riducendo in tal modo l'effetto delle deformazioni prospettiche per gli osservatori più svantaggiati che si trovano in posizione laterale. Allo stesso modo, Vincenzo Re colloca il suo centro di proiezione al di là del muro perimetrale della sala, nello spazio adiacente. La posizione è stata individuata considerando che l'intera parete cade all'interno del cono visivo di 60° e che il solo spazio dipinto dal secondo piano di profondità in poi è contenuto in un angolo visuale di 50°. L'ipotesi è stata verificata mediante la collocazione di una telecamera digitale nel modello 3D della sala (fig. 4).
Sempre secondo una chiave interpretativa fondata sui principi della progettazione illusoria delle scene teatrali, è stata constatata la coincidenza dell'intera pianta prospettica lungo la retta d'orizzonte. Tale scelta deriva dalla tradizione teatrale, descritta da Ferdinando Galli Bibiena nel suo trattato del 1732, *Direzioni della prospettiva teorica corrispondenti a quelle dell'architettura, istruzione a' giovani studenti di pittura, e architettura nell'Accademia clementina dell'Instituto delle Scienze*, tavola n. 49, utile ad adattare le prospettive architettoniche alla bidimensionalità del telero dipinto che si poggia sul palco con una base rettilinea [Pagliano 2016]. Non essendo presente alcun elemento fisico con aggetto scultoreo dalla parete, come ad esempio paraste, modanature o capitelli, si è scelto di collocare il quadro prospettico in corrispondenza delle paraste in primo piano (fig. 5), che si ritengono, così, in vera forma e grandezza. A partire da tali elementi, è stato collocato un piano orizzontale all'altezza del collarino di tali paraste sul quale sono stati proiettati da *V* tutti gli altri collarini dipinti che simulano di trovarsi alla stessa quota, secondo una coerenza architettonica dello spazio dipinto (fig. 6). In accordo con tale ipotesi, la restituzione prospettica è stata eseguita eseguendo in ordine inverso la proiezione conica necessaria per la costruzione dell'immagine prospettica,

spazializzando in ambiente digitale quei processi geometrici tipicamente rappresentati nella bidimensionalità del foglio da disegno attraverso i metodi della Geometria descrittiva (fig. 7).
Con analogo procedimento è stata restituita la vera forma degli spazi dipinti sulle altre pareti della sala, ciascuno dotato di un proprio centro di proiezione, ma aventi tutti la stessa altezza, come si evince dalle rette di orizzonte di ciascuna parete che si trovano tutte alla medesima quota dal pavimento. Questo accorgimento geometrico ha infatti una ricaduta illusoria di grande efficacia poiché l'osservatore percepisce lo spazio dipinto come un sistema architettonico unico e coerente (fig. 8), uno spazio esterno concentrico a quello della Sala delle Guardie, che simula di circondare la sala da tutti e quattro i lati, visibile attraverso il filtro delle arcate dip1inte in primo piano.

Lo spazio rivelato e la sua fruizione aumentata

Le tecnologie dell'*Extended Reality* (XR) si stanno affermando come strumenti di primario interesse scientifico e applicativo nell'ambito della comunicazione del Patrimonio Culturale e sono ora ampiamente adottate in musei, siti storici e archeologici in tutto il mondo [Innocente et al. 2023] per offrire ai visitatori esperienze interattive e immersive [Casale 2018]. Tra queste, la Realtà Aumentata (*Augmented Reality* - AR) e la Realtà Virtuale (*Virtual Reality* - VR) sono due delle declinazioni più rilevanti, configurandosi come strumenti privilegiati non solo per la valorizzazione e la fruizione del patrimonio culturale in senso ampio, ma anche per l'analisi e l'interpretazione di architetture dipinte, come nel caso delle quadrature. I vantaggi della visualizzazione digitale interattiva vanno dall'accessibilità culturale e fisica all'interpretazione, al coinvolgimento e alla comunicazione inclusiva [Pagliano 2023]. L'interazione con spazi e oggetti virtuali contribuisce infatti alla promozione del patrimonio culturale e migliora la conoscenza del sito, stimolando *feedback* critici e conferendo una maggiore consapevolezza [Innocente et al. 2023].
La costruzione del modello tridimensionale derivato dalle operazioni di restituzione prospettica delle architetture dipinte nella Sala delle Guardie costituisce il punto di partenza per una riflessione più ampia sull'interazione tra spazio illusorio e tecnologie digitali. Uno degli aspetti più rilevanti emersi durante la modellazione è la necessità di ricostruire, al di là delle cornici architettoniche che delimitano la scena, uno spazio continuo e coerente: l'architettura dipinta, infatti, si pone in continuità con quella reale della Reggia ricalcandone lo stile, le partiture architettoniche e le proporzioni, nonché rispettando l'altezza delle imposte delle volte. Va specificato, però, che è stata necessaria un'attenta ricostruzione filologica dei grafici ottenuti dalla restituzione prospettica per rettificare una serie di incoerenze spaziali. In taluni casi, infatti, la pianta restituita si discostava da quella plausibile sul piano architettonico: ad esempio, un'impostazione trapezoidale della pianta dei pilastri, anziché rettangolare, contraddiceva la logica spaziale che il pittore con ogni probabilità aveva concepito secondo canoni e stilemi coerenti. Per questa ragione, lo spazio è stato "rettificato" laddove si riscontravano minori divergenze e incoerenze geometriche, incompatibili con una struttura funzionale e realizzabile (figg. 9, 10). Tale operazione si è resa necessaria poiché la quadratura, pur apparendo perfettamente regolare dal punto di vista prospettico, quando osservata da altri punti di vista avrebbe rivelato inevitabilmente aggiustamenti ottici e deformazioni funzionali all'illusione pittorica, ma impossibili da tradurre in struttura tridimensionale dotata di una logica. L'adozione di AR e VR, consentendo di variare liberamente il punto di osservazione e di "entrare" nello spazio, rende imprescindibile un modello privo di incongruenze strutturali: diversamente, l'utente percepirebbe distorsioni che, seppur legittime sulla parete dipinta, risulterebbero disturbanti e fuorvianti nell'esperienza immersiva.
Attraverso il posizionamento di camere virtuali, è possibile dunque abitare il modello come se fosse uno spazio reale (fig. 11), simulando l'esperienza dello spettatore storico e superandola, grazie alla possibilità di disancorarsi dal punto di vista privilegiato. La dimensione virtuale consente «di indagare lo spazio dell'ipotetico oltrepassando il punto di vista, unico e finito, della rappresentazione prospettica» [Pascariello 2005, p. 20]. La libertà di variare la posizione dell'osservatore ha reso di fatto necessario un ulteriore sforzo interpretativo finalizzato a una ricostruzione filologica delle parti non visibili dal punto di vista principale e, pertanto, non direttamente restituibili. È proprio in tali "sfori percettivi" – visibili solo da punti di osservazione non previsti dall'artista – che la possibilità di esplorare il modello tridimensionale virtuale si fa strumento critico e non solo esperienziale, permettendo di restituire la complessità progettuale sottesa all'illusione pittorica.

Fig. 11. Pianta del modello 3D derivato dalla ricostruzione filologica, integrato con le parti non visibili nel dipinto e ricostruite sulla base di ipotesi interpretative della logica spaziale (elaborazione grafica delle autrici).

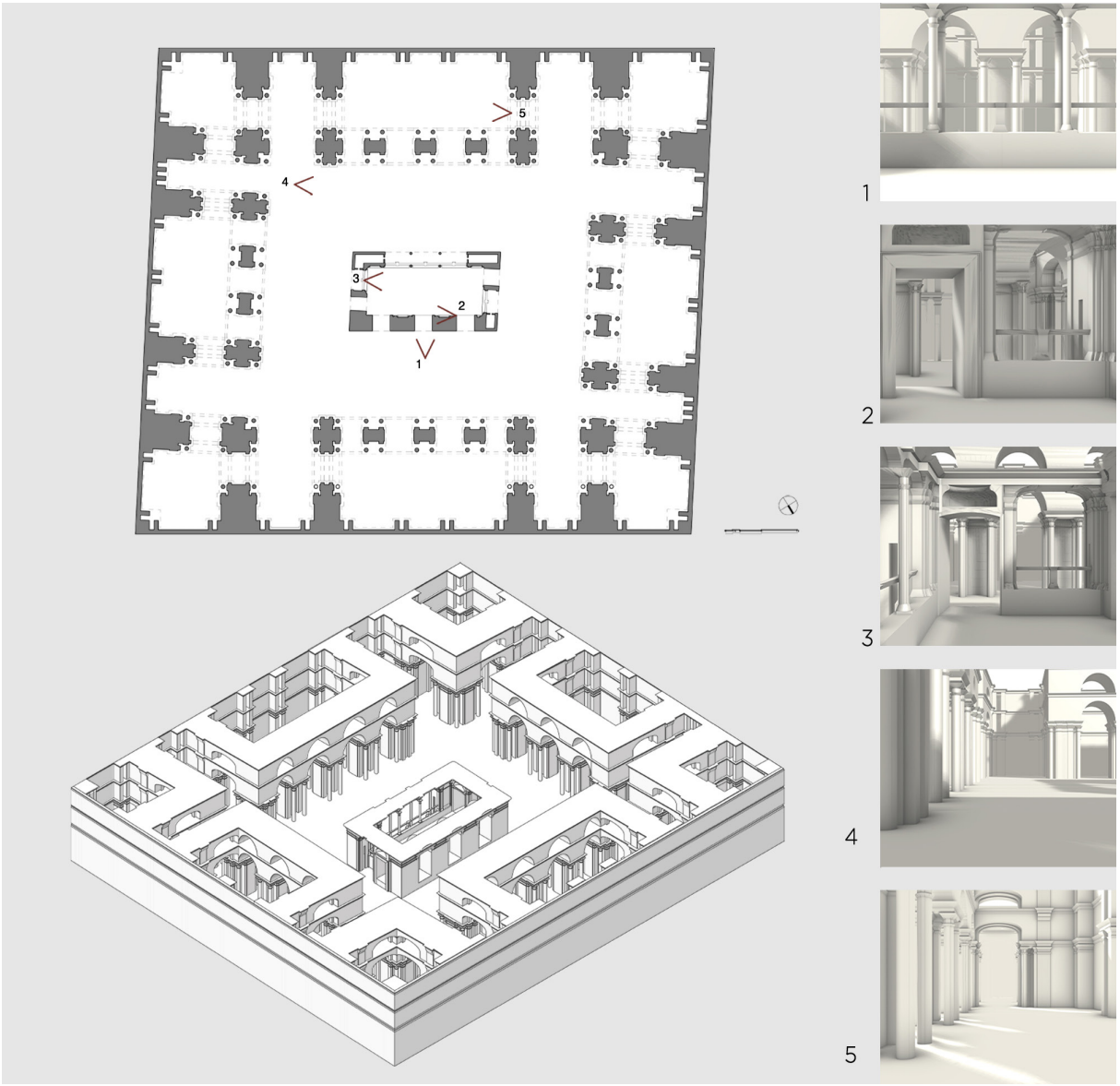


Fig. 12. In alto, un esempio di applicazione di Realtà Aumentata usando la quadratura stessa come target per l'attivazione dei contenuti digitali tramite la piattaforma ArtiVive. In basso, immagine panoramica a 360° ottenuta dal modello tridimensionale con il software Blender e impiegata per creare un video immersivo in VR, disponibile su YouTube (elaborazione grafica delle autrici).



La fruizione del modello tridimensionale può avvenire secondo due differenti modalità di interazione: la AR, che consente la sovrapposizione di elementi virtuali all'ambiente reale, arricchendone la percezione e l'esperienza, oppure la VR, che presuppone l'uso di un ambiente totalmente immersivo, isolando l'utente dal mondo fisico e "immergendolo" in un ambiente simulato esplorabile in prima persona. Entrambe le modalità fruitive incrementano la percezione sensoriale mediante informazioni aggiuntive rispetto a quelle percepibili direttamente. Inoltre, consentono un'interazione dinamica con il bene, lavorando sul coinvolgimento (*engagement*) e l'immersività [Zhou et al. 2022], nonché evidenziando la loro funzione quale strumento privilegiato di analisi e interpretazione dello spazio. In particolare, l'utilizzo dell'AR si rivela strategico per esplicitare in maniera diretta la relazione tra spazio reale e spazio dipinto, offrendo all'osservatore strumenti di interpretazione critica e consapevole. La AR consente infatti non solo di esplorare lo spazio pittorico restituito da differenti angolazioni, ma anche di mettere in discussione la stabilità percettiva della visione frontale tradizionalmente imposta dal punto di vista unico, analizzando e verificando ipotesi e configurazioni spaziali (fig. 12) mentre si è davanti all'opera dipinta.
Se la AR offre un'interazione solo parzialmente immersiva, la VR è invece la modalità capace di garantire il massimo grado di immersività, rappresentando un'integrazione avanzata tra tecnologia e percezione per offrire esperienze che superano i confini della realtà fisica [Camagni 2024, p. 137]. Il suo scopo principale è quello di riprodurre una condizione di presenza virtuale, ossia di generare negli utenti l'impressione di trovarsi realmente all'interno dell'ambiente digitale e di farne esperienza attraverso i sensi (la vista *in primis*, ma anche l'udito e talvolta il tatto). Nella sua versione più snella e di facile applicazione è sufficiente la creazione di una o più immagini sferiche a 360° del modello tridimensionale da allestire successivamente tramite app dedicate in forma di *virtual tour* (es. *Lapentor*) o di video immersivo (fig. 12), inserendo eventuali *hotspot* e contenuti multimediali aggiuntivi con i quali poter interagire.
L'integrazione del modello tridimensionale in ambienti AR – fruibili tramite dispositivi mobili – e VR – accessibili mediante visori immersivi, caschetti stereoscopici o altre periferiche dedicate – offre la possibilità di un'esplorazione stratificata: da un lato, il rispetto dell'esperienza visiva storica, ancorata al punto di vista originario, frontale e centralizzato; dall'altro, la macchina prospettica "svelata", articolata in più livelli percettivi, e "navigabile" da molteplici punti di vista che disvela limiti, rotture, ricomposizioni spaziali. AR e VR diventano strumenti di mediazione tra percezione e costruzione, tra ciò che è mostrato e ciò che è implicito, tra spazio reale e spazio possibile. Tale approccio consente allo spettatore di "entrare" nell'illusione prospettica concepita dagli artisti, rivelando al contempo i trucchi prospettici e le relazioni spaziali interne, nonché restituendo un'esperienza immersiva e una chiave di lettura critica dei processi geometrici di proiezione prospettica. La tecnologia digitale, in tal senso, si pone come estensione metodologica del disegno stesso, mettendone in luce la dimensione strutturale, proiettiva e conoscitiva e rivelando la complessità di uno spazio architettonico che è al contempo reale, dipinto e immaginato.

Conclusioni

La ricerca ha inteso mostrare come il disegno sia lo strumento privilegiato per indagare la struttura spaziale delle architetture illusorie dipinte nella Sala delle Guardie della Reggia borbonica di Portici. L'analisi geometrica delle quadrature dipinte ha permesso di riconoscere la coerenza del progetto illusorio rispetto allo spazio reale che lo accoglie, evidenziando al tempo stesso le libertà compositive concesse dall'assenza di vincoli statici e costruttivi. Il disegno assume un ruolo rivelatore: consente di svelare le regole e le deroghe che presiedono alla costruzione della profondità dipinta, restituendo l'armonia di un sistema in cui lo spazio architettonico reale e quello prospettico si integrano in un unico organismo. Le strutture individuate non solo rendono leggibile la logica del progetto, ma confermano la funzione del disegno come *medium* attraverso cui l'invisibile prende forma e diventa percepibile. Se nell'esperienza originaria l'osservatore era vincolato a un punto di vista determinato, le tecnologie digitali oggi consentono di superare tale limite. La restituzione e la ricostruzione tridimensionale in ambiente digitale, insieme alle potenzialità di AR e VR, apre a nuove possibilità di esplorazione critica e di fruizione ampliata del bene culturale, restituendo in chiave accessibile la complessità dello spazio illusorio e mettendo in evidenza la coerenza architettonica che lo sottende. Ne risulta che il disegno, inteso come strumento analitico e progettuale, non solo documenta e interpreta le quadrature barocche, ma le rende accessibili e leggibili rivelando la struttura nascosta che ne sostiene l'efficacia scenografica e spaziale.

Crediti

Le autrici ringraziano Dario Silvestri per le attività di rilievo digitale e di modellazione tridimensionale delle architetture restituite.
Sebbene l'articolo sia frutto di un lavoro di ricerca congiunto, Barbara Ansaldi è autrice dell'*Introduzione* e dei paragrafi *L'architettura come cornice degli spazi disegnati: il quadraturismo* e *lo spazio oltre i limiti fisici* e *Lo spazio rivelato* e *la sua fruizione aumentata*. Alessandra Pagliano è invece autrice del paragrafo *Il disegno come struttura dello spazio illusorio* e delle *Conclusioni*.

Autori

Alessandra Pagliano, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, pagliano@unina.it
Barbara Ansaldi, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, barbara.ansaldi@unina.it

Riferimenti bibliografici

Aterini, B. (2015). Il punto di vista 'dinamico' negli spazi architettonici di collegamento. La galleria dell'aurora a Palazzo Corsini. In M.T. Bartoli, M. Lusoli (a cura di). *Le teorie, le tecniche, i repertori figurativi nella prospettiva d'architettura tra il '400 e il '700*, pp. 427-436. Firenze: Firenze University Press. DOI: 10.36253/978-88-6655-884-2.

Basile, C. (2018). Illusione e Inganno: parvenza trascendentale e critica come katharsis in Kant. In *Con-Textos Kantianos. International Journal of Philosophy,* n. 7, pp. 410-426. DOI: 10.5281/zenodo.1299530 .

Camagni, F. (2024). *Esplorazione degli spazi illusori. La Sala dei Cento Giorni di Giorgio Vasari.* Roma: FrancoAngeli. <https://series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/view/1247/1349/6978> (consultato il 17 dicembre 2025).

Cardone, V. (2014). Un approccio innovativo allo studio delle prospettive architettoniche di Campania e Basilicata. In G.M. Valenti (a cura di). *Prospettive architettoniche. Conservazione digitale, divulgazione e studio,* vol. 1, pp. 49-59. Roma: Sapienza Università Editrice. <https://www.academia.edu/17994418/Prospettive_architettoniche> (consultato il 17 dicembre 2025).

Casale, A. (2018). *Forme della percezione dal pensiero all'immagine*. Milano: Franco Angeli.

<http://www.lapentor.com> (consultato il 18 gennaio 2026).

Innocente, C., Ulrich, L., Moos, S., Vezzetti, E. (2023). A framework study on the use of immersive XR technologies in the cultural heritage domain. In *Journal of Cultural Heritage*, n. 62, pp. 268-283, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207423001000> (consultato il 10 agosto 2025).

Mazzoleni, D., Pappalardo, U. (2004). *Domus, pittura e architettura d'illusione nella casa romana*. Verona: Arsenale Editrice.

Migliari, R. (2014). Le prospettive architettoniche: un ponte tra arte e scienza. In G.M. Valenti (a cura di). *Prospettive architettoniche. Conservazione digitale, divulgazione e studio*, vol. 1, pp. 1-4. Roma: Sapienza Università Editrice.

Migliari, R. (1999). *La costruzione dell'architettura illusoria.* Roma: Gangemi Editore.

Pagliano, A. (2016). Architecture and Perspective in the Illusory Spaces of Ferdinando Galli Bibiena. In *Nexus Network Journal,* n. 18, pp. 697-721, DOI: 10.1007/s00004-016-0295-7

Pagliano, A. (2023). Tecnologie digitali per l'accessibilità culturale del patrimonio museale: un progetto di valorizzazione inclusiva. In A. Pagliano (a cura di). *Comunicare il patrimonio museale. Tecnologie digitali per l'esperienza museale dei capolavori del MANN*, pp. 18-41. Napoli: FedOA Press.

Pascariello, M.I. (2005). *Oltre il punto di vista*. Firenze: Alinea Editrice.

Serlio, S. (1545). *I Sette libri dell'architettura*, Libro II. Parigi: Jean Barbé.

Visone, M. (2019). Palazzo Reale di Portici. In A. Castagnaro (a cura di). *Passeggiando per la Federico II*, pp. 149-153. Napoli: FedOA Press.

Zhou, Y., Chen, J., Wang, M. (2022). A meta-analytic review on incorporating virtual and augmented reality in museum learning. In *Educational Research Review*, vol. 36. DOI: 10.1016/j.edurev.2022.100454.

Disegnare la struttura.
Codici, metodi e strumenti

Quale struttura

Luigi Cocchiarella

Introduzione

La ricerca e le applicazioni della rappresentazione grafica riguardano ampiamente il "disegno" della forma. La forma è infatti il riferimento forte, l'attrattore verso cui i processi di acquisizione di conoscenza e di generazione progettuale sono destinati a convergere. Meno evidente è talora il lavoro sulla struttura, che pure quella forma sosiene, vuoi perché la si ritiene in certa misura scontata e meno rilevante rispetto ai corrispondenti esiti formali, vuoi perché resta celata dietro un certo riserbo intellettuale, non sempre ingenuo. Il tema dei codici, dei metodi e degli strumenti adottati nel lavoro sulla struttura, mostra dunque interessanti margini di approfondimento. Ma quale struttura?
Il temine ha una valenza generalissima, tuttavia, con specifico riferimento all'architettura, lo si può intendere in rapporto alla dimensione spaziale, e dunque alla Geometria come struttura di controllo di tale dimensione attraverso la Rappresentazione. Lo spazio architettonico è a sua volta un sottoinsieme particolare dello spazio astratto, sia in termini dimensionali sia in termini sostanziali. La prima limitazione è banale, dato che, per quanto la definizione di architettura proposta da William Morris abbia investito di potenziale connotazione architettonica l'intera crosta terrestre, quest'ultima è pur sempre un campo limitato rispetto all'estensione teorica del puro spazio geometrico. La seconda richiede qualche riflessione in più, dacché lo spazio architettonico, ancorché dotato di caratteristiche geometriche, non è uno spazio puramente metrico, essendo qualificato dalla presenza umana. Si tratta piuttosto

Articolo a invito per inquadramento del tema del focus, non sottoposto a revisione anonima, pubblicato con responsabilità della direzione.

 BY-NC-ND

di uno spazio esistenziale, come ha ben chiarito Christian Norberg-Schulz nel fondamentale saggio *Genius Loci* [Norberg-Schulz 1998]. E tuttavia, pur con queste limitazioni, il campo d'indagine permane ampio. Ne offre fra gli altri un convincente esempio Renato De Fusco nel delizioso libello *Architecturminimum* [De Fusco 2010]. Nel capitolo dedicato allo "spazialismo", egli pone a confronto la posizione di Bruno Zevi, per il quale sarebbe da escludere dal campo architettonico tutto ciò che non abbia spazio interno fisicamente fruibile, con l'opinione meno radicale e più inclusiva di August Schmarsow, che basandosi sulla considerazione delle relative valenze intellettuali e spirituali, ammette che anche costruzioni inaccessibili possano legittimamente considerarsi architettura. Convince non poco, al riguardo, l'esempio del tempio greco [De Fusco 2010, pp. 46-51]. L'accettazione di questo assioma amplia enormemente lo spettro delle configurazioni di interesse per la ricerca geometrica in architettura, e risulta, come vedremo, in qualche modo in linea con gli esiti restituiti dall'intelligenza artificiale nel merito. Del resto, già Erwin Panofsky, nell'epocale saggio *La Prospettiva come "forma simbolica"*, aveva teorizzato l'unità spaziale fra architettura e plastica scultorea, evidenziando altresì il ruolo decisivo che tale concezione avrebbe avuto sullo sviluppo della prospettiva in pittura [Panofsky 1985]. E per estensione, potremmo aggiungere, delle forme proiettive della rappresentazione quali dispositivi privilegiati nel controllo delle strutture geometriche per via grafica, la cui validità è vieppiù confermata, e non solo in architettura, nell'era della visualizzazione e simulazione digitale.

Presenza latente

Il nesso inscindibile che lega la forma alla struttura è immediatamente evidente, fin dalle prime sperimentazioni prospettiche, manifestando principalmente nella sinopia il sostegno latente, essenziale e strutturante la composizione pittorica (fig. 1). Lo stesso Piero Della Francesca, fra i più sensibili iniziatori, raccomanda di definire per prima l'ossatura prospettica, il *pattern* configurativo che sarà poi rivestito dal pigmento che esprimerà la forma finale visibile. Una prassi sopravvissuta all'era analogica e ripresa in ambito digitale sotto forma di rapporto fra modellazione *wireframe* o *mesh* della struttura geometrica quale base per la definizione in *rendering* delle qualità materiali apparenti.
Il concetto di struttura si è nel tempo precisato soprattutto in ambito linguistico, dove a partire dal primo decennio del

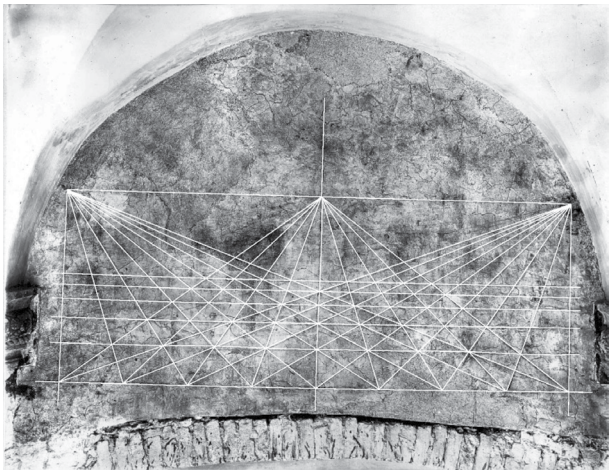


Fig. 1. Paolo Uccello, sinopia della Natività di Gesù (1446): <https://catalogo.beniculturali.it/detail/HistoricOrArtisticProperty/0900285185> (consultato il 5 dicembre 2025). (Elaborazione grafica dell'autore).

Novecento prende a identificare un ambito di studi noto come Strutturalismo. È ancora Renato De Fusco ad avvertire che in questo campo entrano in gioco le basilari nozioni di "organizzazione" e "astrazione" [De Fusco 2010, pp. 66-70]. Nelle ultime due decadi del Novecento tale teoria ha avuto riscontri sperimentali anche sul piano cognitivo. Grazie alle ricerche condotte in quegli anni al Massachussets Institute of Technology dalle studiose Susan Carey e Nancy Soya sul linguaggio dei bambini di meno di tre anni di età, emerse che l'apprendimento lessicale e sintattico infantile rivelerebbe l'esistenza di strutture mentali ricorrenti, che al di là della specifica lingua parlata, indurrebbero a rivedere almeno in parte il principio dell'arbitrarietà linguistica sostenuto da Willard Van Orman Quine. È curioso rilevare che tale significativo contributo allo sviluppo di una nuova Teoria della mente basata sul riconoscimento di strutture cognitive, emergesse proprio in concomitanza con una certa stanchezza della corrente strutturalista in architettura, ormai in via di abbandono a causa del suo astratto determinismo [Cocchiarella 2012, pp. 103-117]. D'altra parte, sull'onda lunga del pensiero einsteiniano resisteva la consapevolezza che l'intero mondo fisico si caratterizzi come struttura. E ben presto, il *world wide web* avrebbe mostrato avrebbe mostrato anche il potenziale il potenziale delle strutture informative. In un certo senso, la parabola novecentesca e i successivi sviluppi del Neo-strutturalismo agli albori del nuovo millennio, hanno rivelato una sostanziale coerenza strutturale, fra i livelli del pensiero, della realtà, e delle rappresentazioni, che Karl Popper identifica come altrettanti mondi, dei quali quello delle rappresentazioni, al quale nel nostro caso riferiamo il Disegno, costituirebbe l'anello di raccordo, nelle sue parole un vero e proprio "terzo mondo". Una esplicitazione rivoluzionaria rispetto al dominante dualismo platonico in voga nel mondo occidentale, fatto salvo l'avvertimento implicito nel Mito della Caverna. Con riferimento all'architettura, il concetto di struttura, nei termini sintetici riferiti da De Fusco, ci porta quindi oltre il visibile. In tal senso, esso identificherebbe l'organizzazione configurativa che definisce l'essenza l'essenza di un dato spazio di un dato spazio o di una data categoria di spazi.

Warning biografico

Chi scrive si è formato proprio nella seconda metà degli anni Ottanta del Novecento, periodo in cui l'approccio strutturalista era stato pienamente recepito in alcune facoltà (così si chiamavano allora) di Architettura delle Università italiane. Indiscussa anticipatrice e promotrice, presso l'Ateneo napoletano Federico II operava in quegli anni Anna Sgrosso, docente di Disegno e Rilievo e di Fondamenti di Geometria Descrittiva, fra le prime a sperimentare interpretazioni grafiche di tipo analogico volte a evidenziare, mediante appropriate letture "in trasparenza", la struttura geometrica degli spazi architettonici, resa evidente una volta alleggeriti visivamente delle masse murarie nella rappresentazione [Sgrosso 1984]. Al netto della pur notevole fascinazione estetica delle inusuali immagini risultanti, rese ancor più chiare e avvincenti dall'impiego di retini colorati traslucidi applicati su basi di acetato per evidenziare le superfici generatrici essenziali, l'apporto cognitivo di tale approccio, che consentiva di mostrare e leggere gli spazi architettonici contemporaneamente "dall'esterno" e "dall'interno" grazie alle studiate trasparenze grafiche e cromatiche, lasciò un'eredità di fondo indelebile negli "allievi architetti" (così ella ci definiva) di quegli anni. Aspetto ancor più rilevante, tali applicazioni rivelavano in modo diretto quell'interazione fra astrazione e organizzazione che indicavamo come il fondamento del concetto stesso di struttura. Mostrando l'azione delle strutture geometriche (astratte) nella configurazione degli spazi fisici (specifici) rappresentati, veniva altresì ad affievolirsi, naturalmente, la percezione di un divario fra la teoria e la prassi, ostacolo solitamente difficile da superare in sede didattica. Tale visione, condivisa a livello interdisciplinare, portò alla istituzione di un Dipartimento che nel nome stesso la promuoveva, precisamente il Dipartimento di Configurazione e Attuazione dell'Architettura. Il tema configurativo veniva così ripreso nelle discipline del progetto in chiave pre-figurativa e, in generale meta-progettuale, e assunto quale fondamento rilevante nell'eleborazione del progetto (fig. 2).

Continuità sostanziale

Tali sperimentazioni risultarono tra l'altro in linea con le forme della rappresentazione digitale, in particolare di tipo vettoriale, allora emergenti con la prima ampia diffusione dei personal computer, e conseguentemente dei programmi *softwar*e per il disegno e la modellazione digitale.. L'affinità più evidente riguardava appunto, di nuovo, la relazione fra la struttura e la forma. Le linee nascoste del disegno tradizionale evidenziavano ora linee, superfici e volumi nascosti nel modello digitale, in quanto componenti del suo

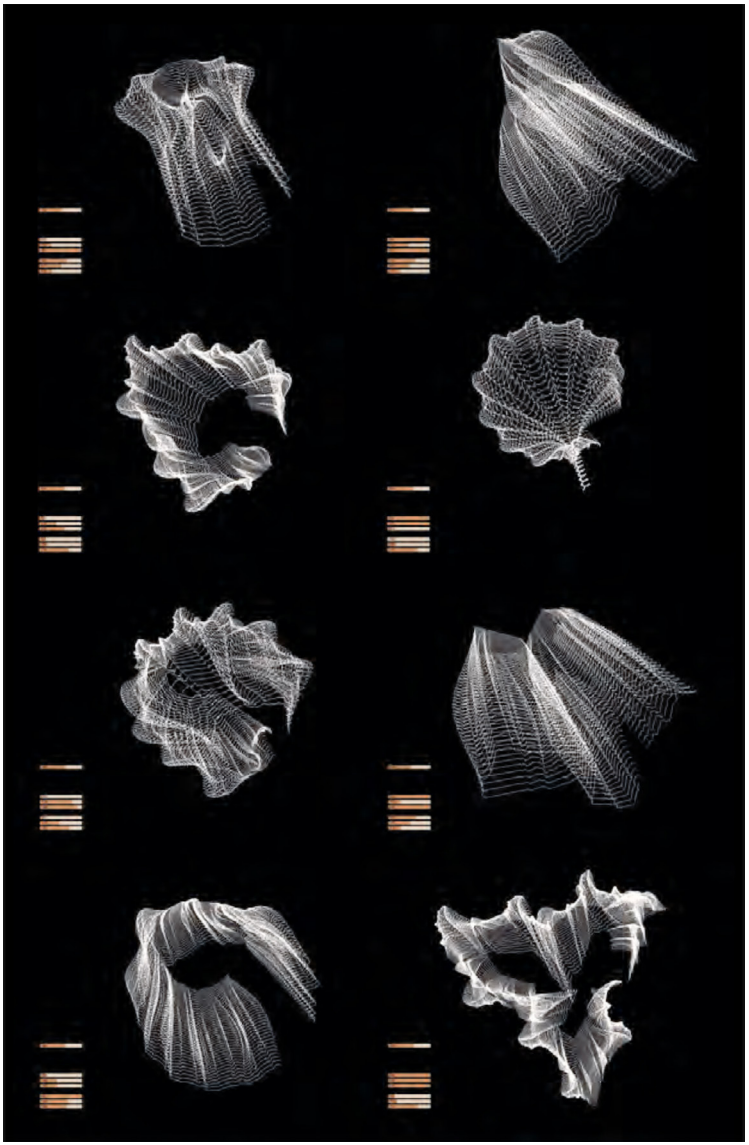


Fig. 2. Variazioni parametriche basate sulla medesima struttura geometrica. Benjamin Dillenburger, Hua Hao (ETH). Da: Cornelie Leopold, Università Tecnica di Kaiserslautern (Eds.). (2013). A hermit's cabin: [Erasmus intensive programme, Kaiserslautern]. Kaiserslautern: Technische Universität, p. 31.

scheletro geometrico-strutturale, successivamente occultate dai *pattern* di renderizzazione nelle fasi più avanzate della modellazione tridimensionale.
Nella sostanza, la rappresentazione grafica per via digitale confermò ulteriormente la validità del concetto di struttura, sia con riferimento alla forma dello spazio architettonico, sia con riferimento alle forme della sua rappresentazione. In merito al primo punto, la modellazione cosiddetta 3D richiedeva infatti la costruzione completa, in ambiente *softwar*e, dell'intero spazio architettonico ovvero di ogni suo angolo o dettaglio, e non solo di alcune sue proiezioni, o "viste", secondo il nuovo modo di dire. In tal senso si generavano veri e propri modelli, successivamente visualizzabili come immagini da ogni possibile angolazione: avevamo definito questa nuova fattispecie come modello-immagine, del tutto opposta alla fattispecie analogica dell'immagine-modello, consistente in un certo numero di viste dalle quali desumere, ma solo indirettamente, per deduzione mentale, la reale forma dello spazio [Cocchiarella 2006, pp. 183-197]. Tale inedita modalità, fino ad allora sperimentata soltanto nella costruzione di *maquette*s fisiche, richiedendo la preliminare costruzione del modello geometrico schematico, ovvero astratto, dello spazio indagato, basato sulla considerazione dell'organizzazione complessiva delle parti, non consentiva di prescindere dalla identificazione della sua struttura. In merito al secondo aspetto, la coerenza unitaria del modello ne permetteva molteplici visualizzazioni simultanee, ciascuna nella propria area grafica o *viewport*, aggiornandosi in sincrono con tutte le altre ad ogni modifica di forma o posizione operata sul modello stesso. In altre parole, l'e*diting* del modello implicava l'automatica rigenerazione e la coerente e simultanea riorganizzazione delle viste. Ciò a riprova della valenza strutturale della stessa forma proiettiva, indipendentemente dalla sua declinazione secondo i regimi conico o cilindrico. Volendo generalizzare, la struttura dello spazio si palesava non solo nei campi euclideo e proiettivo, ma anche nella loro corrispondenza.
Ciò produsse una profonda mutazione del codice espressivo, diciamo pure un ampliamento di campo rispetto alle statiche figure semiologiche classiche, quali la pianta, la sezione, l'assonometria, la prospettiva, tramutate ora in estemporanee e provvisorie riprese, generate a partire da un modello anch'esso potenzialmente in perenne trasformazione, all'interno di uno spazio operativo dinamico, che assumeva i connotati di una vera e propria scena digitale.

Attivata la corrispondenza fra spazio fisico e spazio digitale, le strutture geometriche controllabili tramite *softwar*e travalicarono ben presto i campi euclideo e proiettivo, estendendosi ad altri ambiti. A ben vedere infatti, lo stesso linguaggio di programmazione alla base delle elaborazioni visuali poggiava su una struttura logica di tipo matematico, per sua natura ampiamente declinabile. Fra le estensioni di campo più interessanti vi è quella riguardante le strutture topologiche e la loro gestione per il tramite di curve e superfici NURBS [Ciammaichella 2002; Brevi 2004]. L'aspetto più sorprendente per gli utenti allora abituati alle classiche divisioni disciplinari fu senz'altro la pressoché totale assenza di soluzione di continuità nel passaggio fra i campi euclideo, proiettivo e topologico, aprendo la via a una intensa stagione di sperimentazioni progettuali basate sul *morphing*, rendendo ancor più pregnante il senso del rapporto fra struttura e forma, ovvero della relazione fra organizzazione, astrazione e forma, per richiamare le nozioni precedentemente introdotte. Lo stesso Strutturalismo architettonico visse una nuova stagione, avvalendosi dei nuovi strumenti e procedimenti per mettere a frutto quanto precedentemente sperimentato per via analogica, proponendo nuovi avanzamenti da un fronte operativo presto identificato, dicevamo, come Neo-strutturalista (fig. 3).

Visualità e oltre

Un'altra interessante novità "stilistica" riguardò la possibilità, traducendo *sub-specie* digitale il portato cartesiano, di collegare in modo agile e interattivo strutture numeriche e grafiche, dunque di disegnare con i numeri e di generare numeri mediante il disegno. Come previsto da Michael Foucault e successivamente rilevato da Régis Debray, il digitale stava progressivamente spostando i piani dell'elaborazione sul registro visuale. Nuove interfacce grafiche permisero di programmare, entro certi limiti, operando su strutture a grafo molto intuitive piuttosto che attraverso i tradizionali codici del linguaggio macchina. Con riferimento al tema della "struttura rivelata" è questo forse il passaggio più innovativo, dacché attraverso l'introduzione e la repentina massiccia diffusione del *visual programming*, la struttura stessa del pensiero spaziale veniva allo scoperto, mettendone in chiaro il processo generativo. Siamo quindi alla modellazione parametrica, un approccio che al pari dell'astrazione teorica consente di agire sull'organizzazione genetica delle configurazioni, e di dare origine a pressoché qualsivoglia esito

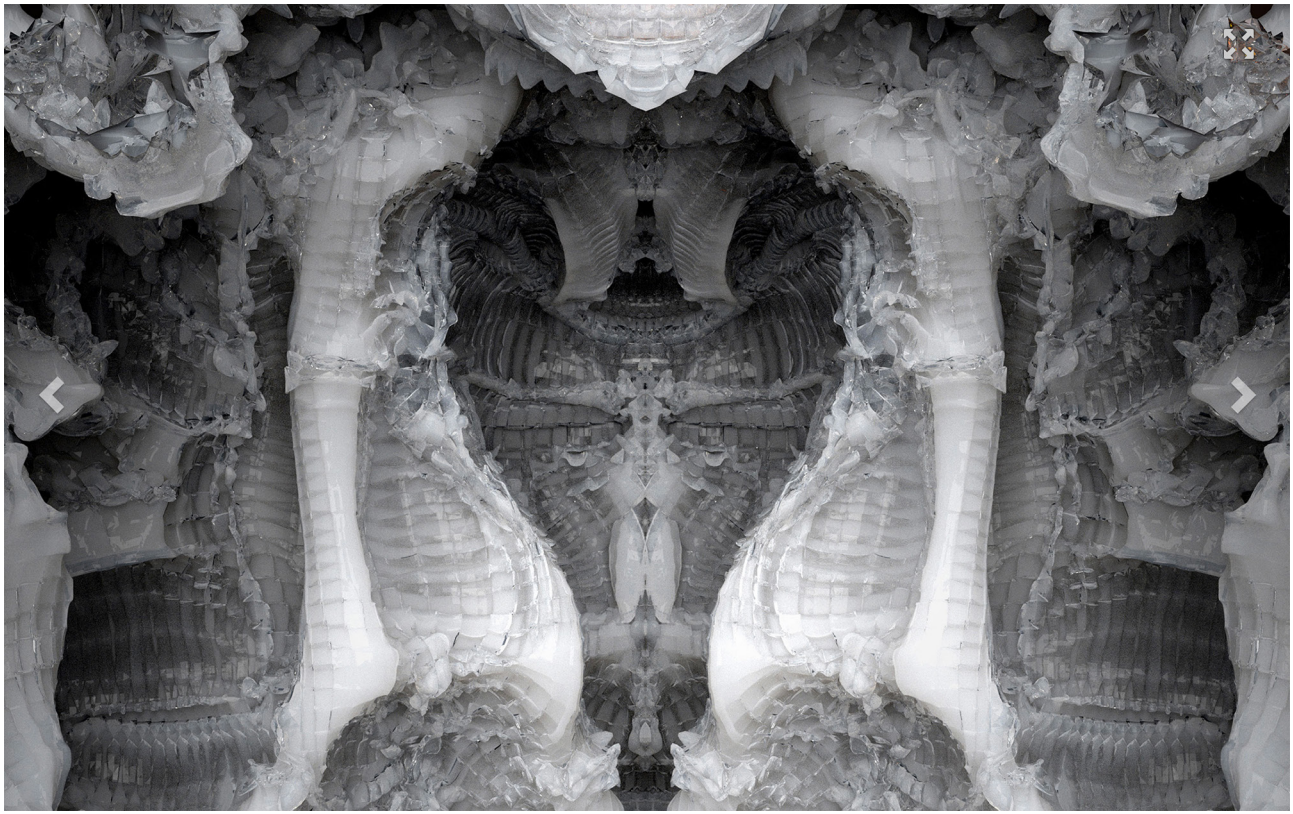


Fig. 3. Digital Grotesque I (2013). Michael Hansmeyer con Benjiamin Dillenburger: <https://michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-1> (consultato il 5 dicembre 2025).

formale coerente con quella struttura, insomma di operare sui genotipi geometrico-spaziali alla base della molteplicità dei relativi fenotipi formali ottenibili. Un tale sodalizio contribuisce a mostrare sotto nuova luce il rapporto fondativo tra *logos* e *graphè* [Ugo 1984].
Fin qui le novità riguardanti il controllo delle proprietà geometriche dello spazio architettonico e l'avvio di nuove modalità operative riferibili all'ambito del *computational design*. Gli ulteriori sviluppi nella modellazione parametrica hanno successivamente consentito di aggiungere ulteriori attributi informativi, di tipo non geometrico, alle configurazioni. A ben vedere la stessa renderizzazione segna un primo passo in questa direzione, sebbene ancora su un piano squisitamente visuale, superando l'asciuttezza delle elaborazioni offerte dai primi sistemi CAD, sviluppati a partire dal monumentale *Sketchpad* messo a punto da Ivan Sutherland. L'integrazione di ulteriori parametri informativi, visuali e non visuali, ha gradualmente ampliato la consistenza semantica delle elaborazioni modellistiche, inducendo dapprima a pensarle in termini di oggetti digitali e infine come veri e propri cloni digitali. Delle tre componenti della rappresentazione, geometrica, grafica e informativa, anche quest'ultima viene così progressivamente assorbita nel corpo del modello e con esso interagisce, assumendo a tutti gli effetti lo statuto di operatore attivo [Hemmerling, Cocchiarella 2018]. Tant'è che l'acronimo BIM (*Building Information Modeling*) si riferisce non tanto al processo di costruzione dello spazio quanto alla modellazione delle informazioni. E pur tuttavia la struttura geometrica si conferma quale impalcatura essenziale, senza la quale gli altri apparati informativi permarrebbero sostanzialmente allo stato di liste di dati. D'altra parte, l'interazione con sempre più sofisticate varietà di informazioni, tende a rendere la struttura più "sensibile" alle specifiche caratteristiche organizzative e costitutive della forma compiuta. In tal senso, almeno in linea teorica, ciascun *set* di parametri, isolatamente o in sinergia con altre tipologie di dati, può incidere sulla struttura, attivando mutazioni che in qualche misura ricordano i meccanismi evolutivi della natura (fig. 4).

Nuove posture

Ritorniamo quindi al tema iniziale, nel senso che tale arricchimento semantico risulta in linea con un'idea di struttura intesa come dispositivo che recepisca anche aspetti di natura non metrica, in quanto caratterizzanti lo spazio esistenziale e la vitale pregnanza delle sue configurazioni reali. Alla gestione di questo ulteriore livello di complessità contribuisce il passaggio dalla modellazione alla simulazione, che nelle versioni più sofisticate e innovative può giungere alla prefigurazione di veri e propri scenari, in cui pure il parametro temporale è incorporato nella struttura fondativa. Il contesto più idoneo per questo tipo di rappresentazioni è senz'altro l'ambiente *gaming*, che vanta un collaudo "ludico" ormai più che quarantennale e offre oggi "serie" basi operative per simulazioni spaziali complesse.
Ad esso le tecnologie basate sulla realtà virtuale forniscono nuove possibilità di fruizione, in ambienti più o meno ibridi, ridefinendo il gradiente delle relazioni fra realtà fisica e dimensione puramente digitale. La postura uomo-tastiera-schermo di cui parla Alessandro Baricco nel saggio *The Game* [Baricco 2018], e che ha dominato per varie decadi l'era digitale, è in questo caso sostituita da posture più libere, vincolate ai dispositivi aptici. Si tratta di una sorta di rivoluzione copernicana nell'universo digitale, non più confinato, "esso", oltre lo schermo, ma circondati, "noi", dalle sue strutture cross-mediali, laddove la dimensione visiva si integra ad altre percezioni sensoriali. Si tratta anche qui, e a maggior ragione, di uno spazio strutturato, la cui articolazione geometrica, ancorché non direttamente percepibile, sorregge dinamicamente componenti semantiche che travalicano la pura organizzazione metrica.
L'interazione con questo nuovo ambiente, in parte fisico e in parte digitale, per il quale è coniato il neologismo *phygital*, può essere variamente programmata, fino a raggiungere soglie di interazione molto realistiche con il supporto dell'intelligenza artificiale.
Anche nell'ambito dell'intelligenza artificiale si è infatti verificato un rivoluzionario progresso, segnatamente quello riassumibile nel passaggio dal "sistema intelligente" all'"agente intelligente" [Cocchiarella 2025, pp. 44-51]. Se l'intelligenza artificiale del primo tipo si alimentava di informazioni preventivamente codificate dall'operatore e conformi ai codici linguistici correnti, i nuovi dispositivi tendono a imitare i processi mentali umani, prelevando autonomamente e direttamente *input* dai contesti reali attraverso apparati sensoristici propri, senza alcuna preventiva mediazione linguistica. Tecnicamente, nei processi di *machine learning* di nuova generazione interagiscono codici simbolici e meccanismi sub-simbolici e



Fig. 4. Torri, della serie AI x Future Cities. Courtesy of Manas Bhatia. Da: ARTRIBUNE, <https://www.artribune.com/progettazione/architettura/2022/12/intelligenza-artificiale/> (consultato il 5 dicembre 2025).

l'elaborazione procede quindi sia per via parametrica che non parametrica, apprendendo dal contesto e reagendo ad esso adattandovisi talora in modi del tutto imprevedibili (fig. 5). Quanto alla natura dei processi in atto, la combinazione tra elaborazione stocastica e statistica aggiunge potenziale analitico e generativo, si tratti di "sistema" o di "agente" operatore. Non stupisca quindi, chela maggiore autonomia mostrata dall'intelligenza artificiale rispetto alle precedenti espressioni della tecnologia digitale induca a considerarla come vero e proprio *partner* o copilota, piuttosto che come mero strumento operativo.

Conclusione… aperta

L'arricchimento semantico che caratterizza i più avanzati processi di generazione e gestione della rappresentazione dello spazio architettonico rivela quindi un incremento di sincretismo nell'assortimento dei suoi fondamenti strutturali, gettando nuova luce sulle nozioni di organizzazione e astrazione, che ponevamo alla base del concetto stesso di struttura. Una struttura che, almeno per quanto riguarda l'ambito architettonico, sembra tendere nuovamente alla forma fin quasi a coincidere con essa, più precisamente al clone digitale della forma. Si tratti di forma prefigurata o rilevata. Nell'una e nell'altra ipotesi i pur formidabili esiti sembrerebbero a prima vista alimentare l'incubo evocato da Jorge Luis Borges con il paradosso della Mappa dell'Impero prodotta dal Collegio dei Cartografi, estesa quanto l'Impero stesso e dunque inutilizzabile. Nel nostro caso, tuttavia, non si tratta di cloni statici tracciati su fogli indeformabili, bensì di ambienti interattivi, predisposti per continuare a funzione come modelli operabili anche dopo aver raggiunto il desiderato assetto, che rimane aperto a ulteriori mutazioni formali e, cosa per noi più rilevante, a ulteriori evoluzioni, anche auto generative, dell'impianto strutturale profondo, inteso in tutta la sua ricchezza semantica [Hovestadt et al. 2020; del Campo 2024].
Potremmo in conclusione affermare che l'abbondanza del digitale, aggiungendosi e integrandosi all'abbondanza della natura, ci riporti in qualche misura a una soglia di quasi-nuova-origine, che richiede una rinnovata attitudine, viene da dire quasi filosofica, a interrogare, con l'aggiuntivo ausilio di appropriati *prompt*, testuali o iconici, il campo così ampliato dei contesti architettonici reali, per gestire le nuove potenzialità e complessità semantiche che caratterizzano la modellizzazione delle strutture sottese allo spazio esistenziale.



Fig. 5. DeVain, pubblicità Valentino 4/12/2025 generata con l'AI. Da: <https://video.corriere.it/video-virali/-inquietante-e-surreale-la-pubblicita-valentino-generata-con-l-ia-finisce-nel-mirino-dei-social/417470a0-238a-471d-a979-84704af24xlk> (consultato il 5 dicembre 2025). (Elaborazione grafica dell'autore).

Crediti e ringraziamenti

Desidero ringraziare il prof. Pierfranco Galliani per la disponibilità al confronto sul tema e per la segnalazione della fonte utilizzata per la figura 5.

Autore

Luigi Cocchiarella, Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura e Studi Urbani, luigi.cocchiarella@polimi.it

Riferimenti bibliografici

Baricco, A. (2018). *The Game*. Torino: Einaudi.

Brevi, F. (2004). *Il design delle superfici: i modelli digitali per il disegno industriale*. Milano: Poli.design.

Ciammaichella, M. (2002). *Architettura in Nurbs: il disegno digitale della deformazione*. Torino: Testo & Immagine.

Cocchiarella, L. (2025). Geometry as a persisting backbone metalanguage in architecture. In *Tribelon*, n. 2, pp. 44-51.

Cocchiarella, L. (2012). Eine Bestätigung: Geometrische Ansätze des aktuellen Strukturalismusdiskurses in der Architektur. In J. Medina Warmburg, C. Leopold (Eds.). *Strukturelle Architektur. Zur Aktualität eines Denkens zwischen Technik und Ästhetik*, pp. 103-117. Bielefeld: transcript Verlag.

Cocchiarella, L. (2006). Geometry and Graphics in Spatial Invention: Among Mind, Hand, and Digital Means. In *Journal for Geometry and Graphics*, vol. 10, n. 2, pp. 183-197.

De Fusco, R. (2010). *Architecturminimum. Le basi dello storicismo, strutturalismo, semiotica, ermeneutica & altre teorie*. Napoli: CLEAN.

Del Campo, M. (Ed.). (2024). *Artificial Intelligence in Architecture*. Hoboken: John Wiley & Sons.

Hemmerling, M., Cocchiarella, L. (Eds.). (2018). *Informed Architecture. Computational Strategies in Architectural Design*. Cham: Springer International Publishing.

Hovestad, L., Hirschberg, U., Fritz, O. (Eds.). (2020). *Atlas of Digital Architecture: Terminology, Concepts, Methods, Tools, Examples, Phenomena.* Basel: Birkhäuser.

Norberg-Schulz, C. (1998). *Genius Loci: paesaggio, ambiente, architettura.* Milano: Electa.

Panofsky, E. (1985). *La prospettiva come "forma simbolica" e altri scritti.* Milano: Feltrinelli.

Sgrosso, A. (1984). *La struttura e l'immagine: i borghi marinari della costiera amalfitana*. Napoli: Società Editrice Napoletana.

Ugo, V. (1984). *Logòs graphè*. Palermo: Cogras.

Ye, J.C. (2022). *Geometry of Deep Learning. A Signal Processing Perspective*. Singapore: Springer.

La logica visibile: disegno algoritmico e costruzione della forma

Leonardo Baglioni, Michele Calvano, Graziano Mario Valenti

Abstract

Il contributo indaga il disegno algoritmico come strumento critico e operativo, evidenziando la capacità di trasformare la rappresentazione in processo costruttivo. Da sempre il disegno possiede un carattere generativo: non si limita a raffigurare un'idea, ma ne fonda la validità costruendo passo dopo passo lo spazio della forma. La trascrizione digitale delle logiche algoritmiche amplifica questa dimensione, traducendo il gesto grafico in sequenze di regole, vincoli e parametri che rendono trasparente l'intera filiera progettuale, dalla concezione alla realizzazione. La modellazione indiretta, in particolare, consente di concepire la forma come campo relazionale, dove le dipendenze tra elementi definiscono comportamenti coerenti sotto trasformazione. La catena dei modelli (concettuale, di studio, continuo, procedurale, di fabbricazione e reale) non produce solo rappresentazioni, ma veri e propri programmi costruttivi capaci di integrare vincoli geometrici, requisiti produttivi e obiettivi prestazionali. I casi studio dimostrano come il disegno algoritmico consenta di gestire forme complesse, tradurle in sistemi costruttivi efficienti e conservare l'identità del progetto attraverso le variazioni: una logica visibile che riafferma e potenzia la natura costruttiva del disegno.

Parole chiave: disegno algoritmico, modellazione indiretta, processo generativo, logica costruttiva.

Introduzione

Il disegno, da sempre, rappresenta molto più che un semplice atto grafico: esso costituisce il dispositivo attraverso cui l'immateriale prende consistenza, la forma latente si rende manifesta e l'idea diventa verificabile, e nel passaggio dall'astrazione alla costruzione rende visibile la logica che governa il progetto. In questo senso *La logica visibile: disegno algoritmico e costruzione della forma* non è soltanto un titolo, ma definisce un programma di ricerca [1] che assume il disegno come infrastruttura cognitiva e operativa in continuità con la cornice teorica del «Disegno come Modello» [Migliari 2004, p. 15].
La tradizione della Geometria descrittiva ha posto il disegno come metodo costruttivo capace non solo di visualizzare ma di dimostrare l'esistenza della forma possibile; secondo Gino Loria, la costruzione è, al pari degli altri metodi matematici, un metodo di dimostrazione esistenziale [Loria 1935, p. 77]. Tale prospettiva, lungi dall'appartenere al solo passato, trova oggi nuova attualità nella condizione digitale, dove il disegno è al tempo stesso strumento di analisi, di generazione e di verifica [Migliari 2009, pp. 28-37]. La transizione contemporanea non consiste semplicemente nell'uso di *software* più potenti, ma nella trasformazione del disegno in processo: una sequenza esplicita di regole, vincoli e parametri che definiscono non solo l'immagine della forma, ma la sua genesi [Burry 2013, pp. 154-165]. In tale quadro la Modellazione Indiretta (MI) costituisce il passaggio decisivo, poiché non opera direttamente sulla geometria finalizzata ma costruisce lo spazio delle possibilità entro cui la forma emerge per derivazione logico-computazionale [2]. La MI obbliga a esprimere la forma come relazione: ogni entità è definita da dipendenze topologiche, da vincoli metrici, da condizioni di continuità, da regole

 BY-NC-ND

di trasformazione; il progetto non è più un atto di creazione manuale, ma un sistema dinamico in cui ogni modifica locale diffonde conseguenze coerenti all'intero insieme e il disegno diventa così un dispositivo responsivo che conserva memoria del proprio farsi [Kolarevic 2016, p. 26]. Questa riconcettualizzazione del disegno coincide con l'adozione di linguaggi di programmazione visuale (*Visual Programming Language*, VPL) e testuale (*Text-based Programming Language*, TPL), che abilitano una doppia azione cognitiva: da un lato la lettura grafico-nodale dei processi, utile per comunicare e controllare a colpo d'occhio la catena operativa; dall'altro la scrittura algoritmica, capace di formalizzare funzioni, cicli, condizioni e di accedere in modo specifico alle risorse computazionali del modello digitale.
In questo ecosistema di strumenti, i modelli non sono prodotti finali ma stati intermedi di una filiera; si passa dal modello concettuale che cattura l'intuizione e i requisiti, al modello di studio che esplora principi costruttivi e materiali, al modello continuo che assicura la regolarità matematica di curve e superfici, al modello procedurale che incapsula istruzioni e parametri, al modello di fabbricazione che integra metadati su materiali, giunzioni, tolleranze, strategie di taglio e di assemblaggio, fino al modello reale che verifica nel mondo fisico la coerenza del processo [Calvano, Cognoli 2024, p. 177; Calvano, Mancini 2021, p. 3]. Ciò che conta non è la singola istanza, ma la continuità informativa tra gli stati, la tracciabilità delle scelte, la possibilità di tornare a monte per ricalibrare le regole quando cambiano requisiti prestazionali, economici o contestuali.

L'ottimizzazione della forma libera

La gestione della forma libera è l'ambito in cui questa impostazione dispiega la propria efficacia: superfici non canoniche, continuità di classe elevata, curvature variabili, suddivisioni a pannelli sviluppabili o quasi-sviluppabili, discretizzazioni, *pattern* di pannellizzazione con logiche *isogrid*, razionalizzazione delle giunzioni per semplificare la fabbricazione e il montaggio; la logica visibile del disegno algoritmico permette di connettere questi momenti in un flusso controllato, nel quale la complessità non è eliminata ma resa governabile tramite parametri espliciti e criteri di ottimizzazione multi-obiettivo [Carpo 2017]. A livello operativo, la MI abilita strategie di esplorazione dell'insieme delle soluzioni che combinano ricerca locale e globale: si definiscono domini parametrici controllati da vincoli geometrici (continuità G1/G2, soglie di curvatura, raggi minimi di piega), da requisiti costruttivi (spessori, formati di semilavorati, angoli di attacco degli utensili per macchine CNC, velocità e *layer height* per la stampa additiva), da condizioni ambientali e prestazionali (irraggiamento, comfort, ventilazione, comportamento strutturale); su tale base si attivano *loop* iterativi di simulazione, analisi e selezione che restituiscono soluzioni non univoche ma navigate, dove il progettista agisce come regista di un processo che rende trasparenti le conseguenze delle scelte [Reichert et al. 2014, p. 33]. La dimensione algoritmica, lungi dal ridurre la libertà espressiva, produce una libertà consapevole, poiché rende espliciti i compromessi tra opzioni alternative e consente di misurare l'effetto di variazioni anche minime su prestazioni e fattibilità; la "logica visibile" si manifesta allora nel grafico delle relazioni, nella tassonomia dei parametri, nei report dei test, nelle mappe di colore che visualizzano curvature, sforzi, deviazioni tra modello ideale e discretizzazione fabbricabile.
In questo scenario si comprende la portata dell'integrazione con l'Intelligenza Artificiale (IA): gli strumenti di elaborazione del linguaggio naturale (NLP, *Natural Language Processing*) e i sistemi conversazionali introducono un terzo livello linguistico, accanto al VPL e al TPL, che permette di passare dalla descrizione in linguaggio comune alla generazione di codice operativo, oppure di interrogare il modello per ottenere spiegazioni delle sue trasformazioni [Wong et al. 2023, p. 2]. Il disegno, nella sua accezione di determinatore di regole, diventa traducibile e ispezionabile, e l'IA funge da mediatore tra gesto progettuale e formalizzazione computazionale, accelerando l'iterazione e facilitando il dialogo tra competenze progettuali e competenze informatiche. L'effetto non è solo strumentale ma cognitivo: si stabilisce un dialogo circolare tra intuizione e calcolo, tra sapere tacito e sapere esplicito, in cui l'enunciazione dei passaggi diventa a tutti gli effetti un atto di costruzione. In quest'ottica "la logica visibile" indica anche un orizzonte etico di trasparenza del progetto, dove le decisioni sono tracciabili e argomentabili.
La produzione del modello di fabbricazione offre un banco di prova cruciale: qui la MI incontra le discipline della produzione e del cantiere dove la qualità del disegno come costruzione si misura sulla robustezza del passaggio dal digitale al reale (fig. 1). Significa incorporare nel modello non solo geometrie ma semantiche produttive, sequenze operative, strategie di *nesting* e di *unrolling* per superfici sviluppabili, parametri di stampa, informazioni su giunzioni reversibili o su tolleranze, verificando in anticipo collisioni, sporgenze, accessibilità per assemblaggio e manutenzione. Il modello, in altre parole, non è soltanto la forma ma il suo programma costruttivo, e la sua efficacia si riflette nella riduzione degli scarti, nella semplificazione delle lavorazioni, nella prevedibilità dei tempi e dei costi.

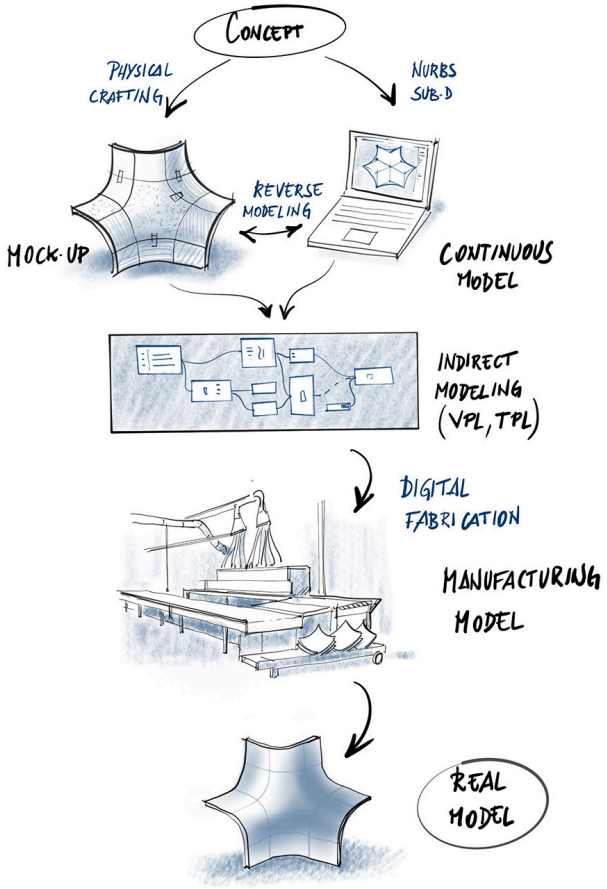


Fig. 1. Schema del processo di modellazione e costruzione della forma dal concetto alla realizzazione (elaborazione degli autori).

La dimensione multiscalare è parte integrante di questa impostazione: le stesse logiche si applicano alla scala dell'oggetto di design, dell'elemento architettonico, dell'involucro o dell'allestimento, modulando la priorità dei parametri. In tale cornice, il tema del "disegno come costruzione" si arricchisce di una sfumatura: costruire non è soltanto fabbricare, ma anche attrezzare il pensiero e l'azione con strutture di controllo che permettono alla forma di mantenere identità attraverso la variazione; la costruzione è dunque anche custodia dell'identità invariante sotto trasformazione e il disegno algoritmico è lo strumento che rende questa custodia misurabile e verificabile. La convergenza tra MI, VPL/TPL e IA consente inoltre di riattivare in chiave contemporanea la relazione tra geometria e senso: la struttura non è solo un fatto tecnico, ma un principio simbolico che ordina il progetto e ne fonda la comprensione. Rendere visibile la struttura con il disegno significa perciò restituire alla rappresentazione un ruolo attivo nel dare significato alla forma, nel chiarire gerarchie, nel fissare priorità tra prestazioni e figurazione, tra efficienza ed espressività [Tedeschi 2014, p. 22]. Da questo punto di vista, il disegno algoritmico non è mai una mera illustrazione, ma una forma di argomentazione: mostra perché una soluzione sta in piedi, perché un dettaglio funziona, come una variazione locale incida sul comportamento globale; e poiché la forma libera tende per natura a occultare la propria logica costruttiva sotto la continuità del suo involucro, l'atto di renderne esplicite le dipendenze diventa esso stesso un atto di rivelazione.
Operativamente, ciò si traduce in pratiche come la scomposizione della superficie in campi di pannelli sviluppabili per ridurre torsioni e costi, l'allineamento delle giunzioni con le linee di curvatura principali per migliorare l'efficienza strutturale, l'ottimizzazione delle maglie strutturali tramite gradienti di curvatura, la calibrazione dei raggi minimi in funzione dei limiti di piega del materiale, l'uso di *SubD* per modellare transizioni fluide e poi la loro conversione controllata in *NURBS* o *mesh* per la fabbricazione [Pottmann et al. 2007, pp. 601-606]. Allo stesso tempo, si implementano protocolli di verifica che, a ogni iterazione, confrontano il modello con soglie di scostamento accettabili, generano report di non conformità e suggeriscono azioni correttive. Il progetto diventa così un ambiente di prova continua, dove l'errore non è scarto ma informazione che rientra nel ciclo di apprendimento del sistema [Reichert et al. 2014, p. 36]. L'adozione di pratiche *data-driven*, resa accessibile anche a chi non padroneggia linguaggi avanzati grazie a interfacce conversazionali, consente di correlare decisioni formali a evidenze misurabili, e in questo nesso tra evidenza e forma si coglie la natura profonda della logica visibile.

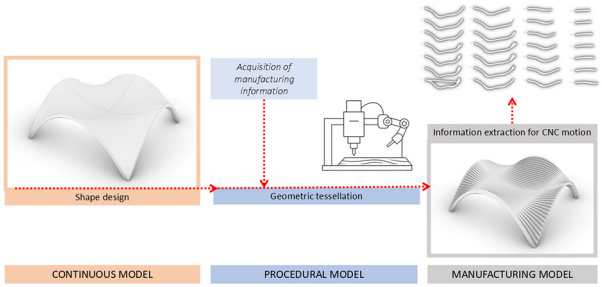


Fig. 2. Schema concettuale dell'algoritmo che consente la fabbricazione di un modello continuo attraverso la discretizzazione in parti (elaborazione degli autori).

Se la prima parte di questa trattazione ha delineato il quadro teorico e l'impianto operativo, il passo successivo consiste nel mostrare come questi principi si traducano in azioni concrete. I casi studio che seguono hanno precisamente questa funzione dimostrativa: mettere alla prova il "disegno come costruzione" in contesti differenti, verificando come la MI medi tra idea e fattibilità, come il VPL/TPL consenta di rendere tracciabili le scelte e come l'integrazione con l'IA acceleri l'iterazione e ampli la capacità esplorativa. Nei casi studio esaminati la logica visibile del disegno farà da filo conduttore: la struttura emergerà come principio organizzativo prima che come esito formale, e il dispositivo algoritmico renderà leggibile una grammatica che spesso resta implicita nel risultato finito. In particolare, gli esempi intendono illustrare in modo dettagliato come la metodologia fondata sulla sequenza dei modelli (concettuale, continuo, di studio, procedurale, di fabbricazione e reale) possa tradursi in applicazioni progettuali e costruttive (fig. 2). Ogni esperienza è stata sviluppata in contesti differenti, mettendo in luce l'ampiezza delle possibilità offerte dal disegno algoritmico. Il valore di tali esperimenti risiede non solo nei risultati concreti ottenuti (arredi complessi, facciate parametriche, rivestimenti *free form*) ma anche nella possibilità di osservare come la logica algoritmica conferisca coerenza, efficienza e adattabilità ai processi. L'obiettivo è duplice: da un lato mostrare la ricorsività di un metodo capace di attraversare scale e settori differenti, mantenendo intatta la propria struttura operativa; dall'altro verificare un assunto epistemologico: il disegno, quando è algoritmico e responsivo, non soltanto comunica la forma, ma la costruisce. E proprio perché la costruisce, la rende intelligibile e condivisibile; in breve, ne fa una logica visibile.

Casi sperimentali: applicazioni del disegno algoritmico

Il primo caso riguarda lo sviluppo degli arredi lignei del *lounge bar* e ristorante dell'Oasis Skyview Hotel di Doha, un contesto che ha posto i progettisti di fronte alla necessità di coniugare una forma organica e avvolgente con il rigore ricercato da un ambiente di rappresentanza di alto livello. La committenza, orientata verso un design che evocasse eleganza e fluidità, ha richiesto l'uso del legno massello, materiale che, pur garantendo un'elevata qualità estetica, impone forti vincoli di lavorazione (fig. 3).
Per affrontare queste sfide è stata adottata una metodologia basata sull'uso coordinato di modelli digitali e fisici. Il modello concettuale ha avuto un ruolo generativo: attraverso *SubD* e *NURBS* è stato possibile esplorare in tempi rapidi varianti formali e valutare la resa estetica delle superfici curve. Questa fase libera e intuitiva è stata seguita dal modello continuo, ottenuto mediante operazioni di *reverse modeling*, necessario per correggere discontinuità topologiche e garantire la continuità geometrica delle superfici. La solidità del modello digitale ha reso possibile un passaggio efficace alle fasi successive (figg. 4, 5).
Parallelamente, il modello fisico di studio ha rappresentato uno strumento fondamentale: attraverso la realizzazione di *maquettes* e prototipi parziali, i progettisti hanno verificato la fattibilità delle soluzioni, sperimentato le modalità di assemblaggio e compreso i limiti imposti dalle dimensioni dei pannelli di legno. L'esperienza diretta sui materiali ha fornito dati preziosi per l'impostazione del modello procedurale. Quest'ultimo ha tradotto le conoscenze acquisite in un insieme di regole algoritmiche capaci di automatizzare la discretizzazione della superficie in doghe, di ottimizzare il *nesting* e di introdurre vincoli coerenti con la tecnologia CNC (fig. 6).



Fig. 3. Mock-Up sperimentale per l'indagine dei materiali e delle tecnologie che si utilizzeranno per la costruzione dell'elemento architettonico finale (fotografie di Devoto Design).

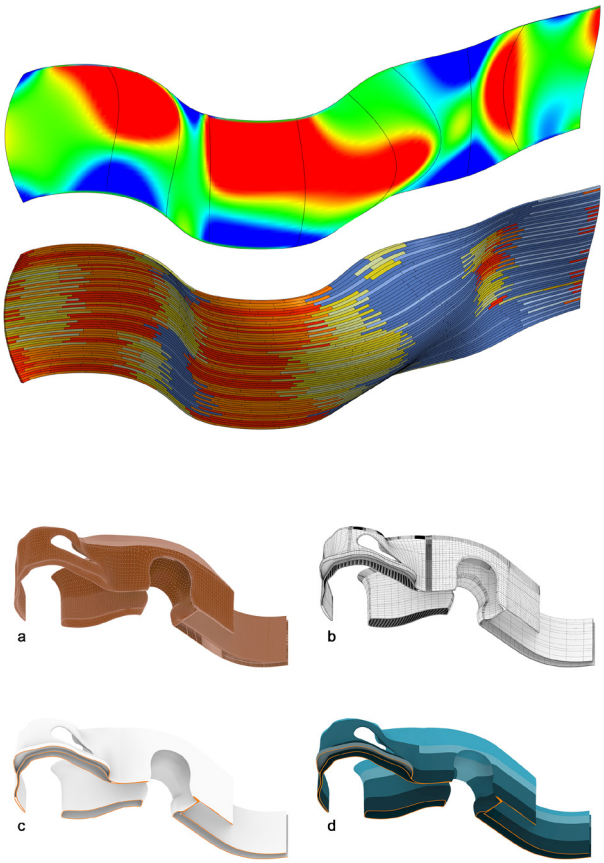


Fig. 4. Tassellazione della forma complessa in relazione al parametro di curvatura: curvatura maggiore, tassello più corto, curvatura minore, tassello più lungo [Calvano, Mancini 2020, p. 112].

Fig. 5. Modelli derivanti dal processo di ottimizzazione topologica della forma propedeutica all'intervento di tassellazione [Calvano, Mancini 2020, p. 109].

Il modello di fabbricazione ha quindi integrato informazioni geometriche, testuali e codici alfanumerici necessari a guidare le macchine e a garantire la tracciabilità dei componenti. Il modello reale, ovvero l'installazione delle pareti lignee a doppia curvatura, ha dimostrato la validità dell'approccio: non solo la forma complessa è stata realizzata con successo, ma il processo ha anche ridotto errori e tempi di lavorazione. Questo caso evidenzia come il concetto di *simplexity*, semplicità che governa la complessità, possa costituire un principio operativo efficace.

Il secondo caso si colloca nel campo della ricerca architettonica e riguarda la progettazione e fabbricazione di facciate lignee complesse, un tema che ha posto al centro il rapporto tra parametri, vincoli e tecniche robotiche. L'obiettivo non era soltanto dare forma a un involucro innovativo, ma anche dimostrare come il disegno algoritmico potesse guidare la traduzione di relazioni geometriche in processi costruttivi automatizzati. Il modello concettuale è stato concepito come spazio di sperimentazione: in esso sono state esplorate configurazioni diverse per ottimizzare l'ombreggiamento estivo, applicando logiche *data-driven*. Da questa fase iniziale è emersa una prima definizione dei parametri critici, quali l'orientamento e la densità degli elementi lignei. Sono seguiti i modelli di studio, prototipi fisici che hanno permesso di testare materiali, strategie di assemblaggio e vincoli strutturali, fornendo un riscontro concreto sulle possibilità reali di costruzione. Il passaggio al modello continuo ha garantito la coerenza geometrica necessaria, risolvendo problematiche legate a errori topologici e predisponendo il terreno per la fase algoritmica. Il modello procedurale, implementato con VPL, ha reso esplicite le relazioni tra densità degli elementi, *cluster* di assemblaggio e



Fig. 6. Fasi per la produzione dei pannelli con i quali pantografare i tasselli lignei utilizzati per la costruzione di un modello fisico di forma complessa (fotografie di Devoto Design).

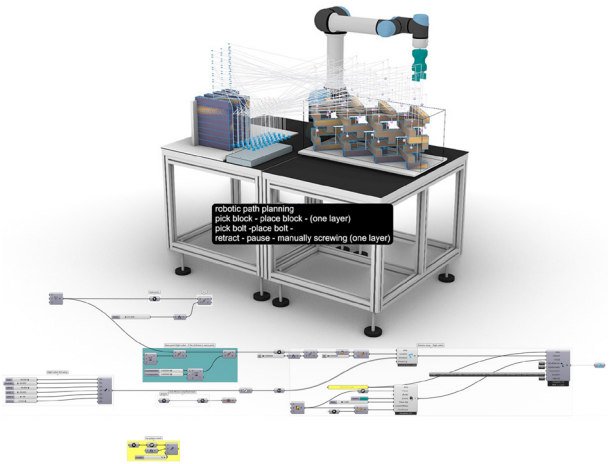


Fig. 7. Simulazione del processo costruttivo assistito con braccio robotico. Parametri di montaggio controllati tramite l'utilizzo del VPL [Cognoli 2024, p. 284].

parametri di fabbricazione (fig. 7). Attraverso questo livello di modellazione, le esperienze manuali sono state codificate in regole, traducendo il sapere artigianale in sequenze eseguibili dalle macchine. Il modello di fabbricazione ha integrato tali informazioni, specificando tolleranze, percorsi utensile per CNC e traiettorie per robot collaborativi. Infine, il modello reale, realizzato mediante assemblaggio robotico, ha validato la catena dei modelli, dimostrando la possibilità di gestire strutture complesse con elevata precisione e ripetibilità. Un ulteriore risultato è stata l'apertura verso l'uso dei *digital twin*, in grado di chiudere il ciclo tra rappresentazione e realtà, fornendo dati in tempo reale sul comportamento dell'oggetto costruito.
Il terzo caso testimonia l'efficacia del trasferimento tecnologico tra ricerca universitaria e pratica industriale, realizzato attraverso la progettazione del rivestimento di una scala elicoidale caratterizzata da geometria *free form* (fig. 8). La collaborazione con un'azienda specializzata in *interior contract* [3] ha reso possibile applicare metodologie sperimentali in un contesto produttivo reale, confrontandosi con vincoli economici e temporali stringenti. Il tema di progetto, una scala per interni composta da circa 1000 componenti codificati e realizzati con materiali differenti (MDF, multistrato di betulla, legno massello di frassino, *veneer*), ha richiesto un approccio integrato per coordinare



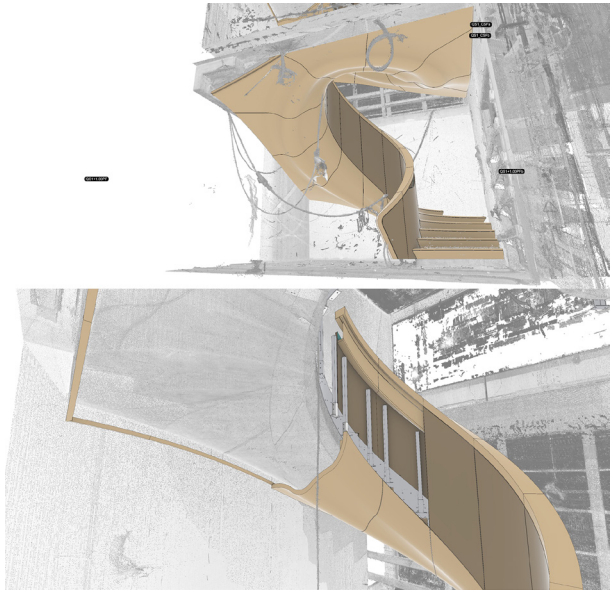


Fig. 8. Fasi costruttive della scala free form. Inserimento e montaggio in cantiere dei moduli prefabbricati in azienda (fotografie di Devoto Design).

Fig. 9. Controllo delle interferenze tra la nuvola di punti che rappresenta la scala in cemento e il modello di fabbricazione del rivestimento ligneo progettato (modello di Michele Calvano e Roberto Cognoli).

progettazione e fabbricazione. Il modello di studio digitale ha avuto la funzione di validare le scelte formali, simulare vincoli di assemblaggio e testare materiali. Successivamente, il modello continuo ha corretto incongruenze topologiche e stabilito una base geometrica coerente per le fasi parametriche. Il modello procedurale, implementato in VPL, ha reso dinamica la gestione dei parametri geometrici e costruttivi, permettendo aggiornamenti in tempo reale e introducendo logiche di controllo delle connessioni. Il modello di fabbricazione ha tradotto tali informazioni in istruzioni operative per CNC e robot, ottimizzando i processi di *nesting* e riducendo del 30% gli scarti di lavorazione (fig. 9).
Inoltre, la codifica dei componenti ha reso possibile la tracciabilità e la gestione di un database digitale utile per manutenzione e riuso. Il modello reale, assemblato e installato in tempi ridotti (-20% rispetto agli standard), ha dimostrato l'efficacia del *workflow*, mentre l'esperienza ha consolidato la capacità di trasferire *know-how* accademico in pratiche industriali replicabili. Il caso conferma come il disegno algoritmico possa fungere da ponte tra ricerca e produzione, rafforzando la sostenibilità e la competitività delle piccole e medie imprese.

Conclusioni e futuri sviluppi

Il confronto diretto tra i diversi casi studio mostra la coerenza e la flessibilità del metodo dei modelli sequenziali. Nonostante la diversità dei contesti, dall'arredo di lusso alla facciata architettonica fino al *contract* industriale, la struttura dei passaggi rimane costante: dal concettuale al reale attraverso il filtro algoritmico. In ciascuna esperienza il disegno algoritmico non solo ha reso visibile la logica interna della forma, ma ha anche permesso di organizzarla in regole costruttive. Il valore aggiunto risiede nella capacità di integrare estetica, tecnica e informazione in un processo unitario, che trova nella rappresentazione parametrica il suo linguaggio più efficace. Ambienti di programmazione visuale e testuale, oggi affiancati da interfacce linguistiche basate su intelligenza artificiale, rafforzano questa prospettiva, garantendo tracciabilità e controllo continuo. Guardando avanti, infatti, l'integrazione con intelligenza artificiale e sistemi di *digital twin* appare come la naturale evoluzione di questo approccio: la prima capace di tradurre linguaggio naturale in codice computazionale, i secondi in grado di restituire riscontri continui dal reale al digitale. Oltre a queste funzioni operative, l'intelligenza artificiale apre tuttavia uno scenario inedito, legato alla possibilità di introdurre un vero e proprio "pensiero laterale" nei processi progettuali. Se da un lato l'IA può superare eventuali limiti di competenza tecnica, supportando l'elaborazione automatica di passaggi complessi, dall'altro essa è in grado di proporre soluzioni che si discostano radicalmente da quelle che un progettista umano elaborerebbe seguendo logiche lineari, consolidate o semplicemente derivate dal proprio ambito di competenza. In tal senso, il contributo dell'IA non si limita a rafforzare l'efficienza o a ottimizzare il processo, ma consiste nel mutare il punto di vista stesso con cui un problema viene affrontato, favorendo l'emergere di prospettive alternative e di configurazioni progettuali impreviste. Questo cambio di paradigma rende l'IA non soltanto uno strumento di supporto, ma un potenziale co-autore del progetto, capace di introdurre modalità di esplorazione creativa che arricchiscono e ampliano l'orizzonte disciplinare.

Crediti

Pur essendo il lavoro il risultato di una piena condivisione concettuale e metodologica tra tutti gli autori, è possibile riconoscere i seguenti apporti individuali: Leonardo Baglioni ha curato le sezioni introduttive, approfondendo il carattere costruttivo della geometria descrittiva e i fondamenti teorici a essa sottesi; Graziano Mario Valenti ha sviluppato e approfondito le metodologie del disegno algoritmico, con particolare attenzione alla formalizzazione della modellazione indiretta e alle logiche procedurali; Michele Calvano ha condotto le sperimentazioni pratiche, contribuendo all'implementazione metodologica e procedurale, seguendo direttamente i processi di fabbricazione per la realizzazione dei casi studio. Tale articolazione dei contributi riflette la complementarità delle competenze e la collaborazione sinergica che ha caratterizzato l'intero lavoro.

Note

[1] Il presente contributo raccoglie idee, riflessioni ed esperienze sviluppate nell'ambito della Unità di Ricerca "ForMaRe" (*Form design, Manufacturing & Research*), recentemente istituita nell'area romana. Tale Unità di ricerca nasce con l'obiettivo di approfondire, in chiave teorica e applicativa, i processi legati alla forma, intesa come esito dinamico e complesso di un percorso che comprende ideazione, modellazione, verifica e fabbricazione. In questa prospettiva, la forma si configura come il risultato di una continua interazione tra pensiero progettuale, teorie e strumenti della geometria e supporti tecnologici, in un dialogo costante tra concezione e realizzazione: <https://dsdra.web.uniroma1.it/it/unita-di-ricerca-sulla-forma> (consultato il 3 luglio 2025).

[2] Per "Modellazione indiretta" si intende il processo di trascrizione e formalizzazione delle logiche operative e algoritmiche all'interno di un ambiente digitale, realizzata mediante l'impiego di linguaggi di programmazione. Tali linguaggi consentono di strutturare in modo esplicito la relazione tra dati e operazioni, rendendo trasparente la sequenza procedurale che conduce all'elaborazione del modello. In questa prospettiva, la modellazione non è intesa unicamente come strumento di produzione, bensì come pratica descrittiva e meta-riflessiva, capace di restituire la dinamica stessa del processo progettuale. Ne consegue la possibilità di configurare una nuova forma di «èkphrasis digitale, similmente a quella della trattatistica rinascimentale, [che] descrive il processo ancor prima del prodotto finale» [Valenti 2021, pp. 133-135], attribuendo così al modello un valore euristico oltre che rappresentativo.

[3] L'avvicinamento a realtà industriali, come la collaborazione avviata con Devoto Design, azienda specializzata in fabbricazione digitale e nella realizzazione di progetti dalle superfici geometriche e organiche, non si configura semplicemente come un trasferimento unidirezionale di conoscenze. Al contrario, è spesso il contesto produttivo stesso a sollecitare nuove domande, a generare inediti spunti di ricerca e a stimolare prospettive critiche difficilmente emergenti in ambito accademico. In questo senso, tali collaborazioni rappresentano un'opportunità concreta di confronto con la realtà operativa dell'architettura e del design: <https://www.devotodesign.it/it/> (consultato il 18 giugno 2025).

Autori

Leonardo Baglioni, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, leonardo.baglioni@uniroma1.it
Michele Calvano, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, michele.calvano@uniroma1.it
Graziano Mario Valenti, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, grazianomario.valenti@uniroma1.it

Riferimenti bibliografici

Burry, M. (2013). From Descriptive Geometry to Smartgeometry: First Steps Towards Digital Architecture. In B. Peters, T. Peters (Eds). *Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design*, pp. 154-165. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.

Calvano, M., Mancini, M.F. (2020). Massive wood design – From complex shape to efficient construction. In *DN*, n. 6, pp. 102-115.

Calvano, M., Mancini, M.F. (2021). Testing and Defining a Complex Design Through Digital and Physical Models. In *Nexus Network Journal*, n. 23(4), pp. 995-1016. DOI: 10.1007/s00004-021-00569-6.

Calvano, M., Cognoli, R. (2024). Oltre la misura: modelli parametrici per la realizzazione assistita del progetto. In F. Bergamo, A. Calandriello, M. Ciammaichella, I. Friso, F. Gay, G. Liva, C. Monteleone (a cura di). *Misura / Dismisura. Ideare Conoscere Narrare*. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Padova-Venezia, 12-14 settembre 2024, pp. 175-194. Milano: FrancoAngeli. DOI: 10.3280/oa-1180-c478.

Carpo, M. (2017). *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence*. Cambridge: The MIT Press.

Cognoli, R. (2024). *Digital Circular Timber (DCT). Timber reuse through design and fabrication automation*. Tesi di dottorato di ricerca in Architecture, Design, Planning. Relatore prof. R. Ruggiero. Università degli Studi di Camerino. <https://hdl.handle.net/20.500.14242/210673> (consultato il 5 luglio 2025).

Kolarevic, B. (2016). Simplexity (and Complexity) in Architecture. In A. Herneoja, T. Österlund, P. Markkanen (Eds.). *Complexity & Simplicity. Proceedings of the 34th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*. Oulu, 24-26 August 2016, vol. 1, pp. 25-31. Oulu: University of Oulu.

Loria, G. (1935). *Metodi matematici*. Milano: Ulrico Hoepli.

Migliari, R. (a cura di). (2004). *Disegno come modello. Riflessioni sul disegno nell'era informatica*. Roma: Edizioni Kappa.

Migliari, R. (2009). *Geometria descrittiva. Volume II – Tecniche e applicazioni*. Novara: Città Studi Edizioni.

Pottmann, H., Eigensatzc, M., Vaxman, A. Wallner, J. (2007). *Architectural Geometry*. Exton: Bentley Institute Press.

Reichert, S., Schwinn, T., La Magna, R., Waimer, F., Knippers, J., Menges, A. (2014). Fibrous structures: An integrative approach to design computation, simulation and fabrication for lightweight, glass and carbon-composite structures in architecture based on biomimetic design principles. In *Computer-Aided Design*, n. 52, pp. 27-39. DOI: 10.1016/j.cad.2014.02.005.

Tedeschi, A. (2014). *AAD_Algorithms-Aided Design*. Potenza: Le Penseur.

Valenti, G.M. (2021). *Di segno e Modello. Esplorazioni sulla forma libera fra disegno analogico e digitale*. Milano: FrancoAngeli.

Wong, M.-F., Guo, S., Hang, C.-N, Ho, S.-W, Tan, C.-W. (2023). Natural Language Generation and Understanding of Big Code for AI-Assisted Programming: A Review. In *Entropy*, n. 25(6), p. 888. DOI: 10.3390/e25060888.

Strutture frattali. Comprendere le geometrie della natura

Michela Rossi, Giorgio Buratti, Andrea Rossi

Abstract

L'osservazione della natura ha storicamente orientato le discipline progettuali: dall'armonia proporzionale dell'antichità agli studi empirici rinascimentali, precursori dello sviluppo della biologia e della bionica. Nel XX secolo, la formulazione della geometria frattale e l'affermazione dell'informatica hanno consentito di descrivere e simulare sistemi complessi, superando l'imitazione formale per indagare i processi di crescita, adattamento e auto-organizzazione propri degli organismi viventi. Le ricerche di Mandelbrot hanno reso possibile una lettura quantitativa dei fenomeni morfogenetici del mondo naturale, evidenziando regole frattali comuni a sistemi animali e vegetali. Nella storia dell'architettura non mancano esempi di adozione inconsapevole di logiche autosimili, oggi reinterpretabili attraverso strumenti di modellazione algoritmica e parametrica. In questo articolo si propone la rilettura di modelli organici e archetipi costruttivi, come il laterizio, all'interno di un paradigma progettuale fondato sulla morfogenesi computazionale, in cui i principi naturali si trasformano in protocolli operativi capaci di coniugare complessità formale, efficienza strutturale e innovazione costruttiva.

Parole chiave: morfogenesi computazionale, geometria frattale, computational design, *laterizio, archetipi costruttivi.*

Introduzione

Nelle discipline progettuali, l'analisi sistematica e la comprensione delle strutture morfologiche rivestono un ruolo cruciale nel garantire l'efficienza delle soluzioni proposte. L'esito di qualsiasi processo di progettazione è infatti condizionato dalla capacità di soddisfare requisiti operativi quali vincoli temporali, risorse materiche e processi di fabbricazione necessari al raggiungimento degli obiettivi prefissati. Poiché un'ampia porzione dell'apprendimento umano avviene per imitazione, non sorprende che il regno naturale costituisca storicamente il modello primario di ispirazione [Rossi 2001; Rossi 2006]. Fin dalle prime manifestazioni di rappresentazione grafica di organismi e fenomeni naturali – come quelle rinvenute nelle pitture rupestri – l'uomo ha studiato la natura al fine di decifrarne i principi. Nell'antichità classica l'osservazione dei modelli biologici mirava essenzialmente a tradurre l'armonia delle forme naturali in linguaggi matematici e numerici, mediante lo studio dei rapporti proporzionali tra le diverse componenti morfologiche. Tali indagini non solo orientarono i canoni estetici dell'arte e dell'architettura, ma posero le basi per una prima formalizzazione delle corrispondenze strutturali. Soltanto con gli studi rinascimentali di Leonardo da Vinci sul volo degli uccelli, forse il primo esempio documentato di ricerca supportata da un'analisi sistematica di un sistema biologico, la connessione tra fenomeni naturali e processi progettuali inizia a privilegiare un approccio empirico. Tuttavia, la capacità di traduzione dei principi naturali in tecnologie applicative

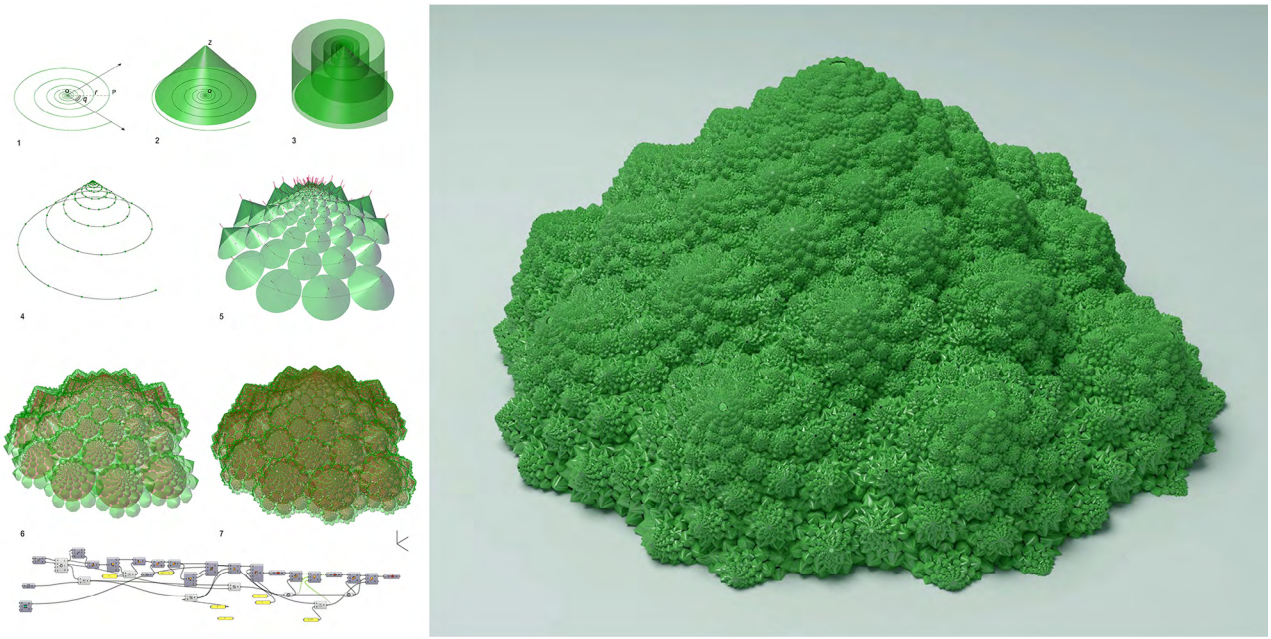
 BY-NC-ND

rimase frammentaria, determinata dal livello di sviluppo degli strumenti teorici e delle tecnologie disponibili. Pur non mancando sporadici casi di applicazioni antecedenti, è solo a partire dall'inizio del XIX secolo, con l'avvento della biologia quale disciplina autonoma dedicata allo studio dei sistemi viventi, che il rapporto tra progettazione e mondo naturale acquisisce una base metodologica rigorosa [Thompson D'Arcy 1917]. Nel corso del '900 con la nascita della biotecnologia prima e della bionica nella seconda parte del secolo, sono sviluppati modelli conoscitivi capaci di descrivere in termini matematici relazioni e realtà dimensionali più complesse, permettendo di riprodurre e controllare strutture e fenomeni biologici un tempo inattaccabili. Con il nuovo millennio poi il riferimento organico assume una notevole importanza nel progressivo spostamento dell'interesse dalla forma alle relazioni costituenti le dinamiche generative, in un approfondimento che porta nel tempo a sostituire la mera imitazione con l'analisi dei processi biologici di crescita, trasformazione e adattamento responsivo [Rossi 2014; Rossi 2019; Rossi, Buratti 2017].
Nell'ambito della pratica progettuale, questo progresso può essere ricondotto a due fattori distinti ma correlati. Il primo è la formulazione e la caratterizzazione della geometria frattale di Mandelbrot, influenzata da un più ampio mutamento epistemologico che vede l'abbandono del paradigma deterministico classico in favore dello studio della non linearità intrinseca dei fenomeni naturali. Il secondo fattore è rappresentato dall'affermazione dell'informatica come disciplina scientifica autonoma e dall'impiego del calcolatore non più solo come strumento di calcolo, ma come mezzo privilegiato per l'indagine, la modellazione e la simulazione di sistemi progettuali basati su logiche complesse.

Geometria frattale: riferimenti reali e modelli digitali

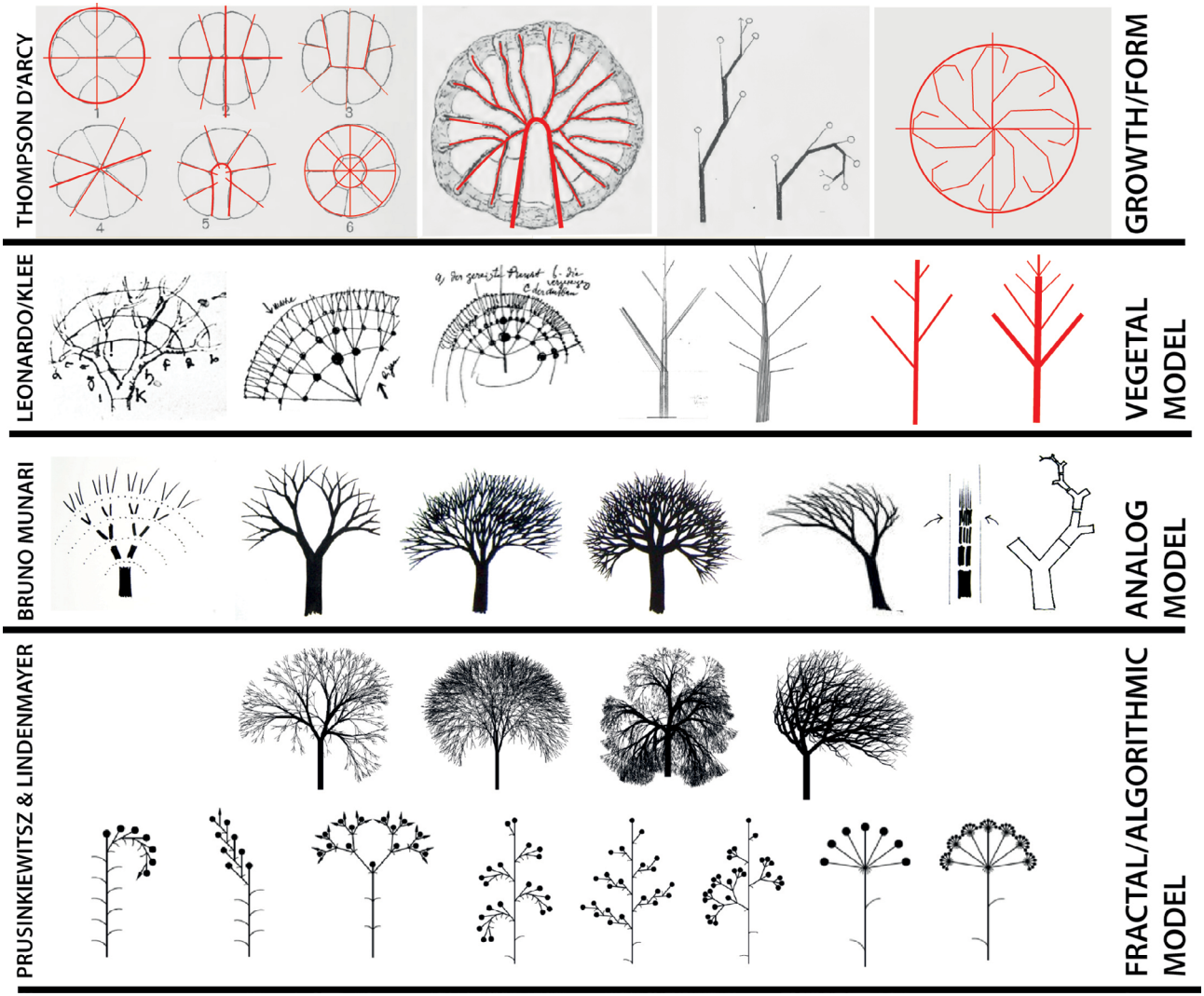
La geometria frattale ha permesso di descrivere e caratterizzare quantitativamente strutture naturali complesse, che presentano forme troppo articolate per essere definite in termini euclidei. A voler essere rigorosi, i modelli frattali sono riconoscibili in numerose espressioni artistiche e architettoniche che si sono sviluppate attraverso secoli e continenti anche prima degli studi di Mandelbrot [Mandelbrot 1975]. Tracce di geometrie autosimili si ritrovano infatti nell'arte classica greca e nell'architettura vernacolare africana, nelle decorazioni della civiltà egizia, nelle culture precolombiane, nonché nei complessi religiosi islamici e indù [Sala, Cappellato 2004]. Esse sembrano riflettere la già citata predisposizione dell'essere umano a riprodurre in ambito costruttivo e decorativo gli stessi principi di complessità e auto-organizzazione osservabili negli ecosistemi naturali, caratterizzati da pattern sensorialmente ricchi, spazi connessi su molteplici livelli di scala e dinamiche frattali di ripetizione e variazione continua.
È anche vero che dal punto di vista scientifico le strutture frattali erano note già alla fine del XIX secolo e nei primi decenni del XX. Georg Cantor (Insieme di Cantor, 1883), Giuseppe Peano (curva di Peano, 1890), David Hilbert (curva di Hilbert, 1891), Helge von Koch (fiocco di Koch, 1904) e Wacław Sierpiński (tappeto di Sierpiński, 1916) avevano descritto insiemi e curve che sfidavano le nozioni euclidee classiche di dimensione topologica, misura di Lebesgue [1] e perimetro. Questi oggetti erano accomunati non solo da iterazioni ricorsive, omotetia interna e autosimilarità, ma dall'impossibilità di essere rappresentati come il luogo dei punti di risoluzione di equazioni differenziali o di sistemi algebrico-geometrici elementari. Proprietà paradossali quali curve di lunghezza infinita che delimitano regioni di area finita o insiemi non connessi ma non discontinui causarono presso molti studiosi dell'epoca scetticismo e diffidenza, tanto che i frattali furono inizialmente considerati "mostri matematici" [2] privi di riscontro nella realtà fisica [Falconer 2003]. È quindi grazie a Mandelbrot che questi oggetti trovano un'effettiva corrispondenza nel mondo reale, anche se le strutture frattali osservabili in natura presentano un comportamento autosimile soltanto entro un intervallo di scala definito. Questo perché, come già intuito da Goethe secondo il quale "la natura ha fatto in modo che gli alberi non crescessero fino al cielo" [3], le leggi naturali variano in base ai fenomeni considerati. Ad esempio, al livello cellulare, connesso alla crescita degli organismi viventi, la forza di gravità non riveste un ruolo determinante, mentre nel mondo macroscopico questa forza condiziona profondamente la struttura e il movimento dei corpi. Anche la disposizione degli organi vegetali secondo schemi di fillotassi risponde a un'organizzazione morfogenetica che ottimizza l'esposizione alla luce solare e la circolazione dell'aria, garantendo condizioni fisiologiche favorevoli alla crescita. Un esempio emblematico è rappresentato dal broccolo romano, frequentemente citato per la sua straordinaria regolarità geometrica e per

Fig. 1. Sviluppo morfogenetico del broccolo romano (elaborazione grafica degli autori).



la marcata ricorsività delle sue strutture, caratteristiche che ne rendono agevole una modellizzazione algoritmica (fig. 1). La medesima logica di efficienza nella distribuzione spaziale dei rami è riscontrabile anche nello sviluppo morfologico di numerose specie arboree. Non sorprende, quindi, che nell'ambito della progettazione il riferimento al mondo organico assuma negli anni un ruolo sempre più rilevante, parallelamente allo spostamento dell'interesse dalla forma verso le complesse dinamiche generative che la sottendono. Questo approfondimento ha progressivamente condotto a superare l'approccio imitativo, orientando la ricerca verso l'analisi dei processi di crescita, di combinazione e di struttura.
Uno dei primi esempi di applicazione consapevole dei principi biomeccanici nell'architettura è rappresentato dal Crystal Palace, realizzato a Londra nel 1851 in occasione della prima Esposizione Universale. Il progetto, concepito da Joseph Paxton reinterpreta la *Victoria Amazonica* [4] nella progettazione degli elementi portanti in ferro degli archi di copertura dell'edificio, consentendo la realizzazione di una struttura estremamente leggera ma al contempo capace di sostenere le ampie superfici vetrate. La metafora organica influenza anche il pensiero architettonico statunitense, in particolare attraverso le teorizzazioni di Horatio Greenough, il quale individuava nella corrispondenza tra forma e funzione un principio fondamentale dell'organizzazione naturale [Greenough 1975; Greenough 1852; Tuckermann 1853]. La forma si modella in risposta alle esigenze funzionali del genere e della specie, in un processo di adattamento che riflette l'economia formale naturale. Queste concezioni troveranno una sintesi efficace nel celebre motto di Louis Sullivan – *form ever follows function* – che formula un principio destinato a esercitare una profonda influenza sull'architettura e sul design del XX secolo, costituendo uno dei fondamenti teorici del Movimento Moderno.
Nello stesso periodo Eugène Viollet-le-Duc realizza disegni che "razionalizzano" la conformazione delle montagne [Viollet-le-Duc 1876] e dei ghiacciai, considerati per similitudine come edifici in rovina, bisognosi di interventi di restauro. L'architetto francese descrive le alture con una geometrizzazione che anticipa il principio del *box counting* associabile ai frattali IFS (*Iterated Function Systems*), soluzione che ritiene necessaria a superare i limiti della geometria euclidea nella descrizione dei fenomeni naturali, anticipando di quasi un secolo Mendelbrot con la sua generazione frattale funzionale alla modellizzazione digitale dell'orografia dei territori. Le caratteristiche di autosimilarità e invarianza di scala si prestano infatti alla realizzazione di algoritmi efficienti e poco impegnativi dal punto di vista computazionale, che permettono la realizzazione di simulazioni predittive di territori, sistemi o organismi complessi.
In proposito, risulta particolarmente interessante il confronto con il metodo proposto da Bruno Munari per rappresentare graficamente un albero, attraverso un processo che mira a comprenderne la genesi e le logiche formali. L'esercizio consiste nella costruzione di un modello semplificato [Munari 1978] che, seppur concepito con finalità educative, si configura come un'analogia efficace di una struttura frattale IFS (*Iterated Function System*), generata secondo un algoritmo deterministico [Sala, Cappellato 2004]. Sebbene Munari non faccia esplicito riferimento alla matematica dei frattali, l'associazione appare evidente a partire dal 1990, anno in cui il biologo ungherese Aristid Lindenmayer e l'informatico polacco Przemysław Prusinkiewicz pubblicano il primo studio sistematico sulla simulazione digitale della morfogenesi vegetale. In tale ricerca, vengono applicati gli *L-System* – formalismi generativi introdotti dallo stesso Lindenmayer nel 1968 – per modellare i pattern di crescita delle piante [Prusinkiewicz, Lindenmayer 1990]. La logica di generazione della morfologia degli alberi e l'annotazione su come fattori esterni – in primis l'azione del vento – possano modificare lo sviluppo rispetto al modello di crescita "ideale" è lo stesso. L'analogia tra il disegno dell'albero piegato dal vento proposto da Munari [1978] e lo schema di deformazione morfologica pubblicato successivamente da Prusinkiewicz e Lindenmayer è particolarmente evidente: in entrambi i casi si osserva una deviazione sistemica delle geometrie derivate da *input* ambientali, che trova corrispondenza nei modelli computazionali generativi propri degli *L-System* (fig. 2) Il designer cita la fonte a modo suo: «Un mio vecchissimo amico di provincia, un certo Leonardo, nato in un paesino vicino a Firenze: Vinci (codice postale 50059) era un uomo molto curioso. Stava delle ore a osservare le piante e poi le disegnava e annotava tutto ciò che poteva capire sul come ramificano» [5].
Dalla rappresentazione si deducono le regole di crescita che costituiscono il *pattern* compositivo del disegno e della modellazione digitale. Così l'interesse per i frattali si irradia all'ambito del progetto e dell'architettura, sino alla pianificazione territoriale, ambito nel quale il progetto è

Fig. 2. Evoluzione dei modelli di crescita e ramificazione: dal modello di crescita morfologica di D'Arcy Thompson ai modelli frattali di L-system (elaborazione grafica degli autori).



chiamato a rimettere ordine in un sistema complesso e apparentemente caotico, nel quale si sono stratificati i segni delle trasformazioni antropiche [Rossi et al. 2022]. Il *Pattern Language* di C. Alexander sottolinea la relazione tra e la geometria frattale degli *L-System* nell'insediamento e nelle conformazioni territoriali che mostrano lo sviluppo di strutture auto simili nell'aggregazione gerarchizzata dell'archetipo dell'abitazione come metodo di progettazione a grande scala, finalizzato a garantire uno sviluppo equilibrato tra le diverse esigenze di una società complessa [Alexander et al. 1987; Sala, Cappellato 2004].
Un richiamo all'auto-similarità dei frattali si ritrova anche nella razionalità delle costruzioni medievali. Un esempio sono le diverse soluzioni decorativo-costruttive dei grandi rosoni delle cattedrali medievali, che rincorrono una logica combinatoria, come nel Duomo di Milano [Rossi, Buratti 2022], altro modello artificiale del cosmo. Ancora una volta, definita una nuova matematica per risolvere un problema insoluto, se ne scopre l'efficacia in relazione ad altri problemi con lo sviluppo di soluzioni semplificate, coerenti con gli strumenti aggiornati del disegno digitale. Negli ultimi decenni, i modelli frattali hanno acquistato un ruolo fondamentale nella modellizzazione di svariati settori scientifici che comprendono la biologia, le scienze economiche e sociali, la medicina, con campi di applicazione in costante crescita. I frattali offrono quindi potenzialità significative anche per lo sviluppo di applicazioni digitali orientate alla progettazione architettonica su tutte le scale. In questa prospettiva, questo articolo presenta alcune sperimentazioni finalizzate all'ottimizzazione morfologica, volte a reinterpretare in chiave contemporanea archetipi formali e pattern storici, attraverso strumenti computazionali capaci di integrare complessità geometrica e coerenza strutturale

Disegnare strutture frattali complesse: dal broccolo al rosone

La caratterizzazione dei frattali non si fonda su un'unica espressione analitica, bensì su un procedimento algoritmico (non necessariamente di natura numerica) impiegato per generare una curva o una superficie. Un algoritmo è un protocollo sistematico costituito da una successione di istruzioni formalmente definite e univocamente interpretabili, volte a guidare un agente esecutore verso il raggiungimento di un obiettivo prefissato. Quando tale agente è un elaboratore elettronico, l'algoritmo deve essere codificato in un linguaggio di programmazione eseguibile.
Come già scritto, l'informatica ha svolto un ruolo fondamentale nello studio dei frattali. Grazie al computer, Mandelbrot ha potuto simulare la complessità delle leggi ricorsive tipiche dei sistemi non lineari, scoprendo a posteriori le regole che ne governano l'evoluzione. In tal modo ha dimostrato che tali fenomeni non sono trattabili con un approccio ipotetico-deduttivo *top-down*, ossia prevedendo l'andamento futuro a partire dalle condizioni iniziali, ma richiedono un modello *bottom-up*. Definendo il comportamento delle singole entità elementari e sfruttando la potenza di calcolo per simulare le loro interazioni collettive, è quindi possibile evidenziare pattern ricorrenti e confrontarli con i processi naturali.
L'affinamento delle competenze informatiche che contraddistingue il nuovo millennio ha indotto anche i progettisti ad esplorare i processi, nascosti dall'interfaccia, che determinano il funzionamento degli strumenti digitali di uso quotidiano. Tale attenzione ha promosso l'evolversi di un nuovo tipo di disegno assistito, che libera il progettista dalle restrizioni imposte dai tradizionali software di modellazione grazie alla possibilità di definire il processo di relazioni che portano al costituirsi della forma stessa. La morfologia di un artefatto diviene quindi il risultato dell'iterazione tra diversi determinati progettuali, siano esse di ordine tecnologico, economico o culturale, in un processo definito morfogenesi computazionale proprio perché, come nella morfogenesi naturale che contraddistingue i processi di sviluppo e crescita degli organismi viventi, la forma nasce dall'interazione di capacità materiali intrinseche al sistema e forze ambientali esogene.
Gli esempi presentati in questo lavoro dimostrano come questo approccio permetta di descrivere e controllare i fattori di complessità dei modelli biologici di riferimento. Tramite *Grasshopper*, editor di algoritmi visuale associato al programma *Rhino* di McNeel, sono state studiate e definite diverse definizioni capaci di descrivere precisamente delle morfologie organiche.
Il primo algoritmo [Buratti, Rossi 2021] prende come riferimento il broccolo romano, organismo vegetale che ha suscitato l'interesse di molti studiosi per la sua peculiare morfologia autosimile. La disposizione delle rosette segue una struttura frattale riconducibile a principi

Fig. 3. a) Schema dell'albero frattale di Pitagora; b) Equivalente tridimensionale basato su prismi triangolari e tetraedri; c, d) Comparazione dello sviluppo frattale che presiede alla crescita di un albero e regola anche la morfogenesi dei vasi sanguigni polmonari (elaborazione grafica degli autori).

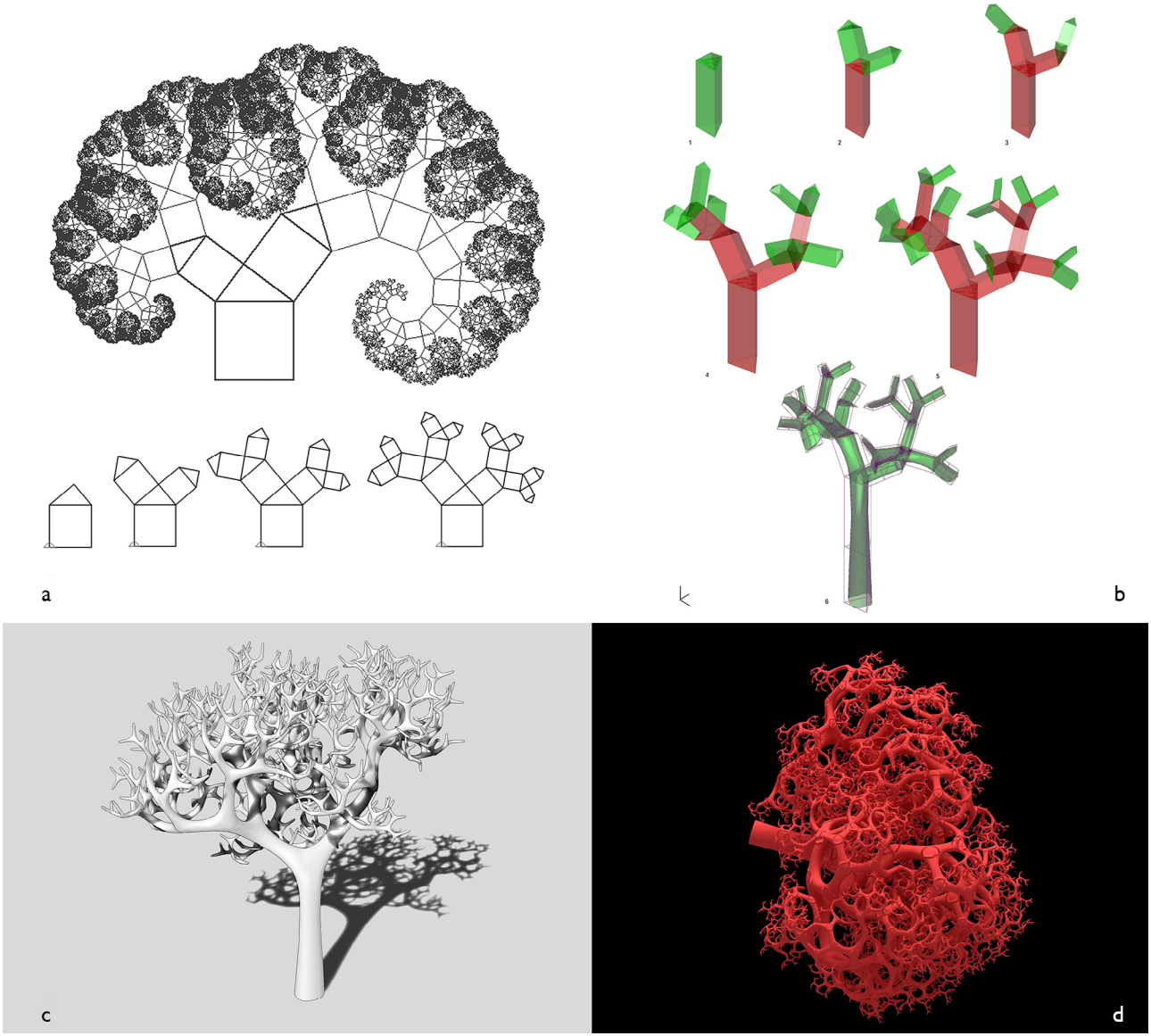
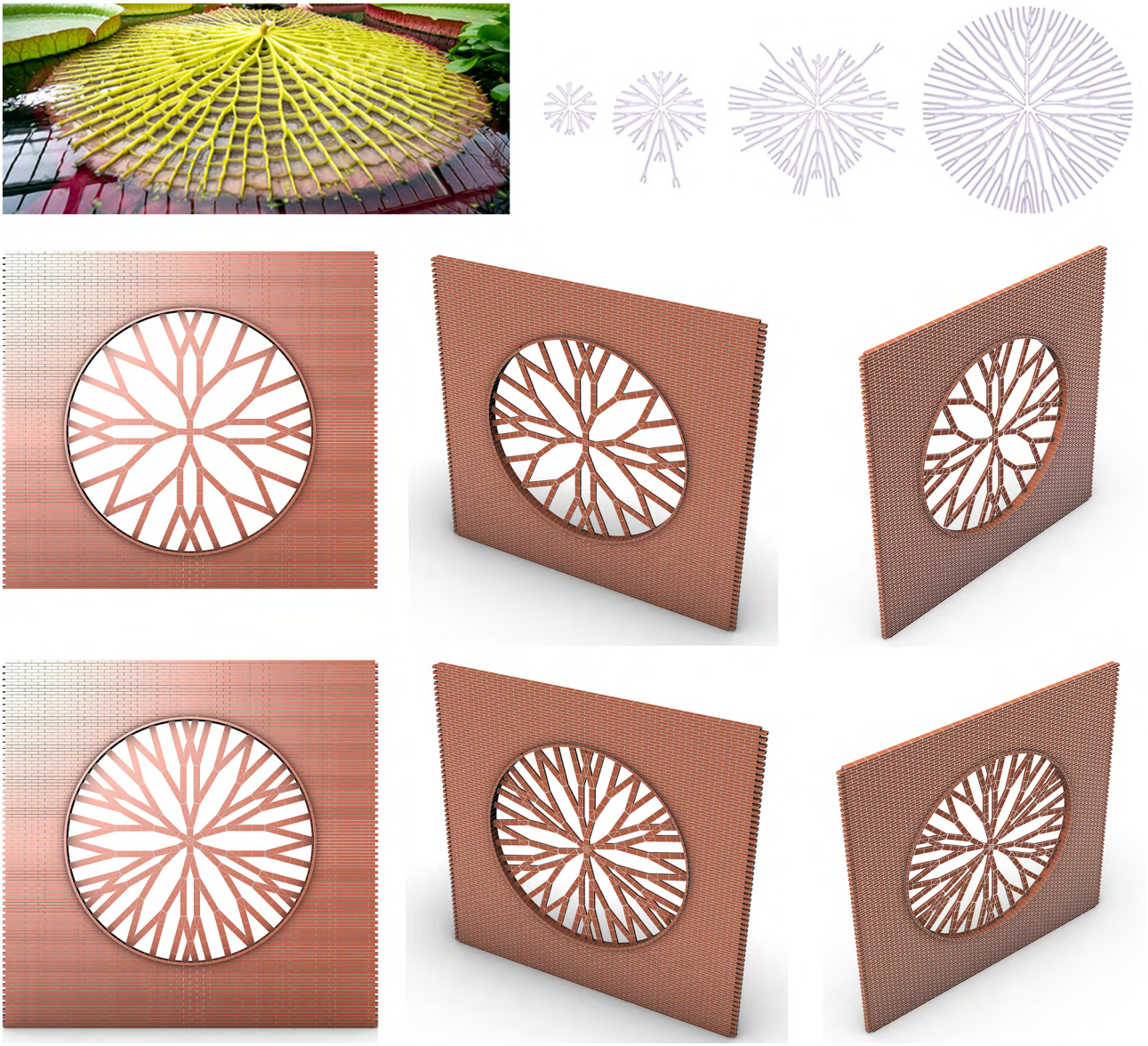


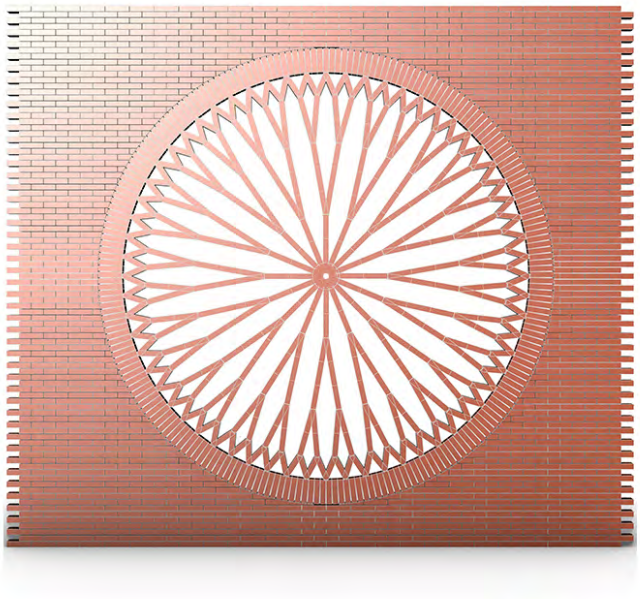
Fig. 4. Studio del processo morfogenetico della Victoria Amazonica caratterizzato da una crescita radiante e ramificata che incorpora principi di efficienza strutturale e traduzione della sua struttura radiante in elementi costruttivi ornamentali basati sul mattone (elaborazione grafica degli autori).

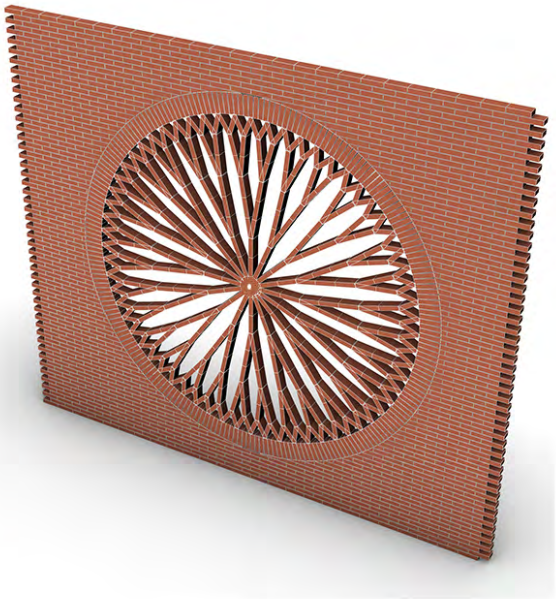


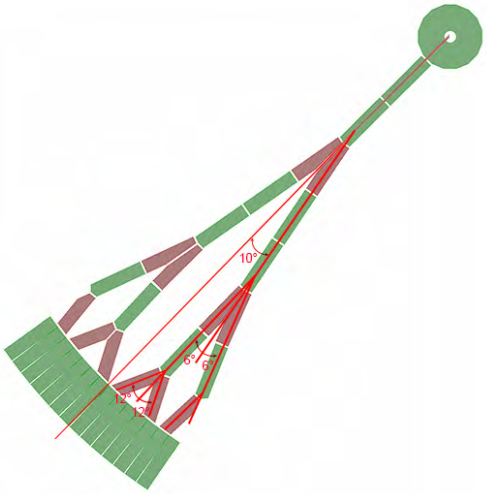
di omotetia interna: ciascuna infiorescenza replica su scala ridotta la geometria dell'intero, generando una sequenza iterativa di coni disposti lungo la superficie laterale del precedente. Questa crescita è descrivibile attraverso la successione di Fibonacci, i cui rapporti successivi approssimano l'invarianza proporzionale osservata nella distribuzione spaziale degli elementi. In tal modo la distribuzione spaziale delle infiorescenze è ottimizzata, sfruttando al massimo il rapporto tra numero e dimensione dei coni e la superficie disponibile. Ci si può interrogare sulla ragione per cui il broccolo romano sviluppi le cime a partire da una base circolare anziché da altri poligoni capaci di ottimizzare la tassellazione della superficie, come il quadrato, il triangolo o l'esagono. Una possibile risposta è che la curvatura della superficie conica massimizza l'esposizione ai raggi solari indipendentemente dall'angolo di incidenza, incrementando l'efficienza nell'assorbimento della luce per la fotosintesi, anche in condizioni di illuminazione limitata [6].
Il secondo algoritmo [Buratti, Rossi 2021] computa le strutture ramificate tridimensionali ispirate al frattale "albero di Pitagora" (fig. 3a), basato sull'identità pitagorica $a^2=b^2+c^2$ e su un processo iterativo binario di rotazioni e omotetie. Nello spazio tridimensionale, la costruzione sostituisce quadrati e triangoli con prismi triangolari e tetraedri (fig. 3b), generando geometrie autosimili rappresentative delle ramificazioni vegetali e dell'apparato vascolare polmonare (fig. 3c, d). In questo caso la reiterazione della divisione binaria, associata al dimezzarsi della sezione, permette un'efficace occupazione dello spazio senza interferenze tra un ramo e l'altro. La motivazione è facilmente intuibile se si considera quanto respirazione e fotosintesi siano legate all'efficienza degli scambi gassosi. Questa aumenta al crescere della superfice disponibile, da cui le ramificazioni che, nel limitato volume dei polmoni, possono generare superfici fino a 100 m², l'equivalente di un campo da tennis.
I successivi esperimenti sfruttano la proprietà frattale di autosimilarità e ricorsività nell'uso modulare del mattone. Questo è un elemento costruttivo fondamentale, la cui storia si intreccia con lo sviluppo dell'architettura e delle civiltà. La sua versatilità, durabilità e facilità di produzione lo hanno reso un materiale prediletto in diverse epoche e culture, dando vita a una vasta gamma di tecniche costruttive e stili architettonici che non si limitano al semplice utilizzo per muratura, ma si estendono alla realizzazione di volte, archi, cupole, dimostrando la flessibilità e capacità del laterizio di adattarsi e combinarsi in geometrie complesse.

I principi iterativi e ricorsivi per cui in un frattale una forma elementare si ripete secondo schemi scalabili, generando strutture che mantengono comunque una coerenza geometrica, si traducono in ambito costruttivo in sistemi compositivi in cui i singoli mattoni, intesi come unità fondamentali, sono aggregati secondo configurazioni tipiche dei sistemi autosimili [Jong 2005]. L'adozione di schemi frattali permette non solo di ottimizzare l'occupazione dello spazio, ma anche la distribuzione dei carichi strutturali, grazie alla peculiare natura gerarchica e ramificata che, come dimostrato dai molteplici esempi naturali, favorisce un'efficiente trasmissione delle sollecitazioni [Banach, Wrobel 2014]. Inoltre, la dimensione frattale, misura non intera che quantifica la complessità geometrica, può guidare la progettazione modulare per massimizzare la superficie di contatto e la coesione tra i singoli elementi, facilitandone una possibile fabbricazione digitale [Oxman 2010].
In sinergia, principi frattali e laterizi sono stati applicati inizialmente a possibili configurazioni di rosoni, elementi radiali di valore ornamentale e simbolico, che ben si prestano alla reinterpretazione algoritmica [Buratti, Rossi 2022]. Dal punto di vista geometrico, infatti, un rosone può essere costruito come una serie di trasformazioni ricorsive applicate a un modulo di base (mattone). Ogni iterazione produce una copia ridotta o ruotata del modulo, disposta secondo simmetrie radiali che appartengono a gruppi diedrali D_n ma arricchite da variazioni scalari e traslazioni su più livelli di scala (figg. 4, 5).
Il processo algoritmico definisce l'unità primitiva – il mattone – e il relativo grafo di connessione, descritto come insieme di piani orientati nello spazio che rappresentano possibili interfacce di accoppiamento. Operazioni di traslazione e rotazione applicate a tali piani modulano le relazioni topologiche e metriche tra i moduli adiacenti. L'applicazione ricorsiva di tali regole genera quindi strutture discrete complesse, analoghe a quelle prodotte da sistemi generativi di tipo *L-System*.
Una seconda serie di studi ha esplorato le possibilità offerte dall'introduzione di gerarchie spaziali tra gli elementi, modificando il processo di generazione e le regole aggregative per costruire strutture basate su una serie di archi portanti e relativi riempimenti.
L'adozione di logiche computazionali di progettazione discreta, formalizzate nello strumento *Wasp* [7] [Rossi 2017; Rossi, Tessmann 2019], ha consentito di attaccare la complessità determinata dall'utilizzo del laterizio in una calotta emisferica e di studiare le possibili varianti (figg. 6,

Fig. 5. Altro schema strutturale basato sulla Victoria Amazonica per la progettazione di un elemento architettonico che evidenzia il trasferimento dei principi di ramificazione organica in una configurazione geometrica funzionale per l'edilizia (elaborazione grafica degli autori).







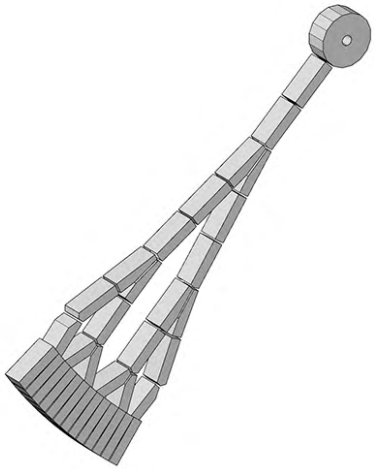
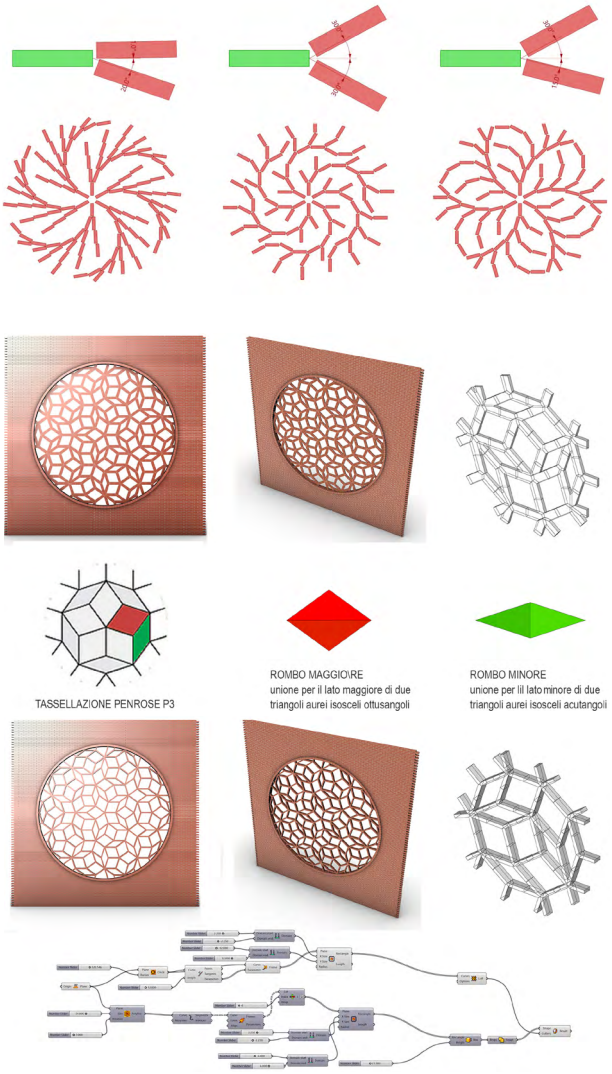


Fig. 6. Indagine computazionale sull'applicazione di modelli di crescita organica per la progettazione strutturale in architettura: trasposizione di schemi biomimetici per la realizzazione di cupole attraverso l'ottimizzazione formale e strutturale dell'uso del laterizio (elaborazione grafica degli autori).



Fig. 7. Rapporti parametrici tra i diversi elementi in laterizio (elaborazione grafica degli autori).

Fig. 8. Sperimentazione sull'uso del laterizio come modulo costruttivo per la realizzazione di una tassellazione di Penrose. La sinergia tra la geometria aperiodica applicata a un sistema costruttivo tradizionale dimostra le potenzialità innovatrici del computational design (elaborazione grafica degli autori).



7). Benché l'approccio *bottom-up* consenta di esplorare un ampio spettro di configurazioni geometriche, l'algoritmo proposto non computa indicazioni sulla stabilità dell'assetto finale. La generazione della struttura fondata unicamente su relazioni locali non implica che l'algoritmo sia efficiente nel considerare la morfologia globale dell'insieme. Tale mancanza di controllo a livello macrostrutturale può condurre a distribuzioni e spaziature dei mattoni che, pur rispettando le regole locali, risultino inadeguate a garantire le condizioni di stabilità complessiva richieste dal sistema costruttivo. Per risolvere tali problemi, si è adattato un processo inizialmente sviluppato per la creazione di strutture a partire da elementi irregolari [Allner et al. 2020], basato sulla simulazione fisica della struttura attraverso il *plug-in Kangaroo* [Piker 2013]. Ogni mattone viene definito come un corpo rigido connesso ai mattoni adiacenti con delle molle a resistenza variabile. Quando il *solver* fisico viene attivato, le molle trascinano i mattoni l'uno verso l'altro, ottimizzando gli spazi tra essi. Controllando la distanza massima per cui due mattoni sono considerati connessi è possibile chiudere spazi di dimensioni diverse, riducendo l'instabilità della struttura.
Ulteriori sperimentazioni studieranno nuovi schemi di composizione (fig. 8) e costruzioni basate su elementi eterogenei, caratterizzati da variazioni di scala o da difformità geometriche. Ciò include anche componenti irregolari o parzialmente deteriorati, quali materiali di recupero provenienti da strutture preesistenti, integrabili nel sistema attraverso opportune ridefinizioni delle relazioni topologiche e geometriche di connessione.

Conclusioni

Il mondo naturale, ammirato per l'efficienza delle sue soluzioni, offre modelli complessi traducibili in algoritmi di descrizione della forma, poiché sistemi naturali e informatici condividono schemi strutturali analoghi, seppur spesso invisibili. Nelle discipline del progetto, tali algoritmi possono generare non solo modelli di rappresentazione, ma anche artefatti concreti. Si esplicita così come la conversione della forma in linguaggio informatico non riduca la realtà, bensì ne espliciti la complessità. Ne sono un esempio i casi qui proposti, non ultimo la reinterpretazione del mattone come unità modulare di un linguaggio geometrico in cui le regole sono estrapolate dalle morfologie naturali.

Le possibilità non si limitano alla rappresentazione visiva: la parametrizzazione frattale in *Grasshopper* consente simulazioni di luce e ombra, valutazioni della ventilazione e ottimizzazioni termo-visive, trasformando il mattone in un dispositivo architettonico multifunzionale. In tal modo, il processo progettuale si avvicina a una sintesi tra geometria generativa e tradizione costruttiva capace di integrare complessità formale e concretezza materica.

Crediti

Benché questa ricerca sia un'opera collettiva, è possibile ascrivere i paragrafi *Introduzione* e *Geometria frattale: riferimenti reali e modelli digitali* a Michela Rossi e Giorgio Buratti, e *Disegnare strutture frattali complesse: dal broccolo al rosone* a Giorgio Buratti e Andrea Rossi. Le definizioni algoritmiche delle figure 2-5; 7 sono di Giorgio Buratti, mentre l'algoritmo che computa le geometrie di figura 6 è di Andrea Rossi.

Note

[1] In matematica, la misura di Lebesgue è la misura solitamente utilizzata per i sottoinsiemi di uno spazio euclideo di dimensione. Si tratta di una misura positiva completa che costituisce una generalizzazione dei concetti elementari di area e volume di sottoinsiemi dello spazio euclideo.

[2] La definizione è attribuita a Charles Hermite, eminente matematico francese che in una lettera ad un collega definisce "funzioni mostruose" o "patologiche" le funzioni continue ma non derivabili in nessun punto, perché sfidavano le nozioni intuitive di regolarità e derivabilità su cui si basava gran parte dell'analisi matematica dell'epoca.

[3] Goethe la cita e la utilizza in alcuni suoi scritti, soprattutto nelle *Massime e riflessioni* (*Maximen und Reflexionen*, raccolta postuma del 1833), dove si trovano formulazioni simili sul limite naturale della crescita e della perfezione.

[4] Specie di ninfea caratterizzata da foglie di grande estensione, sostenute da un complesso sistema di costole radiali e nervature incrociate, in grado di garantire leggerezza e resistenza strutturale.

[5] Munari semplifica le osservazioni di Leonardo sul disegno/forma degli alberi: Rami tendono ad incurvarsi verso l'alto a meno che il loro peso o quello dei frutti non lo impedisce. Il motivo di ciò è che ciascun ramo compete per ottenere una maggiore esposizione alla luce solare; Rami che crescono nella parte inferiore dell'albero sono maggiori di quelli che crescono nella parte superiore; Rami più centrali, quindi meno esposti alla luce, tendono a consumarsi di più e ad apparire meno belli; Rami più belli e vigorosi sono quelli posizionati in cima all'albero per via dell'esposizione alla luce e all'aria; Quando i rami di un albero si biforcano l'angolo che formano è sempre uguale qualunque ramo si consideri; L'affermazione 5 è sempre vera a meno che il ramo non sia vecchio. Più vecchio esso diventa più ottuso diventa l'angolo; Quando un ramo si divide in due rami l'inclinazione dei due rami sarà diversa e quello più sottile sarà più inclinato; Quando un ramo si divide in due rami la somma delle sezioni di quest'ultimi è uguale alla sezione del ramo genitore; Le inclinazioni dei rami maestri sono tanti quante sono le nuove ramificazioni che da essi partono senza scontrarsi; Quest'inclinazione più si piega quanto più i rami sono grossi; Il punto di intersezione della foglia lascia sempre una cicatrice sul ramo cui era attaccata finché per anzianità dell'albero la scorza si crepa e scoppia.

[6] Infatti il broccolo romano è una varietà di cavolfiore a ciclo medio-precoce autunno-invernale.

[7] *Wasp* è un *plug-in* per *Grasshopper*, sviluppato in *Python*, che offre strumenti combinatori per la progettazione con elementi discreti. La descrizione di ogni parte include tutte le informazioni necessarie per il processo di aggregazione (geometria della parte, posizione e orientamento delle connessioni) fornendo nel contempo una serie di strumenti utili a vincolare l'aggregazione risultante. Lo sviluppo di *Wasp* è stato realizzato da Andrea Rossi, nell'ambito della ricerca sui materiali digitali e la progettazione discreta presso la DDU Digital Design Unit della TU Darmstadt, guidata dal Prof. Oliver Tessmann.

Autori

Michela Rossi, Dipartimento di Design, Politecnico di Milano, michela.rossi@polimi.it
Giorgio Buratti, Dipartimento di Design, Politecnico di Milano, giorgio.buratti@polimi.it
Andrea Rossi, University of Kassel, Das Computerlabor im Fachbereich, rossi@asl.uni-kassel.de

Riferimenti bibliografici

Alexander, C. (1987). *A new theory of urban design*. Oxford: Oxford University Press.

Allner, L., Kroehnert, D., Rossi, A. (2020). Mediating Irregularity: Towards a Design Method for Spatial Structures Utilizing Naturally Grown

Forked Branches. In C. Gengnagel, O. Baverel, J. Burry, M. Ramsgaard Thomsen, & S. Weinzierl (Eds.). *Impact: Design With All Senses*, pp. 433-445. Cham: Springer.

Buratti G., Rossi M. (2021). Fractal patterns. Forms of Nature for project sustainability. In *DISEGNARECON*, vol. 14, pp. 1-17.

Falconer, K. (2003). *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*. London: John Wiley & Sons.

Greenough, H. (1852). *The travels, observations, and experience of a Yankee stonecutter.* By Horace Bender. New York: Putnam.

Greenough, H. (1957). *Form and Function: Remarks on Art, Design and Architecture*. Berkeley: University of California Press.

Jong, T. D. (2005). Modular Construction and Fractal Geometry. In *Journal of Architectural Science*, 12(3), pp. 45-56.

Lindenmayer, A. (1968). Mathematical models for cellular interactions in development II. Simple and branching filaments with two-sided inputs. In *Journal of Theoretical Biology*, 18(3), pp. 300-315. DOI: 10.1016/0022-5193(68)90080-5.

Mandelbrot, B. (1975). *Les object fractals. Forme, hazard e dimension*. Paris: Flammarion.

Mandelbrot, B. (2004). *Fractals and chaos: the Mandelbrot set and beyond*. Cham: Springer International Publishing.

Munari, B. (1978). *Disegnare un albero*. Mantova: Corraini.

Oxman, R. (2010). *Material-Based Design Computation*. Cambridge: MIT Press.

Penrose, R. (2004). *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe*. London: Jonathan Cape.

Piker, D. (2013). Kangaroo: Form finding with computational physics. In *Architectural Design*, 83(2), pp. 136-137.

Prusinkiewicz, P., Lindenmayer, A. (1990). *The Algorithmic Beauty of Plants*. New York: Springer Verlag.

Rossi, A. (2017). *Wasp-Discrete Design for Grasshopper* [Python]. <https://github.com/ar0551/Wasp> (consultato l'8 agosto 2025).

Rossi, A., Tessmann, O. (2019). From Voxels to Parts: Hierarchical Discrete Modeling for Design and Assembly. In L. Cocchiarella (Ed.). *ICGG 2018-Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics*, vol. 809, pp. 1001-1012. Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-95588-9_86.

Rossi, M. (2001). Tra forma e numero, l'ordine naturale nella ricerca del bello. Università di Firenze. Facoltà di Architettura (a cura di). *Matematica e architettura. Metodi analitici, metodi geometrici e rappresentazioni in architettura*, pp. 165-172. Firenze: Alinea.

Rossi, M. (2006). Natural Architecture and Constructed Forms: Structure and Surfaces from Idea to Drawing. In *NEXUS NETWORK JOURNAL*, vol. 8, pp. 172-182.

Rossi, M. (2014). Le regole del disegno. Modelli organici e pattern digitali. In M. Rossi, A. Casale (a cura di). *Uno (nessuno) centomila – prototipi in movimento. Trasformazioni dinamiche del disegno e nuove tecnologie per il design*, pp. 35-52. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Rossi, M. (2019). Organic Reference in Design. The Shape between Invention and Imitation. In P. Magnaghi Delfino, G. Mele, T. Norando (a cura di). *Faces of Geometry. From Agnesi to Mirzakhani. LECTURE NOTES IN NETWORKS AND SYSTEMS*, pp. 177-186. Cham: Springer.

Rossi, M., Buratti, G. (2021). Fractal patterns. Forms of Nature for project sustainability. In *DISEGNARECON*, vol. 14, pp. 1-17.

Rossi, M., Buratti, G. (2022). I giochi del disegno. Forma, costruzione e proliferazione nei pattern chiusi dai rosoni del duomo di Milano. In E. Cicalò, F. Savini, I. Trizio (a cua di). *Decorazione*, pp. 70-97. Alghero: Publica.

Rossi, M., Buratti, G. (a cura di). (2017). *Computational Morphologies. Design Rules between Organic Models and Responsive Architecture*. Cham: Springer Nature.

Rossi, M., Buratti, G., Ciagà, L., Conte, S. (2022). Antichi pattern e paesaggi sostenibili. Modelli biomorfici per la sostenibilità del Progetto. In F. Bianconi, M. Filippucci, S. Ceccaroni (a cura di). *Città centrifughe*, pp. 165-168. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Sala, N., Cappellato, G. (2004). *Architetture della complessità. La geometria frattale tra arte, architettura e territorio*. Milano: Francoangeli.

Thompson D'Arcy, W. (1917). *On Growth and Form*. Cambridge: University Press.

Tuckermann, H.T. (1853). *Memorial of Horatio Greenough*. New York: Kessinger Publishing.

Viollet-le-Duc, E. (1876). *Le massif du Mont Blanc. Étude sur sa constitution géodésique et géologique sur ses transformations et sur l'état ancien et moderne de ses glacier.* Paris: Boudry Editeur.

From Graphic Analysis of Equilibrium to Architectural Design. Cèsar Martinell

Cinta Lluis-Teruel, Josep Lluis i Ginovart

Abstract

Graphic statics is a structural calculation method derived from the concept of the thrust line and used by Catalan Modernism. A disciple of Antoni Gaudí, Cèsar Martinell, employed it in the design of 15 wineries between 1918 and 1922, which are now known as cathedrals of wine. One of them, the Pinell de Brai winery, illustrates the transformation of an initially projected structure with wooden trusses into one using masonry arches, which is the object of this study. By analyzing eight of the sketches using a graphic restitution methodology, it is possible to compare the masonry arches to the shapes of the catenary and the parabola, with an accuracy of ± 0.077 m for scale 1:100, and ± 0.052 m for scale 1:50. This analysis has made it possible to determine how the design process was developed: from trusses, to structural definition through trial and error using architectural drawing with graphic statics, and finally, the executed project featuring tied arches. In conclusion, none of the 14 drawn arches is strictly parabola or a catenary. The eight arches of the central nave tend toward the catenary shape, while the smaller-span arches of the side naves tend toward the parabola. The four masonry arches in the final project were drawn through point transposition using an auxiliary construction with a hanging chain, where the architectural structure was resolved using graphic methodologies.

Keywords: arches, catenary, graphic statics, Cèsar Martinell, parabola

Graphic statics and architectural design

Architectural structures were, for many years, the result of an experimental methodology until Robert Hooke (1635-1703) published *A description of helioscopes, and some other instruments*, in which he identified the ideal shape of an arch as the catenary curve [Hooke 1676, p. 31]. The scientific development of this curve was later addressed by Johann Bernoulli (1667-1748) in *Solutio problematis funicularii* [Bernoulli 1691] and Christiaan Huygens (1629-1695), in *Solutio eiusdem problematis* [Huygens 1691].
The mechanics of masonry structures conceptualized the thrust line as the locus of points through which internal forces pass within a system of given cutting planes [Huerta 2024], based on the mathematical foundations laid by Reverend Henry Moseley (1801-1872) [Moseley 1835].
This circumstance led to significant advances in graphic statics, which proved decisive for the architectural design of Catalan Modernism, particularly in the works of Rafael Guastavino Moreno (1842-1908) [Goodyear 1906] and Antoni Gaudí i Cornet (1852-1926) [Huerta 2006]. Both were trained in the concept of graphic transposition of structure into architectural design by Joan Torras Guardiola (1827-910) [Graus, Martin-Nieva 2015].
In addition to the Barcelona School of Architecture, established in 1875, the theory of ceramic vault construction also spread through the Architects' Association of Catalonia.

 CC BY-NC-ND



Fig. 1. Detail of the main beam of the Pinell de Brai Cooperative, built with brick arches. Image credit: Department of Culture of the Generalitat de Catalunya.

José Domènech i Estapà (1858-1917) suggested that parabolic shapes result from the equilibrium lines of a system with uniformly distributed loads, while catenary curves stem from the structure's self-weight [Domènech 1900]. Jaime Bayó Font (1873-1961) approached ceramic structures as flexible shells with different elastic coefficients in tension and compression [Bayó 1910]. Jeroni Martorell i Terrats (1876-1951) analyzed the use of iron tie-rods in masonry arches [Martorell 1910].
In structural science, the equilibrium conditions of a structure under a given load system can be analyzed using graphical statics, which employs the graphical representation of forces as vectors. Through this and with its adjustment, the architectural project can be produced, which is the subject of this paper. It is, therefore, a reflection on the relationship between structure and form, examined through the contribution of the graphic process and the skill involved in adjusting complex geometric forms using architectural drawing.
The study takes as a reference the figure of Cèsar Martinell i Brunet (1888-1973), a disciple and collaborator of Gaudí, who built 15 wineries between 1918 and 1922, known as cathedrals of wine, using graphic statics for the construction of their masonry arches. In the Historical Archive of the College of Architects of Catalonia in Barcelona ($COACAH_B$), the preliminary sketches (drawing C222-170) and the project (drawing H108I/18/170) for the Winery and Oil Mill of the Agricultural Cooperative of Pinell de Brai are preserved.

The building was constructed between 1918 and 1922 and has adjoining naves, one of which has two floors and is used as an oil mill, while the others are used as a wine cellar, where there is a structure formed by brick arches (fig. 1).
The analysis of the completed structure determined that none of the 28 arches defined by the function *f(a)* geometrically satisfy the equation of the catenary *f(c)*, nor that of the parabola *f(p)*. The fourteen smaller arches tend toward the parabolic function *f(p)*, while the larger-span arches tend toward the catenary function *f(c)* [Lluis i Ginovart et. al. 2017] (fig. 2).

Object of study and methodology

With knowledge of the completed work, the aim of this research is to analyze the evolution of the design process of the Pinell de Brai project through graphic documentation that served as the basis for the execution of the structure. The study focuses on the use of sketches to determine the masonry arches and to explore the relationship between structure and form through the following architectural drawings:

- H101I/6/reg. 2502: transverse section (0.606 x 0.390 m), graphite pencil on paper, scale 1:100;
- H103A/14/reg. 2290: transverse section (0.693 x 0.414 m), heliographic copy, scale 1:100;
- H103A/1/reg. 2293: detail of longitudinal and transverse sections (1.101 x 0.396 m), heliographic copy, scale 1:50;
- C222/170/1.1: detail of two central nave arches with graphic calculation (0.448 x 0.463 m), graphite pencil on paper, scale 1:50;
- C222/170/1.2: detail of two half-arch sections of the central nave with graphic calculation (1.025 x 0.491 m), graphite pencil on paper, scale 1:50;
- C222/170/1.5: transverse section (0.807 x 0.501 m), heliographic copy, scale 1:100;
- C222/170/2.4: detail of longitudinal and transverse section (1.378 x 0.498 m), graphite pencil on paper, scale 1:50;
- C222/170/2.6: detail of a central nave arch with graphic calculation (0.691 x 0.479 m), graphite pencil on paper, scale 1:50.

The methodological error in the trace restitution (*Ett*) depends on the drawing scale. It is determined as the sum of the precision of the original trace (*Ept*) (drawing

	Section A1				Section A2				Section A3				Section A4			
	A1.T1.a	A1.T2.b	A1.T3.c	A1.T4.d	A2.T1.a	A2.T2.b	A2.T3.c	A2.T4.b	A3.T1.a	A3.T2.b	A3.T3.c	A3.T4.d	A4.T1.a	A4.T2.b	A4.T3.c	A4.T4.d
Crown height	2,76	12,48	2,66	9,23	2,72	12,52	2,71	9,25	2,73	12,49	2,70	9,35	2,74	12,32	2,70	9,17
Span of the arch	2,91	13,55	2,87	10,10	2,89	13,57	2,82	10,07	2,89	13,59	2,84	10,08	2,91	13,53	2,84	9,99
f/l	0,95	0,92	0,93	0,91	0,94	0,92	0,96	0,92	0,95	0,92	0,95	0,93	0,94	0,91	0,95	0,92

	Section A5				Section A6				Section A7			
	A5.T1.a	A5.T2.b	A5.T3.c	A5.T4.d	A6.T1.a	A6.T2.b	A6.T3.c	A6.T4.d	A7.T1.a	A7.T2.b	A7.T3.c	A7.T4.d
Crown height	2,67	12,49	2,66	9,38	2,69	12,53	2,65	9,30	2,67	12,37	2,68	9,39
Span of the arch	2,88	13,58	2,81	10,09	2,87	13,59	2,81	10,07	2,89	13,54	2,82	10,09
f/l	0,93	0,92	0,95	0,93	0,94	0,92	0,94	0,92	0,92	0,91	0,95	0,93

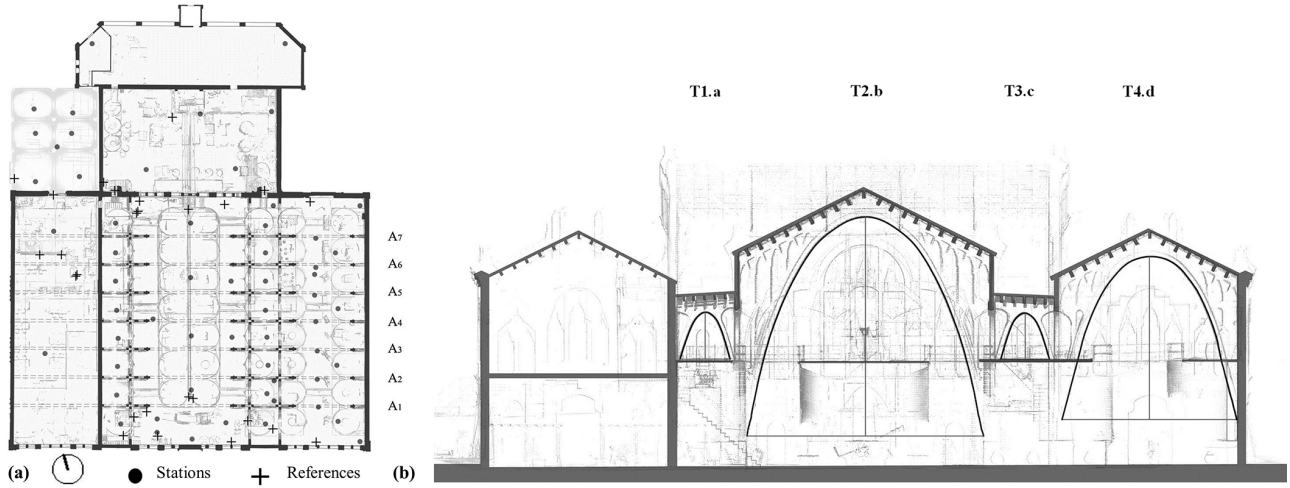


Fig. 2. Elevation (TLS) Sindicato Agrícola de Pinell de Bray. Leica Scan Station P40 (2015). Units of length expressed in meters.

H1011/6/reg. 2502), in which 13-dimension lines were noted and used as the basis for calibration, resulting in a root mean square error of 0.001, with a tolerance of ± 0.026 m defined as *TTi.i*. The pixel reference of a graphite line at scale *Elt*, (1:100 = ± 0.041 m) and (1:50 = ± 0.021 m), and the estimated digital restitution error is considered as *Eit* (1:100 = ± 0.010 m) and (1:50 = ± 0.005 m):

$$Ett = \Sigma\ (Ept, Elt, Eit) \qquad (1)$$

The resulting errors are Ett_{100} = ± 0.077 m and Ett_{150} = ± 0.052 m, taking the measurement of the smallest arch as a reference (*TTa.1* and *TTc.3*) *l* = 2.650 m.

$$Ett_{100} = \pm\ 2.906\%;\ Ett_{150} = \pm\ 1.962\%$$

The nomenclature for the executed arches is: (*T1.a*, *T1.b*, *T1.c*, *T1.d*); for the project arches: (*Ta.1*, *Tb.2*, *Tc.3*, *Td.4*). The graphic construction of the arches is based on the theoretical dimensions established through the drawn measurements of the trace (drawing H1011/6/reg. 2502), which are taken as the theoretical references (*TTa.1*, *TTb.2*, *TTc.3*, *TTd.4*). The differences between them are not significant in terms of the rise *(f)* and the span (*l*).

Methodology for the graphic comparison of the curve traces

The graphic verification is carried out using the functions of the parabola and the catenary, where *p* represents the weight per unit length of a hanging element, and T_o minimum horizontal tension:

$$f(p) = p\,\frac{x^2}{2T_0} \qquad (2)$$

$$f(c) = T_0/p.\,Cos\,h\left(\frac{x.p}{T_0}\right) \qquad (3)$$

The process is carried out within a Cartesian coordinate system (*x*, *y*), where the coordinates (*x* = *l*) and (*y* = *f*) represent the span and the rise, respectively. Ten points are defined per branch for both figures, distributed along the *x*-axis, allowing the establishment of *(lcx)* and *(lpx)*, similar to those used in funicular polygons. The parabola is drawn by knowing the vertex, the axis, and the springing points, using projective bundles over a parallelogram (*f*, *l*/2) divided into 10 segments. The catenary is determined using 10 points, whose projection follows a similar projective sequence (*yci*/*n*). Considering that, when the coordinates (*yci* = *ypi*) of the catenary *f(c)* and the parabola *f(p)* are equal, the coordinates *xci* are always greater than *xpi*. In this way, it is possible to verify the projective difference (*xci* - *xpi*) between the catenary *f(c)* and the parabola *f(p)* (fig. 3).

The difference depends on the drawing scale and on the ratio between the rise and the span of the arch. Verification is carried out by constructing a canonical reference (10 m), which corresponds to the average span of the arches in the project. In this way, it is observed that the smaller the rise-to-span ratio, the more similar the two curves become. The greatest distortions between the widths of the two figures occur in interval [7], which corresponds to the projection between 30% and 40% from the springing points (l_1, l_2).
Thus, for rise/span ratios (*f*/*l*: 0.25, 0.50, 0.75, 1.00), the corresponding differences (*xci* - *xpi*) are: 0.069 m, 0.194 m, 0.313 m, 0.414 m.
In delineation, these canonical curves yield values of: [*E*: 1/100 (*xci* - *xpi*) = 0.000 m, 0.002 m, 0.003 m, 0.004 m], while [*E*: 1/50 (*xci* - *xpi*) = 0.001 m, 0.004 m, 0.006 m, 0.008 m]. Similar results are found in the theoretical arches (drawing H1011/6/reg. 2502) (*TTa.1*, *TTb.2*, *TTc.3*, *TTd.4*), with differences in the built work of 0.115 m, 0.469 m, 0.396 m, and 0.414 m respectively.

(a) Difference between canonical functions f(c)-f(p)

Rise/Span		0,25	0,5	0,75	1,00
Stretch	Interval				
V	1	0,000	0,000	0,000	0,000
1/10x(l/2)	2	0,027	0,067	0,102	0,127
2/10x(l/2)	3	0,040	0,106	1,666	0,213
3/10x(l/2)	4	0,047	0,145	0,227	0,299
4/10x(l/2)	5	0,061	0,175	0,278	0,370
5/10x(l/2)	6	0,069	0,194	0,313	0,414
6/10x(l/2)	7	0,070	0,198	0,375	0,426
7/10x(l/2)	8	0,065	0,185	0,301	0,400
8/10x(l/2)	9	0,052	0,150	0,243	0,326
9/10x(l/2)	10	0,031	0,009	0,17	0,196
l/2	11	0,000	0,000	0,000	0,000

(b) Difference between theoretical arches f(c)-f(p)

Rise/Span		TTa.1	TTb.2	TTc.3	TTd.4
Stretch	Interval				
V	1	0,000	0,000	0,000	0,000
1/10x(l/2)	2	0,034	0,151	0,127	0,127
2/10x(l/2)	3	0,058	0,245	0,205	0,213
3/10x(l/2)	4	0,083	0,342	0,285	0,299
4/10x(l/2)	5	0,099	0,419	0,354	0,370
5/10x(l/2)	6	0,115	0,469	0,396	0,414
6/10x(l/2)	7	0,119	0,482	0,407	0,426
7/10x(l/2)	8	0,111	0,451	0,382	0,400
8/10x(l/2)	9	0,091	0,365	0,311	0,326
9/10x(l/2)	10	0,053	0,202	0,187	0,196
l/2	11	0,000	0,000	0,000	0,000

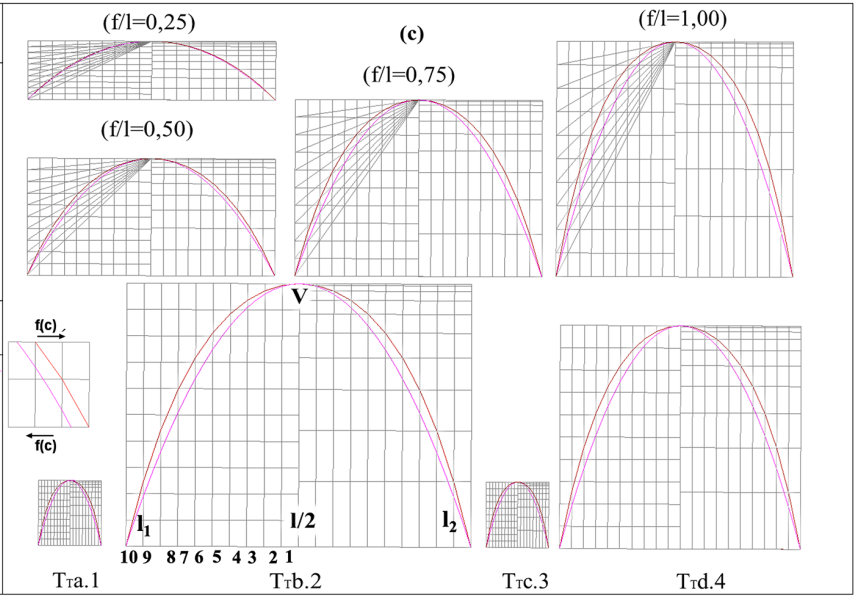


Fig. 3. Relationship between the shapes of the masonry arches and the functions of the catenary f(c) and the parabola f(p). Units of length expressed in meters, referring to a standard of 10 m arc length.

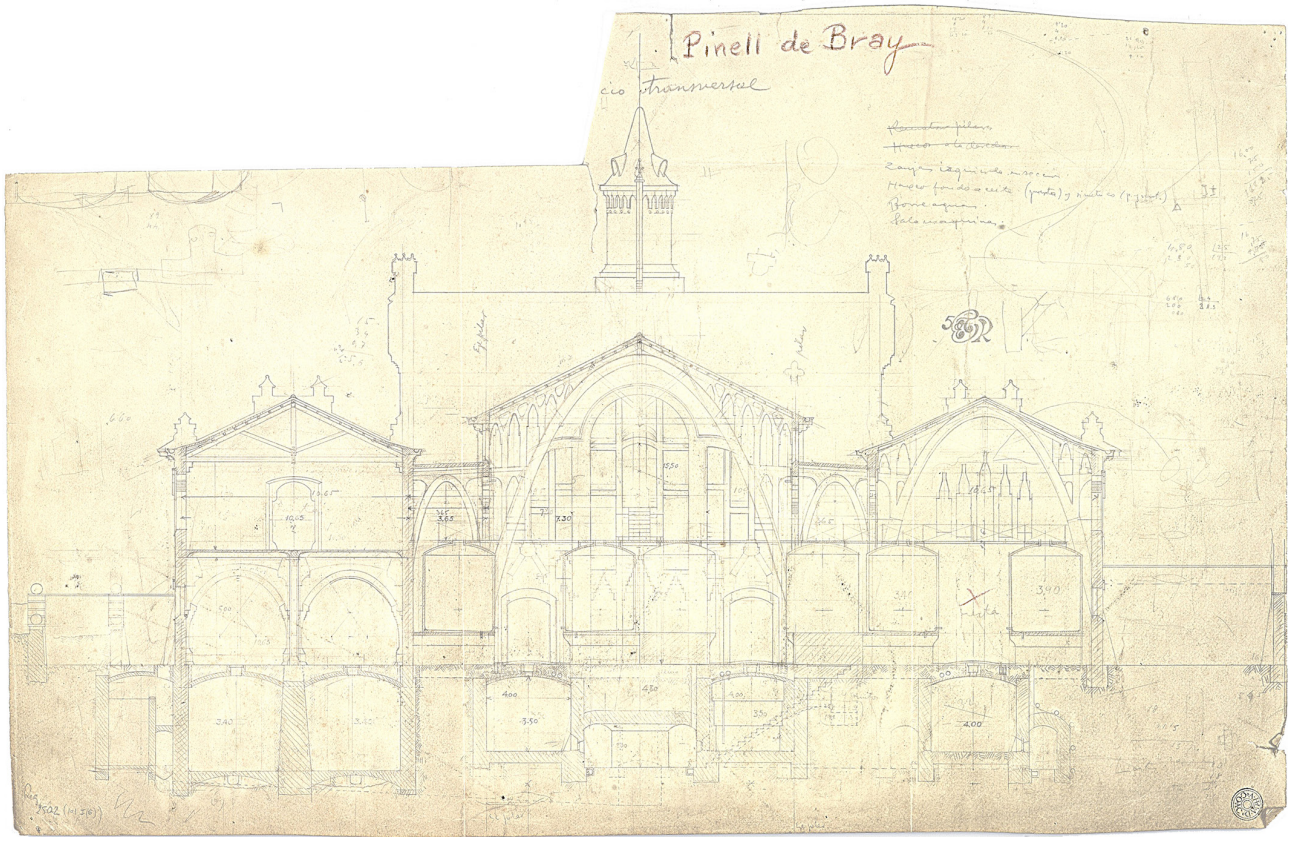


Fig. 4. Trace of drawing H101I/6/reg. 2502 as the basis for project (P1) (drawing C222/170/1.5) and (P2) (drawing H103A/14/reg. 2290). Image credits: COAC AH_B Archive.

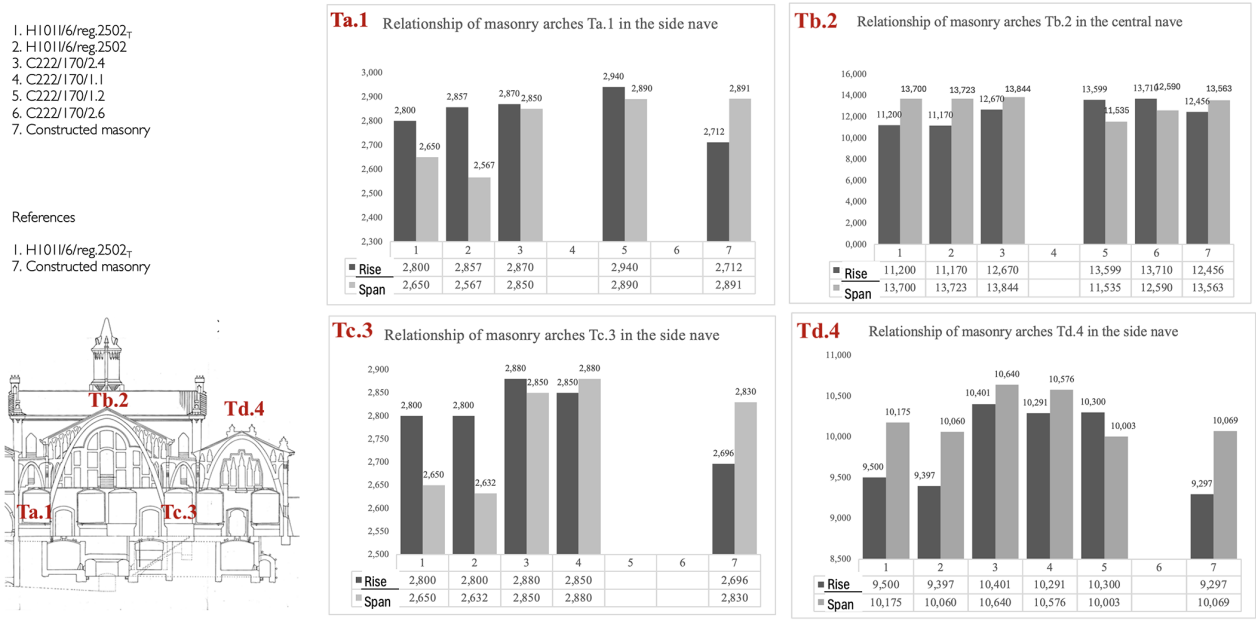


Fig. 5. Design trials of the masonry arch dimensions with reference to the theoretical levels of the initial project (1. H1011/6/reg. 2502T) and to the executed work (7. constructed masonry). Units of length expressed in meters.

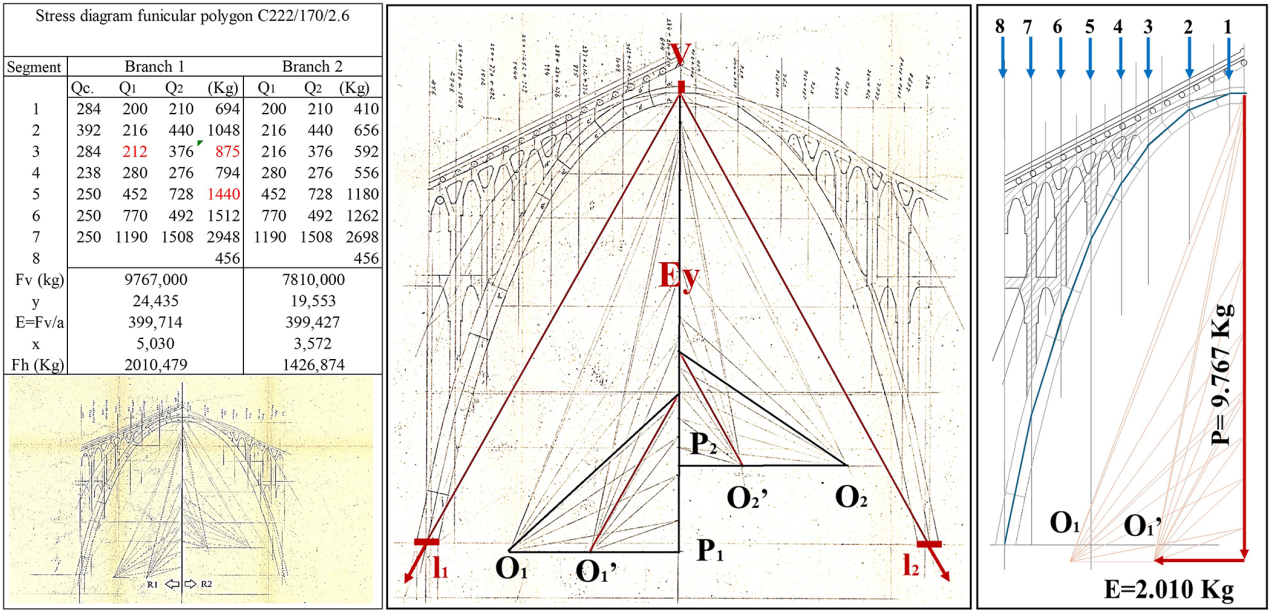
Initial modification of the project: drawing C222/170/1.5

In the transverse section (drawing C222/170/1.5), all three naves are covered with wooden trusses, and this is considered the original design *P1*. A correction made in strong graphite is visible in the basement area, adapting it to the topography. Additionally, very fine graphite lines appear beneath two of the trusses, indicating their replacement by masonry arches. In project (drawing H103A/14/reg. 2290), the nave designated for the oil mill retains its original truss structure, while the two intended for the winery are constructed with four masonry arches. Moreover, the ground floor section shows clear adaptation to the existing topography and is regarded as the foundation of the new design *P2*. Both traces share a common base, i.e. the matrix (H1011/6/reg. 2502) (fig. 4) where the superposition of both proposals can be observed the trusses from the initial project (C222/170/1.5) and the masonry arches from drawing H103A/14/reg. 2290. This sketch preserves the section of the basement level from design (*P1*), which would later be modified in the final project (*P2*).

The shortage of wood and steel resulting from the First World War, along with the financial constraints of the cooperatives, led to the replacement of the roof trusses with brick masonry arches [Llorens 2013]. According to the construction budget, the common brick was to be sourced from Benissanet and Tortosa; the facing brick from Mora; and the molded brick from Reus all of which are nearby towns (drawing C 222/170).

Later modifications and the use of graphic statics for design trials

The design change led to a dimensioning process using funicular polygons for the four arches. When referencing the dimensions of those with annotated measurements



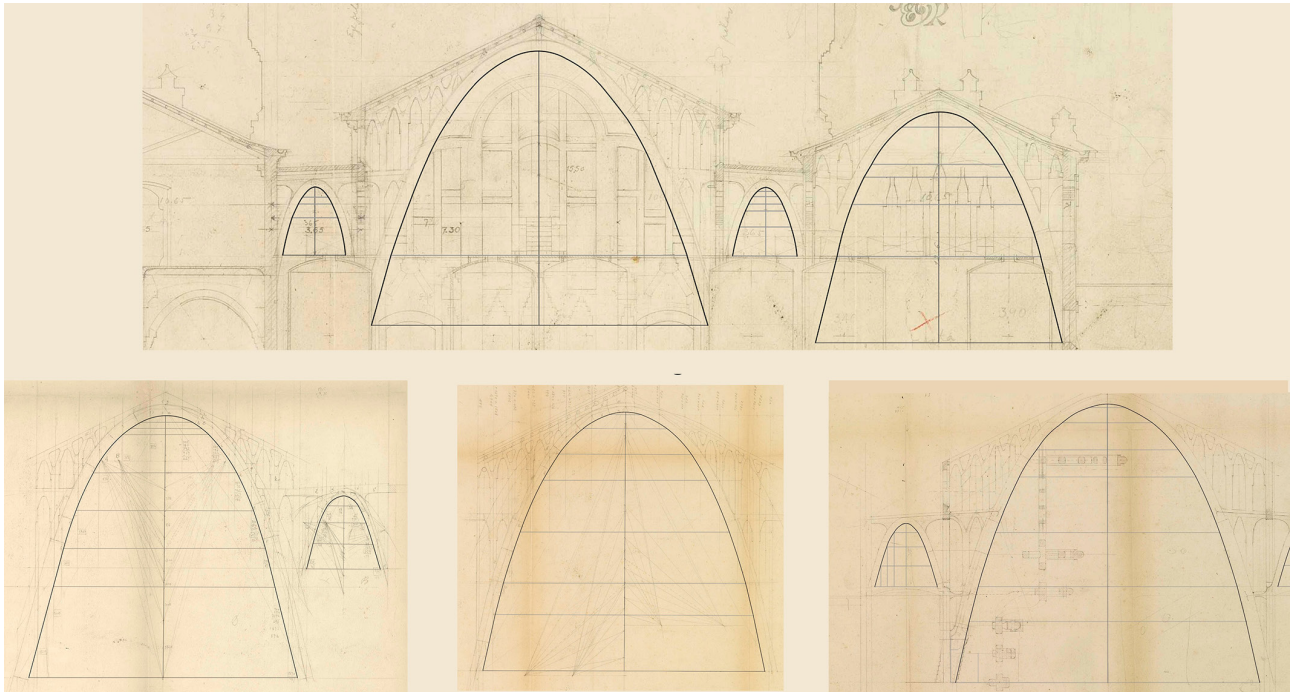
Stress diagram funicular polygon C222/170/2.6

Segment	Branch 1				Branch 2		
	Qc.	Q1	Q2	(Kg)	Q1	Q2	(Kg)
1	284	200	210	694	200	210	410
2	392	216	440	1048	216	440	656
3	284	212	376	875	216	376	592
4	238	280	276	794	280	276	556
5	250	452	728	1440	452	728	1180
6	250	770	492	1512	770	492	1262
7	250	1190	1508	2948	1190	1508	2698
8				456			456
Fv (kg)	9767,000				7810,000		
y	24,435				19,553		
E=Fv/a	399,714				399,427		
x	5,030				3,572		
Fh (Kg)	2010,479				1426,874		

Fig. 6. Funicular polygons of masonry arches Tb.2 (drawing C222/170/2.6). Units of length expressed in meters. Image credits: COAC AH$_B$ Archive.

(drawing H1011/6/reg. 2502T), differences in all dimensions can be observed. In this way, the design trial (drawing C222/170/1.1) increases both the rise (*f*) and span (*l*) of arches *Tc.3* and *Td.4*. In drawings C222/170/1.2 and C222/170/2.6, both the rise and span are increased for arch *Ta.1*, and the rise is also increased for *Tb.2* (fig. 5).
Develop some preliminary layouts before the final solution, forming two funicular polygons for *Tb.2* and *Tc.3* in drawing C222/170/1.1, two more for arches *Tb.2* and *Td.4* in drawing C222/170/1.2, and another one for *Tb.2* in drawing C222/170/2.6.
Each masonry arch operates with two branches (R_1, R_2). In R_1, the self-weight and the load of the upper finish (Q_1, Q_2) are applied, along with the live load of the roof (Qc_1) while R_2 includes only Q_1 and Q_2 (fig. 6a). The funicular is constructed using eight segments of the arch, with the line passing through the center of the core of the elastic section. The resultant used to determine the thrust *E* is constructed with a triangle located at the center of the section, with vertex *V*, and at the springing point of the arch I_1 and I_2, aligned along a central axis *Ey*. A provisional pole is drawn for each branch, O_1 and O_2, followed by the final poles O_1' and O_2' (fig. 6b). The resulting vertical component *P* is the sum (P_1 - *8*), and the horizontal component is (*P* - *O'*) (fig. 6c).
The tests show that the arches in the naves are segmental ($f/l > 1$), whereas in the initial project they were lowered ($f/l < 1$), and therefore, the trials would result in a thrust *E* smaller than that of drawing H1011/6/reg. 2502_T.
The analysis of the curves traced for the masonry arches is carried out by dividing the curve into two branches along the vertical axis that passes through the vertex (*V*), where the half-span ($l/2$) is divided into ten segments ($xa_{1\text{-}10}$) determining ($ya_{1\text{-}10}$). This point serves as a reference to determine the measurement differences with respect to the parabola and the catenary:

$$(ya_{1\text{-}10}) = (yp_{1\text{-}10}) = (yc_{1\text{-}10}) \quad (4)$$



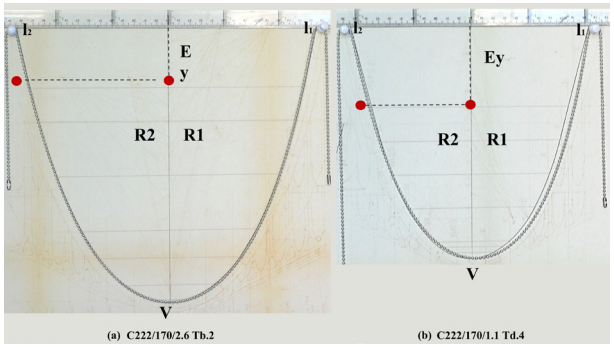


Fig. 7. Detail of the alignment lines in the trace of the masonry arches. Image credits: COAC AH$_B$ Archive.

Fig. 8. Verification of the geometric traces of the arches using an inverted chain.

In this way, the following is established:

$$dp = (xa_{1\text{-}10} - xp_{1\text{-}10});\ dc = (xa_{1\text{-}10} - xc_{1\text{-}10}) \qquad (5)$$

It is observed that the layout of the two branches R_1 and R_2 is not exactly symmetrical, and that none of the fourteen curves correspond exactly to *f(xc)* catenaries or *f(p)* parabolas. Of the 144 points analyzed from the eight arches of the central naves (*Tb.2*, *Td.4*), 12.50% of the points (*f(p)*) approximate the parabola, while 87.50% (*f(c)*) tend toward the catenary. Of the 100 points from the arches of the side naves (*Ta.1*, *Tc.3*), 75.00% (*f(p)*) approximate the parabola, while 25.00% (*f(c)*) tend toward the catenary. In the tracing of the curves, certain points are marked in graphite along the curve's axis and are transferred perpendicularly toward branch R_2 of the curve, located to the right of the drafter. This suggests that the function *f(a)* was drawn using a point transposition method (fig. 7).

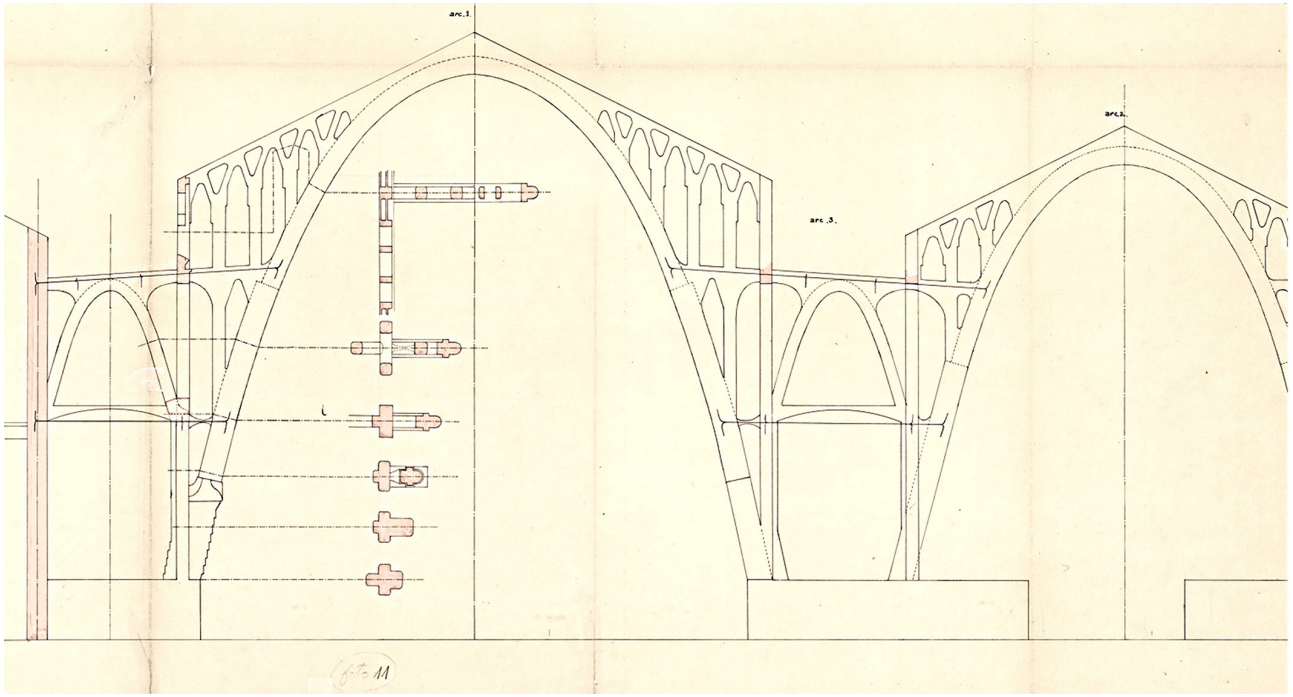


Fig. 9. Details of the anchors in the final section of the modified project (drawing H103A/11reg. 2293). Image credits: COAC AH$_B$ Archive.

P	AC22/170/2.4.a.1						AC22/170/2.4.b.2						AC22/170/2.4.c.3						AC22/170/2.4.d.4					
	(x0-xi)	y	Δ(x0-xi)	Δy	%Δx	%Δy	(x0-xi)	y	Δ(x0-xi)	Δy	%Δx	%Δy	(x0-xi)	y	Δ(x0-xi)	Δy	%Δx	%Δy	(x0-xi)	y	Δ(x0-xi)	Δy	%Δx	%Δy
1	5,700	0,000	0,000	1,880	1,000	0,000	27,700	0,000	0,000	5,770	1,000	0,000	5,700	0,000	0,000	1,920	1,000	0,000	21,280	0,000	0,000	7,210	1,000	0,000
2	4,580	1,880	1,120	1,730	0,804	0,328	25,200	5,770	2,500	2,960	0,910	0,228	4,630	1,920	1,070	1,690	0,812	0,334	17,630	7,210	3,650	1,520	0,828	0,347
3	3,410	3,610	1,170	1,310	0,598	0,629	23,580	8,730	1,620	4,930	0,851	0,345	3,470	3,610	1,160	1,310	0,609	0,628	16,860	8,730	0,770	1,910	0,792	0,420
4	2,180	4,920	1,230	0,820	0,382	0,857	20,410	13,660	3,170	5,050	0,737	0,539	2,240	4,920	1,230	0,830	0,393	0,856	15,750	10,640	1,110	2,600	0,740	0,512
5	0,000	5,740	2,180	0,000	0,000	1,000	16,090	18,710	4,320	2,460	0,581	0,739	0,000	5,750	2,240	0,000	0,000	1,000	14,120	13,240	1,630	3,920	0,664	0,637
6							12,880	21,170	3,210	2,460	0,465	0,836							10,360	17,160	3,760	2,120	0,487	0,825
7							8,140	23,630	4,740	1,390	0,294	0,933							6,980	19,280	3,380	0,510	0,328	0,927
8							3,160	25,020	4,980	0,310	0,114	0,988							5,800	19,790	1,180	0,490	0,273	0,951
9							0,000	25,330	3,160	0,000	0,000	1,000							4,220	20,280	1,580	0,520	0,198	0,975
10																			0,000	20,800	4,220	0,000	0,000	1,000

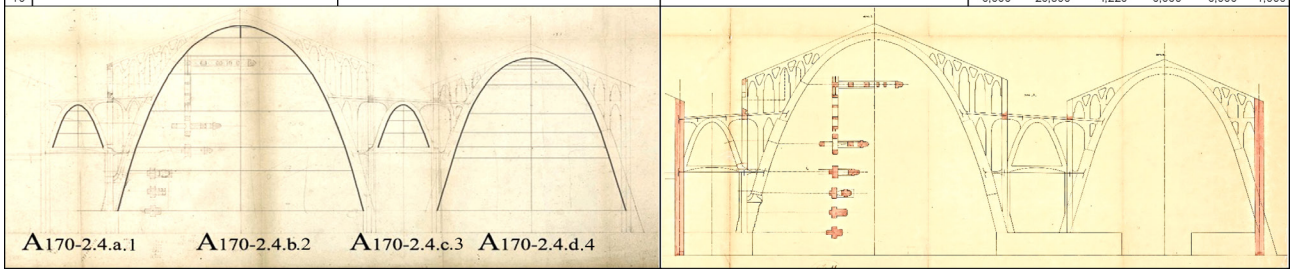


Fig. 10. Determination of the singular points in the tracing of the masonry arches.

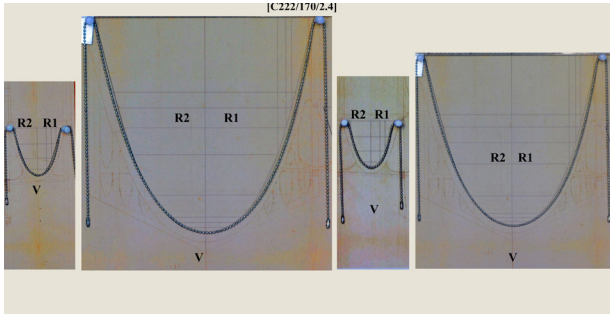


Fig. 11. Verification of the geometric traces of the arches using an inverted chain.

A verification was carried out to determine the geometry of the traced curve by superimposing a chain with 320 beads per linear meter, weighing 8.059 grams, measured using a Mettler Toledo balance (PB303-S Delta Range). The setup was documented through photographs taken with a Nikon Digital Camera D5200, equipped with a Nikon DX SWN VR Aspherical (∞-0.28 m/0.92 ft Ø 52). It was observed that the transposition of measurements is performed along the vertical axis *Ey* and transferred onto branch R_2, located to the right of the trace. Furthermore, there is a high degree of alignment in the points of branch R_2 (fig. 8a, b), whereas the symmetry in branch R_1 of the curve is not always consistent (fig. 8b).

The definition of the project: drawing C222/170/2.4 and H103A/1/reg. 2293

With the alignments, the base for the final project is established, using the trace that defines the geometry of the arches in the transverse section, with six sections perpendicular to the cut, and with the details of the upper arcade (drawing C222/170/2.4). It also includes the first three bays of the longitudinal section, where auxiliary lines appear for drawing the masonry arches, as well as notes with numerical operations, though no funicular analysis is present. In

the heliographic copy H103A/1/reg. 2293, the arches are numbered, and the anchoring of the ties from the central nave arches to those of the side naves is highlighted, taking advantage of the floor slab (fig. 9).
The tracing of the arches is carried out through the transposition of measurements, and it is observed that there is no orderly sequence in the progression of the abscissas Δy. There is a convergence of auxiliary traces for arches *Ta.1*, *Tc.3*, and *Td.4* within the interval 0.629%-0.637% from the springing points I_1 *and* I_2, which is drawn with a straight line. This part of the curve is where *f'(a)* reaches its maximum slope. The point of minimum curvature in all the arches appears in the segment 0.825%-0.857%, and the vertex *V* is located where *f'(a)* = 0 (fig. 10). In the verification using a chain, a high degree of alignment is observed with branch R_2 of the traces of the four arches, which is where the transposition of measurements occurs (fig. 11).
On the other hand, when comparing the tracing parameters with those of the parabola and the catenary, it is observed that the dimensional results of *Ta.1* and *Tc.3* approximate the parabola, while *Tb.2* and *Td.4* tend toward the catenary. As for the lengths of the four arches, all of them fall within the methodological error range E_{tt150} = ± 1,962% of the catenary function (fig. 12).
In the geometry of the trace *Tb.2*, an increase of 1.470 m in the rise of the arch is noted compared to the original design H101I/6/reg. 2502T, while the span increases by only 0.144 m. As a result, its section is more elevated, and therefore its thrust *E* will be lower. The dimensions of this arch are close to those of the executed work (*f*, *l* = + 0.214, + 0.281 m) and the ratio is very similar (*f/l*, 0.915, 0.918).
The dimensions of the as-built arch *T4.d* are close to the *Td.4* of the initial project and differ from the modified drawing *C222/170/2.4*. The geometry of *Ta.1* and *Tc.3* is very similar to the original design, the modified design, and the actual construction.

Conclusion

It has been possible to determine how the design process was developed, with the structural definition carried out

	AC22/170/2.4.a.1					AC22/170/2.4.b.2				
	(x0-xi)	y	Δ(x0-xi)	Δy	%Δx %Δy	(x0-xi)	y	Δ(x0-xi)	Δy	%Δx %Δy
Lf (xa) m			6,668					30,507		
L f(xp) m			6,653					30,071		
L f(xc) m			6,795					30,667		
L f(xp)- L f(xa) m	0,015			0,225	%	0,436			1,429	%
L f(xc)- L f(xa) m	-0,127			-1,905	%	-0,160			-0,524	%
Sf (xa) m^2			5,424					124,287		
S f(xp) m^2			5,451					116,990		
S f(xc) m^2			5,909					125,981		
S f(xp)- S f(xa) m^2	-0,027			-0,498	%	7,297			5,871	%
S f(xc)- S f(xa) m^2	-0,485			-8,942	%	-1,694			-1,363	%

	AC22/170/2.4.c.3					AC22/170/2.4.d.4				
	(x0-xi)	y	Δ(x0-xi)	Δy	%Δx %Δy	(x0-xi)	y	Δ(x0-xi)	Δy	%Δx %Δy
Lf (xa) m			6,684					24,708		
L f(xp) m			6,674					24,289		
L f(xc) m			6,813					24,783		
L f(xp)- L f(xa) m	0,010			0,150	%	0,419			1,696	%
L f(xc)- L f(xa) m	-0,129			-1,930	%	-0,075			-0,304	%
Sf (xa) m^2			5,443					77,793		
S f(xp) m^2			5,473					73,770		
S f(xc) m^2			5,931					79,783		
S f(xp)- S f(xa) m^2	-0,030			-0,551	%	4,023			5,171	%
S f(xc)- S f(xa) m^2	-0,488			-8,966	%	2,000			2,571	%

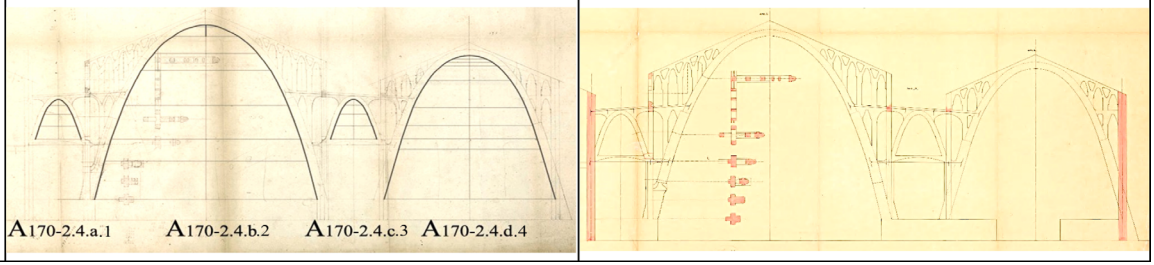


Fig. 12. Dimensional comparison of the arches with respect to the parabola and catenary.

through a graphic sequence: initial trusses, design trials of the arches using graphic statics, and the final project with tied arches. The executed work reflects the original geometry of arches *Ta.1*, *Tc.3*, and *Td.4*, as well as the increased rise of *Tb.2*. None of the 14 drawn arches corresponds strictly to a parabolic or catenary function. The eight arches in the central naves tend toward the catenary, while those with smaller spans in the side naves tend toward the parabola although all remain within the methodological margin of error for catenary restitution. The four masonry arches in the final project were drawn using point transposition, carried out through an auxiliary construction made with a hanging chain. Martinell relies on this simulation because it allows him to graphically plot a curve to draw the arches of the structure in a simpler way than plotting a parabola. The architectural structure was resolved using vector-based graphic methodologies, and its form was defined through the transposition of architectural drawing demonstrating the representational power of drawing in determining the structure of the architectural project.

Abbreviations and nomenclature

$COACAH_B$: Collegi Oficial Arquitectes Catalunya, Arxiu Històric Barcelona.
$COACAH_{To}$: Collegi Oficial Arquitectes Catalunya, Arxiu Històric Tortosa.
(f): rise of arches.
f(a): geometric function of masonry arches.
f(c): catenary function.
f(p): parabolic function.
(l): span of arches.
T1.a, *T1.b*, *T1.c*, *T1.d*: arches actually built on site.
Ta.1, *Tb.2*, *Tc.3*, *Td.4*: arches in the architectural project.

Authors

Cinta Lluis-Teruel, School of Architecture, Universitat Internacional de Catalunya, cintalluis@uic.es
Josep Lluis i Ginovart, School of Architecture, Universitat Internacional de Catalunya, jlluis@uic.es

Reference List

Bayó, J. (1910). La bóveda tabicada. In *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña,* pp. 157-184.

Bernoulli, J. (1691). Solutio problematis funicaularii exhibita a Johanne Bernoulli. In *Actae Eruditorum*, pp. 274-276. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k500093/f286.item> (accessed 9 February 2026).

Domènech, J. (1900). La fábrica de ladrillo en la construcción catalana. In *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*, pp. 37-48.

Goodyear, W.H. (1906). The Columbia University Chapel. In *The Brickbuilder*, vol. 15, pp. 261-269, Plates 162-168.

Graus, R., Martin-Nieva, H. (2015). The beauty of a beam: The continuity of Joan Torras's beam of equal strength in the work of his disciples Guastavino, Gaudí, and Jujol. In *International Journal of Architectural Heritage*, Vol. 9, No. 4, pp. 341-351.

Hooke, R. (1676). *A description of helioscopes, and some other instruments*. London: Printed by T.R. for John Martyn.

Huerta, S. (2006). Structural Design in the Work of Gaudí. In *Architectural Science Review*, Vol. 49, No. 4, pp. 324-339. DOI: 10.3763/asre.2006.4943.

Huerta, S. (2024). El análisis gráfico de equilibrio de arcos, bóvedas y edificios: Un esquema de su desarrollo histórico. In *Revista de la Construcción*, Vol. 4, pp. 1-42. DOI: 10.4995/rdhc.2024.23120.

Huygens, C. (1691). Christiani Hugenii, Dynastae in Zulechem, Solutio eiusdem problematis. In *Actae Eruditorum*, pp. 281-290. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k500093/f295.item> (accessed 9 February 2026).

Llorens, J.I. (2013). Wine cathedrals: Making the most of masonry. In *Construction Materials*, Vol. 166, No. 6, pp. 329-342. DOI: 10.1680/coma.12.00023.

Lluis i Ginovart, J., López Piquer, M., Costa, A., Coll, S. (2017). Design and layout of arches in Pinell de Brai cooperative. The legacy of Catalan construction on Cèsar Martinell wine cellar designs (1919-1927). In *Construction History International*, Vol. 32, No. 2, pp. 67-82. <https://patriarq.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/03/2017-lluis-et-al-design-and-layout-of-arches-in-pinell-de-brai-cooperative_ch.pdf> (accessed 19 November 2025).

Martorell, J. (1910). Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna. In *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*, pp. 119-146.

Moseley, H. (1835). On the equilibrium of the arch. In *Cambridge Philosophical Transactions*, Vol. 5, pp. 293-313.

The Geometry of the Invisible: Drawing as a Bridge between Chemistry and Design

Putri Anggita G., Huda M. Mahfuzh

Abstract

This paper investigates drawing as the critical epistemological bridge between the invisible laws of chemistry and the material realities of architecture. While chemists rely on graphic representation to render hidden molecular behaviors intelligible –from Bragg's static lattice sketches to Matsumoto's dynamic simulations– architects appropriate these same geometric codes to generate spatial form. We argue that drawing functions here as an "operative tool," translating crystalline logic into three distinct structural typologies: spanning, compression, and inhabitation. The study traces this translation through three specific case studies. First, the truncated icosahedron of fullerenes (C60) provides a universal diagram for spanning, realized in Takaaki Bando's bamboo artistic pavilions. Second, the self-interlocking, high-pressure lattices of Ice VI offer a speculative blueprint for compression, suggesting dense, vertical load-bearing systems for future infrastructure. Third, the "guest-host" chemistry of clathrate hydrates mirrors the metabolic logic of inhabitation, finding a powerful historical parallel in the permanent-transient structure of Kisho Kurokawa's Nakagin Capsule Tower. By mapping this trajectory, we demonstrate that drawing is not merely representational but generative: it is the medium through which the invisible performance of molecules is transformed into the habitable logic of the built environment.

Keywords: drawing, geometry, crystallography, generative design, molecular architecture.

Introduction: from the abstract to the tangible

Chemistry, unlike many other disciplines, engages with structures that are literally invisible to the human eye. Molecules, atomic bonds, and crystal lattices exist only through inference, measured behavior, and representation. Chemists rely on symbolic languages –such as molecular formulas, Lewis structures, or curved-arrow mechanisms– to translate the unseen molecular world into something communicable. As Kozma and Russell [Kozma 2000] argue, much of what constitutes chemistry exists at a molecular level inaccessible to direct perception, requiring inference through models, spectroscopic evidence, or computational visualization. This reliance on representation creates unique cognitive challenges for learners, who often reproduce drawings without connecting them to underlying processes. In this context, drawing is not simply a tool for visualization, but an epistemological necessity. It allows chemists and students to render intelligible the invisible order of matter, to reason about causal mechanisms, and to communicate complex ideas with precision and clarity [Bhattacharyya, Bodner 2005]. As Graulich [Graulich 2015] notes, the symbolic drawings used in organic chemistry are only the 'tip of the iceberg', encoding hidden layers of electron movement, energy change, and reactivity. Thus, drawings in chemistry function simultaneously as cognitive scaffolds, explanatory models, and communicative devices that

 BY-NC-ND

bridge the gap between visible symbols and invisible chemical reality. Through lines, angles, and spatial arrangements, drawing makes abstract scientific models explicit. This paper will demonstrate how drawing acts as a critical bridge between chemistry and design, connecting the invisible architecture of matter with its spatial and formal potential.

The historical and philosophical context of drawing and measurement

The exploration of geometry has long served as an impartial lens through which humanity observes and comprehends reality, transcending cultural or subjective bias. At the heart of this inquiry lies the philosophical distinction between intangible concepts and physical existence. Ancient thinkers such as Plato emphasized abstract, immutable forms, Aristotle sought to reconcile form and matter within a unified reality. Drawing presents a unique resolution to this enduring challenge by establishing a direct and privileged connection to physical objects –one that surpasses the descriptive capacities of words or numerical data.

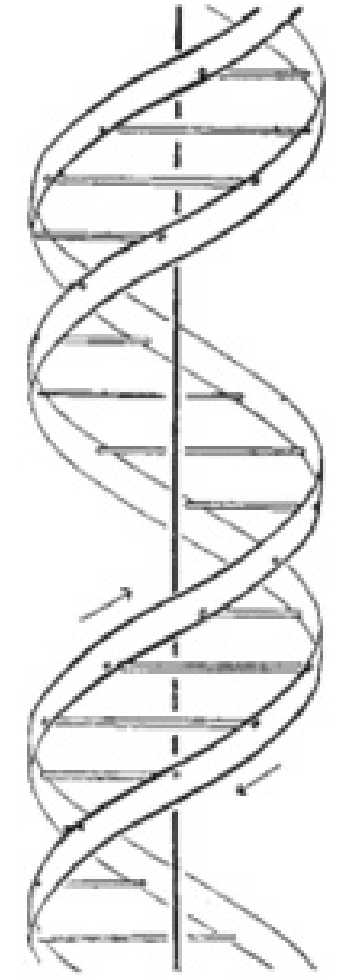
A profound early influence on this way of knowing came from the Pythagoreans, who regarded mathematical principles not as detached abstractions but as inherent qualities of things themselves. For them, numbers mapped directly to geometric constructs: sequences defined lines, products defined planes, and triples defined volumes, imagined as arrangements of fundamental points. This conviction –that hidden mathematical harmony, expressed through simple ratios, reveals the intrinsic order of the universe– shaped later architectural, artistic, and scientific approaches to proportion and measure. Thus, measurement became not only a technical practice but also a knowledge defining act: the first step in understanding the invisible structures.

Beyond chemistry, the science of representation has historically grappled with the challenge of visualizing what cannot be directly perceived. Drawing operates as a materialized mediator for intellectualized ideals and abstract concepts, making them attainable and manageable [Cachão 2015]. In mathematics, diagrams serve as epistemic gateways to imaginary entities, in physics, schematic drawings convey hidden forces [Magnani 2013] and in the life sciences, drawing organizes knowledge of invisible subcellular processes [Tytler et al. 2020]. This epistemic role positions drawing at the intersection of observation, measurement, and imagination. It disciplines subjective creativity through conventions of rigor while enabling speculative reasoning. Historically, scientific illustration evolved from idealized, mythological images to modern demands for precision and objectivity, reflecting a shift from decorative representation to primary means of investigation grounded in geometric measurement [Cachão 2015].

This mathematical reasoning is vividly echoed in the way X-ray diffraction (XRD) patterns are read and transformed into images of crystalline lattices. The scattered rays, recorded as abstract peaks and lines, become intelligible only when interpreted as relations of symmetry, proportion, and repetition –concepts central not only to science but also to design. Bragg's Law itself, which links wavelength, distance, and angle through whole-number ratios, can be understood as an expression of harmony: invisible vibrations rendered as geometric order. What begins as a flat diagram of intensities on paper is ultimately redrawn into the three-dimensional architecture of matter, a process that closely parallels the work of architects who translate proportions and measurements into the spatial logic of buildings. In both cases, drawing mediates between the invisible and the visible, transforming hidden harmonies into structured forms. Reading diffraction patterns, then, is not merely a technical task but also an aesthetic act –an extension of the Pythagorean conviction that unseen harmonies give shape to the world.

This principle underpins modern chemistry and materials science, where invisible entities –such as bond lengths or crystal lattices– first appear as quantified measurements before being transformed into drawings that approximate reality. For instance, while the formula C_6H_6 provides numerical information about benzene, its stability is only understood through its resonance structure, rendered as alternating double bonds in a hexagon. This visual model, long inferred through drawing, was ultimately confirmed when atomic force microscopy produced images of benzene rings, presenting a literal depiction of the diagram's material existence.

Spectroscopy and crystallography extend this logic. X-ray diffraction measures the scattering of invisible rays through a crystal lattice, generating abstract numerical patterns that can be transformed into (fig. 1) the visual model of DNA's double helix [Watson, Crick 1953] or



This figure is purely diagrammatic. The two ribbons symbolize the two phosphate—sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis

Fig. 1. Molecular structure of nucleic acids (Watson, 1953).

the intricate folds of proteins. Nuclear magnetic resonance (NMR) translates the magnetic behavior of nuclei into spectra that chemists redraw as structural formulas, enabling reasoning about molecular connectivity. In each case, measurement captures the invisible, while drawing renders it explicit, bridging abstract quantification and material reality. Drawing, therefore, is not a mere supplement to scientific discourse but an epistemological necessity: the medium through which numbers and symbols are transmuted into knowledge of the world's hidden order.

Translating the invisible architecture of ice

The intricate geometry of ice's crystalline lattice is invisible to the naked eye. Its structure is revealed only through methods that translate the unseen into patterns of measure, most notably X-ray diffraction (XRD). When Sir William Henry Bragg (1862-1942) and his son Lawrence (1890-1971) pioneered the interpretation of diffraction in the early twentieth century, they gave scientists a way to 'see' into crystalline matter without direct vision. In 1921, W. H. Bragg hypothesized that ice possessed a hexagonal structure –akin to diamond, yet with a more open arrangement to account for its surprising lightness. Unlike denser crystals, the lattice of ice contains empty space, a property that explains why frozen water floats rather than sinks. Bragg calculated that each oxygen atom sat at the center of a tetrahedral arrangement (fig. 2), connected through hydrogen bonds to its neighbors. This representation, supported by Dennison's X-ray measurements, transformed ice from a familiar everyday substance into an object of geometric beauty and scientific wonder.
What is striking in Bragg's early work is that drawing functioned not merely as a final visualization step, but as a central engine of discovery. The process advanced from hypothesis to measurement –collecting abstract diffraction data of angles, intensities, and wavelengths– before culminating in the act of sketching. By translating these numerical values into lattice diagrams, Bragg enacted a kind of 'epistemic alchemy'; the drawing was not a decorative supplement, but the requisite medium that transformed scattered signals into a definitive, structural form.

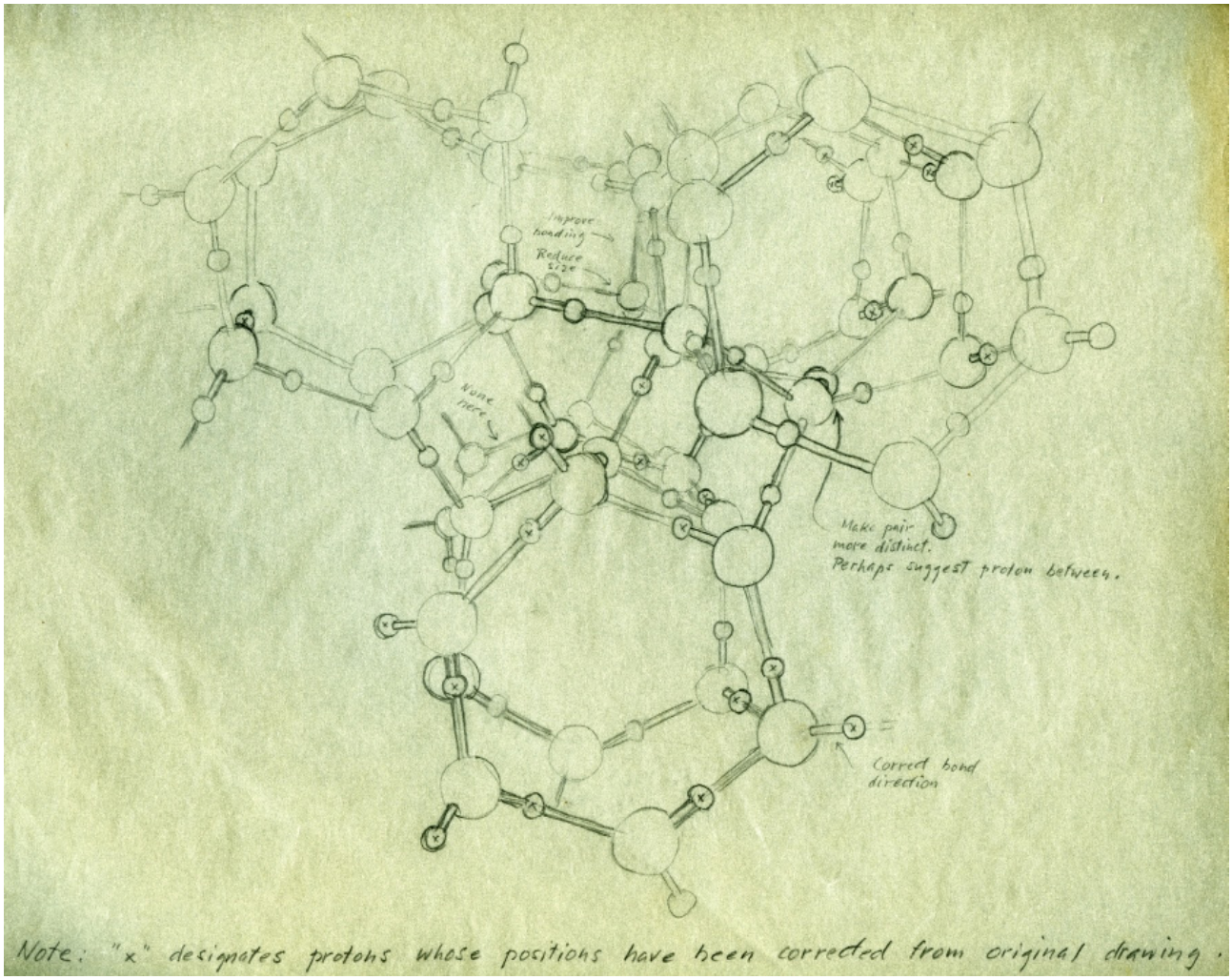


Fig. 2. Annotated pencil sketch of the structure of ice. 1964. (Hayward, 1964).

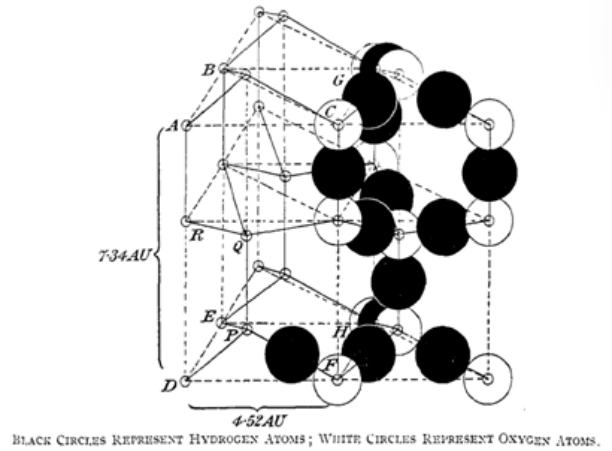


Fig. 3. Hydrogen atoms and oxygen atoms (Bragg, 1921).

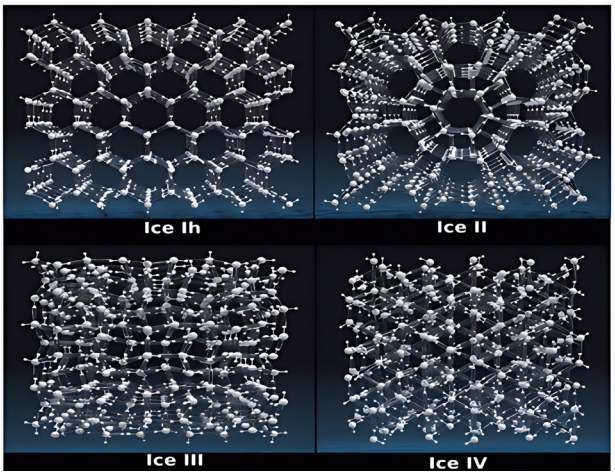


Fig. 4. Ice polymorphs (Himoto, 2022).

The discovery of ice polymorphs and clathrate hydrate

Bragg's hexagonal lattice was only the beginning. As crystallographic techniques advanced, scientists discovered that water could solidify into a bewildering variety of crystalline forms depending on temperature and pressure. These are the polymorphs of ice –multiple structures of the same chemical substance. The ordinary hexagonal form that covers lakes and snowfields is known as Ice Ih (fig. 3), but it is only one member of a growing family. To date, more than twenty distinct phases of ice have been identified, each with unique symmetry and packing. The first new polymorph to be discovered after Ice Ih was Ice II, a denser and more ordered structure found under pressure. Soon after, others followed: Ice III, Ice V, Ice VI, and so forth, each corresponding to specific thermodynamic conditions (fig. 4). These polymorphs are not mere curiosities; their study revealed that the hydrogen-bond network of water is astonishingly versatile, able to rearrange itself into geometries ranging from open hexagonal channels to tightly packed cubic grids. Each form holds different densities, refractive properties, and stabilities [Salzmann 2011].
For scientists, the polymorphs of ice became both a challenge and a key. They challenged experimental technique, because producing and preserving these exotic forms required high-pressure chambers and cryogenic controls. At the same time, they became a key to understanding water's anomalous properties: its density maximum at 4°C, its high heat capacity, and its central role in climate and biology [Huda 2019]. By cataloguing the polymorphs, researchers began to see water not as a simple liquid but as a substance with a rich inner architecture, unfolding across multiple dimensions of phase space. On Earth, the high-pressure polymorphs play a role deep within glaciers and the icy crusts of polar regions. Beyond Earth, they are critical for understanding the geology of icy moons and planets. Jupiter's moon Europa, Saturn's Enceladus, and distant trans-Neptunian bodies all contain ice phases that never occur naturally on the Earth's surface [Fortes 2013]. By knowing the polymorphs, scientists can infer the internal dynamics of distant worlds, estimating whether their icy shells hide liquid oceans beneath. Here again, drawing is central: planetary models often begin as lattice diagrams, scaled upward to the size of moons, translating microscopic structures into macroscopic geology [Ball 2001].
Out of this expanding knowledge emerged one of the most intriguing discoveries: the existence of clathrate hydrates. Unlike ordinary ice, which bonds only water molecules together, clathrate hydrates form cage-like

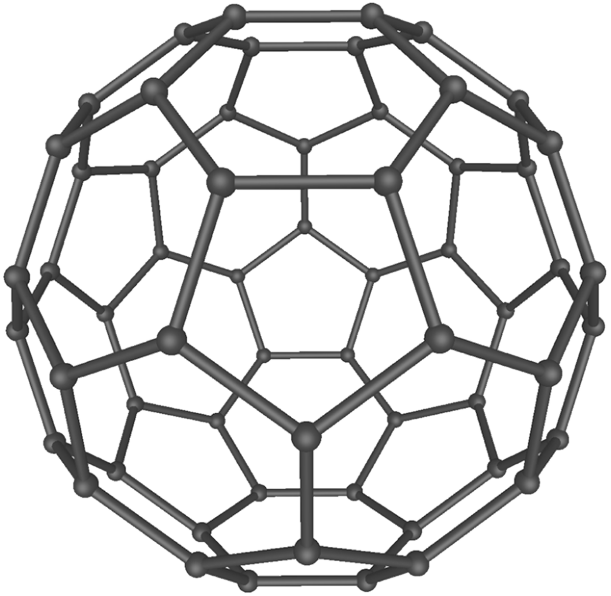


Fig. 5. Molecule of Fullerene, C60 created by Michael Ströck <https://id.wikipedia.org/wiki/Fulerena#/media/Berkas:C60a.png> (accessed 2025, October 21)



Fig. 6 Prof. Bando Takaaki collaborative project to make bamboo shelter that shapes in inspired by Buckminster Fuller's dome [Larasati 2012] <https://investor.id/property/32710/takaaki-bando-jadikan-bambu-hunian-masa-depan> (accessed 2025, October 21)

frameworks that enclose 'guest' molecules such as methane, carbon dioxide, or hydrogen [Sloan 2007]. First observed in the nineteenth century but only systematically studied in the twentieth, these hydrates represented a radical extension of water's versatility. Clathrate hydrates revealed that ice is not just a crystalline solid but also a potential storehouse of gases and energy. Vast deposits of methane hydrates have been found under ocean floors and in permafrost, estimated to contain more carbon than all known fossil fuel reserves combined.

Beyond their practical value, these hydrates fundamentally changed how chemists visualized matter. Unlike standard ice, which repeats a simple pattern, clathrate structures are complex, multi-sided cages–often shaped like twelve-sided balls (dodecahedra). To understand them, scientists had to shift their focus: they stopped drawing mere 'connections' between atoms and began drawing 'volumes' of empty space. This was a crucial turning point. The drawing was no longer just about the solid frame, but about the void inside it. By visualizing this emptiness, scientists could finally see how a solid crystal could act as a container.

From drawing to generative knowledge

The advance of computing transformed the study of ice once again. Where Bragg sketched static lattices, modern scientists now construct digital simulations that capture the dynamic vibration of molecules. A pivotal advancement in this field emerged from Matsumoto's paper, which showed that water's strange behavior–such as expanding upon freezing–arises not from a mixture of two distinct components but from continuous

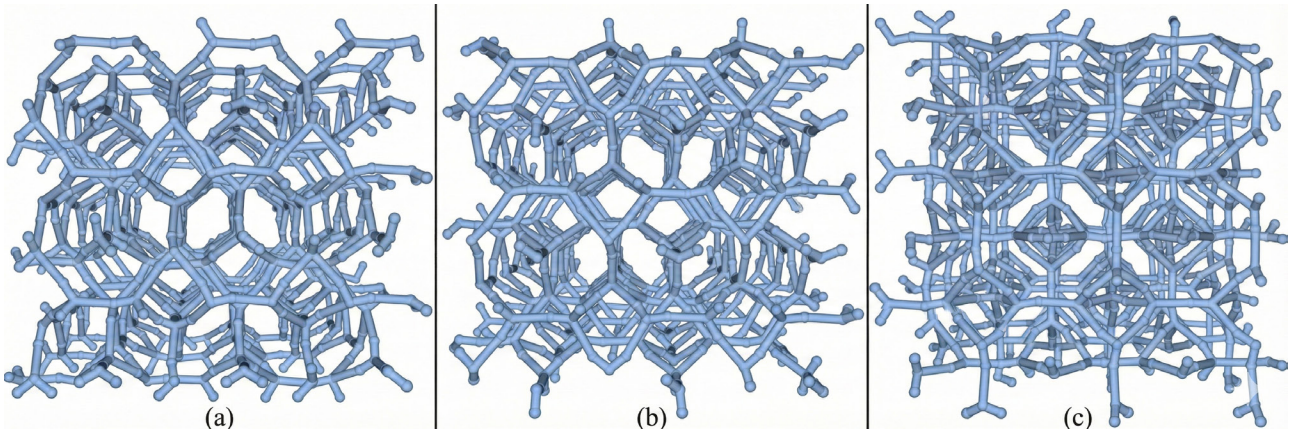


Fig. 7 Views of the compressed Ice VI structure along different crystallographic axes. (a) View along the x-axis. (b) View along the y-axis. (c) View along the z-axis. The light blue framework represents the network of hydrogen-bonded water molecules [1].

adjustments in a single hydrogen-bond network [Matsumoto 2002].
Matsumoto's models revealed the subtle interplay of geometric parameters: hydrogen bond extension drives expansion, while angular distortion produces contraction. These processes, invisible to experiment alone, became visible through molecular animation. The simulation, like the drawing before it, turned abstract measurements into a picture of reality, demonstrating that representation is not only explanatory but generative.
This generative capacity now informs fields far beyond chemistry. In climate science, modeling ice pressure is critical for understanding glacier dynamics; in energy research, hydrates guide the exploration of methane and hydrogen storage; and in planetary science, polymorphs serve as diagnostic markers for subsurface oceans on distant moons [Fortes 2010]. Even in materials science, the cage-like structures of hydrates have inspired the design of porous frameworks such as zeolites and metal-organic frameworks (MOFs). This trajectory –from Bragg's static sketches to Matsumoto's dynamic simulations– proves that drawing functions as a method of inquiry. It transforms abstract patterns into intelligible structures, bridging the gap between the invisible laws of matter and the visible world of design.

From molecular structure to architectural form

The relationship between chemical structure and architectural drawings is made visible through their shared dependence on polyhedral geometry. By translating these crystalline diagrams into design principles, architects can move beyond mere mimicry of shape to apply the performance logic of molecules. This translation is evident in a progression from simple artistic displays to complex structural systems and, ultimately, to metabolic environments.
A particularly illustrative case is the truncated icosahedron, whose geometry underlies the molecular structure of fullerene (C_{60}) (fig. 5). The molecule, commonly known as the Buckyball, was predicted and later synthesized in 1985 by chemists analyzing stellar carbon formations. In architecture, this form has largely been explored through temporary or artistic applications. A prominent example is the Bamboo Shelter Project by Professor Takaaki Bando, which reinterprets the C60 form to create a lightweight, renewable enclosure (fig. 6). While structurally efficient, the application here remains primarily an artistic display –a pavilion that mimics the molecule's closed-cage simplicity rather than its complex interconnectivity. It demonstrates the potential of molecular form but remains at the scale of the object.

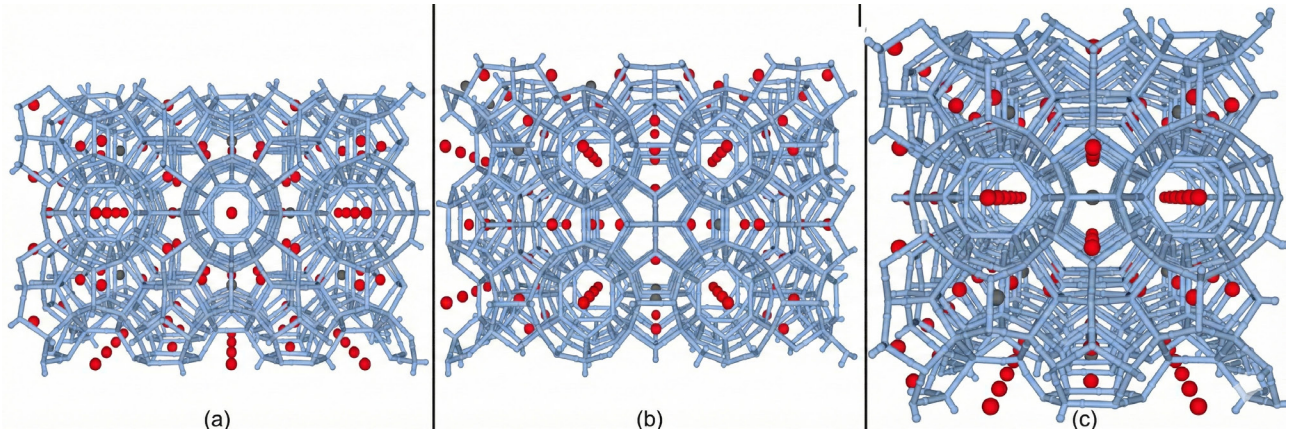


Fig. 8 Views of the CS1 clathrate hydrate crystal structure along different crystallographic axes. (a) View along the x-axis. (b) View along the y-axis. (c) View along the z-axis. The light blue framework represents the host water lattice, and the red spheres indicate the guest molecules encapsulated within the cages. [1]

To move from artistic pavilions to functional infrastructure, we look to the polymorphs of ice. Unlike the simple cage of a fullerene, the high-pressure phases of Ice IV and Ice VI (fig. 7) consist of self-interlocking, catenated networks. These dense lattices offer a blueprint for high-compressive strength modules, making them ideal inspirations for vertical load-bearing systems in skyscrapers. Yet, their intricate, non-repetitive symmetries also hold immense aesthetic potential, suggesting a dual application: they can serve as the engineering logic for a tower's core or as the expressive geometry of its façade. Here, the lattice evolves from a simple shell into a complex, load-bearing framework.

Finally, the chemical structure of Clathrate Hydrates extends this logic into the realm of inhabitation. Scientifically, clathrates (fig. 8) are 'guest-host' structures where a rigid water lattice cages a volatile gas molecule. This molecular architecture mirrors the Metabolist vision of the 1960s, notably realized in Kisho Kurokawa's Nakagin Capsule Tower (1972). Just as the clathrate lattice provides a stable framework for guest molecules, Kurokawa's design distinguishes between a "permanent element" (the concrete shafts) and a "transient element" (the removable capsules) [Lin 2007, p. 515]. This separation allows the building to function as an organic process, theoretically enabling the "metabolic" replacement of units. While clathrate hydrates store methane, these architectural cages store the urban nomad, providing a compact interface that mediates between the individual and the city [Šenk 2019].

Such structural parallels reveal drawing's dual nature as both an epistemic and a generative tool. It visualizes the hidden laws of matter while simultaneously providing a system of constraints that can produce new forms. By translating the structural clarity of crystalline geometry into design parameters, architects adapt the same mathematical discipline that chemists use to describe molecular organization. In this way, the crystalline diagram becomes a shared language of discovery and creation, bridging scales from the molecular to the architectural [Katz 2011; Leonova 2025].

Drawing as an operative tool for design

The act of drawing has long operated at the threshold between knowledge and imagination, serving both science and design as a means of translating invisible structures into visible form. As Rohr [Rohr 2012] observes, drawing is never merely representational, it is a way of

knowing, a process that organizes and makes sense of complexity [Watson 1953]. From botanical illustrations to technical diagrams, drawings have historically functioned as epistemic tools, transforming quantitative data into understandable images. This epistemological dimension resonates with contemporary design, where drawing mediates between molecular geometries and architectural possibilities, revealing unseen orders of matter and offering new models for creative practice.

This bridging role is historically evident in the evolution of technical drawing. Leonardo's anatomical sketches and Monge's descriptive geometry each illustrate how scientific measurement was converted into universal codes for spatial reasoning. Such methods established a lineage in which drawing became a structured methodology: a practice capable of translating invisible structures into workable forms for engineers, architects, and designers. Today's computational environments extend this trajectory, offering parametric and generative systems that allow designers to manipulate geometries inspired by scientific discoveries, integrating empirical precision with formal invention [Carpo 2011].

The study of ice polymorphism demonstrates this bridge in a striking way. Bragg's lattice diagrams, once intended to explain why ice floats, now serve as exemplary models of how molecular order can inspire structural and spatial thinking. The discovery that water solidifies into multiple crystalline polymorphs, each with distinct symmetries and densities, suggests a repertoire of geometrical archetypes. Salzmann's review of the 19 known polymorphs of ice reveals a library of structures –hexagonal, cubic, tetragonal– that can be reinterpreted not only as scientific data but also as design grammars. For designers, these crystalline patterns provide a kind of "material logic" [Oxman 2010, p. 102], an abstract rule-set through which new formal and structural possibilities can be generated. This approach reflects a broader theoretical shift in design thinking, in which geometry is no longer seen only as a representational device but as generative logic. As Pérez-Gómez argues, architectural drawing has always embodied a 'poetic disclosure' of hidden order, bridging abstract ratios with material presence [Pérez-Gómez, 2006]. Similarly, the translation of crystallographic data into design language is not simply imitation but interpretation: an act of discovering new spatial logics through molecular analogies. Here, drawing becomes a medium of dialogue between chemistry and design, opening possibilities for biomimetic materials, adaptive structures, and architectural systems rooted in the architectures of matter itself.

In this way, the invisible geometries of ice polymorphs do more than explain water's physical behavior –they expand the imagination of design. Through drawing, molecular architectures are made perceptible and operative, transforming scientific discovery into a source of formal invention. The epistemic bridge that drawing builds between chemistry and design thus affirms its dual role: as a method of inquiry into hidden orders of nature, and as a generative practice for shaping new cultural and material realities.

Conclusion

Drawing serves as a critical epistemological tool that bridges the abstract, invisible world of chemistry with the tangible realm of design. By translating data from tools like X-ray diffraction and computational models into apprehensible forms, it renders the 'invisible architecture of matter' operative for scientist and designers. Ultimately, drawing allows us not only to visualize hidden geometries but to harness their potential as knowledge-inducing patterns, creating new spatial logics rooted in the fundamental laws of matter.

Notes

[1] The image of clathrate hydrate was generated using the molecular simulation software GenIce [Matsumoto 2018].

Authors

Anggita G. Putri, Department of Design, Chiba University, 25wd3305@student.gs.chiba-u.jp
M. Mahfuzh Huda, Department of Engineering and Conservation, Universitas Muhammadiyah Berau, hudamahfuzh@gmail.com

Reference List

Ball, P. (2001). *Life's Matrix: A Biography of Water*. London: Farrar, Straus and Giroux.

Bhattacharyya, G., & Bodner, G.M. (2005). It gets me to the product: How students propose organic mechanisms. *Journal of Chemical Education*, 82(9), 1402–1407.

Bragg, W.H. (1921). The crystal structure of ice. *Proceedings of the Physical Society*, 34(1), 98–99.

Bragg, W.H., & Bragg, W.L. (1915). *X-Rays and Crystal Structure*. London: G. Bell & Sons.

Cachão, R. (2015). Disclosing space: Order and mediation from hand-drawn scientific illustration to geometry. [Online]. Available: https://www.trans-techresearch.net/wp-content/uploads/2015/05/TTReader2010_014-rita-cachao.pdf [Accessed: Aug. 26, 2025].

Carpo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. Cambridge, MA: MIT Press.

Finney, J. (2015). *Water: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press.

Fortes, A.D., & Choukroun, M. (2010). Phase behaviour of ices and hydrates. *Space Science Reviews*, 153, 185–218.

Frascari, M. (1981). The tell-the-tale detail. In *Semiotics* 1981 (pp. 325–336). Boston, MA: Springer US.

Graulich, N. (2015). The tip of the iceberg in organic chemistry classes: How do students deal with the invisible? *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 9–21.

Hayward, R. (1964). Structure of Ice [illustration]. Prepared for The Architecture of Molecules. Courtesy of Nancy Hayward and Dr. and Mrs. James Kramer. Oregon State University Libraries, SCARC. https://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/pictures/1964b4.1-i-ce-large.html

Huda, M.M., Yagasaki, T., Matsumoto, M., & Tanaka, H. (2019). Negative thermal expansivity of ice: Comparison of the monatomic mW model with the all-atom TIP4P/2005 water model. *Crystals*, 9(5), 248.

Himoto, K. (2022). *Ice polymorphs (The ice phases of water: ices Ih, II, III, IV, VI, VII, and XII)*. YouTube, Feb. 19, 2022. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=UFGiBKYxHlw [Accessed: Aug. 26, 2025].

Katz, E.A. (2011). Bridges between mathematics, natural sciences, architecture and art: case of fullerenes. *Book of Papers and Extended Abstracts*, 60.

Kozma, R., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 9(2), 105–143.

Larasati, T. (2012). *Why do people run out of a building when a quake happens?* Tita Larasati. https://titalarasati.com/why-do-people-run-out-of-a-building-when-a-quake-happens/

Latour, B. (1987). *Science in Action*. Cambridge: Harvard University Press.

Leonova, Y. (2025). *Crystal architecture. Ideal Spaces*. https://www.idealspaces.org/magazines/crystal-architecture/

Lin, Z. (2007). Nakagin Capsule Tower and the Metabolist Movement Revisited. *Journal of Architectural Education*, 61(3), 13-32.

Loeb, A.L. (2009). Crystalline architecture. In *An Anthology of Structural Morphology* (pp. 145–158).

Magnani, L. (2013). Thinking through drawing: Diagram constructions as epistemic mediators in geometrical discovery. *The Knowledge Engineering Review*, 28(3), 303–326.

Matsumoto, M., & Saito, S. (2002). Molecular dynamics of supercooled water. *Nature*, 416, 409–413.

Matsumoto, M., Yagasaki, T., & Tanaka, H. (2018). GenIce: Hydrogen-disordered ice generator. *Journal of Computational Chemistry*, 39(1), 61–64.

Oxman, N. (2010). *Material-Based Design Computation*. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.

Pérez-Gómez, A. (2006). *Built Upon Love: Architectural Longing after Ethics and Aesthetics*. Cambridge, MA: MIT Press.

Rohr, D. (2012). Imagining truth: The role of drawing within the creation of knowledge. [Online]. Available: https://pure.ulster.ac.uk/en/publications/imagining-truth-the-role-of-drawing-within-the-creation-of-knowle-3/ [Accessed: Aug. 26, 2025].

Salzmann, C.G., Radaelli, P.G., Slater, B., & Finney, J.L. (2011). The polymorphism of ice: five unresolved questions. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13(41), 18468–18480.

Šenk, P. (2019). Aesthetics of Sustainability: Capsule Architecture in the City and in Nature. *SAJ - Serbian Architectural Journal*, 11(3), 463-472.

Sloan, E.D., & Koh, C. (2007). *Clathrate Hydrates of Natural Gases* (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press.

Tytler, R., Prain, V., Aranda, G., Ferguson, J., & Gorur, R. (2020). Drawing to reason and learn in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(2), 209–231.

Watson, J.D., & Crick, F.H.C. (1953). Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171(4356), 737–738.

Yaghi, O., et al. (2003). Reticular synthesis and the design of new materials. *Nature*, 423, 705–714.

Estetica della logica.
Forma, struttura e progetto

Tra teoria strutturale e pratica costruttiva: il disegno nei solai nervati di Pier Luigi Nervi

Francesco Romeo

Introduzione

Tra le numerose soluzioni strutturali che hanno caratterizzato l'opera di Pier Luigi Nervi (1891-1979), massimo esponente italiano dell'ingegneria strutturale del Novecento, i solai nervati secondo le linee isostatiche di flessione costituiscono un esito emblematico della sintesi tra logica strutturale, efficienza costruttiva e qualità espressiva. In questa soluzione, più che in altre, il disegno assume un ruolo determinante nel tradurre il principio statico in architettura costruita, configurandosi come strumento critico di selezione: attraverso di esso, tra le molteplici soluzioni riconducibili a un medesimo principio, vengono individuate quelle capaci di coniugare correttezza costruttiva ed efficacia espressiva.

Per i solai nervati, come per la sua intera attività di progettista e costruttore, Nervi fa un uso estremamente consapevole del disegno e della fotografia, andando oltre l'impiego consueto di tali strumenti da parte degli ingegneri strutturisti. Tale attenzione si inserisce coerentemente nel *modus operandi* di una figura che si presenta sempre nella duplice veste di ideatore ed esecutore.
Da un lato, il disegno manuale bidimensionale è cruciale non solo per il controllo geometrico e costruttivo delle soluzioni strutturali e architettoniche ma anche per la loro comunicazione alla committenza. A questo proposito Nervi stesso osserva: «la presentazione grafica di un'idea architettonica è una cosa difficile ed imperfetta. Il disegno

Articolo a invito per inquadramento del tema del focus, non sottoposto a revisione anonima, pubblicato con responsabilità della direzione.

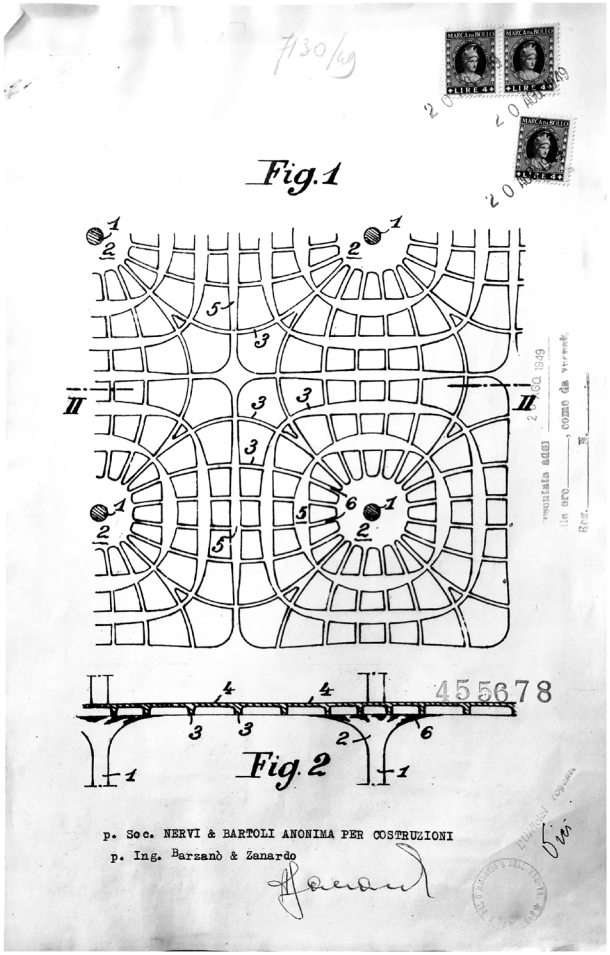
 BY-NC-ND

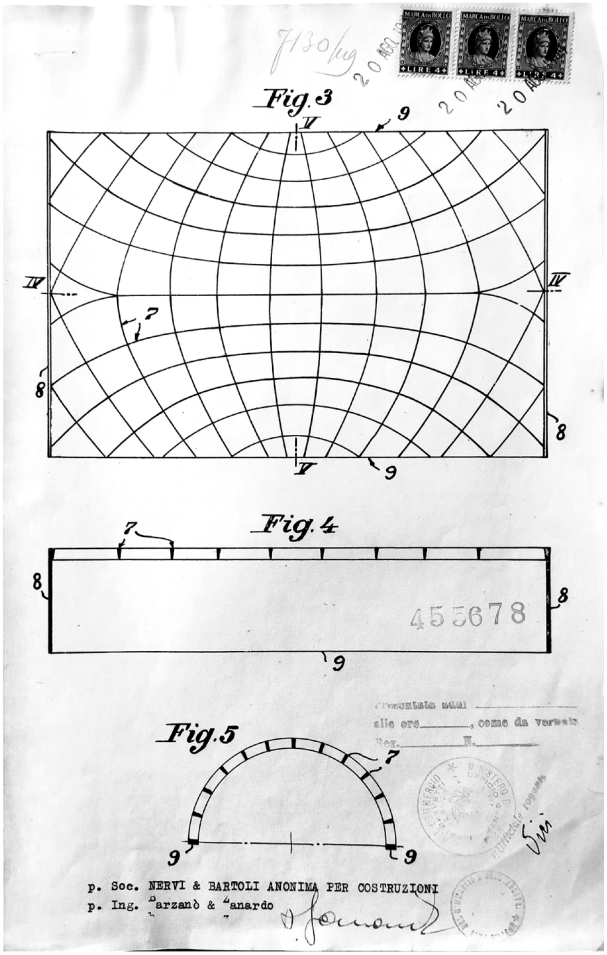
è sempre un interprete molto infedele della realtà architettonica; solo il progettista è in grado di materializzarla con procedimenti mentali, raffronti o riferimenti assolutamente personali e non comunicabili. […] si pensi quindi quale sia la difficoltà di una scelta architettonica per la quale, a tutte le deficienze della rappresentazione grafica, si aggiungono il fatto della dimensione […] e la preoccupazione derivante dalla importanza morale e materiale che sono sempre unite ad una costruzione edilizia» [Nervi 1945].
Dall'altro lato, il mezzo fotografico assume un ruolo centrale per l'impatto comunicativo e per l'affermazione internazionale di Nervi come progettista, configurandosi sia come strumento di documentazione del processo costruttivo sia come archivio visivo per i lavori futuri. Come per molte innovazioni nerviane, anche i solai nervati secondo le linee isostatiche di flessione sono accompagnati da un apparato di disegni e fotografie che non si limita alla fase progettuale o all'opera compiuta, ma documenta l'intero processo realizzativo, restituendo una testimonianza grafica densa di significato.
Per comprendere l'emergere, alla fine degli anni Quaranta, dei solai nervati secondo le linee isostatiche di flessione all'interno del lessico nerviano, è necessario considerare sinteticamente i molteplici fattori che ne hanno determinato la genesi: la filosofia progettuale di Nervi, il contesto tecnico-scientifico, il contributo dell'ingegnere Aldo Arcangeli (1916-2000) e le possibilità costruttive offerte dal periodo storico [Iori 2012; Halpern, Billington, Adriaenssens 2013; Neri 2014; Gargiani, Bologna 2016; Lembo 2026].
Già nel 1945, in *Scienza o Arte del Costruire?*, riflettendo sul rapporto tra forma architettonica e potenzialità dei nuovi materiali, Nervi risponde al timore di un inaridimento spirituale della tecnica in questi termini: «L'avvicinarsi con animo modesto alle misteriose leggi della natura, lo sforzo di interpretarle e quel comandarle ubbidendo che è l'unico modo per portare la loro maestosa eternità a servizio dei nostri limitati e contingenti scopi, ha in sé una profonda poesia, che può tradursi in forme di una elevata espressività estetica e artistica» [Nervi 1945].
In questa prospettiva, la forma strutturale non è mai arbitraria, ma discende dalla comprensione dei meccanismi statici e dalla loro corretta interpretazione. Tale principio trova una formulazione più esplicitamente operativa nel 1951: «Ritengo di poter affermare che, per i solai in cemento armato con carichi uniformemente distribuiti, la soluzione-tipo sia già stata individuata. Essa è data dalla disposizione delle nervature lungo le isostatiche dei momenti principali: una disposizione proposta e studiata teoricamente da un mio collaboratore, l'ingegnere Aldo Arcangeli, e resa concretamente attuabile da un particolare procedimento costruttivo, di mia ideazione, che permette di eseguire nervature di qualsiasi forma senza apprezzabili variazioni di costo. Le isostatiche sono infatti le linee preferenziali dei flussi di forza all'interno di un solido, e concentrare la materia resistente lungo di esse garantisce la massima efficienza statica. Queste linee dipendono unicamente dal gioco delle forze agenti nel sistema, e la nostra unica possibilità è scoprirle e sfruttarle, non certo modificarle» [Nervi 1951].
Tra l'enunciato teorico del 1945 e la formulazione applicativa del 1951 si collocano i brevetti depositati nel 1949, dai quali prende avvio la traduzione del principio delle linee isostatiche in un sistema costruttivo.

I brevetti del 1949

Il brevetto n. 455678, intitolato *Perfezionamento nella costruzione di solai, volte, cupole, travi-parete e strutture portanti in genere a due o tre dimensioni, con disposizione delle nervature resistenti lungo le linee isostatiche dei momenti o degli sforzi normali*, viene depositato il 23 luglio 1949 dalla Società Ing. Nervi & Bartoli a nome dell'ingegner Arcangeli. In quegli anni Arcangeli collabora con Pier Luigi Nervi sia come dipendente della società di costruzioni Nervi & Bartoli sia come assistente presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Roma La Sapienza. Il brevetto sintetizza la teoria delle linee isostatiche, ne individua i possibili campi di applicazione e ne evidenzia i vantaggi economici, derivanti dalla concentrazione della materia resistente lungo tali linee [Arcangeli 1949] (fig. 1).
Il 23 luglio 1949, lo stesso giorno del deposito del brevetto sulle linee isostatiche a nome di Arcangeli, Nervi deposita il brevetto n. 455750, terzo completivo al brevetto principale n. 406296 del 15 aprile 1943, intitolato *Perfezionamento nella costruzione di solette, lastre ed altre strutture cementizie armate.*
Il completivo riguarda una specifica applicazione del procedimento descritto nel brevetto principale e nei due precedenti completivi, relativa alla preparazione di casseri e forme in ferrocemento per il getto di solai, pilastri e strutture in cemento armato, in sostituzione delle tradizionali casseforme lignee.
Come esplicitato nel testo descrittivo, il sistema, pur illustrato con riferimento a solai e travetti incrociati, è indipendente dalla geometria delle nervature, che possono essere

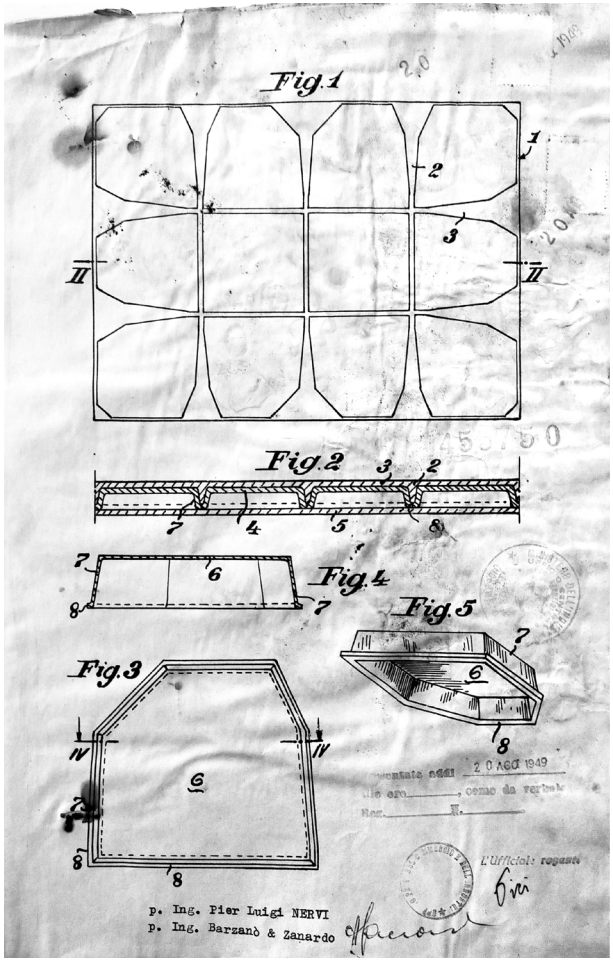
Fig. 1. Brevetto n. 455678 del 23 luglio 1949, Società Nervi & Bartoli, inventore A. Arcangeli (Archivio Centrale dello Stato).





rettilinee o curve, disposte in uno o più sensi, in funzione delle esigenze statiche, senza modificare la sostanza concettuale ed esecutiva del procedimento [Nervi 1949] (fig. 2).
In sintesi, mentre il brevetto depositato a nome di Arcangeli espone il fondamento teorico delle linee isostatiche, ne individua le possibili applicazioni e ne evidenzia i vantaggi economici, il completivo di Nervi fornisce un metodo costruttivo efficace per la realizzazione di tali strutture, rendendo praticabili la monoliticità dell'opera finita e la libertà formale.

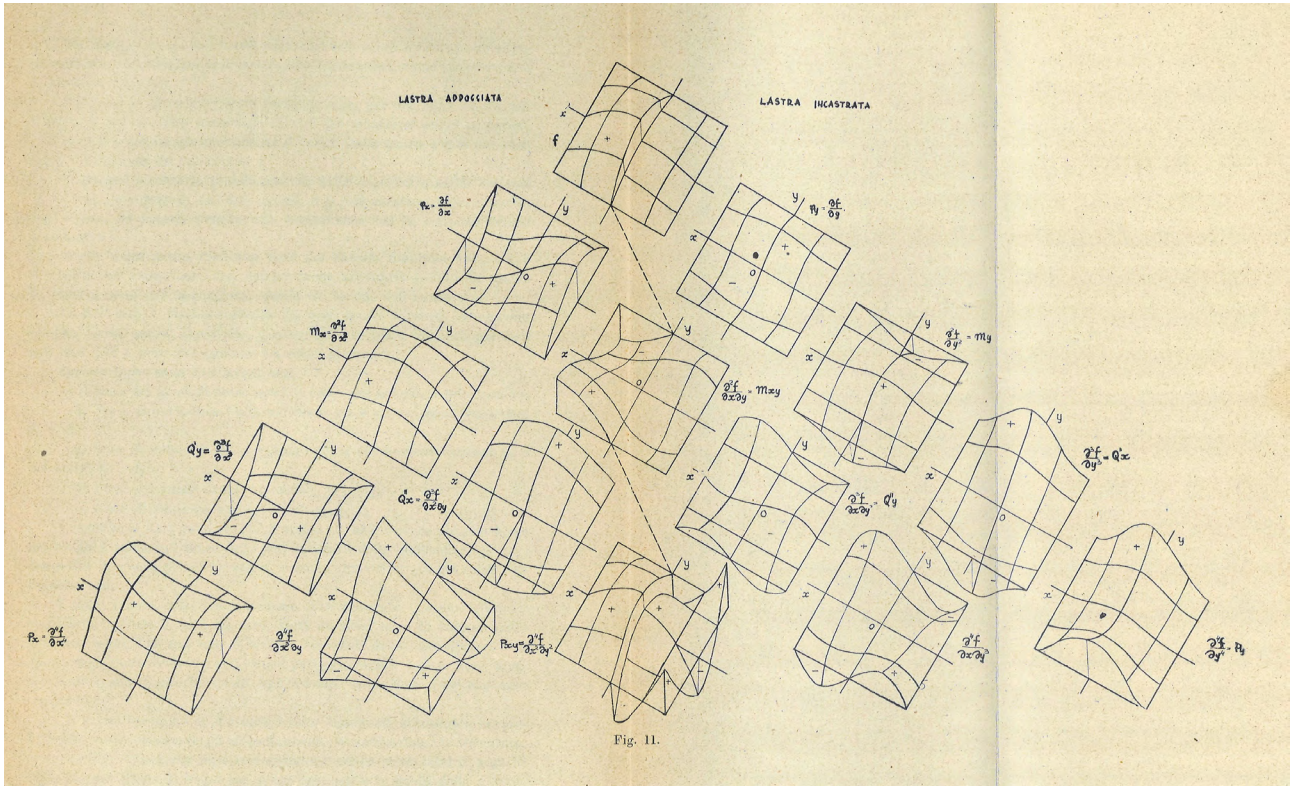
Fig. 2. Brevetto n. 455750 del 23 luglio 1949, a nome Pier Luigi Nervi (Archivio Centrale dello Stato).



Il contesto teorico

Per chiarire il fondamento scientifico dell'innovazione proposta, è opportuno richiamare sinteticamente alcuni principi della meccanica dei solidi che ne costituiscono il presupposto teorico.
Nella meccanica dei solidi, lo stato di tensione indotto da azioni meccaniche in un corpo è descritto dalla tensione, o sforzo, di Cauchy, che dipende dal punto considerato e dalla normale al piano su cui la tensione agisce. Riferendo la tensione a una terna intrinseca, a ogni giacitura sono associate una componente normale e due componenti tangenziali. Le giaciture su cui agiscono tensioni puramente normali sono dette "giaciture principali"; le normali mutuamente ortogonali che le individuano costituiscono le direzioni principali. L'inviluppo delle direzioni principali in ogni punto del corpo definisce tre famiglie di curve mutuamente ortogonali, dette "linee isostatiche". Lungo tali linee agiscono esclusivamente tensioni assiali (di trazione o compressione), che assumono valori estremali rispetto alle tensioni normali agenti sulla stella dei piani passanti per il punto.
Quando una dimensione del corpo è molto minore delle altre due, il problema può essere riferito alla superficie media (lastre e gusci sottili), sulla quale le linee isostatiche si riducono a due famiglie di curve ortogonali. Analogamente, per corpi bidimensionali soggetti a flessione, quali piastre e gusci in regime flessionale, i concetti precedenti restano validi sostituendo alle tensioni normali e tangenziali i momenti flettenti e torcenti. Si introducono così i momenti principali e le traiettorie dei momenti principali, o linee isostatiche di flessione, lungo le quali agisce sola flessione, in assenza di torsione; la loro configurazione dipende dalla geometria del corpo, dalle condizioni di carico e dalla natura e disposizione dei vincoli.

Fig. 3. Superfici delle derivate della funzione "f", spostamento verticale della lastra: Kambo 1944, p. 34.



Il tracciamento delle linee isostatiche di flessione è governato da un'equazione differenziale del primo ordine, funzione dei momenti flettenti e torcenti, che nella teoria classica delle piastre sottili si ricavano dall'integrazione dell'equazione biarmonica della superficie elastica. Le soluzioni esatte sono tuttavia limitate a pochi casi notevoli; i principali metodi disponibili nel secondo dopoguerra forniscono soluzioni solo per configurazioni semplici e ricorrenti nella pratica [Belluzzi 1947], espresse in serie trigonometriche doppie (Navier), serie iperboliche semplici (Lévy-Estanave) o mediante metodi alle differenze finite (Nielsen, Marcus). A questi si affiancano tentativi di semplificazione dell'onere analitico, quali il metodo dei solidi arbitrari di Kambo [Kambo 1944], secondo cui le isostatiche di flessione sono ottenibili dalle superifici della terza riga della figura 3, e il "circolo delle curvature" (circonferenza di Mohr).
Arcangeli può dunque contare su un numero ristretto di soluzioni analitiche e su risultati numerici tabellati per casi notevoli; dai suoi appunti manoscritti emerge, in particolare, la familiarità con la soluzione in serie iperboliche semplici riportata nel testo di Nadai [Nadai 1925] [1]. In figura 4 sono mostrati schizzi di Aldo Arcangeli riferiti al caso di piastra appoggiata su tutti i lati e sui quattro vertici [Lembo 2026].
Di fronte ai limiti dell'analisi teorica, messi in evidenza fin dall'inizio del Novecento dalle possibilità progettuali innovative offerte dal cemento armato, molti ingegneri ricorrono sistematicamente alla sperimentazione. Si tratta di un approccio che accomuna Nervi a figure centrali dell'architettura strutturale del XX secolo [Chiorino 2010] e che si concretizza, nel suo caso, nella collaborazione con il Laboratorio Prove Modelli e Costruzioni fondato da Arturo Danusso presso il Politecnico di Milano.
Nel settimo capitolo di *Costruire correttamente* [1955], Nervi sottolinea la superiorità del metodo sperimentale per la comprensione del reale funzionamento statico dei sistemi resistenti, soffermandosi in particolare sui metodi estensimetrici e fotoelastici. Il quadro teorico entro cui tali metodi si collocano è chiarito da Enrico Volterra, che già nel 1930 introduce il metodo fotoelastico come strumento capace di «vedere ciò che si manifesta nell'interno di un'opera sottoposta a forze esterne», paragonandolo ai raggi Roentgen della medicina [Volterra 1930]. È verosimile che Nervi si interessi a tali metodi anche in virtù delle applicazioni condotte da Danusso con il suo allievo Guido Oberti fin dai primi anni Trenta [Danusso 1932],

Fig. 4. Disegno di linee isostatiche di flessione di una piastra quadrata in relazione al vincolo: in alto, lati appoggiati; in basso: angoli appoggiati (Roma, Archivio Arcangeli, Fascicolo A 237).

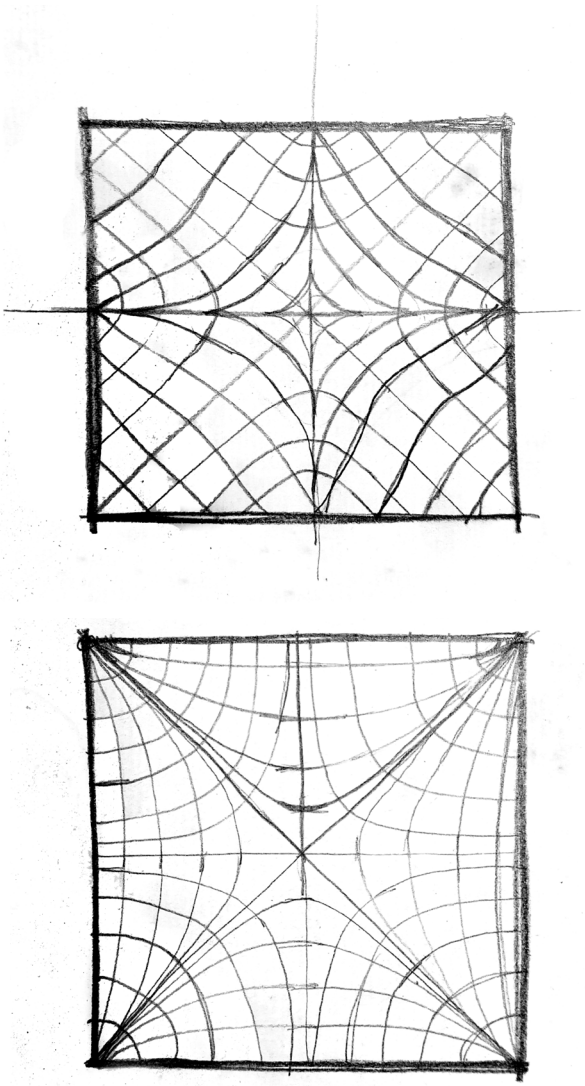


Fig. 5. Schemi illustrativi alternativi di costruzione delle linee isostatiche a partire dalle isocline: Frocht. 1941, pp. 199, 200.

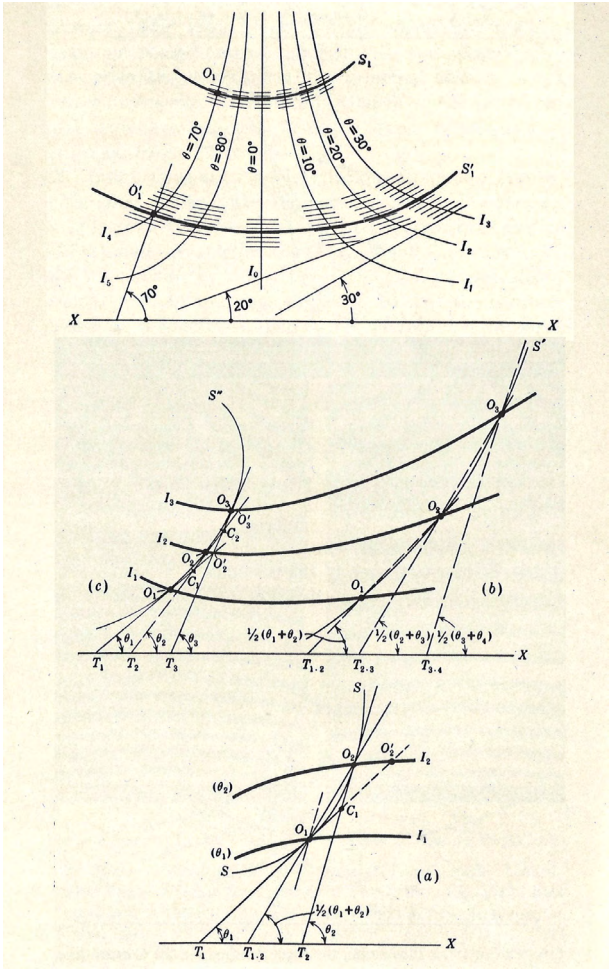
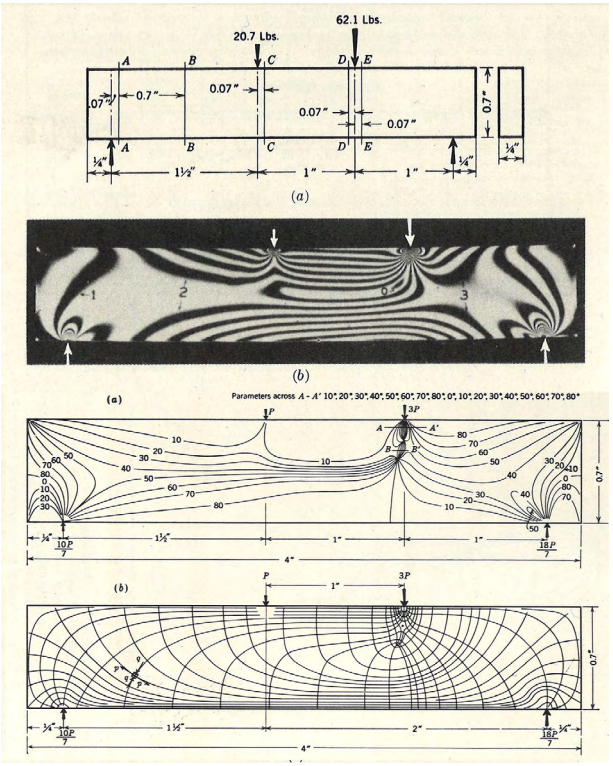


Fig. 6. Schema di prova sperimentale, esame fotoelastico, linee isocline e isostatiche: Frocht 1941, pp. 258, 259.



cogliendo, come egli stesso scrive, «la bellezza e poesia di questo tramutarsi degli stati di sollecitazione in giuochi luminosi» [Nervi 1955]. L'interesse di Nervi per la fotoelasticità, testimoniato dalle immagini conservate negli archivi dello Studio e pubblicate in Costruire correttamente, si inserisce in questo contesto. Il metodo consente una rappresentazione visiva immediata dello stato tensionale interno di un corpo: il reticolo delle isocline restituisce l'orientamento delle tensioni principali, mentre quello delle isocromatiche ne fornisce l'intensità relativa. A partire dalle isocline fotografate è possibile ricostruire, mediante procedimenti grafici [2], il reticolo delle linee isostatiche (figg. 5, 6); la determinazione delle singole tensioni principali richiede invece metodi integrativi, quali il metodo di Mesnager o l'integrazione grafica basata sulle formule di Maxwell.
In questo quadro, la sperimentazione non si configura tanto come uno strumento operativo diretto di progetto [3], quanto come un dispositivo conoscitivo capace di orientare la comprensione dei flussi di sollecitazione e di alimentare, sul piano grafico, la costruzione di schemi strutturali coerenti con il comportamento reale delle strutture.

Il contesto applicativo

La proposta dei solai nervati secondo le isostatiche di flessione si inserisce nel più ampio sviluppo dei solai in cemento armato, avviato già alla fine dell'Ottocento. Dalla lastra Monier (1869) ai solai Hennebique con nervature principali e secondarie (1898), fino ai sistemi a fungo di Turner (1907) e Maillart (1908), l'evoluzione dei solai in cemento armato è accompagnata da una fitta produzione brevettuale, volta a trasformare sperimentazioni pionieristiche in pratiche costruttive consolidate. Queste prime soluzioni, pur efficaci sotto il profilo statico, mostrano presto limiti legati al peso proprio, al consumo di materiale e alle prestazioni acustiche.
La ricerca si orienta inizialmente verso la riduzione dello spessore delle solette mediante l'infittimento delle nervature secondarie, e successivamente verso la sostituzione del calcestruzzo nelle zone tese con materiali più leggeri, come il laterizio. Si diffondono così sistemi con elementi alleggeriti disposti al di sotto dell'asse neutro, tra nervature parallele o incrociate ortogonalmente, che progressivamente soppiantano i solai in cemento armato con nervature a vista. Tra i sistemi a doppia orditura si segnalano, in particolare, quelli di Bollinger (1902) e Danusso (1911).

In questo contesto si colloca l'inizio dell'attività professionale di Nervi, che nel 1913 entra nella Società Anonima per Costruzioni Cementizie del professor Attilio Muggia (1861-1936), concessionaria del brevetto Hennebique per l'Emilia-Romagna e le Marche. L'innovazione tecnica diviene da subito un tratto distintivo della sua opera. Il perfezionamento costruttivo descritto nel completivo del 1949 rappresenta infatti l'esito di un lungo percorso di sperimentazioni [Greco 2008]. All'interno di questo quadro, il disegno strutturale assume il ruolo di strumento di controllo di un processo costruttivo avanzato, nel quale la prefabbricazione consente di raggiungere livelli di complessità tecnica e raffinatezza formale difficilmente ottenibili con il getto in opera e con le casseforme lignee tradizionali. Nel completivo del 1949, ad esempio, è descritto un sistema di casseri in ferrocemento disposti su un ponte abbassabile e traslabile, che permette il disarmo e il riutilizzo progressivo delle forme nella realizzazione di solai di grandi dimensioni a scomparti ripetitivi, ottimizzando tempi, costi e qualità esecutiva.

Fig. 7. Pianta e sezione del solaio del piano interrato del Lanificio Gatti: Lembo 2026, p. 138.

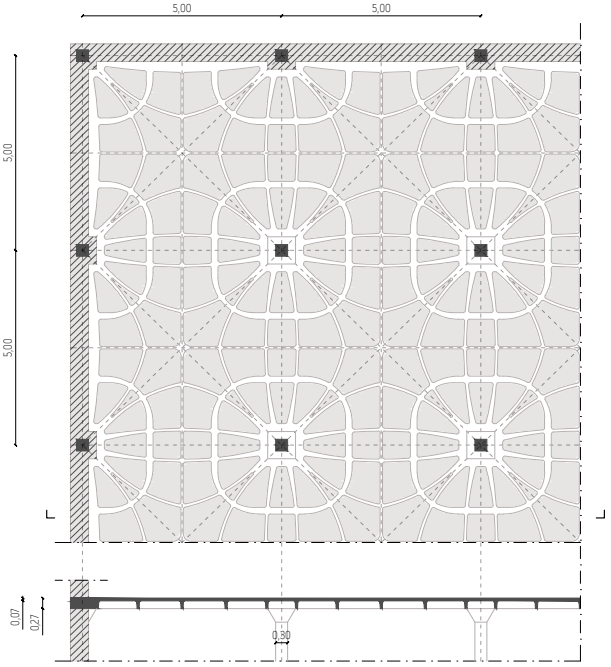
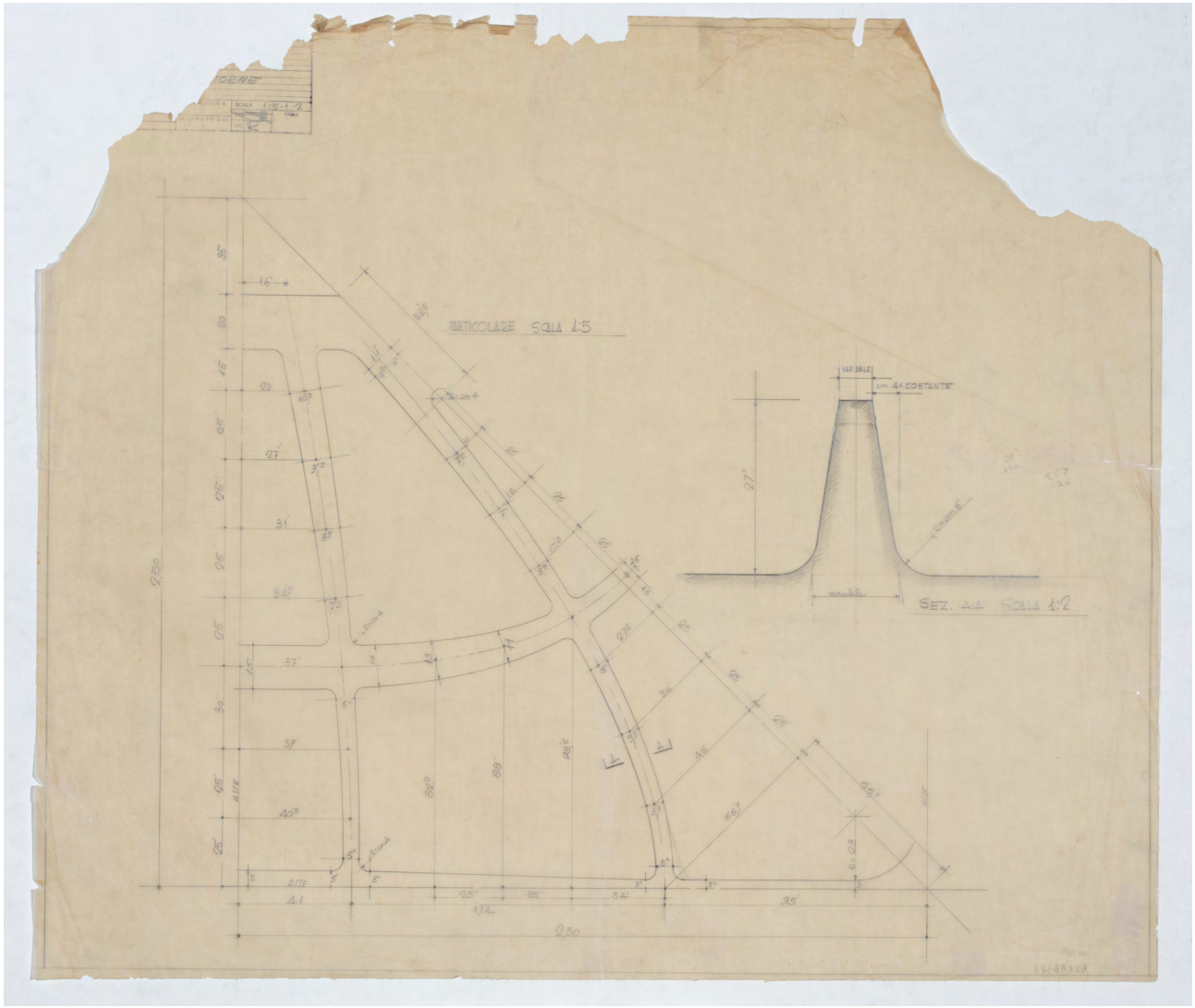


Fig. 8. Tracciamento degli assi e degli spessori delle nervature del solaio del Lanificio Gatti, scala 1:10 e 1:5 (Parma, CSAC).



Progetti e realizzazioni

Fin dalle prime applicazioni delle soluzioni brevettate nel 1949 emerge l'impossibilità di un rispetto rigoroso delle linee isostatiche di flessione. Nel passaggio dalla piastra continua al solaio costituito da soletta e nervature, la geometria della piastra originaria risulta infatti alterata e, con essa, la disposizione delle linee isostatiche. In aggiunta, le condizioni al contorno possono variare tra la fasi esecutive e la configurazione finale. Ne consegue che, come osservato da Mario Desideri, indipendentemente dall'accuratezza con cui tali traiettorie vengono determinate, si tratterà sempre di solai a nervature curvilinee "ispirate" alle linee isostatiche di flessione, piuttosto che di una loro trasposizione esatta [Castelli, Del Monaco 2011]. Tale consapevolezza non ostacola il ricorso a questa soluzione, inizialmente proposta come variante dell'orditura rettilinea ortogonale tradizionale e progressivamente affermatasi come scelta autonoma, fino a essere richiesta dalla committenza.
Nel corso di circa trent'anni, dalla fine degli anni Quaranta alla fine degli anni Settanta, Pier Luigi Nervi e lo Studio Nervi progettano e realizzano numerosi solai a nervature curvilinee riconducibili, a vario titolo, alle linee isostatiche di flessione. Si tratta di strutture riferibili a piastre di dimensioni, forme, vincoli e condizioni di carico molto differenti, per le quali le configurazioni isostatiche ideali assumono geometrie estremamente variabili. Prescindendo dalle intenzioni formali del progettista, l'individuazione esatta di tali linee risulta preclusa sia dai limiti delle conoscenze teoriche e degli strumenti di calcolo disponibili, sia da modalità esecutive non sempre praticabili. Le soluzioni proposte, realizzate o rimaste allo stadio progettuale, possono quindi essere interpretate come compromessi tra geometrie teoriche – potenzialmente infinite – e vincoli costruttivi, dando luogo a un ampio repertorio di variazioni sul tema, riflesso nella varietà degli elaborati grafici necessari alla loro definizione e realizzazione. Una misura della "distanza" tra le isostatiche ideali e le nervature effettivamente realizzate può essere efficacemente valutata attraverso l'entità dei momenti torcenti [Lembo, Bologna, Romeo 2024].
Una volta individuata la configurazione delle nervature, il calcolo delle armature a flessione e taglio viene condotto considerando ciascuna nervatura come rettilinea, con luce pari allo sviluppo della curva e vincolo di semincastro alle estremità, trascurando gli effetti torsionali, compensati dalle nervature intersecanti. I carichi, determinati in base alle aree di influenza, sono assunti in via cautelativa come concentrati nei punti di incrocio.

Fig. 9. Armatura dei riquadri laterali del solaio del Lanificio Gatti, scala 1:10 (Parma, CSAC).

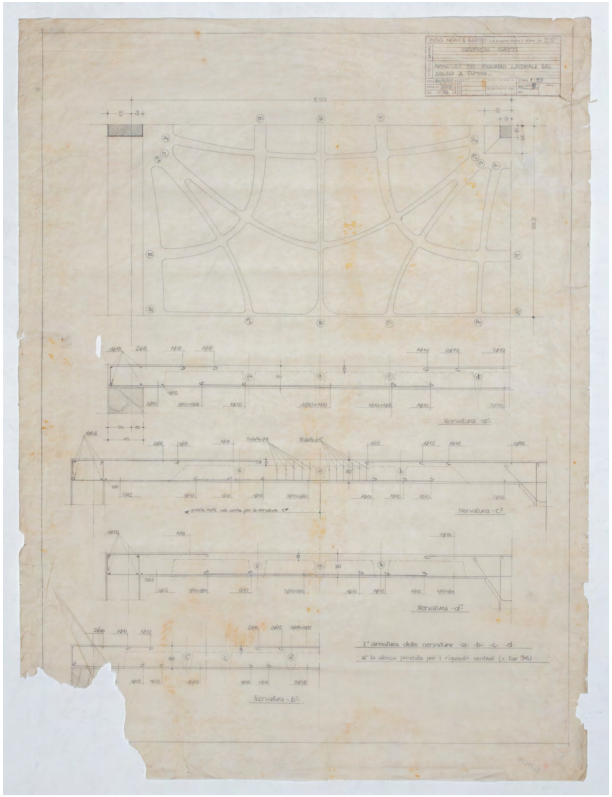


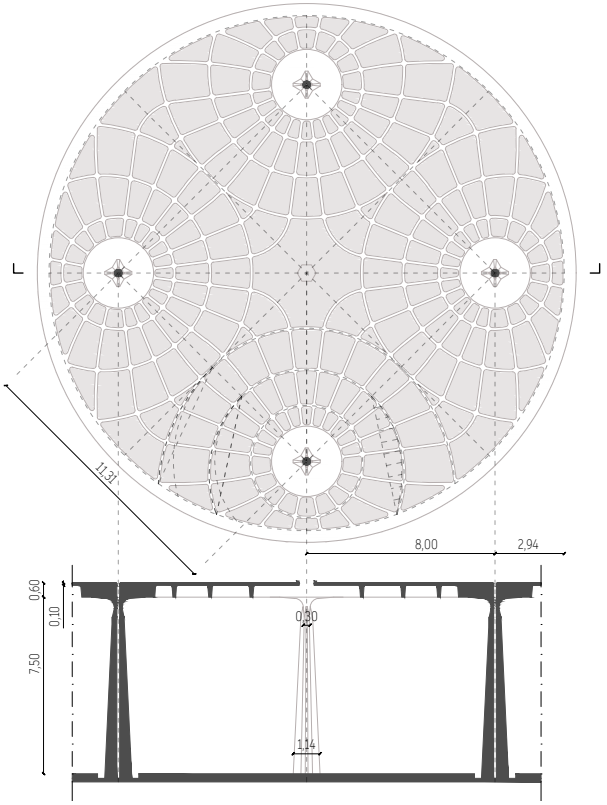
Fig. 10. Fotografia di dettaglio delle nervature del solaio del Lanificio Gatti (fotografia @ Matteo Cirenei).

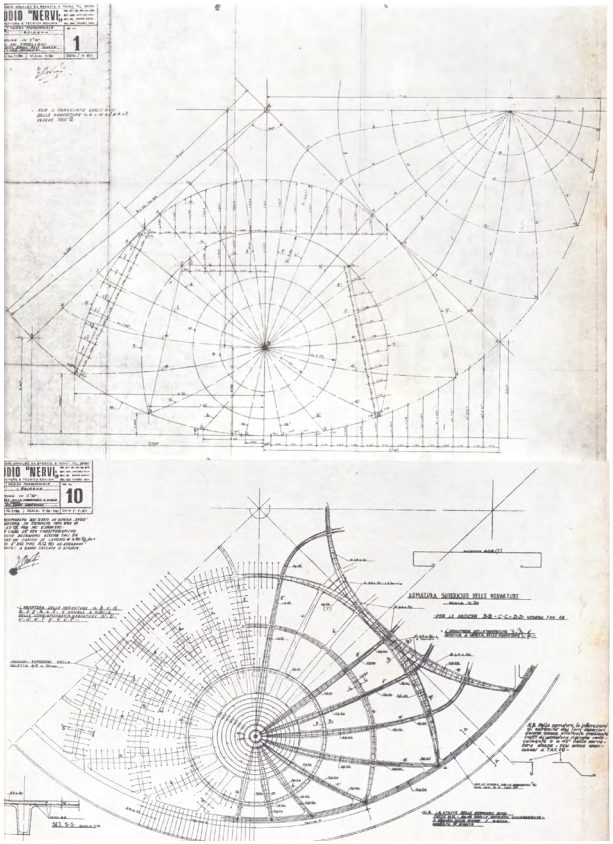


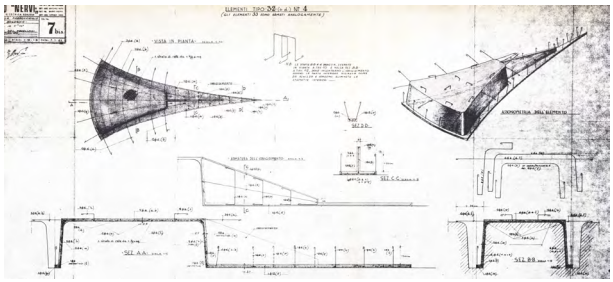
Fig. 11. Pianta e sezione della copertura della Chiesa del Cuore Immacolato di Maria a Borgo Panigale: Lembo 2026, p. 155.

Fig. 12. Copertura della Chiesa del Cuore Immacolato di Maria a Borgo Panigale: in alto, tracciamento degli assi; in basso, armatura superiore delle nervature, scala 1:20: Nervi 1961.

Fig. 13. Copertura della Chiesa del Cuore Immacolato di Maria a Borgo Panigale, tavelloni in ferrocemento (tipo 32), scala 1:10 e 1:5: Nervi, Vaccaro 1961.





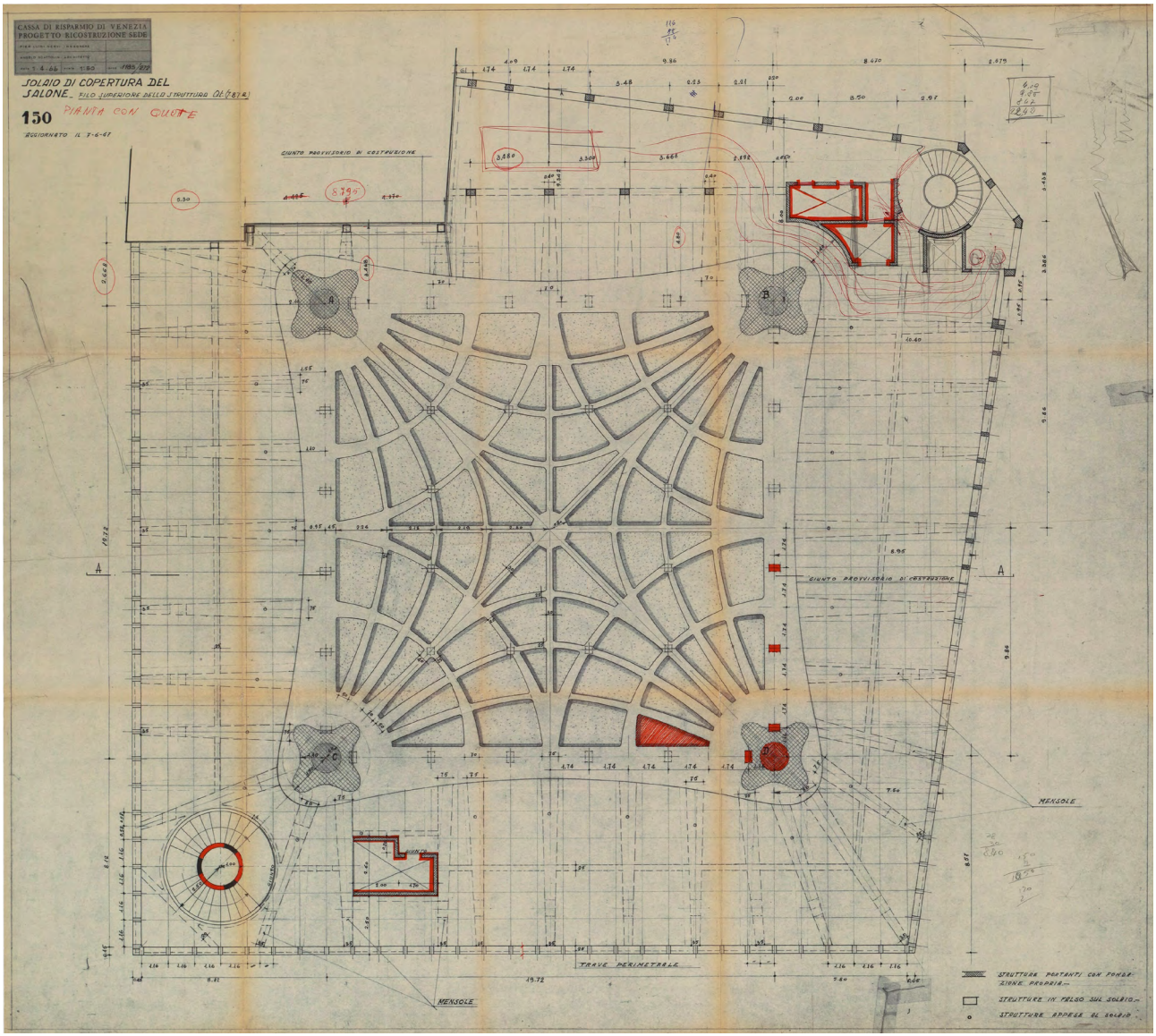


Ai primi anni Cinquanta risalgono le prime applicazioni con casseforme in ferrocemento: il solaio della Manifattura Tabacchi di Roma (1951), con una campata centrale quadrata e una laterale rettangolare, e la variante non realizzata del solaio su maglia rettangolare del Magazzino ballette della Manifattura Tabacchi di Bologna. Allo stesso periodo appartiene anche il Lanificio Gatti (1951-1953), progettato con Carlo Cestelli Guidi (1906-1995), caratterizzato dal solaio del piano interrato basato su una maglia quadrata di 5 × 5 m, ripetuta su 6 × 15 campate (fig. 7).
Il disegno delle casseforme in ferrocemento con la relativa dima, mostrato in figura 8, si riferisce al modulo minimo che, per effetto della doppia simmetria, si riduce a un triangolo isoscele pari a un ottavo del quadrato. I casseri relativi a una campata tra quattro pilastri sono montati su ponteggi mobili, secondo una tecnica già sperimentata per il solaio del Magazzino ballette. La disposizione planimetrica delle nervature è in parte riconducibile alla piastra quadrata vincolata al centro e in parte alla piastra su quattro appoggi ai vertici, mentre la sezione variabile segue l'andamento delle sollecitazioni [Lembo 2026]. Come indicato in figura 9, le nervature sono armate per momenti flettenti positivi in campata e negativi in prossimità degli allineamenti tra i pilastri, dove ferri di attesa garantiscono la continuità tra campi adiacenti (fig. 10). A queste esperienze iniziali segue la pensilina trapezoidale per l'ingresso nord del Segretariato del Palazzo UNESCO (1952-1958), realizzata con casseforme in legno.
Tra le numerose realizzazioni successive si distingue per geometria la copertura circolare su quattro pilastri della Chiesa del Cuore Immacolato di Maria a Borgo Panigale (1957-1962) progettata con Giuseppe Vaccaro (1896-1970) (fig. 11). Per questa copertura, di 11 m di raggio, vengono realizzate a terra 59 forme al negativo tramite dei blocchi in muratura rifiniti esternamente di gesso (fig. 12); con queste forme, corrispondenti a un solo quadrante della copertura, vengono realizzati i relativi tavelloni in ferrocemento (fig. 13) la cui qualità esecutiva connota

Fig. 14. Intradosso della copertura della Chiesa del Cuore Immacolato di Maria a Borgo Panigale (fotografia @ Matteo Cirenei).



Fig. 15. Solaio di copertura del salone della Cassa di Risparmio di Venezia, scala 1:50 (Parma, CSAC).



l'intradosso della copertura (fig. 14). Ulteriori opere significative vedono la luce negli anni Sessanta: il solaio perimetrale a campi trapezoidali del Palazzo dello Sport di Roma (1958-1960), il solaio su maglia quadrata del primo mezzanino del Palazzo del Lavoro di Torino (1959-1961) e il solaio della sede della Cassa di Risparmio di Venezia (1963-1972) (fig. 15). Per quest'ultimo, di particolare rilevanza strutturale per dimensioni e carichi, viene condotta un'indagine sperimentale presso l'Istituto Sperimentale Modelli e Strutture (ISMES) di Bergamo su un modello in scala 1:25 che conferma l'approccio conservativo utilizzato nel calcolo. Accanto a queste opere, si susseguono progetti nei quali le nervature, pur mantenendo un andamento curvilineo, perdono progressivamente il riferimento alle linee isostatiche di flessione e il ruolo genuino di "decorazione profonda" [Rappaport 2006]. Ciò avviene sia sul piano geometrico, con la violazione dell'ortogonalità tra le due famiglie di curve (progetti per il Centro culturale di Tripoli, il Centro sportivo in Kuwait, la torre del Centro MLC a Sydney e la filiale della Banca d'Italia a Cosenza), sia sul piano statico, quando si ignorano le condizioni di vincolo o quando il solaio si riduce a mero controsoffitto, come nel caso dell'Aula delle Udienze Pontificie in Vaticano (1963-1971).

Conclusioni

I solai nervati secondo le linee isostatiche di flessione mostrano come il disegno possa tradurre principi teorici in soluzioni costruibili ed espressive. La geometria delle nervature nasce dall'incontro tra rigore scientifico e lettura visiva dei flussi di forze, che ispira la forma. Pur senza seguire rigidamente le traiettorie ideali, il disegno consente di rendere operative le intuizioni statiche e di controllare soluzioni complesse. Così, nell'opera di Nervi la forma strutturale si costruisce attraverso un processo conoscitivo in cui teoria, visione e costruzione si fondono, rendendo il disegno strumento centrale di progetto.

Note

[1] È interessante notare che tra gli appunti di Arcangeli, accanto alla soluzione analitica in serie per la determinazione dei momenti flettenti e torcenti della piastra quadrata in campata, appare l'indicazione per il calcolo approssimato dei momenti negativi per i solai a fungo nella zona adiacente ai pilastri che considera una piastra circolare appoggiata di raggio pari a 1/5 del lato caricata con il carico distribuito e una reazione al centro verso l'alto: Nadai 1925.

[2] Per la determinazione delle linee isostatiche si adottano procedimenti grafici basati sulle isocline che equivalgono alla soluzione per via grafica di equazioni differenziali a partire dai valori delle derivate.

[3] Al metodo fotoelastico Nervi ricorse nel 1965 per il progetto realizzato del Motta Grill di Limena per dedurre lo stato tensionale piano nelle le grandi travi parete caratterizzate da 13 aperture ottagonali di dimensioni variabili: Neri 2014.

Autore

Francesco Romeo, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Sapienza Università di Roma, francesco.romeo@uniroma1.it

Riferimenti bibliografici

Arcangeli, A. (1949). «*Perfezionamento nella costruzione di solai, volte, cupole, travi-parete e strutture portanti in genere a due o a tre dimensioni, con disposizione delle nervature resistenti lungo le linee isostatiche dei momenti o degli sforzi normali*», Società Nervi & Bartoli, inventore: Aldo Arcangeli (Brevetto N. 455678 - Roma, 23 luglio 1949).

Belluzzi, O. (1947). *Scienza delle costruzioni*, vol. 3. Bologna: Zanichelli.

Castelli, F.R., Del Monaco, A.I. (a cura di). (2011). *Pier Luigi Nervi e l'architettura strutturale*. Roma: Edilstampa.

Chiorino, M.A. (2010). La sperimentazione nell'opera di Pier Luigi Nervi. In C. Olmo, C. Chiorino (a cura di). *Pier Luigi Nervi: architettura come sfida*. Cinisello Balsamo-Bruxelles: Silvana-Civa PLNProject.

Danusso, A. (1932). Indagini sperimentali sulle costruzioni. *La fotoelasticità*. In *Seminario Mat. e. Fis. di Milano*, 6, pp. 203-215.

Frocht, M. (1941). *Photoelasticity*, vol. I. New York: John Wiley & Sons.

Gargiani, R., Bologna, A. (2016). *The rhetoric of Pier Luigi Nervi. Concrete and ferrocement forms*. Oxford: EPFL Press.

Greco, C. (2008). *Pier Luigi Nervi. Dai primi brevetti al Palazzo delle Esposizioni di Torino 1917-1948*. Lucerna: Quart Edizioni.

Halpern, A.B., Billington, D.P., Adriaenssens, S. (2013). The Ribbed Floor Slab Systems of Pier Luigi Nervi. In *Journal of the International Association for Shell and Spatial structures*, vol. 54, nn. 2, 3, pp. 127-136.

Iori, T. (2012). Le plancher a nervures isostatiques de Nervi. In R. Gargiani (a cura di). *L'architrave le plancher la plate-forme: Nouvelle historie de la construction*. Lausanne: Presses politechniques et universitaires romandes, pp. 755-760.

Kambo, L. (1944). *Le lastre piane*. Roma: Bardi Editore.

Lembo, M. (2026). *I solai a linee isostatiche di Pier Luigi Nervi e Aldo Arcangeli. Diagrammi di sforzi e forme costruite*. Tesi di dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio. Relatore prof. G.P Consoli, correlatore prof. A. Bologna, prof. F. Romeo. Politecnico di Bari.

Lembo, M., Bologna, A., Romeo, F. (2024). Nervi's Isostatic Lines' Inspired Floor Slabs. Beyond the Archetypal Gatti Woolen Mill in Rome. In S. Gabriele, A. Manuello Bertetto, F. Marmo, A. Micheletti (Eds.). *Shell and Spatial Structures*. Proceedings of IWSS 2023, pp. 51-61. Cham: Springer.

Nadai, A., (1925). *Die elastischen Platten*. Berlin: Springer Verlag.

Neri, G. (2014). *Capolavori in miniatura. Pier Luigi Nervi e la modellazione strutturale*. Mendrisio: Mendrisio Academy Press.

Nervi, P.L. (1945). *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*. Roma: Edizioni della Bussola (ristampe Milano: Città Studi Edizioni, 1997, 2014).

Nervi, P.L. (1949). *3° Completivo al brevetto principale n. 406296 del 15 aprile 1943, avente per titolo «Perfezionamento nella costruzione di solette, lastre ed altre strutture cementizie armate»* (Brevetto N. 455750 - Roma, 23 luglio 1949).

Nervi, P.L. (1951). Le proporzioni nella tecnica. In *Domus*, n. 264-265, pp. 45-48.

Nervi, P.L. (1955). *Costruire correttamente. Caratteristiche e possibilità delle strutture cementi zie armate*. Milano: Hoepli (II ed. aggiornata e rivista, Milano 1965).

Nervi, P.L., Vaccaro, G. (1961). Chiesa e complesso parrocchiale del Cuore Immacolato di Maria nel quartiere INA-Casa a Borgo Panigale 1952-1962. In *Chiesa e Quartiere. Quaderni di Architettura Sacra*, n. 20, pp. 74-98.

Rappaport, N. (2006). Deep Decoration. In *Decoration. 30/60/90. Architectural Journal,* n. 10, pp. 95-105. New York: Princeton Architectural Press.

Volterra, E. (1930). La fotoelasticità e le sue applicazioni nell'interno dei corpi elastici. In *L'ingegnere rivista tecnica del Sindacato nazionale fascista ingegneri*, vol. IV, n. 8, pp. 516-530.

Estructura y expresión en Gut Garkau: la visión artesanal de Hugo Häring

Francisco Cotallo Blanco, Jesús de los Ojos, Jairo Rodríguez

Abstract

Entre 1922 y 1926, Hugo Häring diseñó y construyó parte del complejo agrícola Gut Garkau, situado en la orilla sur del lago Pönitzer See. Esta obra es un claro ejemplo de expresionismo funcionalista con influencias vernáculas, inspirada en las ideas de Hans Poelzig y desarrollada posteriormente por Bruno Taut y Erich Mendelsohn. Häring afirmaba que la forma del edificio debía derivarse de su función, sin imponer formas un organismo vivo. Al diseñar la granja, analizó en detalle la cultura agrícola, incluyendo las tareas diarias, el movimiento de los animales y la distribución de la maquinaria industrial, adaptando la arquitectura a estas necesidades. Su expresión arquitectónica responde a exigencias funcionales, utilizando materiales y estructuras que dialogaban con el entorno natural. A partir de su proyecto, se construyeron el granero, el establo y un edificio anexo alrededor de 1924, mientras que otras propuestas para el establo de caballos y la pocilga quedaron en papel. El granero, la parte más destacada, presenta un techo abovedado en forma de bóveda ligera, con una estructura de madera formada por una malla tridimensional de rombos, basada en el sistema Zollinger. El estudio pretende mostrar cómo Häring logró una expresión formal clara que refleja la función para la que fue concebido el edificio.

Palabras clave: estructura, Gut Garkau, Hugo Häring, funcionalidad, dibujo.

Introducción

En mayo de 1922 Hugo Häring escribe en una carta: «un cliente entusiasta ha indicado que necesita una granja». Este será Otto Birtner, un agricultor que, tras conocer el proyecto de Häring para el rascacielos *Friedrichstraße* publicado por el crítico Adolf Behne en el suplemento *Hochhaus Heft* de la revista *Wendingen* en mayo de 1923, quedó impresionado por el trabajo del arquitecto. Birtner era propietario de un terreno en la aldea de Garkau en la orilla sur del lago Pönitzeer See (Ostholstein, Alemania) y fue el promotor de la conocida Granja Gut Garkau, obra maestra de Häring. El proyecto se inició en 1922 con un primer dibujo para la ampliación de la casa existente y concluyó en 1926 con el proyecto para el edificio del alberge: Strohhaus-Pferde-Schweinestall. Del proyecto original de Häring solo se construyeron el establo, el granero y el anexo, todos en 1924. El resto de proyectos para la casa y la pieza de conexión del granero con el establo nunca se materializaron. En Garkau el autor propuso una reformulación de la arquitectura basada en sus teorías sobre la forma, buscando que esta surgiera de una manera natural a partir de las funciones específicas de cada espacio, y estuviera íntimamente ligada a la solución estructural.

Estado de la cuestión

Desde finales del siglo XX, la investigación sobre la obra Häring se ha nutrido de nuevas aportaciones, que en gran medida se centran en el análisis de sus procesos de

 BY-NC-ND

pensamiento, como es el caso de *Impegno nella Ricerca orgánica* [Bucciarelli 1980]; y de otras, como *Il segreto della forma: storia e teoría der Neue beuen / Hugo Häring* [Polano 1984], que profundizan, entre otras cuestiones, en la teoría de pensamiento filosófico y formal de su obra. Críticos como Kenneth Frampton y Reyner Banham en sus respectivos libros *Historia crítica de la arquitectura moderna* [Frampton 1987] y *Teoría y diseño en la primera era de la máquina* [Banham 1985] dedican también textos específicos a la Granja de Gut Garkau.
Además, este año, 25 años después de la última exposición dedicada al arquitecto en la Academia de Artes de Berlín, se ha vuelto a poner el foco sobre su legado con la realización de la exposición *Hugo Häring: el mundo aún no está del todo terminado*, [Bihr, Schirren 2025] que además de explorar los orígenes de su relevancia, presenta maquetas, bocetos y dibujos del arquitecto. A pesar de la diversidad de enfoques –proyectual, filosófico, social…– a través de los cuales se ha profundizado en el legado de Häring, en comparación con otros maestros, se aprecia un cierto vacío en lo que respecta al análisis de sus dibujos. De ahí, que, en el presente artículo, consideramos una oportunidad indagar en esta obra a partir de los propios dibujos del arquitecto.

Objetivos

El proyecto de Gut Garkau se sitúa como la obra maestra de Hugo Häring y como tal ha sido abordada desde diferentes perspectivas. El objetivo de este estudio es revelar, a través de los dibujos de archivo del arquitecto y esquemas complementarios de los autores, los diferentes sistemas estructurales que Häring proyectó para construir las diferentes piezas del complejo, siempre bajo la premisa de que incluso la forma de la estructura responde a la función. Se pretende desvelar esta rica interacción entre uso y estructura, una de las asociaciones más potentes dentro del ámbito arquitectónico.

Apunte metodológico

La investigación se ha sustentado en la consulta de la documentación del proyecto conservada y digitalizada en el archivo de la Akademie der Künste de Berlín, accesible de forma pública a través de su repositorio en línea y previamente catalogada. A diferencia de otros casos de estudio en los que la documentación se encuentra inédita o sin procesar, en este, el material estaba disponible en formato digital, lo que ha permitido una revisión sistemática y ordenada. Este corpus documental, compuesto fundamentalmente por planos, croquis y escritos relacionados con el proyecto de Gut Garkau, ha sido complementado con una revisión bibliográfica exhaustiva que abarca tanto estudios generales sobre la obra de Hugo Häring como investigaciones y análisis específicos centrados en dicha granja.
La estrategia metodológica adoptada se ha basado en la contraposición entre estas dos vertientes: por un lado, el examen directo de las fuentes primarias provenientes del archivo; por otro, el análisis crítico de las interpretaciones ya presentes en la literatura académica. Este diálogo entre materiales documentales y marcos teóricos ha permitido identificar convergencias y discrepancias en torno a la concepción, desarrollo y ejecución del proyecto, así como detectar posibles lagunas interpretativas. El proceso ha culminado en la elaboración de un estudio que integra de manera coherente ambas aproximaciones, aportando así una visión articulada que sirve de base para el análisis y las conclusiones expuestas en este trabajo.

Fundamentos teóricos

En relación al expresionismo, el funcionalismo y la importancia histórica del proyecto de Gut Garkau (fig. 1), Rayner Banham afirma que las obras anteriores a la Primera Guerra Mundial de Hans Poelzig y las no clasicistas de Peter Behrens, influidas por el movimiento *Arts & Crafts* inglés, originaron una incipiente corriente de formas constructivas escultóricas que, tras 1918, se desarrolló en los primeros proyectos de Mendelsohn y alcanzó su punto culminante con la granja de Gut Garkau de Hugo Häring (1922-1924). A diferencia de Nikolaus Pevsner, quien en *Pioneers of Modern Design* (1936, 1960) planteaba una alternancia histórica entre expresionismo y funcionalismo y relegaba el primero al ámbito de la "pura subjetividad", Banham reconoce la existencia de un vínculo productivo entre ambas corrientes. Según Pevsner, «mientras que el funcionalismo se suponía objetivo, científico y anónimo, el expresionismo sólo representaba la expresión personal» [Banham 1979, p. 30] una postura que, como indica Banham, contribuyó junto con la de críticos como Giedion a relegar la tradición expresivo-funcionalista como mero ejercicio romántico.

En contraposición, Peter Blundell Jones señala que «irónicamente, Scharoun y Häring eran mejores funcionalistas que Gropius o Mies van der Rohe» [Blundell Jones 1999, p. 9], en tanto que Wolfgang Pehnt afirma que «Häring pensó en la forma y en la función con más profundidad y lógica que cualquier otro arquitecto del nuevo estilo» [Pehnt 1999, p. 23], destacando su realismo al no asumir una armonía automática entre expresión y función. Esta posición quedó claramente plasmada en *Wege zur Form* (1925), donde Häring propuso que la expresión no se anteponga ni se subordine a la función, sino que se concilie con ella, buscando una morfología «que exprese el eficiente cumplimiento de su función» [Häring 1925, citado en Joedicke 1960, p. 318] y que, como en la naturaleza, «sea el resultado de una coordinación de muchas partes» [Häring 1951, citado en Joedicke 1960, p. 318] en beneficio del conjunto. Fue el propio Häring quien distinguió dos etapas en el proceso de diseño: *Organwerk,* consistente en ayudar a los objetos a encontrar su forma correcta a partir de requerimientos cambiantes, y *Gestaltwerk*, en la que estos hallan una adecuada expresión arquitectónica. Reconoce el valor de las formas vernáculas originadas por necesidades funcionales y combina técnicas y materiales tradicionales con recursos contemporáneos, lo que, le otorga una variedad expresiva mucho más amplia. Su visión orgánica, influida por William Morris, William Lethaby y por su maestro Theodor Fischer, asume que las condiciones geográficas y culturales específicas pueden configurar la forma arquitectónica, de modo que el edificio «crezca orgánicamente desde el interior hacia el exterior» [Nerdinger, Gottardo 1990, p. 17] y respete, como diría Wright, «lo que crece de la naturaleza de las cosas» [Wright 1954, p.18].

La granja de Gut Garkau

El conjunto

Häring diseñó el complejo agrícola Gut Garkau (Klinberg, Schleswig-Holstein 1922-1925) materializando las teorías propuestas ese mismo año en su ensayo Wege zur Form [Pizza 2002] [1], el cual fue ilustrado con dibujos de la granja bajo el título *Funktionelles Bauen: Gut Garkau, das Viehhaus* (Edificio funcional: Gut Garkau). Häring dispuso las piezas del edificio cuidadosamente integradas con la vegetación a la orilla oeste del pequeño lago Pönitzer See. Aprovechó el irregular y sinuoso perímetro de la parcela para colocar de manera natural los numerosos elementos que definen la granja (un establo para vacas, otro para caballos y cerdos, un granero, un gallinero, las oficinas y

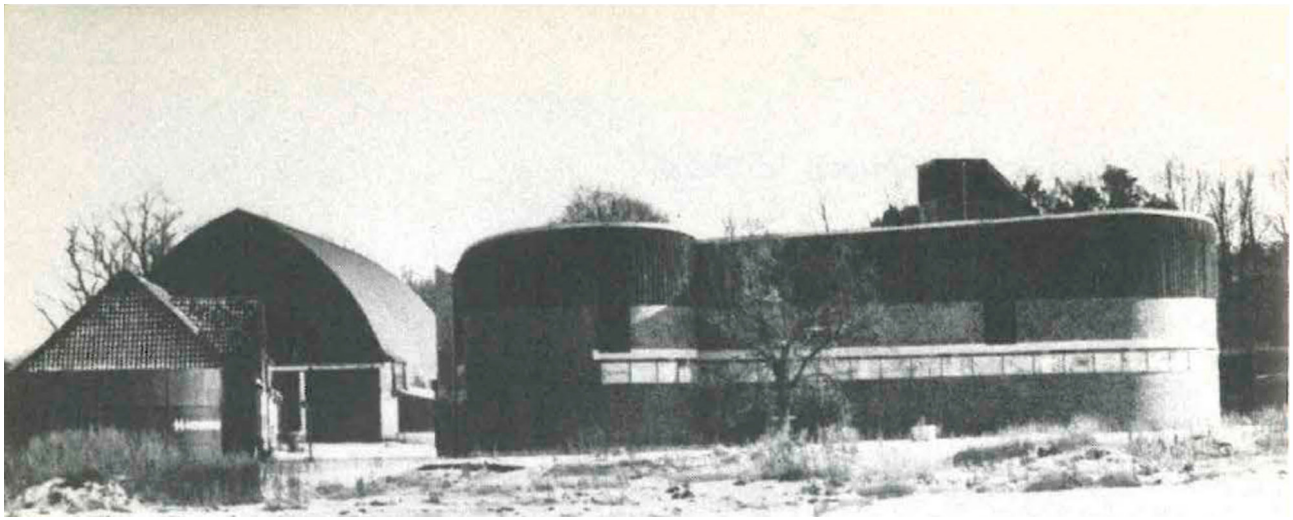


Fig. 1. Fotografía desde el norte, a la izquierda el granero y a la derecha el establo [Bucciarelli 1980, p. 44].

vivienda principal del granjero, así como varias edificaciones para maquinaria). Häring abandonó el sistema tradicional de alineación de espacios en torno a un eje central en favor de un principio formal que simplifica las manipulaciones necesarias y la distribución de movimientos de los animales y los trabajadores para manifestarse en un espacio orgánico [Behrendt 1924].

Entre 1923 y 1924 Häring realizó tres propuestas para el conjunto de Gut Garkau, como variaciones coherentes de una misma idea. De la tercera propuesta, la finalmente construida, se dispone de los dibujos de 1924: la axonometría, los alzados, secciones y la planta general conservados y clasificados en el archivo Baunkunstarchiv de la Akademie der Künste de Berlín.

Como se puede observar en la planta de situación (fig. 2), las diferentes construcciones agrícolas se cierran en torno a un corral trapezoidal con un acceso propio, situado al norte de la parcela, y se separan de la vivienda principal y las oficinas, en el extremo sur de la granja, mediante un patio más representativo con acceso propio y vistas al lago. En la delicada axonometría dibujada por Häring (fig. 3), se percibe cómo los nítidos contornos delimitadores de las diferentes piezas que aparecían en la planta general se transforman en un complejo organismo formado por múltiples volúmenes íntimamente relacionados entre sí. La variedad de formas y escalas de las diferentes partes expresan la preocupación de Häring no sólo por las interrelaciones entre los edificios, sino también con los espacios exteriores que éstos conforman. Los edificios hacia el interior del patio no se manifiestan en toda su altura, Häring propone hacia el interior una escala más doméstica ajustada a la dimensión humana. Las articulaciones entre los edificios mediante porches de trabajo, uniendo los diferentes accesos y salidas de los animales, así como la cuidada disposición de las entradas de vehículos para la carga y descarga tanto de ganado como de grano, dan muestra del

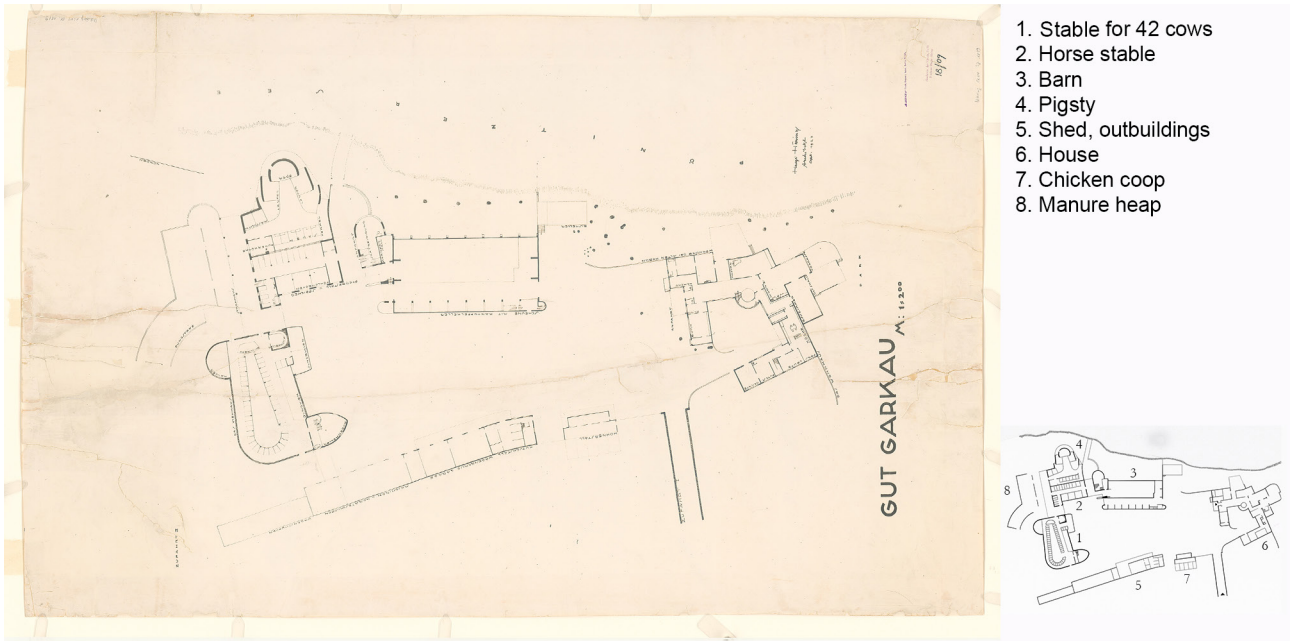


Fig. 2. Planta de situación, Häring-Hugo_1204_018_009-1024w, Akademie der Künste, Baunkunstarchiv, Berlin.

amplio estudio funcional y organizativo que se encuentra detrás de la propuesta arquitectónica [2].
Pero, más allá del mero funcionalismo, Garkau transciende lo esquemático mediante una comprensión profunda del programa, el lugar y la naturaleza, para encontrar de esta manera la forma arquitectónica más adecuada [Abascal García 2010]. «No buscamos alimentar la aparente antítesis entre expresivo y funcional […] Intentamos afirmar las necesidades expresivas en la dirección de la vida, del devenir, del movimiento, por el camino de una configuración natural, porque el itinerario que configura la forma funcional es coherente con el natural. En la naturaleza, la forma es el resultado de la ordenación de múltiples datos en el espacio, en relación con la evolución de la vida y la eficiencia tanto individual como compleja» [Pizza 2002, p. 200].
Por otro lado, Häring encontraba en las formas vernáculas humildad estructural y sinceridad funcional, este reconocimiento adaptado a las nuevas necesidades humanas implicaba la reconsideración de las técnicas y materiales con las que fueron construidas. En los proyectos de Häring se aprecia la combinación de recursos constructivos vernáculos asociados con otros contemporáneos. «Esta mezcla aparentemente […] le concede una amplia gama de expresión, imposible de conseguir con vocabularios más abstractos y limitados» [Blundell Jones 1999, p. 70].
Aunque Häring desarrolló nuevas propuestas para la pieza correspondiente a la cuadra de caballos y la pocilga (1926), con la que hubiera cerrado la articulación en esquina, fortaleciendo la integridad arquitectónica del complejo, solamente fueron completados el establo para el ganado bovino y el granero (1925).

El granero
El edificio del granero se colocó en la parte noroeste, la más próxima al lago. Actúa como elemento de cierre del conjunto hacia el lago pero respeta el arbolado de la rivera al separarse unos 20 m. Häring ocultará ligeramente el gran volumen entre los árboles para minimizar el impacto visual pese a ser la pieza de mayor envergadura del conjunto. El edificio se compone de una pieza central de forma rectangular de 15,50 m por 36,14 m con una cubierta en forma de arco apuntado sustentada por un sistema estructural de madera tipo *Zollinger* (fig. 5) y una crujía de menor escala que se adosa hacia el patio de 2,97 m por 35,85 m. Existen 3 planos del proyecto de construcción del granero de 1924 de Hugo Häring, depositados y catalogados en la *Akademie der Künste* de Berlin. El primero de estos (fig. 7), por los trazados y detalles que se superponen, se puede suponer como plano de desarrollo de la obra. En los dibujos, que reflejan fielmente y de manera sintética el proyecto construido, no aparece el elemento de conexión con las caballerizas y pocilga, planteado en las propuestas generales. La planta grafiada combina en una misma línea de dibujo planta baja y sótano. En los alzados y secciones aparecen correcciones y anotaciones de medidas de alturas de listones de madera del entramado del piñon. El segundo de los planos (fig. 8) aparece limpio en su presentación. La representación en planta y sección recogía la construcción del elemento de conexión con caballerizas y pocilga y planteaba la hipotética posibilidad de su construcción. Se establecen las cotas básicas del edificio tanto en la sección como en la planta.
El último de los planos (fig. 9) recoge detalles a mayor escala del volumen sur de la crujía lateral, definiendo la fachada

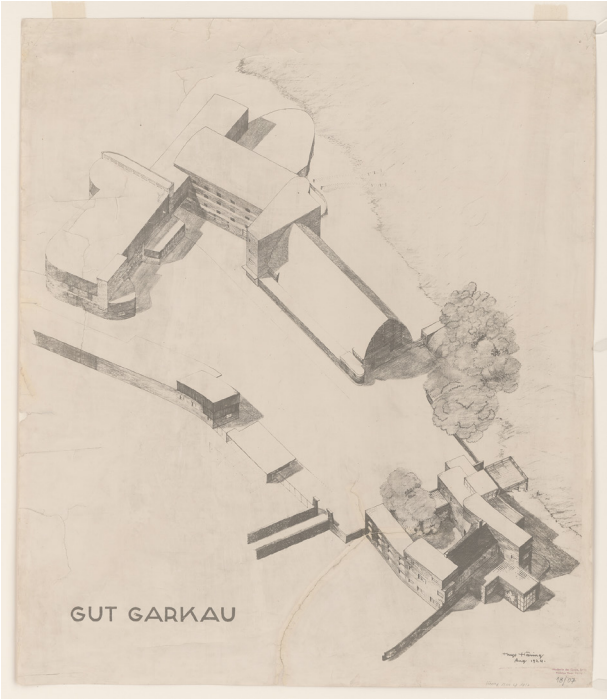


Fig. 3. Axonometría, Häring-Hugo_1204_018_007-1024w, Akademie der Künste, Baunkunstarchiv, Berlin.

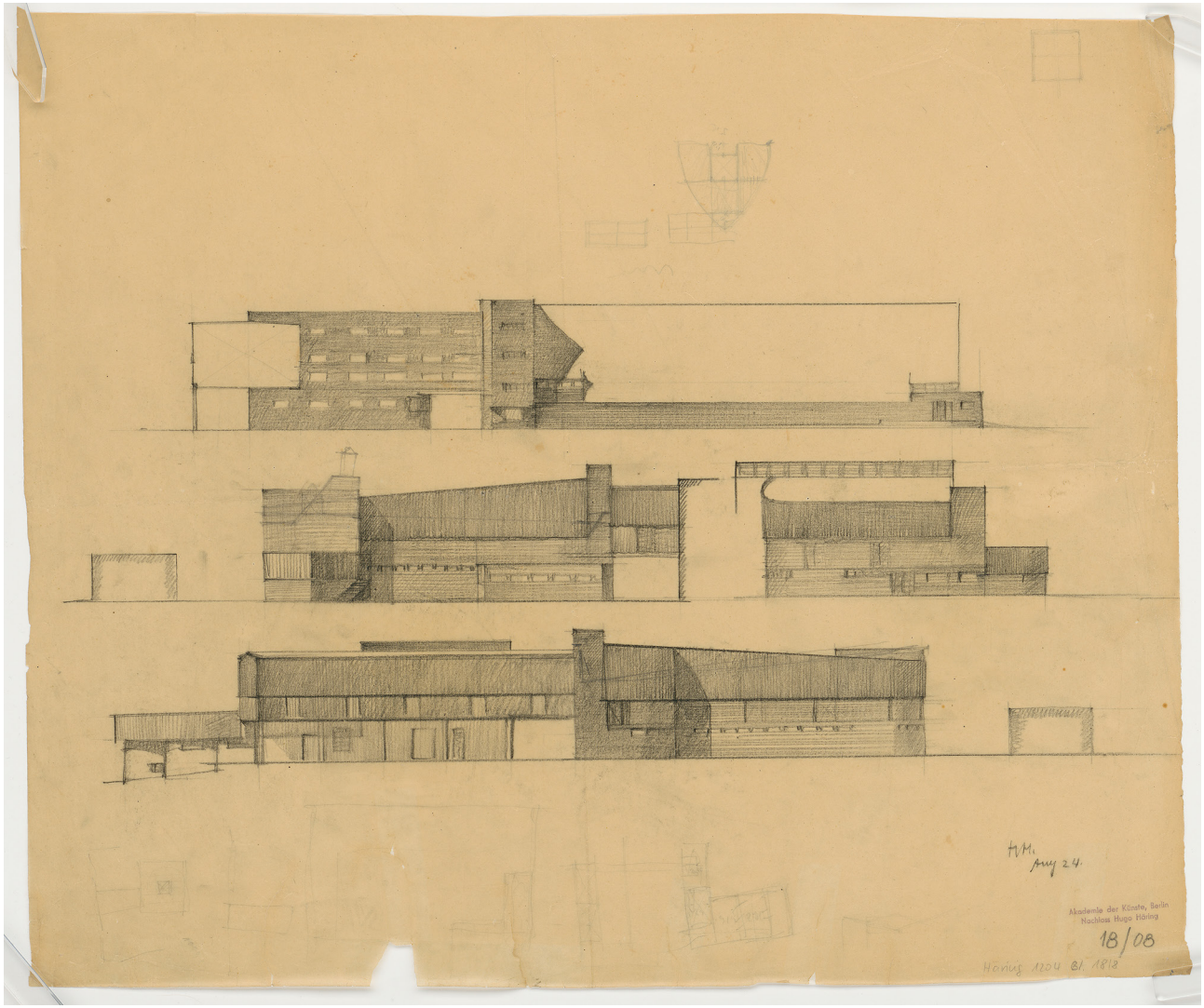
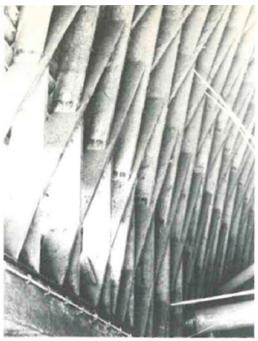


Fig. 4. Alzado – secciones, 1. Residencia y granero, 2. Establo y Pocilga 3. Establo y establo de caballos, Häring-Hugo_1204_018_008-1024w, Akademie der Künste, Baunkunstarchiv, Berlin.







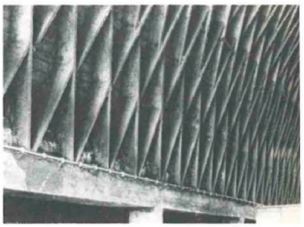


Fig. 5. Photo of the barn under construction, Akademie der Künste, Hugo-Häring-Archiv, Nr. 54, Berlin.

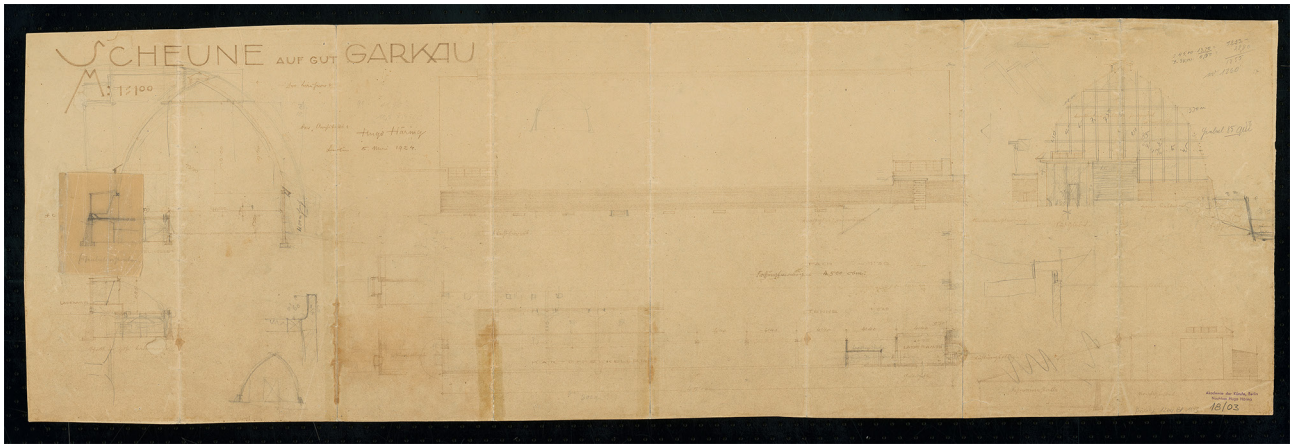
Fig.6 Detalles interiores del granero [Bucciarelli 1980, p. 53].

exterior y el juego del aparejo de ladrillo del muelle de carga y de la escalera de acceso al sótano. Todos estos documentos reflejan la importancia directa entre el pensamiento, el dibujo y la construcción. El diseño del granero busca la mayor altura utilizando el menor espesor estructural posible y, al mismo tiempo, rememora el perfil curvado de las granjas del norte de Alemania. Para ello, Häring recurre a una construcción realizada a base de finas láminas de madera clavadas entre sí conformando una ligera malla tridimensional formada por rombos, técnica basada en un sistema conocido como cubierta *Zollinger.*

La estructura espacial se separa del suelo apoyándose a lo largo de un muro visto de hormigón en el lateral situado frente al lago, mientras que en el lado opuesto descansa sobre un robusto pórtico, también de hormigón armado, que sirve de soporte a una serie de edificaciones auxiliares. Sobre este zócalo perimetral, en los hastiales se construye una retícula de montantes y correas de madera que servirá de base y refuerzo para el acabado exterior, realizado mediante grandes paños horizontales de tablones tratados.

Siguiendo la tradición inaugurada por Poelzig, Häring recurre a la naturaleza de los materiales y a la forma en que éstos son utilizados para lograr una retórica expresiva en el edificio y al mismo tiempo establecer un diálogo con el paisaje circundante. Así, en el granero se conjugan materiales tradicionales, como la cubierta de teja flamenca de color negro, el ladrillo rojo vitrificado (colocado según el aparejo de jardín inglés como en las viejas granjas de Schleswig Holstein), junto con técnicas más novedosas para la época como los dinteles y muros de hormigón armado. Häring se permite, incluso, experimentar con variaciones de los detalles más usuales: en el aparejo vertical utilizado en la esquina circular que remata el cuerpo anexo, las hiladas resaltadas dinamizando el zócalo de la fachada principal del granero o en la composición de la gran puerta corredera de acceso mediante tres tipos de revestimientos de madera.

Estos expresivos recursos introducen una extensión ornamental en la naturaleza de la construcción, más allá de la pura funcionalidad, pudiendo, en palabras del propio Häring «parecer una traición a lo funcional en favor de lo puramente ornamental», donde «si ornamento es la palabra correcta, es una forma muy especial de ornamento. Porque incluso si se produce como efecto visual, se realiza dentro de la disciplina del proceso constructivo, de hecho, como una elaboración deliberada del mismo: la construcción elevada al nivel de un juego. Esta dualidad tiene fuertes precedentes dentro de la tradición vernácula alemana» [Blundell Jones 1999, p. 58].



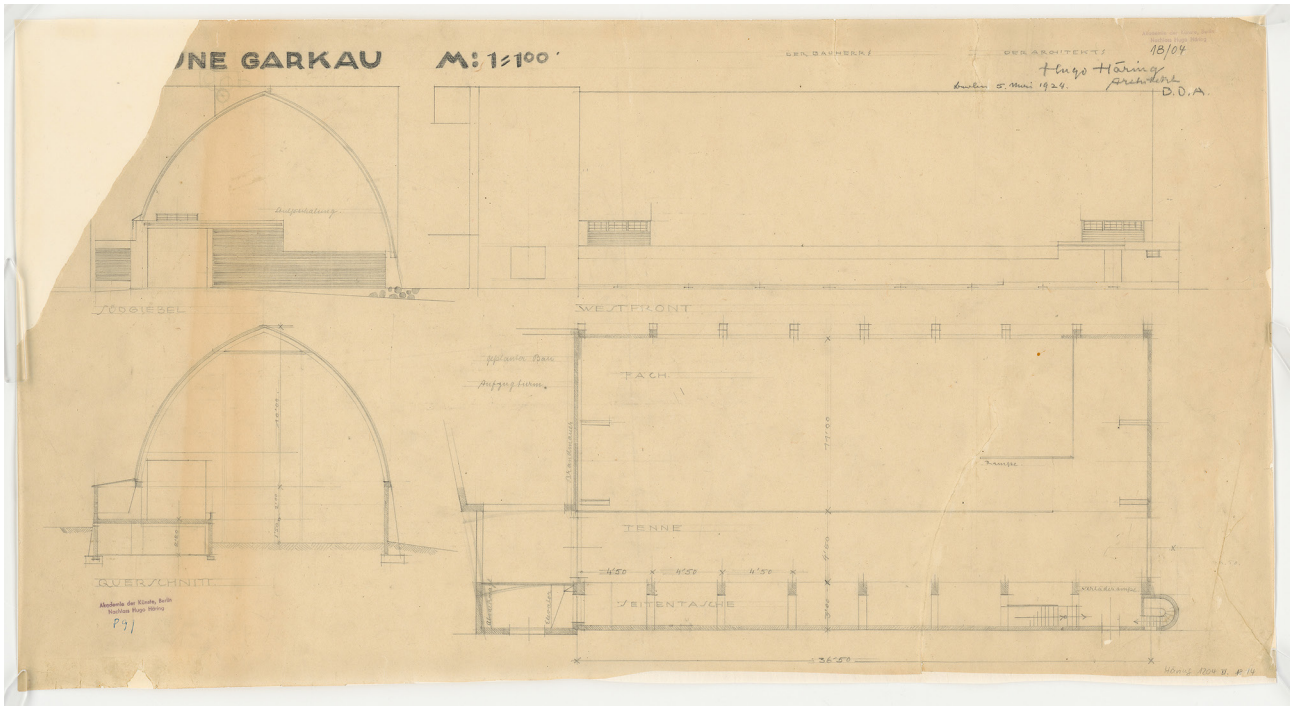


Fig. 7. Planta baja, alzados y sección, Häring-Hugo_1204_018_003-1024w, Akademie der Künste, Baunkunstarchiv, Berlin.

Fig. 8. Planta baja, alzados y sección, Häring-Hugo_1204_018_004-1024w, Akademie der Künste, Baunkunstarchiv, Berlin.

El establo

El establo es la pieza más notable del conjunto de Gut Garkau es la plasmación fehaciente del inicio de un pensamiento teórico en los inicios de Hugo Häring hacia 1924. El edificio se dispone en el extremo noroeste del *hof* o patio y cierra el espacio interior en esta dirección actuando como telón de fondo. Del proyecto del establo de Gut Garkau solo se conserva un plano de la planta, (fig. 9) –sin fecha, dibujado a lápiz, planta que recoge la versión definitiva y se corresponde con el resto de documentación general del conjunto analizada anteriormente también de 1924.

La única documentación disponible que corresponde con la planta definitiva (fig. 10) no guarda sin embargo relación con el volumen de la propuesta final de la axonometría y alzados –secciones de la ordenación general analizadas previamente. El establo tiene una cubierta de una sola pendiente en sentido contrario al definitivo, presenta un lucernario –ventilación en la cara norte que no se llega a realizar, y la tolva tiene una configuración distinta. Además, se conservan dos planos de detalles, uno parcial del alzado norte y otro con detalles y aparejos de las fábricas de ladrillo. La complejidad del establo es enorme, la construcción geométrica llevada a cabo inicialmente parecía imposible, sin embargo, gracias a la precisión del dibujo del arquitecto, al rigor de las mediciones y a la constancia en el proceso, fue posible materializarla. Con un planteamiento cercano al enunciado por Mendelsohn que busca la forma en la expresividad de la estructura, Häring en sus propuestas trata de llegar a una morfología de lo portante que exprese el eficiente cumplimiento de su función [Joedicke 1960, p. 318] [3]. «En la naturaleza la imagen es el resultado de una coordinación de muchas partes, de tal forma que permita al conjunto tanto como a de cada una de las partes convivir la manera más efectiva […] si nosotros intentamos descubrir la verdadera 'forma orgánica', en lugar de imponer una forma extraña, estaremos actuando de manera acorde con la naturaleza» [Joedicke 1960, p. 318] [4].

«Para el establo de 42 vacas se determinó una planta en forma de pera como la más idónea. El forraje bajaba desde el henil a los comederos, que al mismo tiempo funcionaban como una era. Esta disposición hace que el proceso de alimentación se facilite mucho. Al mismo tiempo la limpieza del estiércol se efectúa a través de un sistema sin retorno» [Häring 1925, pp. 16-17]. Los animales no se sitúan

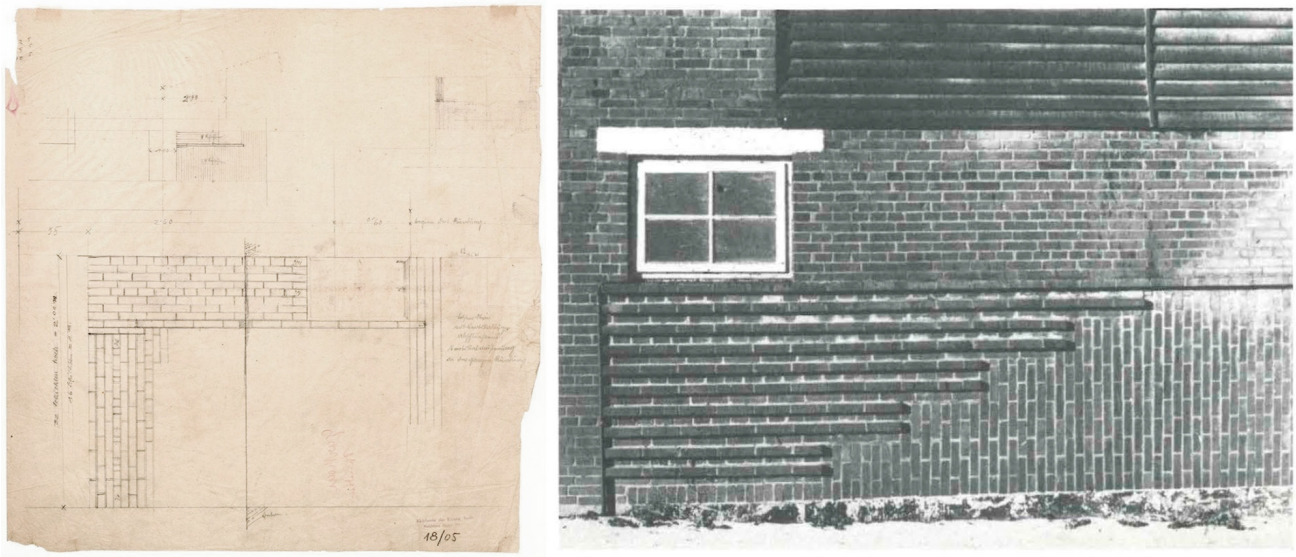


Fig. 9. Collage de autor, Detalles aparejo del ladrillo, Häring-Hugo_I 204_018_005-1024w, Akademie der Künste, Baunkunstarchiv, Berlin y fuente Impegno nella ricerca orgánica [Bucciarelli 1980, p. 52].

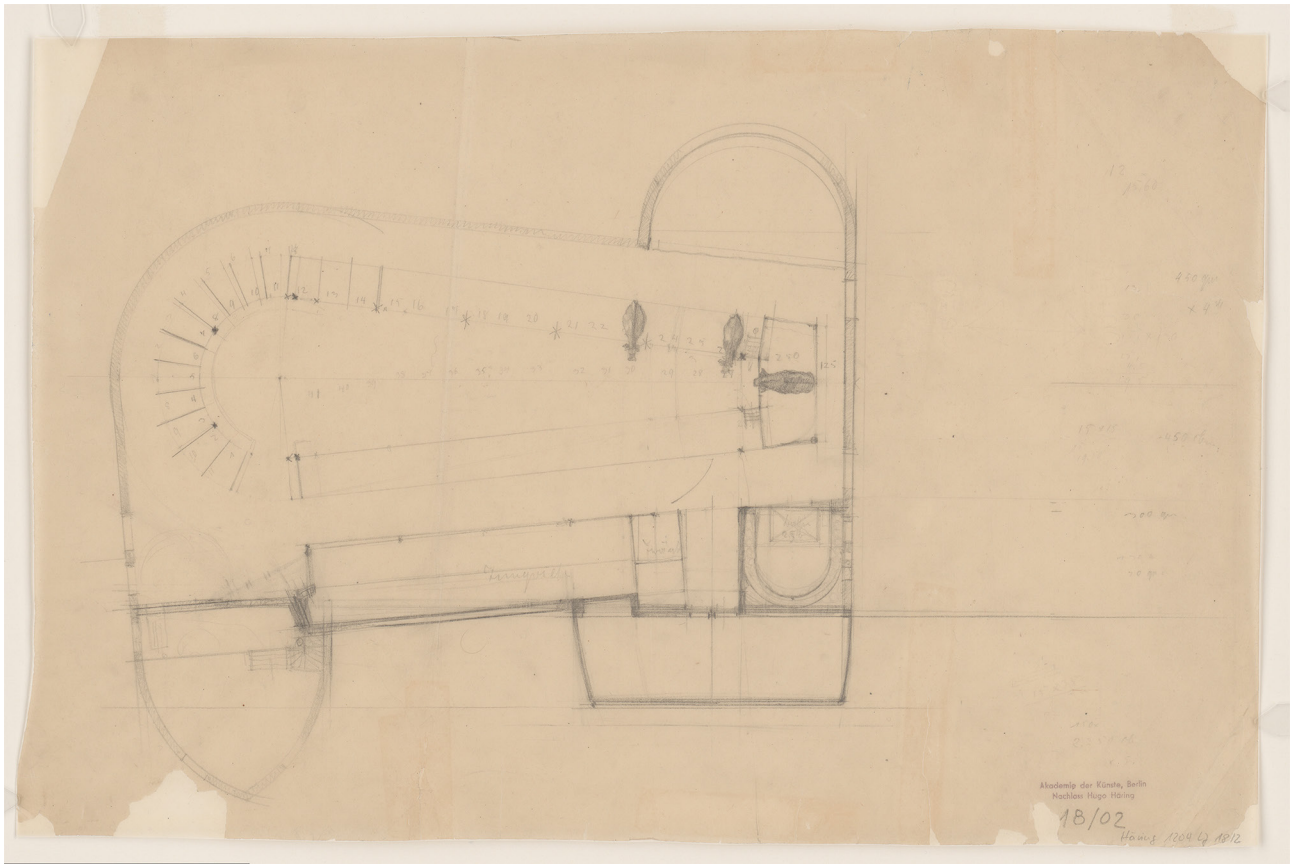
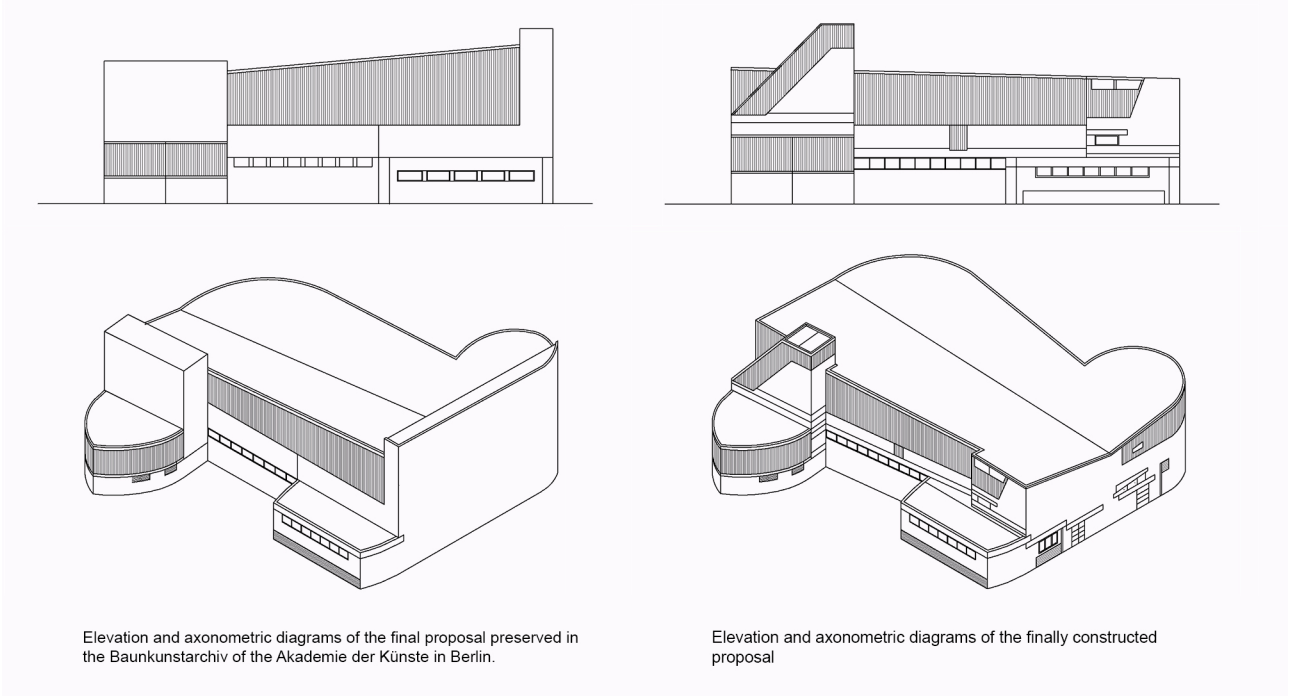


Fig. 10. Planta del establo – sin fecha, Häring-Hugo_1204_018_002-1024w, Akademie der Künste, Baunkunstarchiv, Berlin.

Fig. 11. Esquemas en alzado y axonometría del establo (elaboración gráfica de los autores).



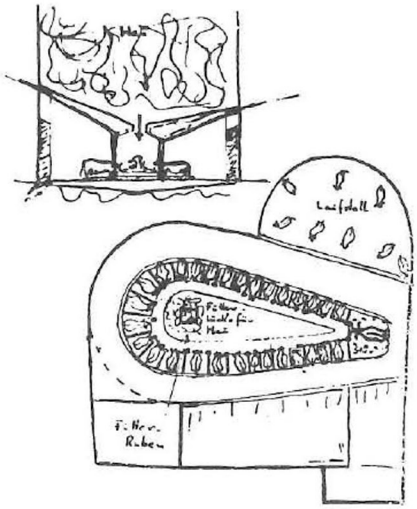
enfrentados, así no comparten directamente el aire exhalado, reduciendo el riesgo de enfermedades. El control del ganado se facilita desde atrás con un corredor curvo perimetral y en la cabecera desde el espacio de alimentación.
Al igual que los edificios agrícolas tradicionales el establo dispone de dos plantas, la baja para el ganado vacuno y la superior para la paja. La sección se organiza en "V" con la pendiente de 1:8 hacia el interior para favorecer la ventilación. Una primera losa de 20 cm de espesor separa el establo del henil (fig. 11). La cota del perímetro es horizontal constante y presenta una pendiente longitudinal también en "V" con un punto bajo en el tercio oeste para verter la paja sobre el centro del establo, pendientes que permiten arrastrar el alimento al punto de vertido al inferior. Esa pendiente en "V" en la losa del henil superior se repite en la pendiente en la cubierta para recoger las aguas. Con este gesto en sección en forma de alas de mariposa del establo resuelve también la recogida del agua interior, la ventilación y deja un perfil limpio en el exterior.
Las condiciones geométricas del edificio son difíciles de entender, pero el trazo es armonioso. El espacio destinado a crías, terneros jóvenes y vacas lecheras se adosa al volumen principal como una especie de 'mochila' determinando la forma que presenta el edificio. En este croquis inicial de Häring, se observa que hay un espacio previsto para el pajar, los espacios para caballos y almacén vendrían luego. La forma de la construcción surge cuando se busca que sea el resultado natural de alcanzar la funcionalidad de la obra de la manera más sencilla y directa. «Naturalmente no hay cabida aquí para influencias de otro tipo como arte popular tradiciones o frontones coronados y sin embargo la construcción se asienta en el territorio y el paisaje con un arraigo mucho mayor que los edificios más antiguos de la zona» [Häring 2002, pp. 67-75].

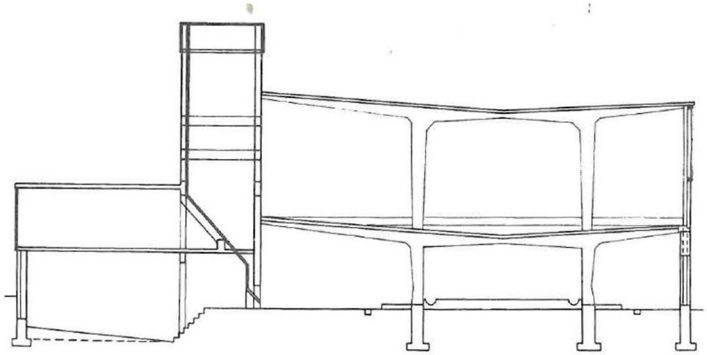
La estructura se construye con pórticos de hormigón (fig. 12), láminas de doble soporte central y grandes vuelos, que en realidad no son tales porque los extremos están apoyados sobre los soportes que, al estar ocultos en el interior de la doble capa de ladrillo y vidrio parecen desaparecer. Las ventanas se sitúan en la parte alta del muro justo debajo de la línea de forjado y no son practicables para que no dependa de su apertura la ventilación del recinto. Por este hueco rasgado perimetral de ventilación entra la luz de manera cenital, generando un efecto de suspensión del forjado superior. El ángulo de la sección está presente en la planta, los pórticos planos se flexionan en el centro para colocarse perpendiculares al perímetro y se fortalece el tramo viga central entre soportes. Para no evidenciar la curva desde abajo en la losa del techo de la planta baja, parcialmente desaparecen las vigas que en este caso sobresalen en la planta del henil. La estructura está dispuesta en el borde de la bandeja del comedero, de modo que su fundamento creativo proviene de lo funcional, y consiste en 6 grandes pilares de hormigón que despiden a un sistema de vigas hacia adentro y hacia afuera.
«A través de los materiales de la construcción, la obra del espíritu comienza a hacerse visible en la realidad terrestre, en la cual los materiales, como cuerpos, ocupan un espacio» [Häring 1951, citado en Joedicke 1960, p. 318]. Häring hace una lectura del modelo constructivo tradicional, en el que la parte baja es sólida para proteger a los animales del clima y los depredadores, y ayudar a salvar los cambios de cota. La parte superior es de madera para abrir huecos con facilidad de tal modo que se permita la ventilación y el acopio de heno. Los muros exteriores del establo no son portantes, esta especie de zócalo solo actúa como aislamiento térmico y climático, la mitad es de ladrillo recocido y la otra de hormigón.

Conclusiones

El presente estudio ha permitido evidenciar, a partir de los escasos documentos gráficos conservados y de la elaboración de esquemas interpretativos, la claridad con la que Hugo Häring articula la relación entre estructura, función y expresión formal en la granja de Gut Garkau (1923-1924). El estudio confirma que la estructura no puede entenderse únicamente como un recurso técnico destinado a garantizar estabilidad, sino como un principio proyectual con capacidad generadora de forma. De este modo, la estructura se revela no solo como soporte, sino como motor de diseño, articulando simultáneamente función, coherencia espacial y expresión estética.

El análisis revela una doble estrategia constructivo-estructural: de hormigón en el establo, concebida para responder a las demandas de este tipo de espacios, y de madera tipo *Zollinger* del granero, que aporta ligereza y adaptabilidad espacial. Esta dualidad no responde únicamente a criterios técnicos, sino que encarna la idea de Häring de que «cada función debe encontrar su forma propia» [5], integrando lógica estructural y expresividad arquitectónica. De este modo, se confirma que la expresividad formal no surge como un añadido estético, sino como consecuencia directa de la adecuación entre medios estructurales, constructivos y fines funcionales. En este sentido, los proyectos de Häring anticipan una concepción orgánica de la arquitectura, en la que el dibujo, la función y la estructura constituyen dimensiones inseparables de un mismo proceso proyectual.
La línea del expresionismo estructuralista de tintes vernáculos iniciada por Poelzig y desarrollada en los años posteriores a la guerra por Taut, Mendelsohn y Häring, fue «inhibida por la estética abstracta holandesa y rusa, y al poco tiempo sería reducida a la nada» [Banham 1985, p. 88], pero volvería a resurgir en la arquitectura de los años cincuenta, y como indica Reyner Banham, podría considerarse que la adelantada obra de Gut Garkau se encontraba presente en las obras de plena madurez de Alvar Aalto [Banham 1979, p. 30]: «Con la llegada de Aalto, empezó un segundo estadio en la arquitectura moderna; fue entonces cuando las ideas de Häring tomaron un nuevo soplo de vida, aunque él fuera desconocido para la mayor parte de los hombres que las utilizaban» [Joedicke 1960, p. 318] [6]. Aunque esta forma de pensar la arquitectura, intergrando función, estructura y materialidad, de manera atenta a la tradición vernacular, no tuvo mucha mas proyección inmediatamente, si florecería con fuerza en décadas posteriores. Generaría de nuevo, a finales de los años cincuenta, un gran interés entre muchos de los arquitectos ingleses vinculados al brutalismo. Jóvenes interesados en la revalorización de la construcción y la materialidad como acompañantes indispensables de la función. A pesar de no disponer de referencias concretas que evidencien que los dos principales teóricos del Brutalismo, Alice y Peter Smithson tuvieran conocimiento de los textos de Häring, la granja Garkau aparece citada en las notas previas del manuscrito *New Brutalism* (1955). Häring junto a Aalto, Duiker y Rietveld, será reivindicado como figura clave de "la otra tradición" en el libro sobre los orígenes del *Movimiento Moderno*, *The Heroic Period of Modern Architecture*, que los Smithson publicaron en 1965.





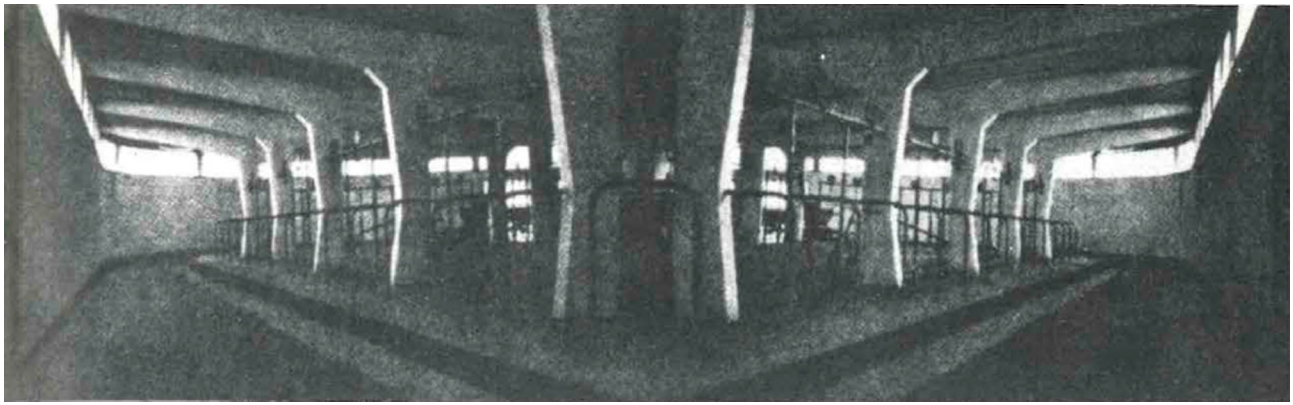


Fig. 12. Boceto esquema preliminar de Häring del establo [Schirren 2001, p. 362] y sección transversal del establo [Bucciarelli 1980, p. 47].

Fig. 13. Fotomontaje de El Lissitsky (1927), interior de establo de Gut Garkau [Bucciarelli 1980, p. 51].

Notas

[1] Véase también: García Roig 2006.

[2] La granja Gut Garkau, encargada por Otto Birtner, aplicó criterios agrícolas experimentales apoyados por la arquitectura innovadora de Häring, en sus primeros años, atrajo a numerosos granjeros interesados en sus nuevas disposiciones de ganado y maquinaria.

[3] Häring, H. (1925). Form findung nicht Zwangsform. En *Die Form*, vol 1, pp. 3-5. Citado en: Joedicke 1960.

[4] Häring, H. (1951). Geometrie und Organik. En *Baukunst und Werkform*, pp. 132-136. Citado en: Joedicke 1960.

[5] En 1928 publicó un texto titulado *Architektur als Organismus* (La arquitectura como organismo), donde defendía que la forma arquitectónica debía surgir de la función y de las condiciones específicas, no de modelos estandarizados ni de un estilo impuesto.

[6] Joedicke, J. (1960). Haering at Garkau. *Op.Cit*., p. 318. Véase igualmente Bucciarelli 1980.

Autors

Francisco Cotallo Blanco, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, Universidad de Valladolid, Dipartimento Architettura Costruzione e Design, Politécnico di Bari, francisco.cotallo@uva.es
Jesús De los Ojos Moral, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, Universidad de Valladolid, jesus.ojos@uva.es
Jairo Rodríguez Andrés, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, Universidad de Valladolid, jairorodriguezandres@gmail.com

Referencias bibliográficas

Abascal García, E. (2010). Granja Garkau: Häring. En J.C. Gómez de Cózar (Ed.), *MIATD textos: Máster de Innovación en Arquitectura, Tecnología y Diseño*, pp. 67-76. Sevilla: ETS de Arquitectura, Universidad de Sevilla.

Banham, R. (1985). *Teoría y diseño en la primera era de la máquina.* Barcelona: Paidós.

Banham, R., Riambau, E. (1979). *Guía de la arquitectura moderna.* Barcelona: Blume.

Behrendt, W.C. (1924). Die Architektur auf der Großen Berliner Kunstausstellung 1924. En *Kunst und Künstler*, pp. 347-352 <DOI: 10.11588/diglit.4654.84> (consultado el 29 de diciembre de 2025).

Bihr, J., Schirren, M. (Eds.). (2024). *Hugo Häring: Die Welt ist noch nicht ganz fertig/The World is Not Quite Finished Yet* [Catálogo de exposición]. Berlin: Wasmuth Verlag GmbH.

Blundell Jones, P. (1999). *Hugo Häring: the organic versus the geometric.* Stuttgart/London: Axel Menges.

Bucciarelli, P. (1980). *Hugo Häring: impegno nella ricerca organica*. Bari: Dedalo.

Frampton, K., Riambau, E. (1983). *Historia crítica de la arquitectura moderna*. Barcelona: Gustavo Gili [primera ed. *Modern Architecture: A Critical History*. London: Thames & Hudson 1980].

García Roig, J.M. (2006). *Tres arquitectos del periodo guillermino: Hermann Muthesius, Paul Schultze-Naumburg, Paul Mebes.* Valladolid: Universidad de Valladolid.

Häring, H. (2002). Acercamientos a la forma. En A. Piazza, M. Pia (Eds.). *Viene-Berlín. Teorîa, arte y arquitectura entro l'osso siglos XIX y XX*, pp. 199-201. Barcellona: Universidad Politècnica de Catalunya [primera ed. Wege zur Form. En *Die Form: Zeitschrift für gestaltende Arbeit*, pp 3-5, 1925].

Häring, H. (2002). Construcción funcional: La hacienda Garkau/Los establos. En *Arquitectos alemanes. Arquitextos desconocidos, 2: Hugo Häring (1882-1958)*, pp. 67-75. Madrid: Instituto Juan de Herrera, ETSAM [primera ed. Funktionelles Bauen. Gut Garkau. Das Viehhaus. En *Die Form: Zeitschrift für gestaltende Arbeit*, 1(1), pp. 16-17].

Joedicke, J. (1960). Häring at Garkau. En *Architectural Review*, vol. 127, pp. 313-318.

Nerdinger, W., Gottardo, E. (1990). *Theodor Fischer: architetto e urbanista 1862-1938*. Milano: Electa.

Pehnt, W. (1975). *La arquitectura expresionista*. Barcelona: Gustavo Gili.

Polano, S. (a cura di). (1984). *Il segreto della forma: Storia e teoria del Neue* Bauen. Milano: Jaca Book.

Schirren, M. (2001). *Hugo Häring: Arquitekt des Neuen Bauens 1882-1958*. Ostfl idern-Ruit: Hatje Cantz Verlag.

Wright, F.L. (1954). *The Natural House*. New York: Horizon Press.

Geometrical Analysis of Vilanova Artigas's Trapezoidal Columns

Wilson Florio, Ana Tagliari

Abstract

Constructive honesty was one of the premises of modern architecture. The best way for architects to make reality perceptible was to leave the structural elements apparent. From 1930 to the 1960s, this discussion took place in Brazil. In this way, one question emerged: What is the symbolism of a structural column in modern architecture? In the present article, we discuss the geometry of columns designed by the architect João Batista Vilanova Artigas (1915-1985) between the '50s and '60s. Vilanova Artigas documented his vision of architecture in his texts, which discuss the relationship between architecture, technique, and construction. We identified concepts that guided his design strategies, particularly how structure shapes architecture. Our research used drawing as a powerful tool to reveal geometrical characteristics in the constructed buildings, as well as to contribute to clarifying these concepts. Based on the original technical drawings, we modeled the structure of selected projects to investigate and reveal the constructive system, paying attention to the geometrical characteristics of the columns. The obtained results allowed us to demonstrate the sculptural character of the Vilanova Artigas columns based on the morphological analysis of the trapezoidal geometries. Furthermore, the research results reveal that Vilanova Artigas designed his architectural projects and structural conception as one thing, in an original and innovative way, harmonizing art and technique.

Keywords: construction process, form-generating, symbolism, reinforced concrete, aesthetic emotion.

Introduction

The column has always been an important element in architecture. Since the Greeks and Romans, the classical orders have played a fundamental role in the construction of the language of a building.
In the modern scenario of the 20th century, Le Corbusier (1887-1965) reinvented the design of the column for the pilotis, devoid of ornaments and with functional protagonism. On the other hand, Frank Lloyd Wright (1867-1959) advocated the structure integrated into the building as a single organism. In Brazil, between the '50s and '60s, Oscar Niemeyer (1907-2012) offered us several creative designs of the modern column, especially in the palaces of the city of Brasília, highlighting the curve and delicacy provided by the strength of reinforced concrete. But the geometry and design of the modern column were explored and enriched by the architect João Batista Vilanova Artigas (1915-1985). This paper presents the results of research that analyzed architectural projects designed by the Brazilian architect Vilanova Artigas. One of the stages of the methodology of this exploratory research was developed in the archives of architectural projects in the Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design Universidade de São Paulo (FAUUSSP) library. In these archives, we found important drawings of the projects selected for analysis. In this text, we present the drawings of the architect's projects, which reveal the structural conception. The subject matter is

 BY-NC-ND

previously unpublished material by this important architect of the well-known São Paulo School.
Vilanova Artigas documented in his texts his vision of architecture, which clearly shows his posture as an architect in the relationship between architecture, technique, and construction. In this research, we identified fundamental concepts that guided his design strategies. Experiments with new spatial propositions and technical solutions produced an innovative character, especially in terms of structure as defining architecture, the nationalist spirit, and the valorization of human and collective spaces.
The procedures adopted in this research consisted of a literature review on the subject, a survey of projects and drawings, visits to selected buildings, and analysis of projects through diagrams, drawings, models, and writing texts. The research results reveal that Vilanova Artigas designed his architectural projects and structural conception as one thing, in an original and innovative way, based on his concepts of modern architecture for São Paulo. The architectural project and structural conception together organize the architectural program and contribute to the materialization of modern concepts of its architecture.
The investigation employed theoretical writings, case studies, and graphical analysis to analyze the geometric development of trapezoidal columns in Vilanova Artigas architecture. The main steps were: I) identify the main concepts declared and written by the architect; II) select projects with columns with different geometries; III) 2D redraw and 3D modeling of each column; IV) 3D printing of the modeled columns; V) identify geometrical characteristics; VI) classify types of columns in categories; VII) discuss the results and analyses. The article is organized into four parts: *Introduction*; *Column in modern architecture*; *Research*; *Discussion*.

Column in modern architecture

Physically, a column serves as a point of support and a structural element that ensures the structure minimally impacts the terrain. Structurally, columns are used to transfer the compressive load of a building to its foundations.
Columns are frequently used to support beams on which ceilings rest. But a portico is an assembly where a column is part of a broader structural configuration with beams, trusses, and roof coverings. Therefore, a portico is a structural frame with multiple load-bearing members and a roof, functioning as an integrated system. Historically, ribbed reinforced concrete slabs with trapezoidal beams emerged with Hennebique's patent in 1892. There is no doubt that the structure of Notre-Dame du Raincy, by Auguste Perret, built in 1922, had a significant impact and inaugurated the so-called 'Brutalist architecture' [Collins 2004; Frampton 1996]. The 37 feet tapered columns clearly show the presence of an unfaced concrete support that "imprints half-round and triangular timber fillets from which the column formwork is constructed" [Frampton 1996, pp. 131, 132]. However, it was Le Corbusier, through the concept of *beton brut*, who comprehensively articulated the notion of allowing concrete to reveal its inherent aesthetic by remaining unadorned and untreated.
In modern architecture, Perret made round columns. According to Peter Collins, this shape was preferred because it was most economical, providing constant rigidity from every angle, and because "it was more satisfactory optically as a result of the gradations of shadow and constancy of silhouette" [Collins 2004, pp. 202-203].
As Joseph Rykwert [1996] observed, for ages columns were made of stone as vertical supports. With the advent of reinforced concrete as a malleable material and the ability to calculate the forces within it, architects began the exploration of several different shapes, resulting in the development of columns with a variety of forms, including *V*, *Y*, and *W* shapes, as well as porticos with intriguing angles of inclination, which challenged the canons of architecture in the 20th century.
Modern architects, such as Le Corbusier (1887-1965) and Frank Lloyd Wright (1867-1959), created new ways of conceiving the structure of their buildings, exploring construction techniques in an innovative manner. Le Corbusier advocated for using pilotis as support to elevate buildings above the ground, which are typically organized in a systematic grid, while Wright explored more organic forms that utilize dendriform and trapezoidal columns.
From 1930 to the '60s, modern architecture intensified this discussion in Brazil to promote a national identity. Starting in the '40s, Niemeyer created a set of columns in Brazil that challenged traditional construction techniques, first with the buildings designed for Pampulha in Minas Gerais and later with the architectural ensemble for Ibirapuera Park in São Paulo. Together with Afonso Reidy (1909-1964), they created innovative structures in Rio de Janeiro. As a result of these events, in the '50s, after the great international acclaim of Niemeyer's work, architects like Vilanova Artigas were inspired to create structures

with expressive forms, in search of architecture that had a Brazilian national identity.
In 1956, Henrique E. Mindlin, in his book titled *Modern Architecture in Brazil,* emphasized that the pilotis were "practicable in Brazil because of the climate, the freeing of the ground vindicates all the claims Le Corbusier has made for it and results in a better integration of interior and exterior space" [Mindlin1956, p. 12].
From the increasing appreciation of the architectural expression of structure that occurred after World War II, engineers like Pier Luigi Nervi (1891-1979) began a profound investigation into new ways of conceiving structures for ever larger spans, with columns and porticos left exposed, without cladding or extensive finishes, within what was termed the new Brutalism. As a result, the constructive truth that emerges from the exposed structure serves as a motif for aesthetic expression.
In partnership with engineers knowledgeable about reinforced concrete techniques, architects like Marcel Breuer (1902-1981) explored, especially from the '50s onward, innovative structures. As Robert McCarter aptly defined, "the UNESCO project was a true collaboration for Nervi and Breuer, and Breuer later said that it was Nervi's vision of geometry, his ability to develop an organic system of structure, and his very human genius that made their association meaningful for him" [McCarter 2016, p. 156]. This fruitful partnership also facilitated the development of columns and porticos far beyond what had been achieved up to that point.
As Pier Luigi Nervi rightly wrote, "it would be impossible to create Poetry (Architecture) just as it is to write correct prose (Good Construction) without perfect knowledge of words and the rules of grammar and syntax (Technique)" [Nervi 1963, p. 9]. In this way, art and architecture guided by poetry and technique conducted to honestly reveal the constructive system.
During the 20th century, a growing number of concrete columns and porticos were conceived as sculptural, expressive, and meaningful in their role of suspending buildings off the ground. From the understanding that a beam needs a column, as well as a column needs a beam [Kahn 1969], as Louis Kahn declared in the text *Silence and Light*, in 1969, the columns were lapidated as a diamond.
In fact, as Robert McCarter wrote, "the emergence of visible structure, and its 'sincere expression' in Breuer's work, was paralleled and made possible by his engagement, beginning in the '50s of reinforced cast-in-place structural and finish concrete as his building material of choice. In this way, as Breuer said: 'The structure itself became art'" [McCarter 2016, p. 259]. In the '50s, reinforced concrete was explored in different ways, contributing to achieving a more expressive language.
In his career as an engineer and architect, and after his extensive experience in the design and construction of buildings, Vilanova Artigas declared: "structures have multiplied and differentiated. They enable new volumes, stealing the expressiveness of the old forms. They are the ones that define the building" [Vilanova Artigas 2004, p. 140]. Thus, Vilanova Artigas explored the structure as a fudamental part of his understanding that the poetic construction of space should challenge canons and precepts, providing identity to his architecture.
In Vilanova Artigas's architecture, the creative truth derived from the unveiled structure served as a motif for aesthetic expression itself. As the architect himself correctly stated regarding Perret's phrase: *"l'architecture, c'est l'art de faire chanter le point d'appui"* [Vilanova Artigas 2004, p. 224].
During the '50s, modern architects on different continents explored a lexicon of trapezoidal columns. In Brazil, Niemeyer's *V*, *Y*, and *W* columns in his design for the Lagoa Hospital in Rio de Janeiro in 1951, those designed in Ibirapuera Park for the *Palace of the States*, *Palace of the Nations*, and the *Palace of Agriculture* between 1952 and 1953, and the columns of the *Alvorada Palace* in 1956 are the ones that most inspired Vilanova Artigas in his projects featuring trapezoidal columns. Niemeyer declared that "moving the columns away from the facades" [Niemeyer 1998, p. 27] allowed creating a beautiful effect, and sometimes making a "wall of translucent glass blocks undulates past the circular columns" [Styliane 2008, p. 130]. Furthermore, Vilanova Artigas's work was also influenced by the columns of the Museum of Modern Art in Rio de Janeiro, designed by Afonso Reidy in 1953.
But it is also important to highlight that Vilanova Artigas had visited *Florida Southern College* in 1946-1947, designed by Frank Lloyd Wright between 1938 and 1954, where he could prominently notice the organic, trapezoidal columns of the American architect. The columns of the *Johnson Wax Administration Building* (1936-1939) certainly had a great impact at the time when photos of its construction and the completed work were published.
The trapezoidal columns located inside St. John's Abbey, as well as the tree structures of St. John's University (1953-1968), inspired modern architects.

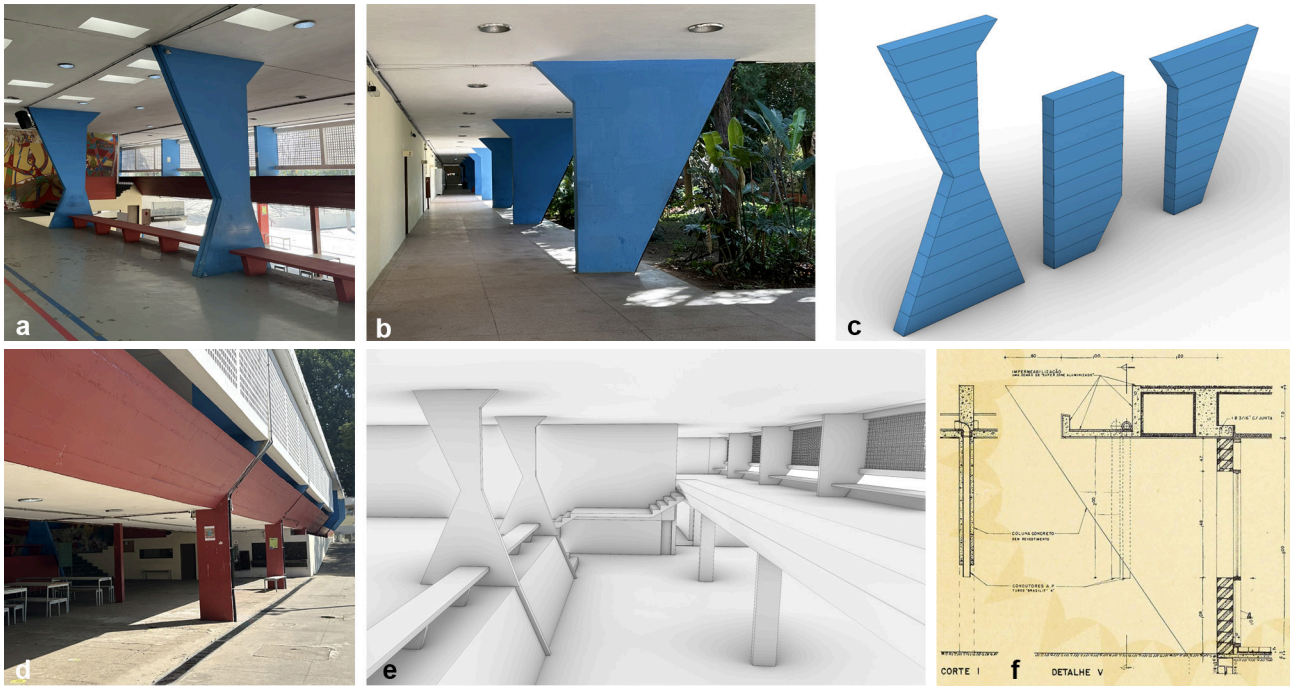


Fig. 1. a., b., d.: Photos of Guarulhos Gymnasium (photos by the authors); c. three types of columns (model by the authors); e. 3D rendering of the interior of the building (elaboration by the authors); f. constructive drawing (surce: Acrópole 1961, no. 274).

In the '50s and '60s, robust columns made new ways to generate space possible. As Louis Kahn well declared, "a column should still be regarded as a great event in the making of a plan" [Kahn 1957, p. 2]. On the other hand, "in architectural literature, columns and capitals are classified as details, but so are *piani nobili*, porches, and pergolas" [Frascati 1984, p. 501], a democratic space.

It is important to note that Vilanova Artigas was probably aware of what was happening in European countries during this period, such as the robust *V* columns of the *Unité d'Habitation of Marseille* by Le Corbusier (1946-1952); the porticos designed by engineer Nervi, particularly for the Pirelli Building in Milan (1955-1956) and the *Palazzetto dello Sport* in Rome (1957); or the columns designed by Marcel Breuer in the UNESCO 4th Building (1955-1958), in collaboration with Nervi. In the context of São Paulo architecture in the mid-20th century, Vilanova Artigas was one of the most important architects, with significant impact and influence on modernist thought in Brazil. Research [Tagliari *et al.* 2017; Lorenzi 2017] has pointed out the gret importance of the *œuvre* of this modern architect, particularly in São Paulo. The significance of his work is not limited only to his architecture but it also encompasses his writings and teachings that have contributed to the formation of São Paulo and Brazilian architecture.

Combining the reading of the texts written by Vilanova Artigas and the analysis of his architecture, it is possible to identify important concepts present both in theoretical discourse and in design practice: I) search for new and varied forms and technical solutions; II) scientific, technical, and artistic experimentation; III) innovative character in the field of technique and science, especially in the exploration of reinforced concrete, with the structure as defining the architecture; IV) nationalist spirit in the creation, development,

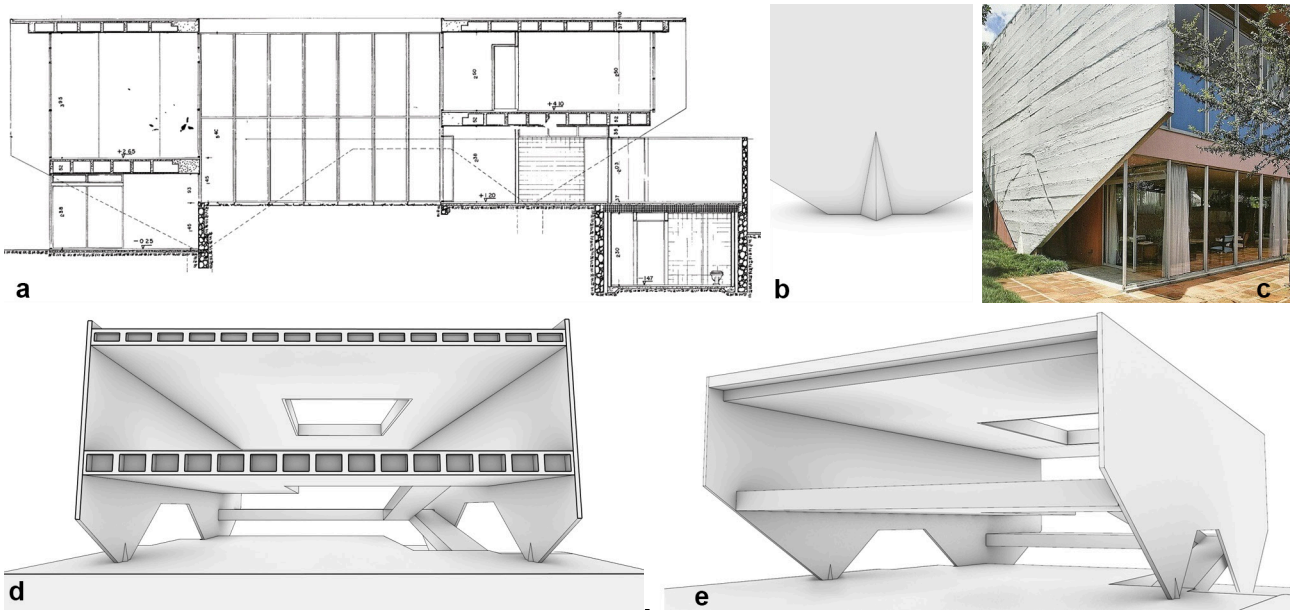


Figure 2. a. Original drawing of vertical section (source: Acervos da FAUUSP); b. detail of the pyramidal support in a portico (elaboration by the authors); c. photo (source: Acervos da FAUUSP); d., e. 3D structural model (elaboration by the autors).

and strengthening of an identity for an authentic São Paulo architecture; V) human environments that promote meetings and interaction or strengthen the collective and social character. As we well note further, for Vilanova Artigas, "in the structures, the findings in the formal Brazilian memory are synthesized today with the ardent desires for cultural independence, the pursuit of harmony and beauty so dear to our people" [Vilanova Artigas 2004, p. 140].

Research

"At first, we made our columns as concrete supports, hidden within walls that seemed load-bearing. Then we freed these columns and showed them as they were. Then we began to deny them in various ways, in countless ways: reducing their number to a minimum, removing them from the vertical, bending their pillar shape, and finally not using them at all" [Vilanova Artigas 2004, p. 136].

In this statement, the different proposals to make the column the very architectural expression of the building are clearly noticeable. Firstly, the columns are concealed inside the walls. Secondly, the construction of pilotis is proposed. The third involves constructing curtain walls, which resemble folds and exert tension on the structure. The fourth comprises lowering the number of columns to just four. In the fifth option, the columns are removed from their vertical position. In the sixth option, the portico's column is tilted. And finally, not using it, like in concrete boxes.
In the *Guarulhos Gymnasium* (1960), there are three types of exposed reinforced concrete columns made up of trapezoids (fig. 1). There are visible marks from the concrete formwork. The blue and red colors highlight the silhouette of the columns. The concrete slabs are exposed, with a finish that does not reveal the construction marks, while all the masonry walls are covered with plaster and paint.
In *Bittencourt II Residence*, Vilanova Artigas took even bolder risks in designing the apparent structure (fig. 2). Inspired

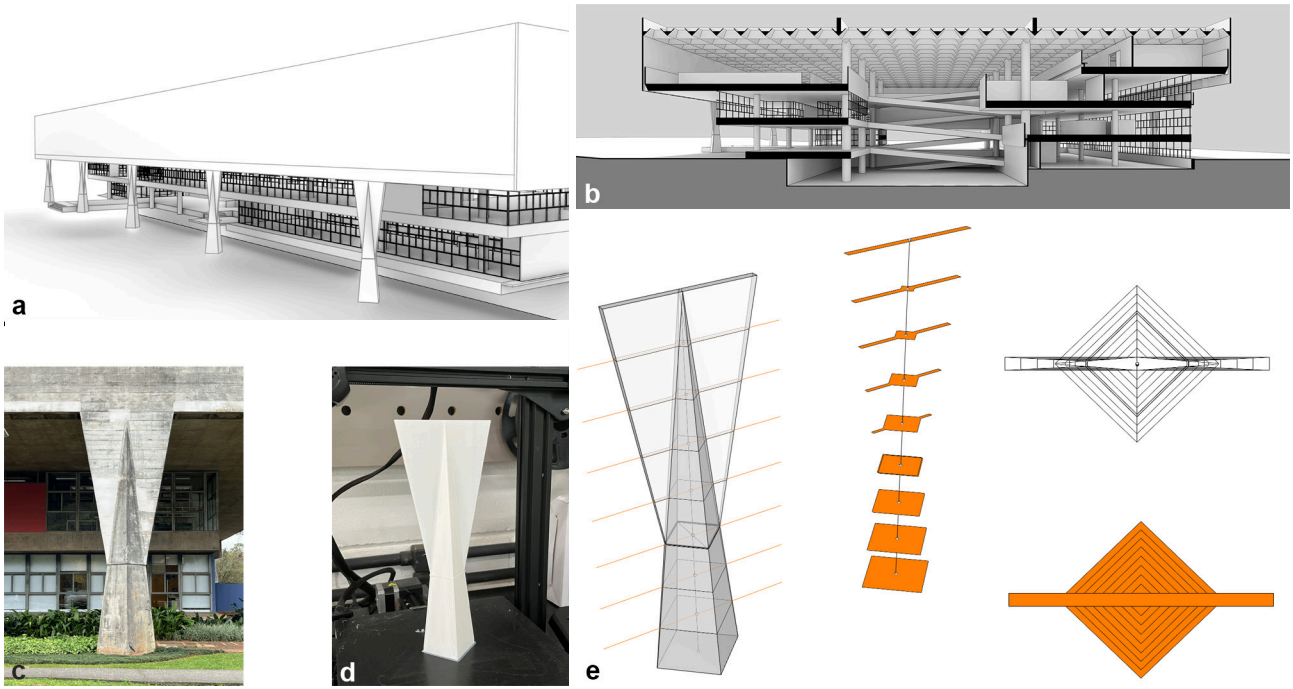


Fig. 3. a. Perspective drawing; b. vertical section; c. photo of the column; d. photo of the physical model; e. column geometry (elaborations and photo by the authors).

also by the boldness of Oscar Niemeyer's structures for the Palaces of Brasília (1956), Vilanova Artigas created porticos and columns that challenged the traditional precepts of the time, as one can note in this declaration: "What fascinates me is creating heavy forms and bringing them close to the ground and, dialectically, negating them. Transform my columns into things that, to the eyes of the demanding engineer, become something to say: This whole thing is going to fall apart!" [Vilanova Artigas 2004, p. 225].
In a challenging way, a small pyramid (20 cm wide by 50 cm high) with a square base intercepts a trapezoidal exposed concrete portico over an extension of 50 cm in width (fig. 2b), concentrating the entire load of the building on just 4 supports (2 on each side of the residence). In the photo of the portico (figure 2c), it is possible to notice the marks of the large concrete formwork boards.
The internal cylindrical columns of the Faculty of Architecture and Urbanism of the University of São Paulo (1962), FAUUSP (fig. 3), sustain the weight of the building's floors, whereas the external trapezoidal columns support the roof with trapezoidal beams. Both are exposed structures that elucidate the construction system.
Figure 3e displays variations in the cross-section along the vertical axis of the outer column. The geometry originates from the intersection of a square-based pyramid with a trapezoidal form. In the photo (fig. 3c), one can notice the marks of concrete formwork.
In this way, the column spacing contributes to establishing the building's length and width, whereas the beam establishes its height [Kahn 1957]. At FAUUSP, the external concrete column and beam efficiently sustain a great roof.
The building for the São Paulo Football Club Locker Rooms (1961) (fig. 4) was designed to have an exposed concrete structure. In figure 4a, the modulation of the concrete formwork boards in the drawing is noticeable, revealing the intentional marks left by the construction. As a part of the

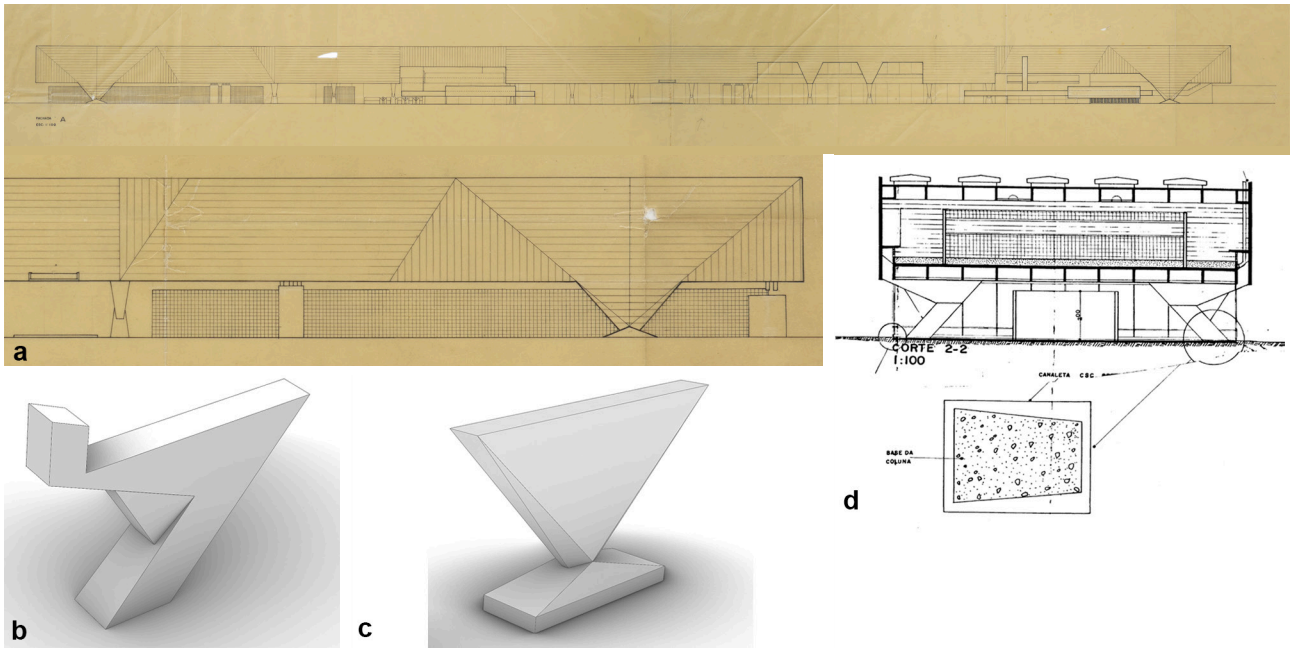


Fig. 4. a. Original drawing of elevation view (source:Arcevos de FAUUSP); b., c.: 3D digital model of columns (elaboration by the authors); d. original vertical section (source: Arcevos de FAUUSP).

portico, the sculptural columns transmit the weight of the building to the ground in such a way as to provide a sense of lightness and suspension. Despite having received a coat of paint, the concrete marks on the columns remain visible. The 'voids' between the triangular and trapezoidal faces in the columns of the sculptural porticos of the Anhembi Tennis Club (ATC, 1963) are a unique feature (fig. 5). The innovation was to create a rainwater collection system from the roof, which would channel the rainwater in a cascading manner from one gargoyle to another until it reached a receiving box in the ground (fig. 5f). This curious invention makes this portico unique, whose sculptural beauty arises from the interplay of light and shadow on its multiple faces. "This is the Anhembi Tennis Club. This portico is what ended up being called 'self-supporting' because it rests on one point, like the FAU column, and has a twenty-meter span to the other side" [Vilanova Artigas 2004, p. 229]. The significant weight of the porticoes at this end enables the tensioning of the slab. Both slabs and beams have a minimal thickness. In the ATC, the exposed concrete was well executed, without marks from the concrete boards, but it revealed its structure in an honest way. Eight trapezoidal columns support the Santa Paula Yacht Club Boat Garage (1961), which measures 15 m in width and 70 m in length, with a cantilevered structure of 10 m (fig. 6). In the elevation view, observers can see the horizontal lines that indicate how the boards of the exposed concrete formwork are arranged. The Santa Paula Yacht Club Boat Garage's technical drawings are impressive due to their meticulous construction and attention to detail.

Discussion

After all, what is the symbolism of a structural column and apparent concrete in architecture? For Vilanova Artigas,

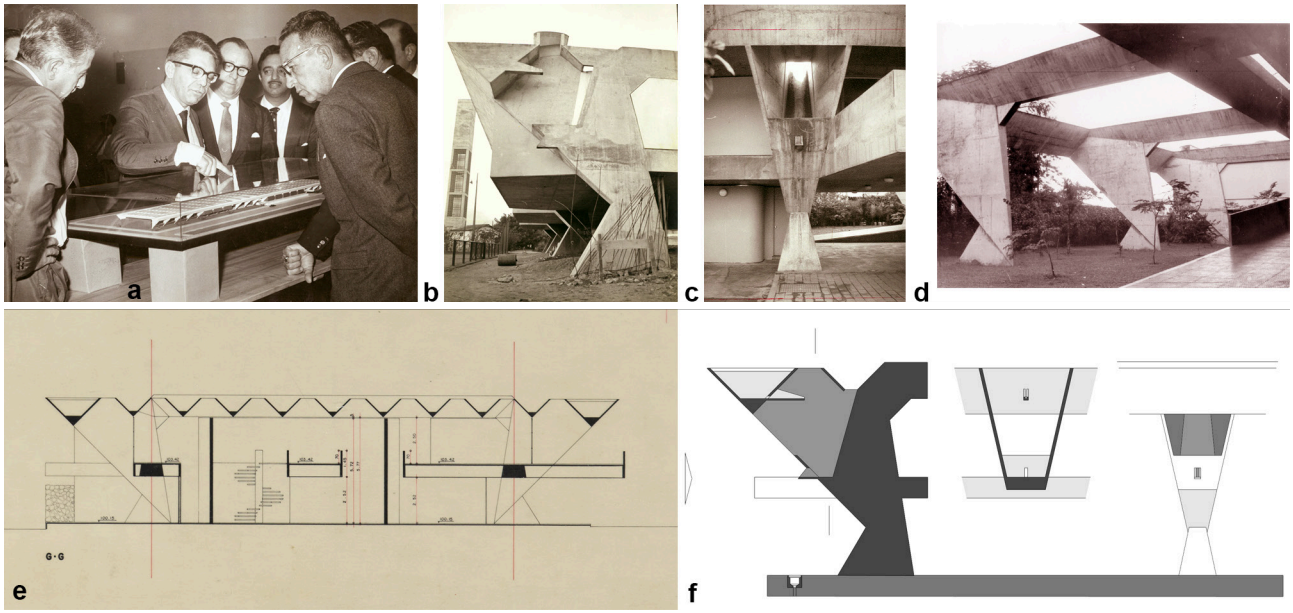


Fig. 5. a. Vilanova Artigas with the physical model (source: Acervos de FAUUSP); b., c., d.: photos of the porticos (source: Acervos de FAUUSP); e. vertical section drawing; f. redrawing of the portico (elaboration by the authors).

leaving the structure exposed meant revealing the truth of the construction, making it more honest, and achieving an immediate understanding of how it is produced. In the words pronounced by Le Corbusier: "and under the pilotis, which reclaim vast and sloping spaces […] these 'pilotis' that I speak of constitute a great achievement of modern techniques" [Le Corbusier 2004, pp. 56-58]. Furthermore, buildings suspended from the ground represented the achievement of technique.

But there is a quote by Kahn that reinforces a very important meaning of the constructive character: "Design habits leading to the concealment of structure have no place in this implied order […]. I believe that in architecture, as in all art, the artist instinctively keeps the marks which reveal how a thing was done" [Kahn 1962, p. 2]. Thus, the marks of the concrete formwork boards left on the exposed concrete surface highlight part of this construction process. Vilanova Artigas documented his vision of architecture in his texts, which clearly reflect his view as an architect regarding the relationship between architecture, technique, and construction.

The solution to technical problems arising from the creation of large spans and sculptural columns symbolized independence. In the words of Vilanova Artigas: "In the structures today are synthesized the findings in the Brazilian formal memory with the ardent desires for cultural independence and the search for harmony and beauty so dear to our people" [Vilanova Artigas 2004, p. 140]. Therefore, the visible structure symbolizes the proud professional and cultural ability to represent Brazilian architecture at that time.

As an engineer and architect, Vilanova Artigas sought to reconcile art and technique, daring in the creation of new ways to conceive and construct buildings. Beyond solving functional problems, aesthetic and psychological aspects were presented. We observe and experience the spatial environment surrounding columns in a building in complementary ways. Firstly, the feeling of lightness and floating in this structural element enables freedom to move. Secondly, the rhythms created by the columns encourage and guide our movement through the space. Thirdly, the scaling and proportion of the areas engender a sense of intimacy as we

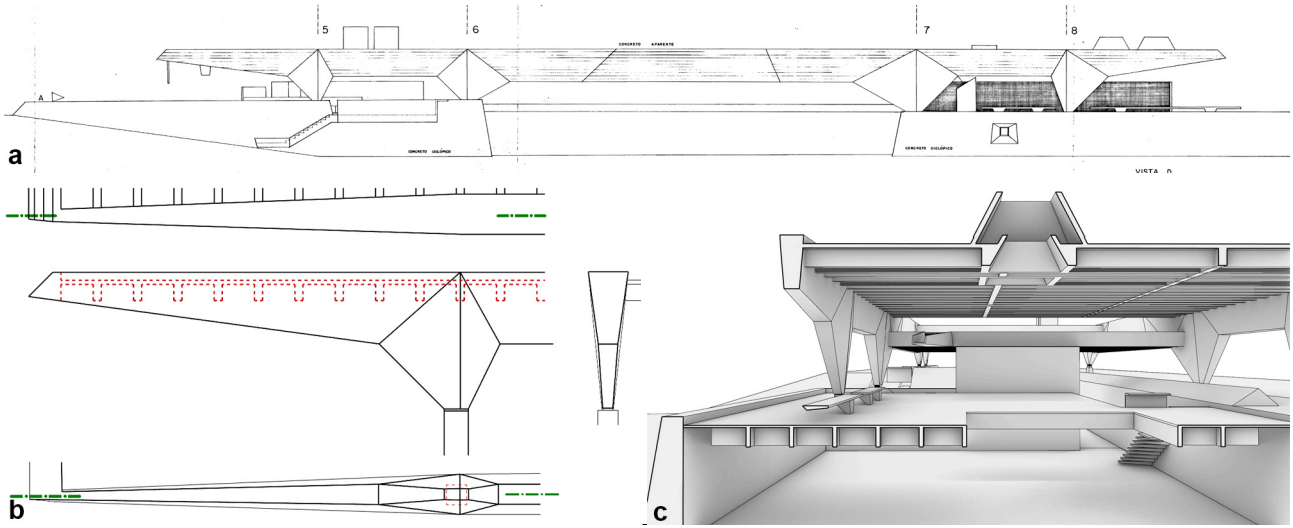


Fig. 6. a. Original drawing of elevation view (Acervos de FAUUSP): b. drawings of the details of the column 1; c. perspective section of 3D model (elaboration by the authors).

traverse them. Fourthly, there exists a juxtaposition between the solidity and robustness of the columns and the expansive space that envelops us. Consequently, the visible structure elucidates the architectural system in a lyrical manner. Vilanova Artigas typically designed structures characterized by a simplicity of forms, featuring monovolumes with a singular prominent roof that contrasts with the sculptural form of the columns. The primary emphasis is on the areas situated beneath the spans and covers. However, the delineated void, characterized by its limits, is equally significant as the functional areas. We considered the most sculptural column for the portico of Anhembi Tennis Club due to its interaction with technical issues, including both structural concerns and rainwater capture, as well as its aesthetic appeal.

In the '50s and '60s of 20th century, the detail in Italy were deeply elaborated by architects "in which the analysis and displays of material, provided by the laws of construction and formation of the architectural object, constituted its principal support" [Gregotti 1983, p. 496]. A similar situation occurred in Brazil with the main architects at the time. In addition to the cylindrical columns particularly designed at the beginning of his career, in the '40s, the columns and porticos created by Vilanova Artigas in the '50s and '60s can be grouped into two major groups: Block 1: a) trapezoidal columns; b) pyramidal columns; c) sculptural columns. Block 2: Porticos: a) trapezoidal with flat slabs; b) sculptural with slabs made of folds. Curvilinear columns, like those at the Jau Bus Station and the Technical School of Santos, are rare in his work.

We can affirm that the morphogenesis of the trapezoidal columns occurred mainly during the '50s and '60s. The projects presented here contain the lexicon of columns and porticos that constitute the foundation of Vilanova Artigas's structural and aesthetic thinking during this period. The plentiful opportunities to design projects related to different themes probably stimulated the architect to create innovative ways to support the buildings with extensive spans.

From columns made of pyramid trunks to sculptural porticos, the architect sought innovative ways to transmit the building's load to the ground, both technically and poetically. As one can see in figure 7, both the columns and the porticos are made up of sections formed by a geometry that varies along the structural piece, that is, the shaft. The shape of the sections varies between rectangular, trapezoidal, octagonal, or multifaceted variations.

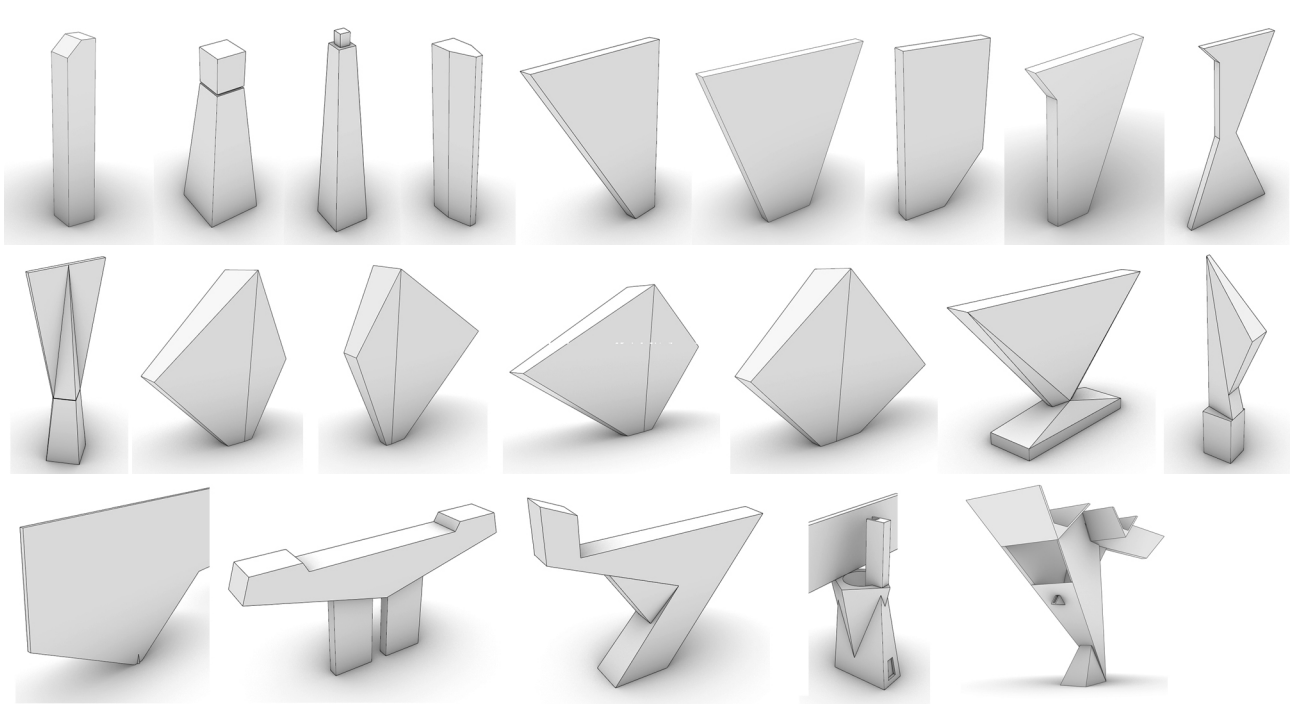


Fig. 7. The morphogenesis of the trapezoidal columns and porticos (elaboration by the authors).

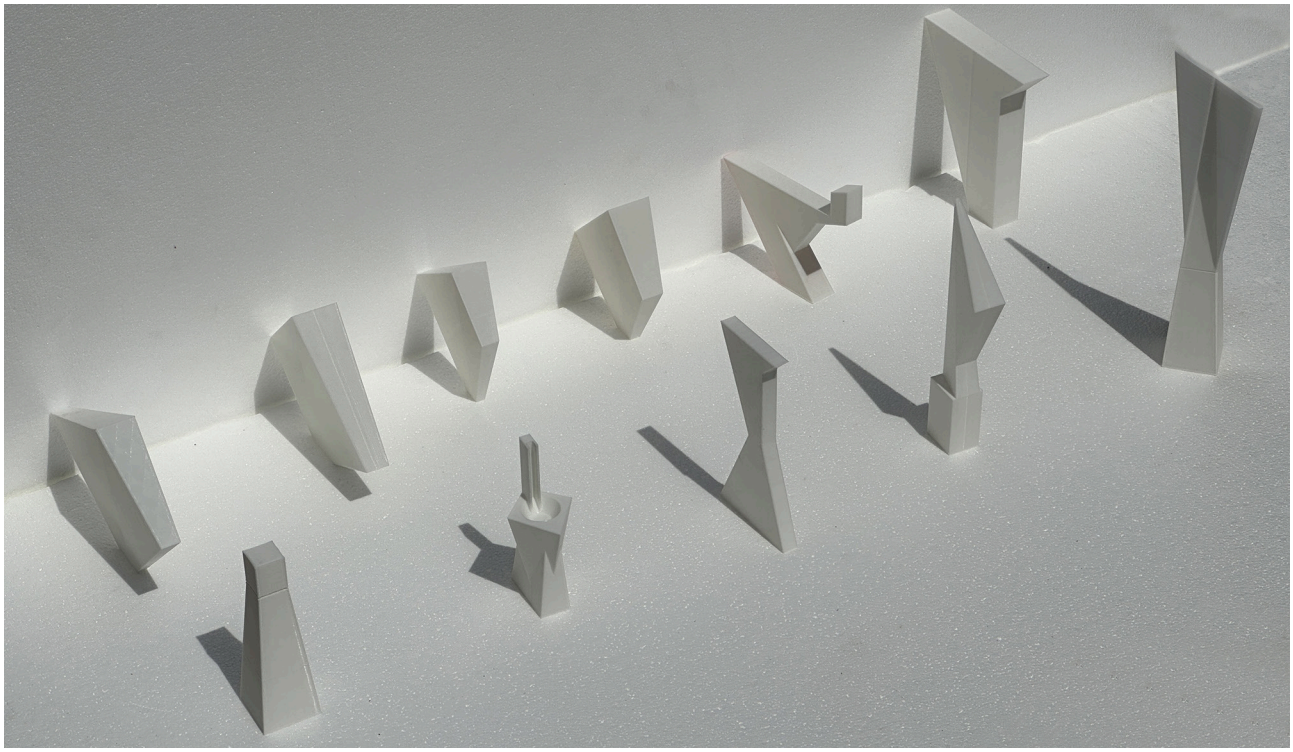


Fig. 8. Photos of the physical models (elaboration by the authors).

We also created three-dimensional physical models (fig. 8) to enhance understanding and offer a concrete experience of the aesthetics of constructive logic. Generally speaking, it can be stated that the external columns are more elaborate than the internal ones in Vilanova Artigas's works. Although both have structural purpose and performance, the sculptural external columns serve to contrast with the austerity of the monolithic volume of his buildings. In fact, the surfaces of the trapezoidal columns are typically smooth; however, the surfaces of the beams and walls of the supporting structures are rough, exhibiting discernible traces from the concrete formwork boards. It can be conclusively affirmed that the tenets of contemporary architecture are evident throughout Vilanova Artigas's oeuvre, especially his quest for the authenticity of construction and the ideal of creating humanized, communal, and democratic places.

Acknowledgments

To the FAUUSP library that kindly made the collection available for consultation. We thank the support of the Plasma Laboratory at State University of Campinas, on behalf of the technician Thiago Henrique Gonzaga.

Authors

Wilson Florio, Department of Fine Arts, State University of Campinas, wflorio@unicamp.br
Ana Tagliari, Department of Architecture and Construction, State University of Campinas, anatagli@unicamp.br

Reference List

Acrópole. (1961). no. 274, jun. 1961, pp. 5-6. <http://www.acropole.fau.usp.br/edicao/274/5> (accessed 30 March 2025).

Collins, P. (2004). *Concrete: the vision of a New Architecture*. London: McGill-Queen's University Press.

Frampton, K. (1996). *Studies in tectonic culture: the poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture*. Cambridge: The MIT Press.

Frascati, M. (1984). The tell-the tale detail. In K., Nesbitt (ed.) (1996). *Theorizing a new agenda for architecture: an anthology of architectural theory 1965-1995*. Princeton: Princeton Architectural Press, p. 501.

Gregotti, V. (1996). The exercise of detailing (1983). In K., Nesbitt (ed.). *Theorizing a new agenda for architecture: an anthology of architectural theory 1965-1995*. Princeton: Princeton Architectural Press, pp. 494-497.

Kahn, L. (1957). Architecture is the Thoughtful of Spaces. In *Perspecta*, 4, pp. 2, 3.

Kahn, L. (1962). *The Notebooks and Drawings of Louis I. Kahn*. New Haven: Yale Center for British Art.

Le Corbusier. (2004). *Precisões: sobre um estado presente da arquitetura e do urbanismo*. São Paulo: Cosac & Naify.

Lorenzi, A. (2017). *São Paulo e l'architettura di João Vilanova Artigas*. Milano: Politecnico di Milano. <https://hdl.handle.net/11311/1040608> (accessed 12 March 2025).

McCarter, R. (2016). *Breuer*. New York: Phaidon Press.

Mindlin, H. E. (1956). *Modern architecture in Brazil*. Rio de Janeiro/Amsterdam: Collins Editora.

Nervi, P. L. (1963). *P. L. Nervi. Nuevas estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Niemeyer, O. (1998). *As curvas do tempo*. São Paulo: Revan

Rykwert, J. (1996). *The dancing column: an order in architecture*. Cambridge: The MIT Press.

Styliane, P. (2008). *Oscar Niemeyer: curves of irreverence*. New Haven and London: Yale University Press.

Tagliari, A., Perrone, R., Florio, W. (2017). *Vilanova Artigas. Projetos residenciais não construídos*. São Paulo: Annablume editora.

Vilanova Artigas, J. B. (2004). *Caminhos da arquitetura*. São Paulo: Cosac & Naify.

Sitography

Acervos da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (FAUUSP): <https://www.acervos.fau.usp.br/item-set/2631> (accessed 20 January 2025).

La struttura a guscio del Frontón Recoletos: dal disegno alla costruzione

Andrea Giordano, Andrea Colombo

Abstract

Le strutture a guscio, dette anche strutture laminari, nella prima metà del Novecento influenzarono profondamente la mentalità progettuale e costruttiva dei principali esponenti del Razionalismo Costruttivo. L'arte strutturale di figure come Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi e Félix Candela trovò la sua massima espressione estetica in questa avvincente tipologia costruttiva, che basava la resistenza statica sulla forma stessa assunta dalla struttura.
Tale archetipo costruttivo – strettamente influenzato dalla geometria e la relazione degli elementi strutturali – richiede un'accurata rappresentazione – sia in ambito bidimensionale che tridimensionale – degli elementi spaziali che compongono l'opera. A ciò si affianca l'aspetto pratico della costruzione, caratterizzato dall'impiego del calcestruzzo mediante l'utilizzo di articolate centine e casseforme. Il presente articolo affronta gli aspetti principali delle strutture laminari, a cui Torroja contribuì attraverso la realizzazione di alcune delle sue opere più celebri. La più audace – sia dal punto di vista architettonico che geometrico-strutturale – fu sicuramente il Frontón Recoletos e in particolare la sua copertura, la cui peculiarità geometrica e costruttiva rese celebre l'edificio a scala mondiale. Gran parte del merito per la costruzione della lamina e dei suoi lucernari viene attribuito all'ingegnere stesso, il quale si occupò della concezione configurativa del calcolo strutturale e dell'effettiva realizzazione della stessa.

Parole chiave: strutture a guscio, configurazione geometrico-strutturale, rappresentazione della costruzione.

Introduzione

Con questo contributo si sottolinea l'importanza della geometria per la genesi configurativa e strutturale dell'architettura. Interessante a tal proposito l'articolazione molteplice dello studio della geometria, considerando la geometria analitica, euclidea, descrittiva e proiettiva, la topologia. In questo senso, si parte dalle forme elementari e dalle relative proprietà sviluppate in ambito euclideo, dove si studiano quelle proprietà degli oggetti (piani e solidi) che rimangono invariate nonostante le loro rotazioni, traslazioni e riflessioni [Ugo 2020]. Tali proprietà includono la congruenza dei segmenti (avere la stessa lunghezza), la congruenza degli angoli (avere la stessa misura angolare) e il parallelismo. Logicamente, in ambito topologico si passa a una dimensione critica della forma, tralasciando misura e angoli, per includere il concetto di "luogo" [Docci 2007].
A queste si affiancano gli aspetti teorici della geometria descrittiva e proiettiva, collegati alla rappresentazione e alla comunicazione dell'architettura. Ad esempio, nella geometria proiettiva, si studia il modo in cui gli oggetti vengono visti, evidenziando anche la distinzione tra la forma reale di un oggetto e il modo in cui l'oggetto viene visto. In entrambe, fondamentale risulta lo studio per la genesi delle superfici [Carlevaris, De Carlo, Migliari 2012].
Quanto introdotto evidenza il ruolo della geometria sia per la creatività che per la comunicazione visiva: il primo aspetto è come realizzare una superficie, e il secondo è come comunicare detta superficie attraverso le rappresentazioni.

 BY-NC-ND

Questi argomenti costituiscono il fondamento formativo della geometria: conoscere la teoria geometrica alla base della configurazione dello spazio è essenziale per la realizzazione di strutture architettoniche e ingegneristiche innovative. È fondamentale quindi anche la comprensione delle forme, strettamente legata, in larga misura, all'osservazione con ricadute basilari sulla effettiva possibilità realizzativa di configurazioni complesse, da poter chiaramente comunicare e comprendere.

La rappresentazione geometrica delle superfici

Lo studio della teoria architettonica è in stretta relazione con la sua realizzazione, con una forte saldatura tra una consapevole intuizione creativa e la esatta realtà fisica che mette in relazione forma e struttura. Per questo la consapevolezza geometrico/strutturale è necessaria per inventare ed esattamente proporzionare una superficie architettonica. D'altronde, l'efficacia e potenza realizzatrice della intuizione creativa è ampiamente dimostrata e testimoniata da grandiose opere tramandateci dal passato, quando le moderne teorie scientifiche erano completamente ignote. E oggi, l'acutezza dei moderni sistemi digitali, in continuo e progressivo sviluppo, ci ha consentito di raggiungere risultati elevati nella realizzazione di sempre più grandiose ed audaci opere. Ma la ideazione geometrico/strutturale – che permette di decifrare in modo efficiente le attuali superfici architettoniche, che ogni giorno vengono proposte dall'inarrestabile sviluppo di ogni aspetto dell'attività costruttiva – è frutto di una armonica fusione di personale intuizione inventiva e di obiettiva e realistica genesi geometrica legata alla struttura [Giordano 1999].
Fondamentali, pertanto, gli sviluppi teorici della geometria, con una rispondenza intuitiva che li vivifichi, diminuendone la impersonale durezza tecnica, e che li renda più umani e comprensivi, mentre le teorie formulistiche debbono offrire modi di esatte valutazioni alle quali resta affidato il raggiungimento di un massimo risultato con i minimi mezzi, obiettivo ultimo e indirizzo fondamentale di tutte le attività umane. In questo senso un'opera architettonica diventa una sintesi degli aspetti configurativi e strutturali, laddove un approfondito studio e il suo esame saranno particolarmente utili ai futuri architetti, i quali debbono saperla ideare e proporzionare nelle sue linee generali, in modo che essa riesca efficiente, importante e, possibilmente, bella. Nasce quindi una opportunità di comprendere l'architettura in tutti i suoi aspetti (estetici, economici, sociali e tecnici), soprattutto nel campo della genesi delle forme architettoniche e quindi delle strutture portanti, che permettono la realizzazione di opere di straordinarie dimensioni [Colombo, Giordano 2022].
In architettura la componente geometrico/strutturale è essenziale. «Sia che l'uomo costruisse un semplice riparo per sé e la sua famiglia, sia che erigesse ampi locali dove centinaia di persone potessero esercitare il culto, commerciare, discutere di politica od assistere a spettacoli, egli ha dovuto foggiare certi materiali ed impiegarli in determinate quantità perché le sue costruzioni potessero resistere alla forza di gravità od altri pericolosi carichi» [Salvadori, Heller 1963, p. 18]. In questo senso importante è assicurare una forma che possa reggersi e resistere alle forze interne ed esterne, ma concepite secondo criteri estetici, che spesso impongono nella realizzazione delle strutture esigenze più rigorose di quelle della resistenza e della economia. Alcuni architetti e ingegneri contemporanei – come Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi e Félix Candela – hanno realizzato architetture di elevata bellezza in cui è evidente proprio lo stretto legame tra forma e struttura. È altrettanto ovvio che, una volta fissati i principi basilari della genesi geometrico/strutturale, è facile anche la gestione progettuale ed esecutiva, diventando agevole trarre profitto da queste esperienze, sistematizzare queste conoscenze e arrivare a capire come e perché funziona una moderna struttura.
In questo senso, la rappresentazione delle superfici, nelle sue varie forme espressive, costituisce il necessario elemento culturale e sintattico di mediazione ed integrazione tra realtà e immaginazione, oltre che uno specifico strumento di produzione teorica e tecnica per il progetto di architettura.

Le strutture resistenti per forma

Le strutture resistenti per forma sono particolari conformazioni geometriche in cui specifiche curvature consentono di aumentare la capacità resistente, senza dover ricorrere ad alcun aumento di spessore. Soluzioni di questo tipo sono sempre state ampiamente utilizzate nel corso della storia. Esempi di questa innovazione sono riscontrabili nelle architetture di Antoni Gaudí, utilizzando più volte l'arco catenario e le sue armoniose geometrie per il sostegno delle coperture. Dalla rievocazione delle forme già presenti in natura, sorgevano nelle opere del maestro catalano archi parabolici, la cui forma entrava in perfetto connubio con la soluzione strutturale [Benvenuto 1995].

A partire dal XIX secolo si assiste a un rivoluzionario progresso nel disegno e nella progettazione delle volte: il concetto di statica grafica consentiva di ottenere la forma funicolare delle strutture, lavorando unicamente a compressione ed eliminando sollecitazioni di trazione e flessione. Tale soluzione favoriva in particolare le costruzioni realizzate con materiali ceramici, quali il mattone e il calcestruzzo. In merito alle soluzioni in laterizio, in terra catalana la volta in mattoni "*in folio*" assunse un ruolo primario sia nella costruzione di fabbricati industriali che di palazzi nobiliari, in particolare quelli del Piano di Barcellona di Ildefonso Cerdá [Ochsendorf, Freeman 2010].
In un contesto fertile di innovazioni geometriche e costruttive si colloca Eduardo Torroja Miret, ingegnere originario di Tarragona (Catalogna, Spagna), nonché maestro indiscusso nel campo delle strutture resistenti per forma. Torroja nei primi anni di formazione accademica si appassionò fortemente al sistema costruttivo della volta in laterizio. Complice la sua ascendenza catalana, rimase profondamente sorpreso dalle grandi potenzialità che questa tecnica costruttiva locale presentava, da lui stesso definita come «tipico prodotto di questa terra, così come la carruba dei suoi campi» [Ochsendorf, Freeman 2010, p. 195] (fig. 1).
Il segreto della loro stabilità risiedeva proprio nella loro leggerezza, nella forma e nella delicatezza [Maure 2004]. Tuttavia, al di là del fattore puramente estetico, l'aspetto esecutivo era e rimane il più grande vantaggio di questa tipologia costruttiva. Nella sua ricerca ispirata all'architettura vernacolare, Torroja si servì in più occasioni delle *bóvedas tabicadas* per realizzare le sue strutture, sia per coprire distanze relativamente lunghe tra le travi che come sottostruttura per i piani superiori. Il tutto senza l'utilizzo di alcun tipo di cassaforma, con un grande risparmio sia in termini temporali che economici. In alcune circostanze, arrivò persino ad impiegarle come casseforme per la realizzazione di strutture laminari, come nel caso del deposito d'acqua di Fedala (Marocco). Casserare l'intera struttura avrebbe comportato un costo non trascurabile, data la quantità di materiale necessario e la particolare geometria dell'opera. Per questo motivo, Torroja decise di realizzare la struttura di supporto per il getto con l'utilizzo della sua amata volta catalana, la cui versatilità gli permetteva di realizzare la forma desiderata senza utilizzare casseforme. Per la copertura – che non sarebbe stata soggetta alle spinte idrostatiche – si decise di lasciare la struttura leggera con mattoni in tripla foglia a vista [Chías Navarro, Abad Balboa 2005] (fig. 2).
Tale esempio è solamente l'ennesima dimostrazione di come le volte in folio di mattone siano metaforicamente (e di fatto) la soluzione costruttiva di supporto e di transizione – nonché antesignana – delle strutture a guscio in calcestruzzo armato.
Per Torroja, l'adattabilità che le lamine in calcestruzzo armato presentavano nella loro strutturazione, così come il loro monolitismo e continuità spaziale, facevano di questa soluzione per le coperture una delle innovazioni più belle della tecnica e dell'architettura moderna [Maure 2004]. Inoltre, la snellezza che derivava dal loro spessore irrisorio garantiva una perfetta corrispondenza tra spazio interno e volume visibile esternamente, tanto che l'espressione funzionale dell'edificio si rivelava da sé [Colonnetti 1957].
Erano anni – quelli in cui operava – in cui i progettisti puntavano alla valorizzazione estetica dell'opera attraverso l'espressione della sua capacità resistente [Torroja 1957]. Tuttavia, l'adozione di un particolare tipo strutturale non era dettata esclusivamente da considerazioni di indole meccanica. Esso risentiva inoltre di altri motivi funzionali fondamentali, *in primis* il procedimento costruttivo, strettamente legato alla fattibilità economica dell'opera.
Quest'ultima considerazione ci permette di introdurre un'altra personalità – centrale negli sviluppi del tema – che si trovò più di una volta a interagire e confrontarsi con Torroja: Pier Luigi Nervi, che, in ambito strettamente costruttivo, seppe pienamente orientare la concezione formale delle sue strutture. Nervi padroneggiava con grande maestria il calcestruzzo armato che gli consentiva di ottimizzare il costo dell'opera e razionalizzare il processo di costruzione, tanto che negli anni a seguire venne riconosciuto – oltre che

Fig. 1. Costruzione di volte alla catalana per il Mercado Sagrera a Barcellona [Torroja 1957, p. 280].



Fig. 2. Deposito d'acqua di Fedala, Torroja, 1956: veduta esterna (sopra) e particolare dell'intradosso con la volta catalana (sotto) [Torroja 1957].



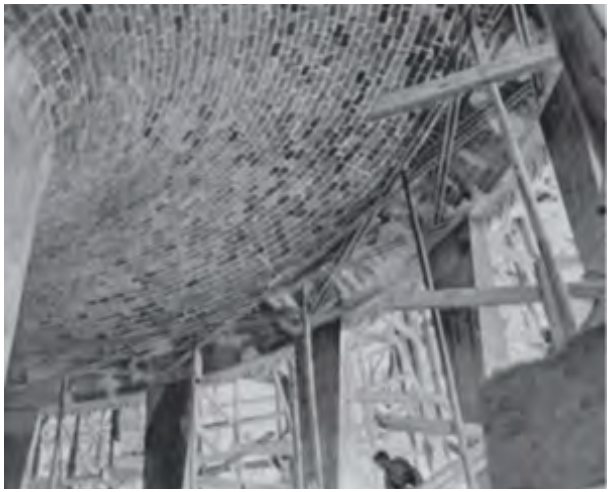
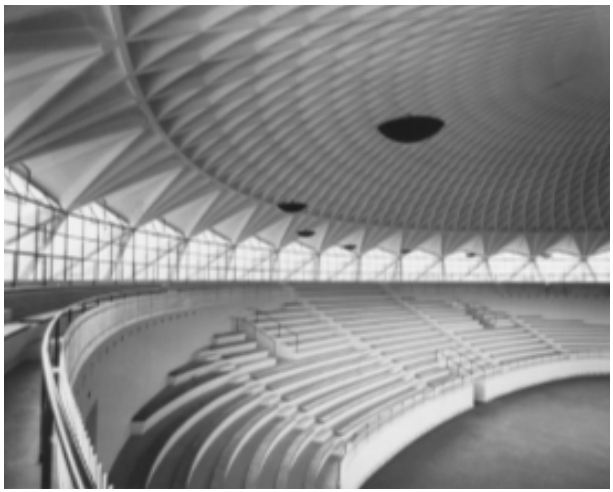


Fig. 3. Confronto tra l'intradosso della copertura del Mercado de Algeciras (sopra) di Torroja e del Palazzetto dello Sport di Nervi (sotto).





come «un grande scultore di spazi architettonici» – come un «mago nel controllo esaustivo del costo dell'opera» [Cassinello Plaza 2006, p. 28].
Il tutto senza mai trascurare la questione dell'espressione estetica, che doveva basarsi essenzialmente sulla "verità" dell'opera architettonica. La struttura doveva aderire perfettamente alle necessità statiche, consentendo la visibile materializzazione delle forze in gioco. Sotto questo aspetto, Nervi probabilmente si dimostrò più efficace e coerente, dato che le nervature all'intradosso delle sue coperture riflettevano perfettamente la trasmissione dei carichi al terreno. Dal confronto di due opere degli autori in questione emerge chiaramente questa differenza.
Il Palazzetto dello Sport di Nervi, realizzato nel 1955, 22 dopo anni il Mercato di Algeciras di Torroja, pur caratterizzato sempre da una copertura a calotta sferica, presenta all'intradosso una trama di nervature che dichiarano la ferma volontà dell'ingegnere italiano di condurre le spinte al terreno. Al contrario, Torroja sembra voler quasi nascondere lo sforzo della sua copertura, occultando le linee di tensione che scorrono all'interno di essa (fig. 3).
Tant'è che l'ingegnere spagnolo sembra quasi voler fare un passo indietro dinanzi alla considerazione della verità architettonica come dogma assoluto ed esclusivo, dichiarando che «se è vero che è peccaminoso mentire, non sempre è peccato nascondere la verità» [Torroja 1957, p. 248]. In diversi casi Torroja antepone al concetto di verità strutturale il concetto di verità funzionale, secondo il quale deve esserci una perfetta corrispondenza tra lo spazio interno e il volume visibile all'esterno, di modo che l'espressione funzionale dell'opera possa risultare facilmente intuibile [Colonnetti 1957]. È questa, infatti, la tipologia costruttiva che a suo parere meglio rivela all'esterno la natura dell'edificio, così come l'episodio architettonico che si manifesta all'interno di essa. In tali strutture, il confine interno-esterno è talmente sottile che risulta difficile parlare di intradosso ed estradosso delle superfici.
Analogamente, un artista in grado di realizzare opere i cui esili sbalzi erano dotati di spessori pressoché "irrisori", è certamente Félix Candela, che si era dimostrato fermamente convinto del fatto che in una costruzione, al di là del mero calcolo numerico, esistesse una forte connessione tra forma e struttura.
Candela trovò in Messico l'ambiente ideale per lo sviluppo delle sue avvincenti strutture a guscio. Il clima estremamente favorevole permetteva di ovviare a problematiche legate all'isolamento termico e all'impermeabilizzazione, mentre il basso costo della manodopera favoriva soluzioni in calcestruzzo armato, data la complessità della casseratura. All'apice della sua carriera di costruttore, assunse come modelli di riferimento le strutture "a ombrello" disegnate da Giorgio Baroni e, con la geometria del paraboloide iperbolico, ne migliorò l'aspetto esecutivo. La principale caratteristica di questa superficie – così come quella dell'iperboloide iperbolico – è che appare concava in una direzione e convessa nella direzione ortogonale. La duplice direzionalità conferisce loro un'alta resa estetica: le loro sezioni e le loro linee d'ombra danno luogo alla formazione di ellissi, circonferenze, parabole, iperboli o rette a seconda dell'orientamento, con un passaggio graduale dalle une alle altre al variare della luce [Torroja 1957]. Dal punto di vista costruttivo, i vantaggi che queste superfici rappresentano sono dati dal fatto che la posa dei casseri risulta più agevole, dato che le tavole per il contenimento del getto devono essere disposte lungo le rette generatrici della forma (fig. 4).
Nelle opere di Torroja, Nervi e Candela, concezione geometrico-configurativa e scheletro strutturale entravano perfettamente in simbiosi. La forma artistica e l'assetto strutturale si fondevano in un tutt'uno, sopprimendo gli elementi puramente ornamentali ed esaltando, nella loro semplicità, la grazia delle linee, la proporzione delle masse e il ritmo delle aperture [Torroja 1957].
Nonostante la formazione e l'orientamento prettamente ingegneristico, la loro filosofia progettuale si sposava perfettamente con i principi promulgati dal Movimento Moderno. L'ingegnere Torroja si fece portavoce di questi concetti, esprimendoli più volte nelle sue opere attraverso uno stile basato sull'assenza di elementi. Secondo il suo modo di concepire la struttura in quanto opera d'arte, la sua bellezza doveva fondarsi sulla razionalità della struttura. Tale splendore doveva essere raggiungibile senza che vi fossero necessarie né aggiunte né ornamentazioni esterne [Colonnetti 1957]. Torroja, dal canto suo, riteneva che il valore estetico risiedesse nella funzionalità della struttura stessa, dotata di una ricca espressività statica. Tutti questi principi si riflettevano sui nudi intradossi delle sue strutture laminari che, salvo casi di necessità funzionali, rimanevano puri e privi di nervatura o materiale di rivestimento.

Il gesto

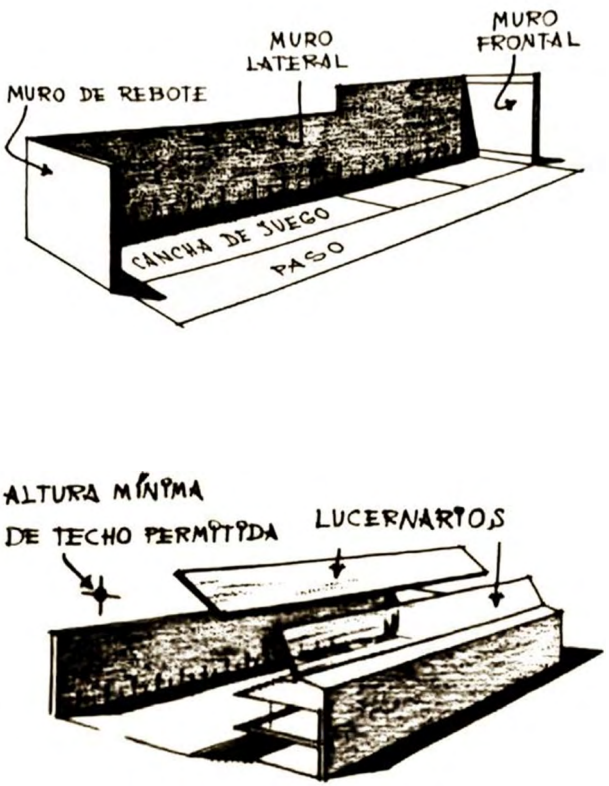
Agli inizi del XX secolo, l'ideologia di purezza del Movimento Moderno andava di pari passo con quelle di movimento

Fig. 4. Preparazione del getto per la realizzazione della copertura del Restaurante Los Manantianales, Félix Candela, Xochimilco, Messico [Casinello Plaza 2006].



e dinamismo promosse da correnti avanguardistiche come il Futurismo italiano e il Costruttivismo russo). Si parla di stili alla costante ricerca di espressioni di energia e dinamismo tramite schizzi, disegni e configurazioni architettoniche. Nei primi tempi, il gesto si traduceva in una molteplicità di segni appena accennati: forti gesti e tratti nel Futurismo, prospettive forzate e composizioni sbilanciate nel Costruttivismo russo, accompagnati da violenti movimenti diagonali [Frampton 1986].
In Torroja, come in Candela, il gesto sorgeva spontaneamente da un incontro tra funzione e controllo delle tecniche costruttive. La soluzione funzionale attivava il gesto, mentre il dominio costruttivo lo dotava di sicurezza e di fermezza, così come la volontà di espressione guidava definitivamente la matita. Il gesto era integrale, perché si appoggiava nella funzione e nella costruzione prima ancora di generare la forma. E tale forma, una volta costruita, delineava totalmente lo spazio dotandolo di un carattere significativo.
La stessa copertura del palazzetto sportivo del Frontón Recoletos – una delle opere più riconoscibili di Eduardo Torroja – nasce da un gesto chiaro e riconoscibile. La struttura e la forma di tale copertura, infatti, esprimevano perfettamente il volteggio, la violenza fisica e il movimento che lo sportivo effettuava per colpire la pelota. Allo stesso tempo, trasmettevano energia e velocità proprie del Movimento Moderno e dell'"Era della macchina" [1] [Salvadori, Heller 1963].
Sin dalle prime pagine di apertura del libro *Razón y ser de los tipos estructurales* [Torroja 1957] si intuisce chiaramente che il processo creativo, attraverso il quale Torroja concepiva le sue costruzioni, sia stato sempre associato sempre associato ad un fatto artistico, legato all'intuizione e all'esperienza acquisita. Lo studio teorico e la formazione tecnico-scientifica si limitavano a controllare forme e proporzioni che aveva già assegnato preventivamente. Risulta evidente quindi che alla creazione di un artefatto non si giunga per via deduttiva, attraverso ragionamenti di carattere logico. Per giungere alla forma perfetta, Torroja lavorava riunendo le condizioni di partenza, da cui poi concepiva la geometria mediante l'intuizione, l'immaginazione e la matita. Un approccio sperimentale in cui il calcolo era relegato a strumento finale per confermare la bontà della forma ottenuta, dove il dominio della tecnica era il supporto per l'espressione e l'idea [Artieda, Machin 2013].
Nel caso della copertura del Frontón Recoletos, i vincoli iniziali imposti alla copertura erano strettamente legati alle esigenze della pratica sportiva, le quali dettavano al tempo stesso la geometria del campo da gioco. La *pelota* vasca

Fig. 5. Frontón Recoletos: i vincoli di progetto per la copertura [Torroja 1962].



moderna è una disciplina che si praticava in un *frontón* chiuso dai muri frontale (*frontis*), laterale (*pared de izquierda*) e posteriore (*muro de rebote*). Gli spettatori occupavano il quarto lato, aperto e situato di fronte al muro laterale. Oltre a ciò, il regolamento locale imponeva un'altezza minima del piano d'imposta della copertura giustificata dalle altezze minime che dovevano avere i muri del *frontón*. Tale requisito consentiva alla *pelota* di tracciare le sue armoniose traiettorie curvilinee senza che incontrasse alcun tipo di ostacolo (fig. 5).
Come prima soluzione, si valutò la possibilità di inglobare i due lucernari in una copertura poliedrica in vetro e acciaio. La direttrice prevedeva una serie di travi reticolari in direzione trasversale, unite tra loro mediante travetti longitudinali. Tuttavia, la soluzione non era soddisfacente per motivi sia estetici che strutturali (fig. 6).
La seconda proposta, invece, consisteva nel posizionare due grandi travi reticolari, appoggiate sui timpani di bordo, attraverso le quali potesse filtrare la luce indiretta. La trave si componeva quindi di una coppia di traversi collegati tra loro da una trama di diagonali (fig. 7).
Anche questa opzione non risultava però ideale, soprattutto da un punto di vista compositivo. Durante il processo creativo, però, accadde qualcosa del tutto spontaneo e irrazionale che portò alla concezione definitiva dell'involucro. Le linee della copertura vennero ingentilite, e il profilo assunse un andamento curvilineo.
Sempre tenendo in considerazione i requisiti di altezza e di illuminazione della sala, oltre alla volontà di trasmettere una sensazione di massima ampiezza possibile, la mano dell'immaginazione tracciò istintivamente due archi la cui asimmetria coincideva con quella della sala stessa. L'idea si concretizzò con l'adozione di una lamina cilindrica in calcestruzzo armato di due lobi che, in corrispondenza dei lucernari, si convertiva in una maglia triangolare di pannelli vetrati [Torroja 1999] (fig. 8).
Il sistema definito dal progetto finale, dunque, era caratterizzato da una lamina cilindrica in calcestruzzo armato di soli 8 cm di spessore, il quale raddoppiava (16 cm) in corrispondenza dell'intersezione ortogonale di due lobi cilindrici, generando la cosiddetta sezione ad "ala di gabbiano". La nuova forma nasceva quindi da un gesto: essa esprimeva il movimento dello sportivo che colpiva la *pelota* e trasmetteva al tempo stesso il dinamismo della macchina.
La nuova soluzione in calcestruzzo era la massima espressione dei concetti di orizzontalità, velocità, forza, nudità [Artieda, Machin 2013] (fig. 9).

Fig. 6. Frontón Recoletos. Prima ipotesi di progetto: copertura poligonale [Torroja 1962].

Fig. 7. Frontón Recoletos. Seconda ipotesi di progetto: travi reticolari [Torroja 1962].

Fig. 8. Frontón Recoletos. Soluzione definitiva con lobuli asimmetrici e lucernario a maglia triangolare [Torroja 1962].

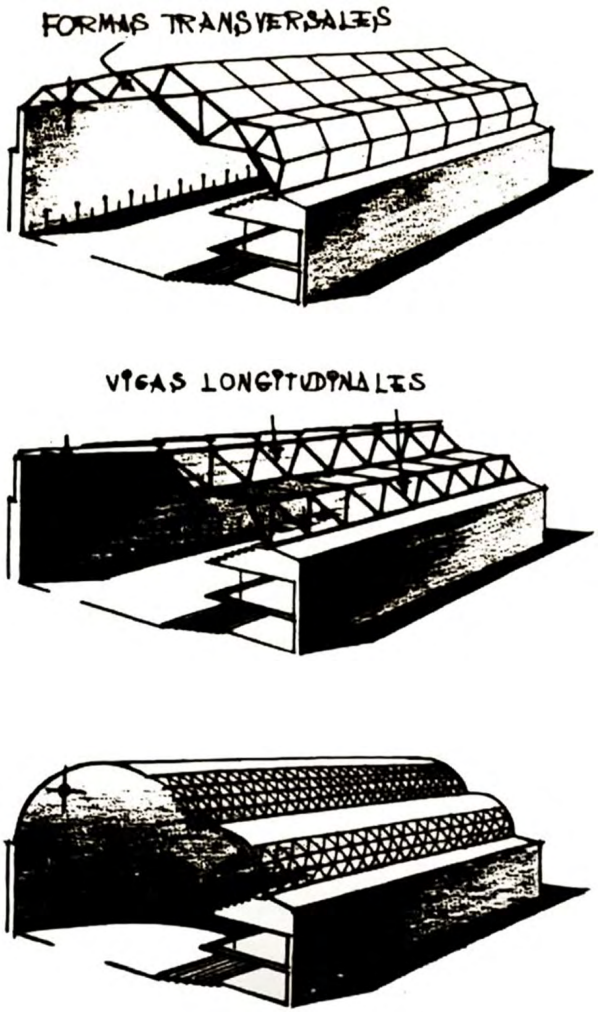
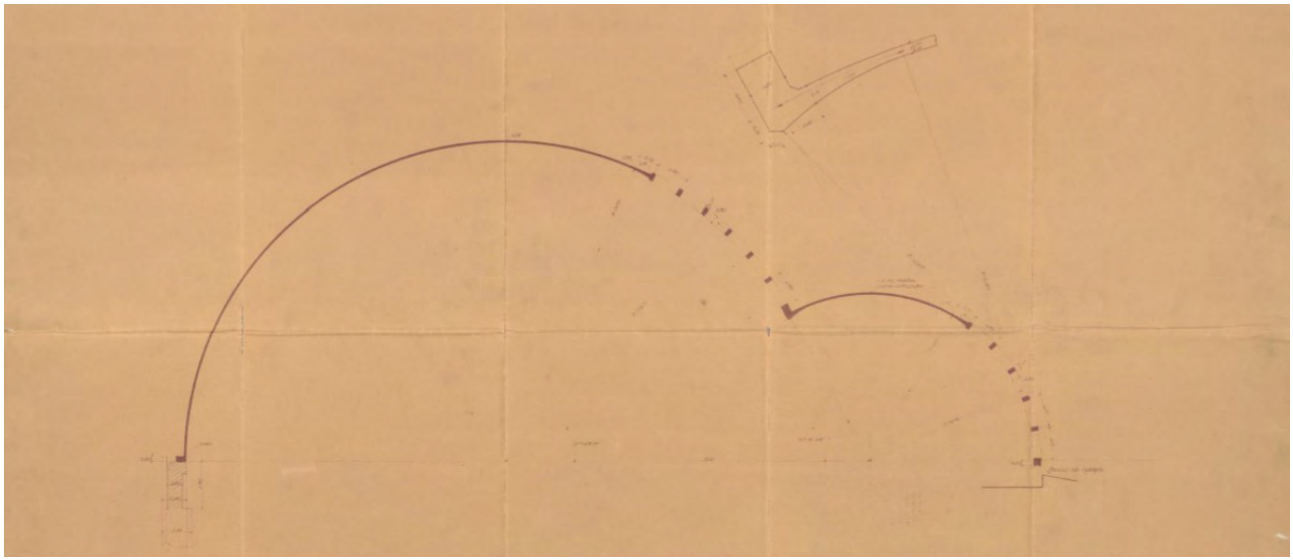
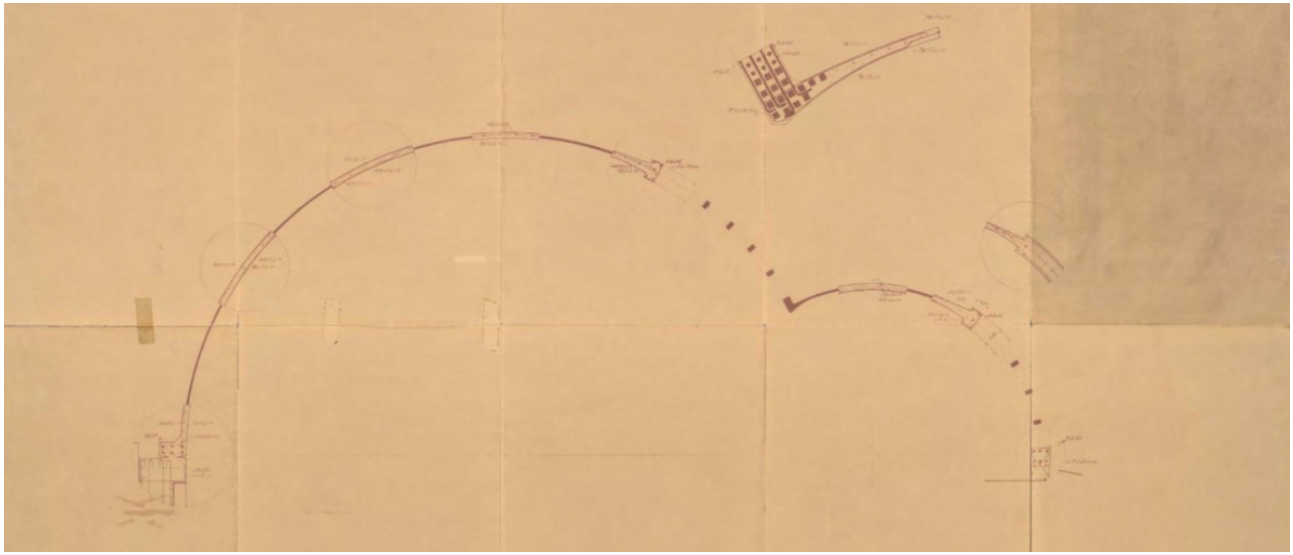


Fig. 9. Frontón Recoletos: sezioni trasversali della copertura. Tavole delle carpenterie e delle armature [Archivo Digital Torroja, CEHOPU-CEDEX].





Dalla carta al cantiere

L'ingegnere José María Aguirre Gonzalo e il professore Eugenio Ribera vennero chiamati in causa come consulenti per valutare la fattibilità costruttiva dell'audace copertura. I due strutturisti produssero una relazione di una dozzina di pagine, in cui esponevano le loro osservazioni in merito alla costruzione della copertura e all'allestimento delle centine per i lavori in quota [Ribera, Aguirre 1935]. In particolare, si suggeriva la costruzione di una centina orizzontale con i relativi puntoni di sostegno; la realizzazione della manovra di scasseratura in maniera delicata, assieme al controllo delle deformazioni prodotte una volta effettuata questa operazione; e infine l'aggiunta di uno strato esterno di isolante per evitare eccessive oscillazioni termiche del calcestruzzo. Da un punto di vista costruttivo, per questo tipo di coperture era necessario che la lamina si comportasse il più uniformemente possibile. La colata di calcestruzzo doveva essere pertanto simultanea, senza che venisse effettuata alcuna ripresa di getto. Ciò inevitabilmente comportava un consumo spropositato di legname non solo per le puntellature, ma anche per le casseforme. Non vi era infatti la possibilità, nonostante si trattasse di una serie di moduli ripetuti, di sfruttare il vantaggio dato dal riutilizzo delle casseforme del getto precedente. La scelta fu dettata anche dalla necessità di ultimare l'opera e avviare l'attività il prima possibile, dato che le entrate generate dai primi spettacoli, secondo i calcoli della committenza, avrebbero dovuto coprire i costi eccedenti. Si decise pertanto di utilizzare il cemento alluminico a presa rapida, in modo da poter velocizzare ulteriormente i tempi di realizzazione. Il getto venne quindi effettuato in meno di una settimana. Una volta indurito, si procedette alla delicata rimozione delle centine sotto un ferreo controllo delle deformazioni della lamina, che risultarono conformi a quelle previste dai calcoli [Arredondo Verdu et al. 1977] (figg. 10, 11).

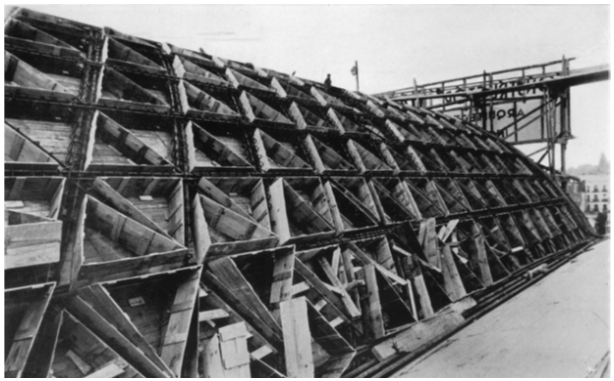
Conclusioni

Il saggio dimostra chiaramente come il disegno e la geometria siano strumenti essenziali per lo sviluppo di un'idea progettuale. In particolare, il disegno in forma di schizzo, o come supporto per l'elaborazione di una tavola progettuale, rappresenta il perno attorno al quale ruota l'intero sviluppo di una concezione architettonica e strutturale. Nel caso del Frontón Recoletos di Eduardo Torroja, l'ingegnere

Fig. 10. Frontón Recoletos: vista generale dell'allestimento del cantiere [Liñán 2020].

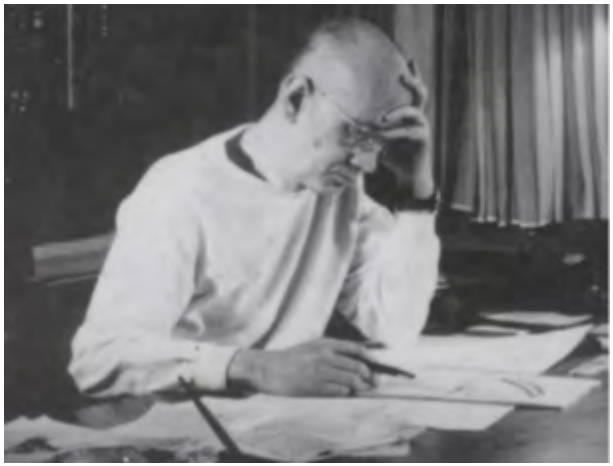
Fig. 11. Frontón Recoletos: la posa delle casseforme sulla volta maggiore [Martínez Martínez 2018].





traduce i suoi pensieri sulla carta sotto forma di diagrammi, raccogliendo i propri ragionamenti e condividendoli con l'osservatore. Si parla di trasparenza della struttura – data dalla soluzione monolitica delle lamine in calcestruzzo – ma si parla anche e soprattutto di trasparenza di pensiero.
L'autore attraverso la carta e la matita ci porta nel suo mondo dell'immaginario e ci rende partecipi del processo creativo, offrendoci la chiave per accedere e comprendere il percorso che ha portato alla concezione finale dell'opera. Le sezioni di progetto, invece, lasciano intravedere ed apprezzare lo sforzo ingegneristico che si cela dietro il sipario dell'involucro architettonico. Il disegno geometrico, in questo caso, assume valore grafico e tecnico, rappresentando di fatto il manuale per l'effettiva realizzazione dell'opera.
L'aspetto interessante delle strutture laminari è la mancata distinzione tra sostanza strutturale e configurazione geometrico-architettonica. Ciò si manifesta in maniera ancor più visibile nella produzione grafica degli elaborati, in cui la descrizione visiva dell'elemento portante assume al tempo stesso valore estetico e costruttivo (fig. 12).

Fig. 12. Eduardo Torroja, "solo et pensoso".



Note

[1] Per "Era della macchina" si intendono gli aspetti di energia e dinamismo, elementi chiave del Movimento Moderno e delle correnti architettoniche annesse. A tali elementi si aggiunge il concetto di "Macchina per abitare", ripreso più volte dall'architetto Le Corbusier.

Autori

Andrea Giordano, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale - ICEA, Università degli Studi di Padova, andrea.giordano@unipd.it
Andrea Colombo, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Foster + Partners, acolombo@fosterandpartners.com

Riferimenti bibliografici

Arredondo Verdu, F. E. (1977). *La obra de Eduardo Torroja*. Madrid: Instituto España.

Artieda, V., Machin, T. (2013). Frontón Recoletos: la construcción de la metáfora. In *Proyecto, Progreso, Arquitectura*, n. 8, pp. 72-87.

Benvenuto, E. (1995). Prefazione. In E. Torroja (Ed.). *Razón y ser de los tipos estructurales*, pp. 2-15. Madrid: Instituto de la Construcción y del Cemento. Consejo Superior de Investigaciones Cientificas (ed. italiana: Prefazione. In *La concezione strutturale. Logica e intuito nella ideazione delle forme*, pp. 2-15. Torino: Città Studi).

Carlevaris, L., De Carlo, L., Migliari, R. (a cura di). (2012). *Attualità della geometria descrittiva*. Italia: Gangemi Editore.

Cassinello Plaza, M. J. (2006). *Félix Candela, centenario. La conquista de la esbeltez*. Madrid: Turkana Libros.

Chías Navarro, P., Abad Balboa, T. (2005). *Eduardo Torroja Obras y Proyectos*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

Colombo, A., Giordano, A. (2022). Criteria and Procedures for the Geometric Parametrization of Existing Buildings: The Case Study of the Roof of the Frontón Recoletos in Madrid. In L.-Y. Cheng (Ed.). *ICGG 2022 - Proceedings of the 20th International Conference on Geometry and Graphics*, pp. 661-672. Cham: Springer.

Colonnetti, G. (1957). *Scienza delle costruzioni, III, La tecnica delle costruzioni, le pareti sottili*. Torino: Einaudi.

Docci, M. (2007). Prefazione. In *Disegnare. Idee immagini*, n. 35, p. 3.

Frampton, K. (1986). *Storia dell'architettura moderna*. Bologna: Zanichelli.

Giordano, A. (1999). *Cupole, volte e superfici: la genesi e la forma*. Italia: UTET.

Liñán, J. M. A. (17 agosto 2020). Madrid, hecho y roto, de la República a la Guerra. El País.

Martínez Martínez, M. E. (2018). The preservation of the architectural heritage of the twentieth century: the laminar structures of reinforced concrete. In C. Gambardella (Ed.). *World heritage and knowledge: representation, restoration, redesign, resilience. XVI International Forum "Le Vie dei Mercanti"*, pp. 651-668. Roma: Gangemi Editore.

Maure, L. (2004). *Zuazo Torroja: Frontón Recoletos, Madrid (1935)*. Madrid: Ruenda.

Ochsendorf , J., Freeman, M. (2010). *Guastavino Vaulting: The Art of Structural Tile*. New York: Princeton Architectural Press.

Ribera, E., Aguirre, J. (1935). *Informe de los ingenieros E. Ribera, J. M. Aguirre*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano.

Salvadori, M., Heller, R. (1963). *Le strutture in architettura*. Milano: Etas Kompass.

Torroja, E. M. (1957). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Instituto de la Construcción y del Cemento. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Torroja, E. M. (1962). Frontón Recoletos. In *Informes de la construcción*, n. 14 (137), pp. 41-50.

Torroja, E. M. (1999). *Las estructuras de Eduardo Torroja*. Madrid: Instituto de la Construcción y del Cemento. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Torroja, J. A. (2016). El ingenio en la obra de Eduardo Torroja. In M. J. Cassinello Plaza (Ed.). *Museo Eduardo Torroja*, pp. 109-113. Madrid: Fundación Eduardo Torroja.

Ugo, V. (2020). *Fondamenti della rappresentazione architettonica*. Bologna: Società Editrice Esculapio.

Architetture parametriche: le visioni americane di Vittorio Giorgini

Alessandro Meloni, Denise Ulivieri, Marco Giorgio Bevilacqua, Piergiuseppe Rechichi, Zhangliang Shuai

Abstract

Il contributo analizza l'attività americana di Vittorio Giorgini (1926-2010), architetto fiorentino che, a partire dal 1969, trova a New York il contesto ideale per sviluppare ricerche visionarie e sperimentali. L'indagine si concentra sui progetti Walking Tall *(1982-1983)* e Hydropolis *(1981-1982), esempi emblematici di un linguaggio architettonico che coniuga rigore geometrico, sperimentazione strutturale e forte carica espressiva. In essi la geometria corrisponde al principio generativo che regola forma, struttura e funzione, anticipando approcci oggi riconducibili al pensiero parametrico. Attraverso l'analisi di disegni e manoscritti d'archivio, la ricerca ha individuato le unità geometriche elementari e le logiche di aggregazione sottese ai progetti, traducendole in modelli digitali dinamici mediante strumenti di modellazione algoritmico procedurale VPL (*Visual Programming Language*). Questa metodologia ha permesso di validare la coerenza della grammatica progettuale di Giorgini, confermandone l'attualità e la traducibilità in sistemi generativi flessibili. La ricostruzione digitale si configura non come mera restituzione, ma come banco di prova capace di verificare la fattibilità delle proposte, trasformando la visione utopica in ipotesi operativa. Il contributo mette così in luce il valore anticipatore della ricerca di Giorgini, figura ancora poco riconosciuta, che coniuga sperimentazione geometrica, attenzione al contesto urbano e aspirazione a modelli alternativi di città, ed è annoverabile tra i precursori dell'architettura parametrica.*

Parole chiave: Vittorio Giorgini, disegni d'archivio, modellazione procedurale, Visual Programming Language, *geometria*

Introduzione

Il presente contributo si propone di analizzare l'opera dell'architetto Vittorio Giorgini (1926-2010) durante il suo periodo americano, con l'obiettivo di portare alla luce progetti innovativi e rivoluzionari, ancora oggi poco valorizzati. Giorgini trascorre la prima parte della sua vita a Firenze, per poi trovare negli Stati Uniti, a partire dal 1969, maggiori opportunità di ricerca e progettazione. Sulla base degli studi esistenti [1] è oggi possibile avviare un percorso di ricerca centrato sull'attività progettuale statunitense di Giorgini, composta in gran parte da progetti rimasti su carta, custoditi negli archivi [2] e che rivelano una forte originalità espressiva e costruttiva. Le sue proposte, infatti, combinano un linguaggio provocatorio e anticonvenzionale con una rigorosa struttura geometrica basata su principi di proporzionalità e operazioni geometriche fondamentali radicate nella cultura architettonica, che – pur essendo state elaborate in un contesto pre-digitale – anticipano alcuni principi metodologici oggi riconducibili alla progettazione parametrica.
L'obiettivo è valorizzare questo patrimonio attraverso la modellazione procedurale, fondata sull'analisi delle fonti e dei principi teorici. L'approfondimento del materiale d'archivio consente di indagare i metodi progettuali e le teorie sottese alle forme architettoniche, in cui la struttura determina il carattere espressivo complessivo e si configura come esito di un sistema geometrico

 BY-NC-ND

sofisticato, non sempre esplicito. La ricostruzione digitale si basa sull'analisi di queste geometrie attraverso strategie parametriche finalizzate a generare strutture dinamiche, implementabili e in costante evoluzione. L'uso di strumenti *Visual Programming Language* (VPL) permette di indagare i principi costruttivi e di confermare l'attualità della ricerca di Giorgini.
Il contributo si propone dunque come occasione per riscoprire un progettista di straordinaria rilevanza che, incompreso dai contemporanei, appare precursore di approcci oggi centrali nell'architettura. I progetti newyorkesi *Walking Tall* (1982-1983) e *Hydropolis* (1981-1982), costituiscono l'emblema della sua esperienza americana: opere dalla forte carica espressiva e dalle forme dinamiche, al confine tra architettura e arte. In esse il processo progettuale fonde architettura, ingegneria e arti visive, generando un linguaggio che assume caratteri propri della scultura, trasposti nel progetto architettonico.

Giorgini: un architetto fiorentino a New York

Vittorio Giorgini nasce a Firenze e matura in un contesto socioculturale e familiare piuttosto stimolante. A Villa Torrigiani il padre Giovan Battista (1898-1971), indiscusso promotore del Made in Italy nel mondo, organizza nel 1951, per gli acquirenti dei più importanti *department store* statunitensi, la prima sfilata di alta moda italiana [Fadigati 2023]. A questa data Vittorio ha venticinque anni, aiuta il padre attivamente ed è iscritto alla Facoltà di Architettura di Firenze. Fin dagli anni universitari la sua ricerca si concentra sulla "questione del modello in natura" e sulla sua applicazione all'architettura, non tanto per copiare forme naturali, ma per ottenere sistemi complessi più efficienti ed efficaci. Le sue indagini si muovono tra lo studio dei sistemi curvi, come gusci e membrane, la curiosità per le tensostrutture e l'analisi delle figure geometriche del tetraedro e dell'ottaedro. Proprio in seguito a questa frenetica ricerca, Giorgini conia il termine "Spaziologia", per definire i suoi studi di morfologia in cui apprende i modi, le economie, i funzionamenti, e quindi le relazioni tra forme e sistemi statici di resistenza, di costituzione della materia e delle sue funzioni [Giorgini 1995; Giorgini 2006]. Laureatosi nel 1957, svolge attività professionale e didattica, collaborando con Leonardo Savioli (1917-1982), Giuseppe Gori (1906-1969) e stringendo un rapporto particolare con Giovanni Michelucci (1891-1990). A questo periodo appartengono le sue due iconiche architetture, Casa Esagono (1959) e Casa Saldarini (1962), costruite nel Golfo di Baratti, a due passi l'una dall'altra, dove ha l'opportunità di applicare alla progettazione architettonica lo studio della morfologia delle scienze naturali [3]. Le crescenti delusioni all'interno della Facoltà e la cocente insoddisfazione professionale per la mancata realizzazione di molti progetti lo spingono, nel 1969, ad emigrare a New York, dove diventa docente di progettazione presso la Scuola di Architettura del Pratt Institute. Partecipa appieno alla vita artistica e culturale della capitale del "Surrealismo perpetuo" [Koolhaas 1978] intrecciando relazioni con architetti, artisti e intellettuali, da Isamu Noguchi (1904-1988) a Priscilla Morgan (1920-2014), da Buckminster Fuller (1895-1983) a John Maclane Johansen (1916-2012), fino a Robert Rauschenberg (1925-2008) [4].
«I progetti statunitensi sono paradigmatici del lungo lavoro di ricerca portato avanti dall'architetto fiorentino. Dalla metà degli anni Settanta Giorgini adotta soluzioni costruttive derivate da configurazioni geometriche triangolari, riconducibili alle maglie strutturali tetraedriche e ottaedriche, capaci di maggiori prestazioni strutturali, formali, funzionali e tecnologiche. Egli intuisce, infatti, che "nello studio della natura […] in fondo i sistemi, anche quelli che non lo sembravano, erano basati su geometrie triangolari» [Giorgini 2006]. Pur cogliendo la portata di un'età che sta passando dalla rivoluzione dei mass-media all'età dei computer, la ricerca strutturale e organica dell'architetto sfocia in proposte, per lo più irrealizzate, spesso fraintese, etichettate dalla critica come informali e al limite. Questi progetti si fondano su una fiducia radicale nelle potenzialità della tecnologia che, tuttavia, risultava ancora costosa e non standardizzata [Ulivieri et al. 2022b; Ulivieri 2025]. Tali progetti rappresentano le chiavi di lettura per la comprensione dell'applicazione in architettura dei modelli e dei diagrammi delle forze statiche, che Giorgini studia e teorizza nel fondamentale resoconto *Spatiology. The morphology of the natural sciences in architecture and design* [Giorgini 1995].

Strutture visionarie: spazio, geometria, architettura

Il richiamo al fondamentale testo di Sigfried Giedion (1888-1968) [1941], incentrato sui sistemi costruttivi e spaziali volti a inaugurare una nuova tradizione tecnologica, consente di contestualizzare le ricerche di Giorgini.

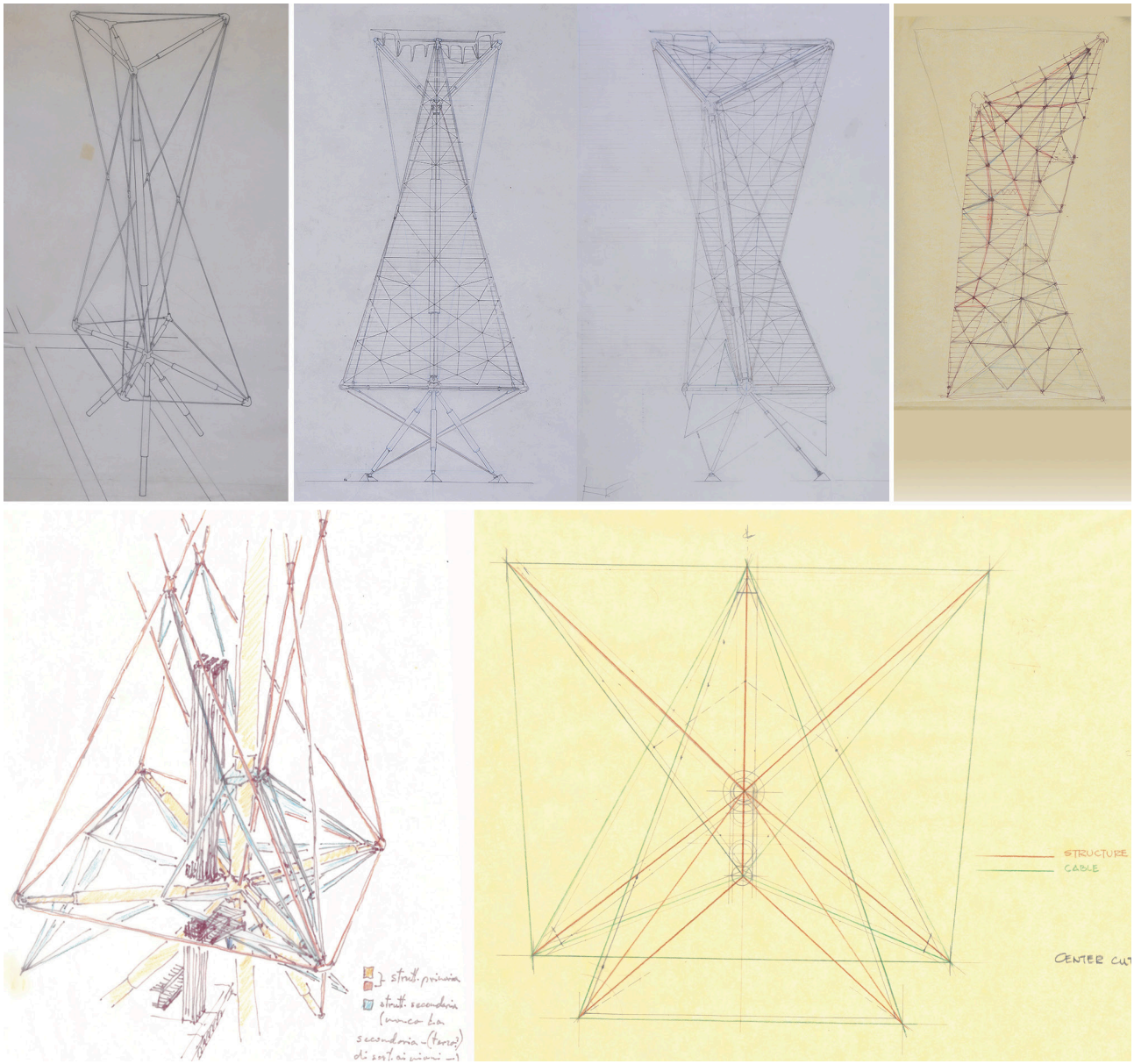


Fig. 1. Walking Tall: composizione geometrica ed elementi strutturali (B.A.Co.-Vittorio Giorgini Archive).

L'architetto fiorentino immagina un futuro basato su principi innovativi, capaci di configurare un linguaggio architettonico inedito, sostenuto da rigorose basi geometriche e da una forte valenza comunicativa. Le sue visioni progettuali – per certi versi utopiche, poiché in gran parte rimaste su carta – si fondano su strutture regolatrici dello spazio, in grado di generare architettura e di adattarsi a scale e funzioni differenti. Pur nella sua originalità, Giorgini non rappresenta un caso isolato: la sua sperimentazione si inserisce in un contesto culturale condiviso da altri architetti contemporanei quali, ad esempio, Yona Friedman (1923-2019), Paolo Soleri (1919-2013), Moshe Safdie (1938) e Anne Tyng (1920-2011) [Sky, Stone 1976], con cui condivide affinità di metodo e di ricerca, oltre alle già citate conoscenze nell'ambito artistico. La sua opera può essere sinteticamente letta secondo due linee progettuali apparentemente contrapposte, riconoscibili nelle sue realizzazioni iniziali: Casa Saldarini e Casa Esagono. La prima si distingue per un carattere organico – pur rifiutando Giorgini tale classificazione – mentre la seconda evidenzia un rigore geometrico consolidato, una dialettica che riflette la tensione della cultura architettonica contemporanea. Pur nella diversità di linguaggio, la geometria resta il fondamento del lavoro di ricerca di Giorgini, guidata dall'impiego del Disegno come strumento espressivo. La sua rappresentazione si basa prevalentemente su disegni bidimensionali – piante, prospetti, sezioni – ricorrendo solo talvolta ad assonometrie, mentre al modello fisico è affidata la restituzione della terza dimensione, con forte accento scultoreo. La complessità dei temi affrontati suggerisce di avviare l'analisi dalle abitazioni italiane, anticipatrici di concetti maturati con maggior compiutezza nell'esperienza americana.
L'adozione di soluzioni progettuali innovative rivela relazioni con diverse figure sue contemporanee, tra cui l'architetto emiliano Dante Bini (1932), inventore delle strutture sferiche denominate *Binishell*: un sistema costruttivo innovativo per la realizzazione di volte emisferiche in cemento tramite gonfiaggio pneumatico [Pennacchio, Ricci 2018]. L'affinità con Giorgini non risiede tanto nella forma, quanto nell'approccio sperimentale e nell'esplorazione delle potenzialità del cemento in strutture sottili. È ciò che emerge con Casa Saldarini, emblema di un sistema formale e morfologico che richiama la natura attraverso un materiale reso leggero e modellato con sensibilità scultorea. Questo esempio consente di rafforzare un aspetto centrale relativo alle nuove tecnologie utilizzate per le costruzioni, considerate fondamentali per superare la staticità tipica del periodo, ancora troppo diffidente alle innovazioni tecnologiche [Giorgini 1995]. Al contrario, Casa Esagono rappresenta probabilmente il primo passo verso una strutturazione pienamente geometrica dell'architettura di Giorgini. L'adesione a un rigore formale consente di collocare l'opera in un ambito progettuale affine anche a figure cardine dell'ingegneria, come i già citati Konrad Wachsmann e Buckminster Fuller [Edmondson 1986; Ulivieri 2025]. Questo edificio esprime un principio geometrico fondamentale: la tassellazione, ovvero l'occupazione di un piano tramite una figura che si ripete senza soluzione di continuità. Un caso emblematico, in linea con tale ricerca, è lo stabilimento Olivetti di Harrisburg progettato da Louis Kahn (1901-1974) negli anni '70 del Novecento: una tassellazione spaziale completa ottenuta dall'intersezione planimetrica di due quadrati, che genera un'alternanza tra ottagoni irregolari e quadrati. In questo progetto, di particolare rilievo è la copertura progettata da Renzo Piano (1937), costituita da un innovativo sistema di piramidi in *fiberglass:* una struttura composta da solidi piramidali a base quadrata brevettata da Piano. Innovazione e sperimentazione sono quindi elementi fondamentali, che contraddistinguono l'epoca e appartengono pienamente anche alla visione di Giorgini.

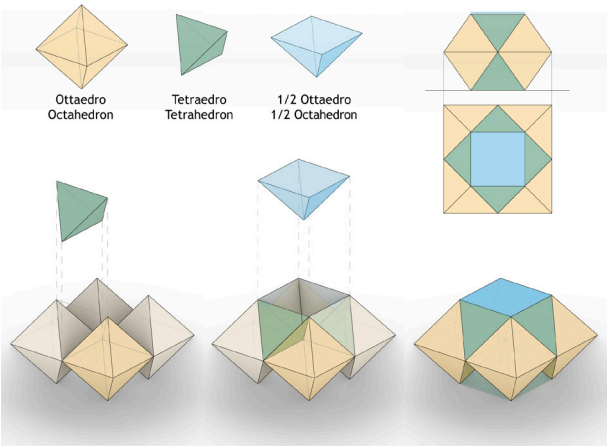


Fig. 2. Definizione geometrica del "parallelogramma Octet" (elaborazione grafica degli autori).



Fig. 3. Visioni spaziali e relazioni formali tra i progetti di Giorgini: da sinistra, Genesis, Walking Tall, Hydropolis, connessi dai percorsi sopraelevati (B.A.Co.-Vittorio Giorgini Archive: coll. PICT0140).

Gli sviluppi delle intuizioni toscane trovano nuova coerenza nella lunga esperienza americana, dove i concetti bidimensionali di Casa Esagono si trasformano in piena tridimensionalità. Giorgini elabora sistemi di volumetrie compenetranti, che definiscono ambienti fluidi e continui, con la dinamicità dello spazio al centro. Tali esiti derivano dall'uso dei solidi platonici regolari, la cui aggregazione genera una tessitura spaziale estendibile in tutte le direzioni [Del Francia 2000; Ulivieri et al. 2020; Moretti 1952]. Queste riflessioni collocano Giorgini in un contesto culturale e tecnico più ampio, evidenziandone al tempo stesso la singolarità. Esse costituiscono la base per la successiva maturazione del suo pensiero, che troverà compiuta realizzazione nei progetti americani.

I progetti americani: geometria e struttura come principio

«Il concetto di sistema e della sua struttura serve come strumento atto a decifrare la natura dei fenomeni. Dato un certo criterio, possiamo riconoscere un elemento come parte di un "insieme" e il suo rapporto con le altre

parti. Quando in un fenomeno possiamo riconoscere un insieme di elementi allora riconosciamo un sistema» [Giorgini 1995, p. 211]. Giorgini riconosce l'importanza di definire caratteri progettuali distinguibili ma aggregabili, regolati da principi geometrici capaci di adattarsi a differenti funzioni. La geometria è il vero elemento ordinatore, da essa derivano struttura e funzione. In questo quadro si colloca la distinzione operata dall'architetto tra "Spaziologia", lo studio teorico della geometria come disciplina matematica e fondamento della statica, e "Urbologia", che traduce tali concetti in sistemi capaci di dialogare con la città e non solo con il singolo edificio. I progetti americani *Walking Tall* e *Hydropolis* esemplificano questa logica, misurandosi con la scala urbana e infrastrutturale. Pur destinati a funzioni diverse e caratterizzati da linguaggi apparentemente contrastanti, entrambi riflettono la coerenza etica e metodologica di Giorgini, configurandosi come sistemi multiscalari analoghi alle "Urbatetture" di Jan Lubicz-Nycz (1925-2011), apprezzate da Bruno Zevi (1918-2000) per l'abbandono degli stilemi razionalisti [Zevi 1965] o alle "Megastrutture" descritte da Reyner Banham (1922-1988) [Banham 1976]. L'attenzione è rivolta soprattutto allo spazio urbano, mentre gli interni restano a livello di progettazione di massima perché è la struttura, disegnata nei dettagli, a diventare protagonista. Entrambi i progetti sono collocati a New York, città che Giorgini interpreta come laboratorio di sperimentazioni visionarie. La metropoli incarna l'aspirazione a "conquistare il cielo" attraverso grattacieli sempre più audaci e *Walking Tall* nasce come antitesi a questo modello. Previsto in un lotto tra la 49ª e la 50ª strada e tra l'8ª e la 9ª avenue, l'edificio si innalza per circa 250 metri e, grazie alla struttura geometrica, coniuga rigidità ed espressività [Del Francia 2000, p. 77]. Innovativo è soprattutto il programma funzionale: una torre dinamica e fruibile 24 ore al giorno, con uffici, residenze, studi nella parte centrale e spazi pubblici raccolti nella sommità tetraedrica [Giorgini 1995, p. 240; Guerriero 2000, p. 77]. La torre non occupa l'intero lotto, ma si eleva su tre sostegni in acciaio a forma tetraedrica, liberando lo spazio pubblico sottostante. Una passerella sopraelevata, definita "tetraprismica", regola i flussi pedonali e introduce una nuova dimensione di attraversamento urbano. Dal punto di vista volumetrico, l'edificio nasce dall'intersezione di due corpi, una piramide a base quadrangolare quadrata e una a base triangolare, come dimostrato anche dai disegni del collage in figura 1. I materiali d'archivio mostrano l'organizzazione

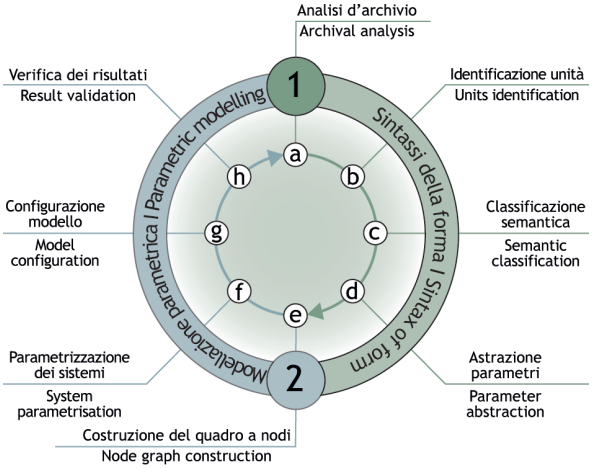
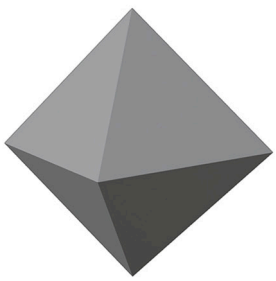
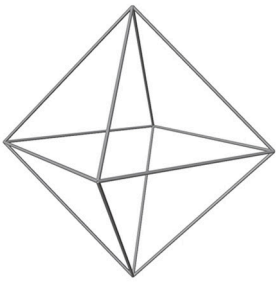


Fig. 4. Workflow metodologico (elaborazione degli autori).

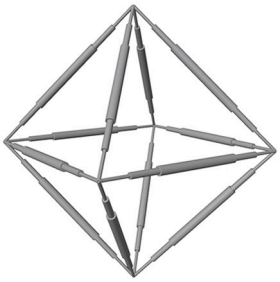
degli insiemi e dei sottoinsiemi che compongono la torre gerarchizzando l'assetto portante.
Un aspetto cruciale riguarda il lessico: Giorgini rifiuta l'uso riduttivo del termine "struttura" limitato ai soli sistemi statici o costruttivi, ribadendone la priorità geometrica, da cui discendono le soluzioni tecniche e funzionali [Giorgini 1995]. La torre si configura dunque come una tensostruttura, basata su un sistema principale di travature e cavi in tensione che definiscono il profilo esterno, e su una struttura secondaria di sostegno agli ambienti interni. La maglia triangolare irregolare di facciata svolge al contempo un ruolo espressivo e costruttivo, probabilmente lasciando intravedere i cavi portanti dei piani (fig. 1). Nonostante la differenza rispetto ad altri sistemi, emergono relazioni con le ricerche precedenti dell'architetto: dall'impiego dei solidi platonici alla mimesi di strutture naturali [Giorgini 1995]. *Walking Tall* incarna un tratto tipico di Giorgini: l'assenza di un prospetto principale. L'edificio appare infatti sempre diverso a seconda del punto di osservazione, negando una visione univoca e configurando lo spazio come non gerarchico e paritario. Il progetto rivela così l'approccio rigoroso dell'architetto, capace di mediare organicamente tra forma e funzione attraverso la geometria. La sua logica aggregativa apre inoltre alla possibilità di dialogo con altre architetture, concorrendo a definire un assetto urbano innovativo.



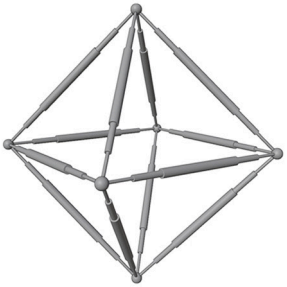
(a) Solido generatore
Generating solid



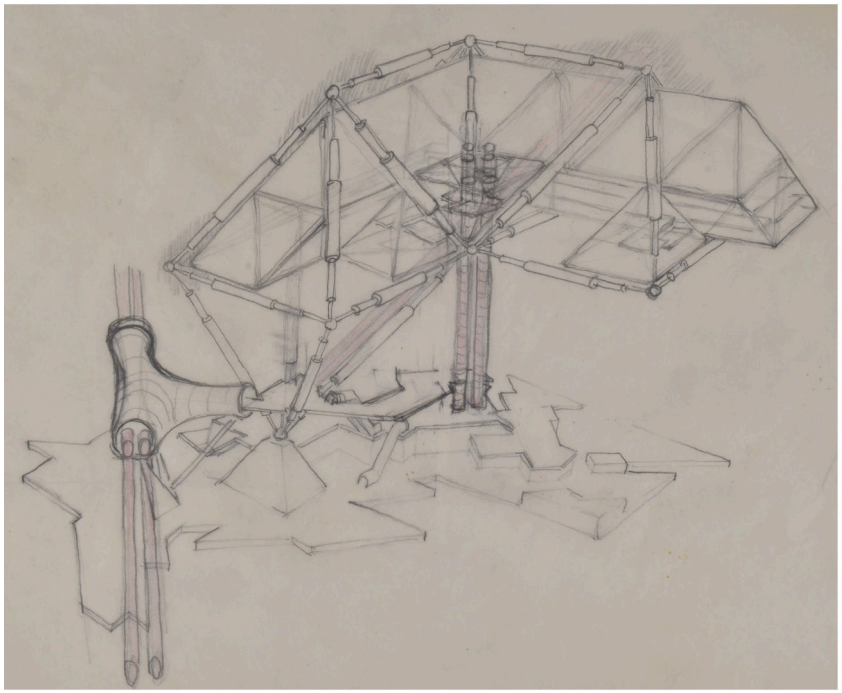
(b) Assi elementi strutturali
Axes of structural elements



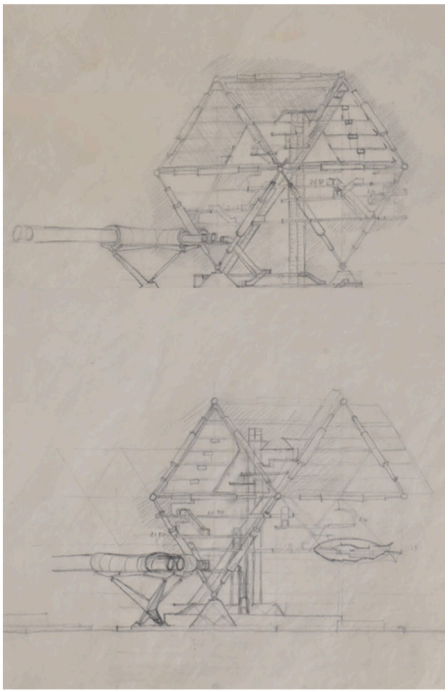
(c) Elementi telaio
Frame elements



(d) Nodi di collegamento
Connection nodes



(e) Vista assonometria della struttura - Axonometric view of the structure
(B.A.Co.-Vittorio Giorgini Archive)



(f) Disegni di prospetto - Facade drawings
(B.A.Co.-Vittorio Giorgini Archive)

Fig. 5. Hydropolis: studio e modellazione della struttura portante di base (elaborazione grafica degli autori).

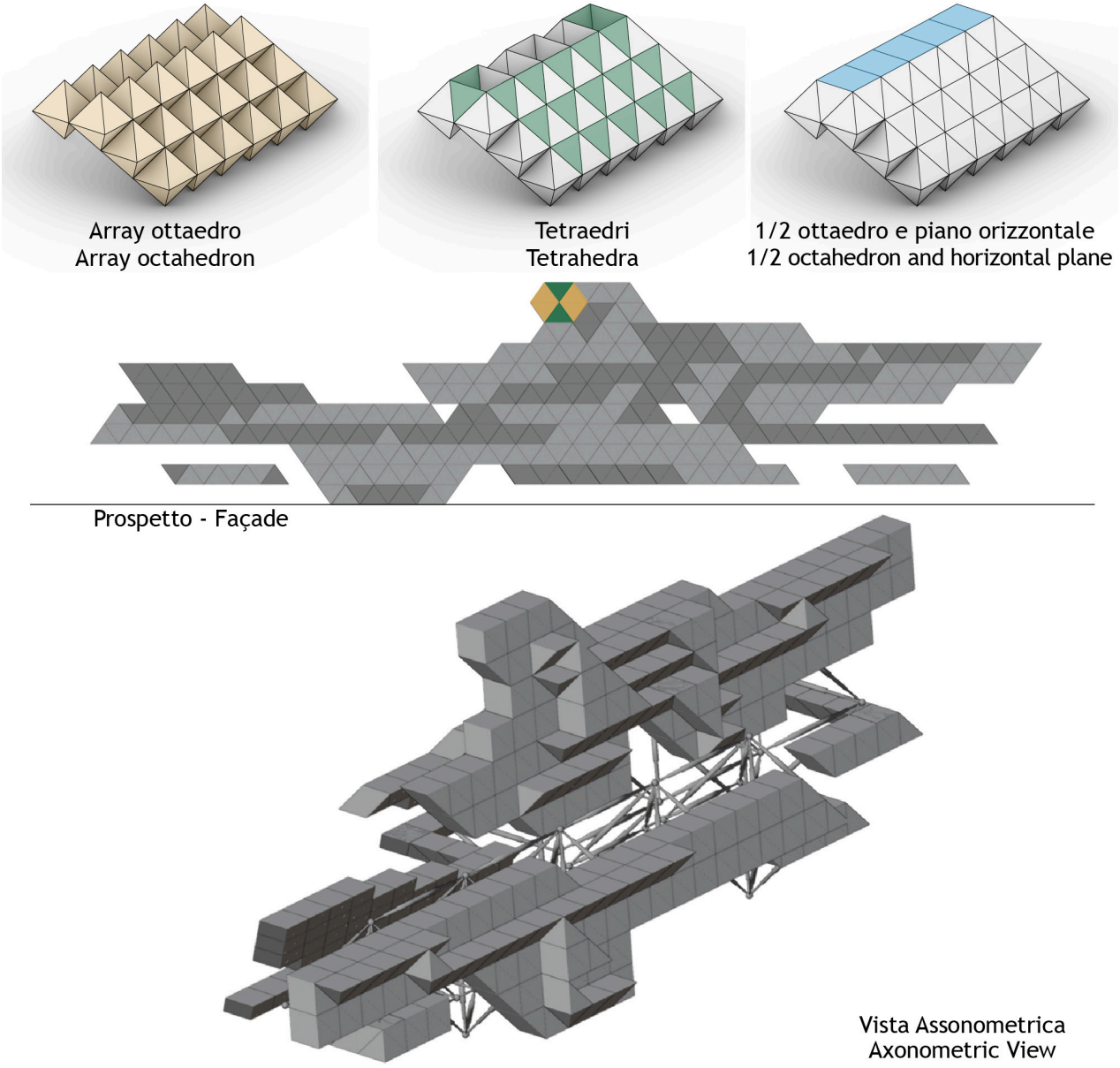
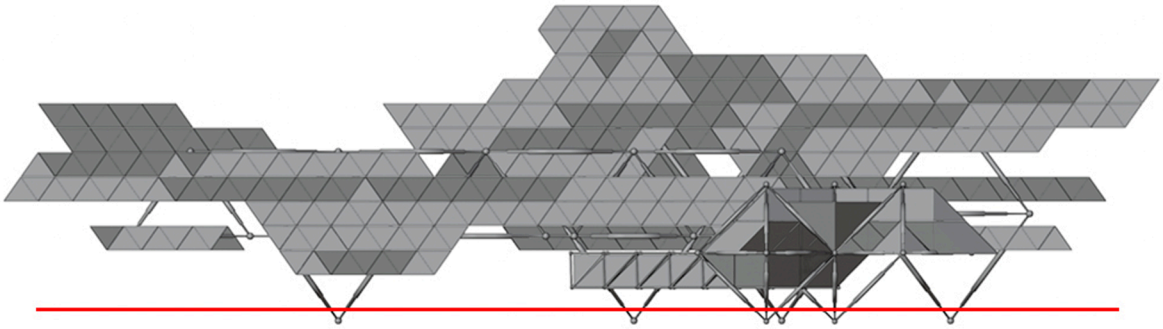
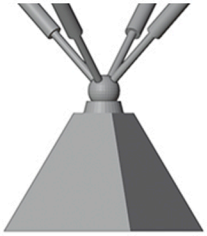


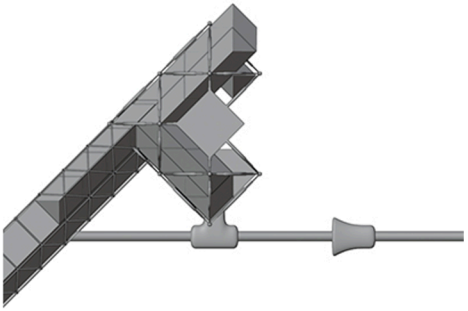
Fig. 6. Hydropolis: Logica compositiva delle unità fondamentali (elaborazione grafica degli autori).



(a) selezione dei vertici al di sotto della quota Z
Vertex selection below the Z level



(b) elemento di base
Basic element



(c) modellazione dei cavi mediante nodi di curva
Cable modeling through curve nodes

Fig. 7. Hydropolis: componenti funzionali (elaborazione grafica degli autori).

Se in *Walking Tall* la logica aggregativa resta in parte celata sotto l'aspetto tensostrutturale, essa si manifesta esplicitamente in *Hydropolis*. Qui Giorgini adotta un approccio analitico che scompone il progetto in parti per ricomporle in un sistema unitario e coerente, capace di dialogare su più scale e di affrontare le problematiche emergenti del periodo. *Hydropolis* rappresenta il primo passo di una genealogia progettuale destinata a svilupparsi ulteriormente in *Genesis* (1984) e *River Crane* (1993).
Il progetto si colloca lungo l'East River, tra la 16ª e la 24ª strada, area interessata da un concorso per 1.786 residenze, un hotel da 240 camere, ristoranti, teatri e spazi per il tempo libero [Giorgini 1995; Guerriero 2000]. L'analisi mette in luce un sistema strutturale fondato su logiche aggregative derivate dai solidi platonici: l'ottaedro scandisce lo sviluppo del corpo abitativo, mentre il tetraedro regola connessioni e movimenti interni al sistema urbano. Dal punto di vista statico, questi solidi consentono di configurare una maglia tridimensionale resistente e adattabile, capace di rispondere alle "forze esterne" senza controventature e di occupare interamente lo spazio. La loro stabilità intrinseca garantisce autonomia costruttiva e replicabilità modulare, con vantaggi anche sul piano economico. L'edificio può essere scomposto in tre macro-componenti: le travature portanti, che assolvono ai compiti strutturali; lo schema geometrico che costituisce il corpo abitativo

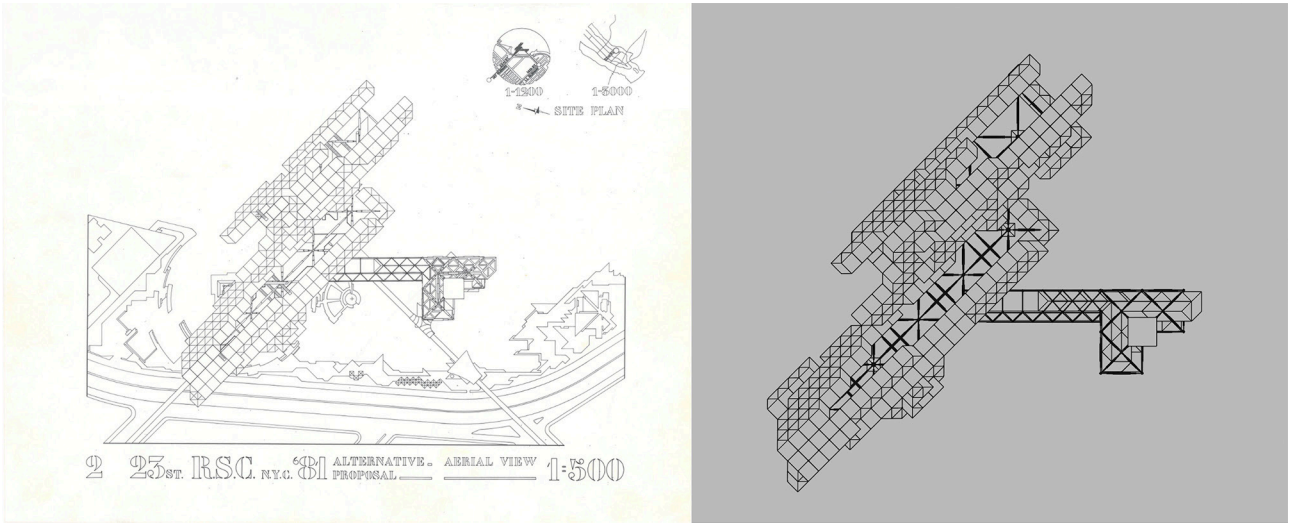


Fig. 8. Hydropolis: confronto tra i disegni originali (sinistra) (B.A.Co.-Vittorio Giorgini Archive) e il modello (elaborazione grafica degli autori).

dell'edificio; i sistemi di connessione interni e verso il contesto urbano.
La struttura principale è costituita da travature tubolari telescopiche, che proseguono la sperimentazione avviata con *Walking Tall*, organizzate secondo la maglia ottaedrica e integrate con l'unità denominata «parallelogramma Octet» [Giorgini 1995, p. 244] (fig. 2), composta da un tetraedro e due semi-ottaedri, necessari a completare la tassellazione e individuare i piani orizzontali. La distribuzione interna segue una logica sottrattiva: i moduli quadrati ricavati dalla sezione orizzontale della maglia ottaedrica vengono progressivamente modificati, generando spazi fluidi, doppi volumi e aperture rivolte verso l'esterno. I collegamenti verticali si sviluppano come sistema tubolare inserito nell'intelaiatura, assimilabile a un organismo biologico, affiancato da un elemento obliquo emergente, probabilmente con funzione impiantistica e strutturale, concepito anche come *landmark* urbano.
Hydropolis riflette l'attenzione di Giorgini al rapporto tra architettura e ambiente, proponendosi come alternativa al progetto vincitore del concorso, con l'obiettivo di restituire respiro al fiume e valorizzare il contesto naturale. L'edificio si configura come un'isola artificiale sospesa, collegata alla città da infrastrutture leggere. Questa soluzione mira a evitare l'«effetto piedistallo» [Giorgini 1995, p. 226], ovvero l'imposizione dell'architettura sul terreno, tipica della tradizione monumentale. Giorgini critica apertamente questa modalità, sostenendo la necessità di instaurare relazioni di equilibrio tra edificio, suolo e aria, in sintonia con la visione lecorbusieriana di lasciare libero il piano terra. Tuttavia, il progetto rimane in parte contraddittorio: se da un lato intende integrarsi con l'ambiente, dall'altro la sua vocazione seriale lo rende replicabile altrove, perdendo specificità contestuale. In questo senso, *Hydropolis* può essere considerato il primo esempio dell'autore di sistema aggregativo destinato a evolversi nelle già citate varianti successive, *Genesis* e *River Crane*. Questi progetti mostrano come le idee di base possano essere declinate in molteplici configurazioni, a partire da un "abaco degli elementi" modulari e geometrici che costituisce il nucleo teorico e operativo dell'opera di Giorgini. Il significato di *Hydropolis* emerge allora se interpretato come parte di una visione urbana più ampia. Nelle sue proposte per New York, Giorgini non intende rispondere solo a esigenze puntuali, ma proporre una "città del futuro", capace di liberare il suolo, abitare quote più elevate e ristabilire un legame tra persona, città e natura. In questa prospettiva, le architetture

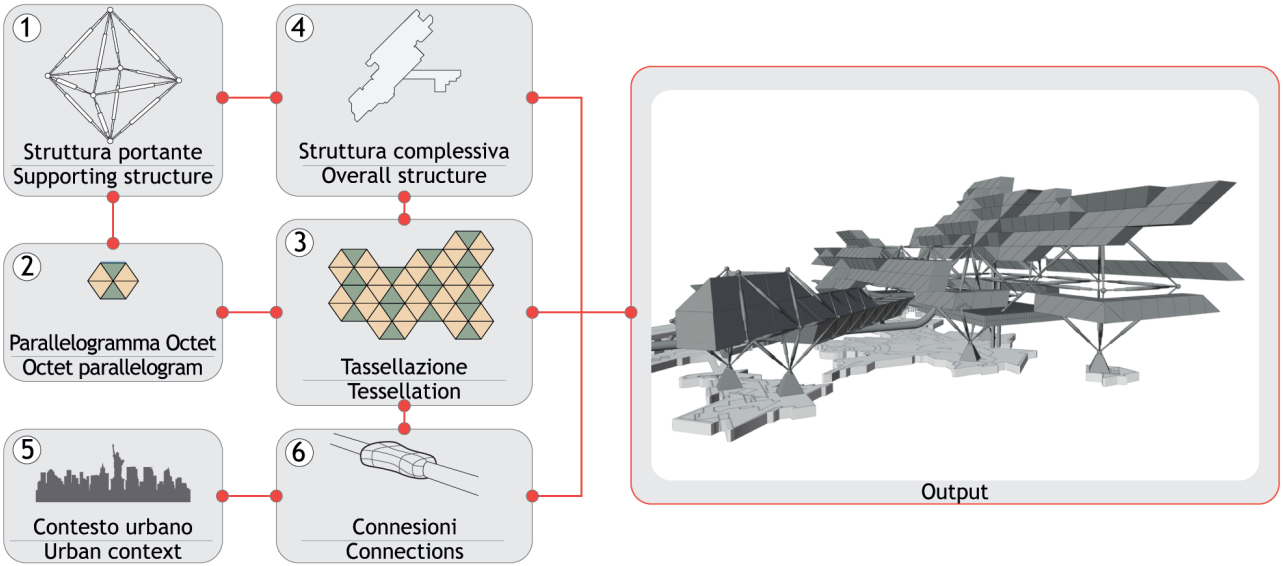


Fig. 9. Sintesi del workflow parametrico applicato al progetto Hydropolis (elaborazione grafica degli autori).

diventano parte di un tessuto complesso e sostenibile, in linea con i concetti espressi in merito all'"Urbologia" [Giorgini 1982] (fig. 3).

Logiche generative nell'architettura di Vittorio Giorgini

Il rapporto tra architettura e geometria è un tema centrale nel lavoro di Giorgini. Le sue forme architettoniche nascono da un processo combinatorio di unità geometriche fondamentali, un'astrazione che trova concretezza nella realtà fisica attraverso il controllo dinamico del processo compositivo. In questo contesto, l'uso di strumenti di modellazione procedurale basati su programmazione visuale (VPL, *Visual Programming Language*) si configura come uno strumento particolarmente adatto all'analisi del suo progetto architettonico.
Software VPL come *Grasshopper* o *Blender Geometry Nodes* permettono di superare la semplice ricostruzione digitale, per codificare interi sistemi generativi complessi. Questi sistemi possono essere modificati dinamicamente agendo su specifici parametri. L'approccio consente di identificare e parametrizzare le unità geometriche fondamentali di un progetto, gestendo in modo flessibile le logiche compositive in relazione al contesto.
Lo studio dei progetti *Hydropolis* e *Walking Tall* ha seguito una metodologia articolata in due fasi: 1) analisi dei disegni e dei manoscritti di Giorgini per identificare le unità geometriche, le modalità di aggregazione (sovrapposizione, connessione) e logica progettuale complessiva; 2) modellazione digitale VPL tramite *Geometry Nodes* di *Blender* per tradurre la logica decodificata in un flusso di lavoro basato su nodi (fig. 4).
Rispetto ad altri *software* [5], *Blender*, *open-source* e multipiattaforma, promuove la condivisione e la riproducibilità dei risultati, aderendo ai principi dell'*Open Science*. Il metodo applicato permette, oltre alla visualizzazione delle unità fondamentali, l'analisi della loro flessibilità compositiva e la verifica della loro trasposizione digitale nelle architetture di Giorgini. I progetti *Hydropolis* e *Walking Tall* sono accomunati da una natura sistematica e procedurale, pur differenziandosi nelle unità e nelle

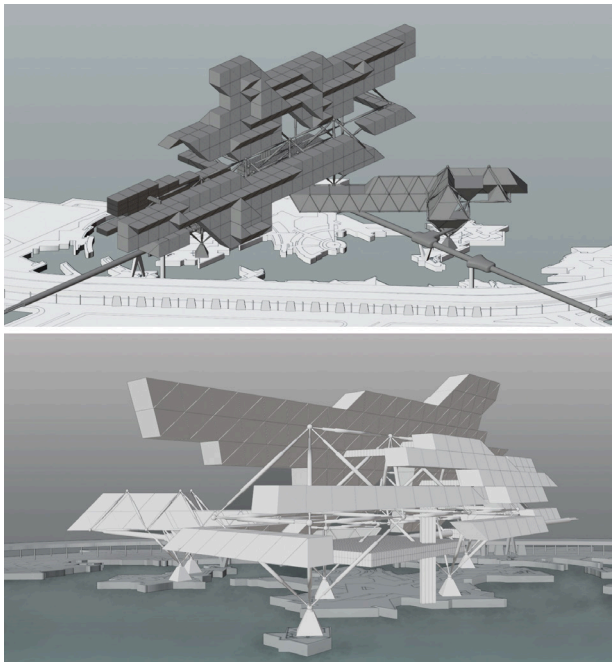


Fig. 10. Hydropolis: viste prospettiche del modello parametrico (elaborazione grafica degli autori).

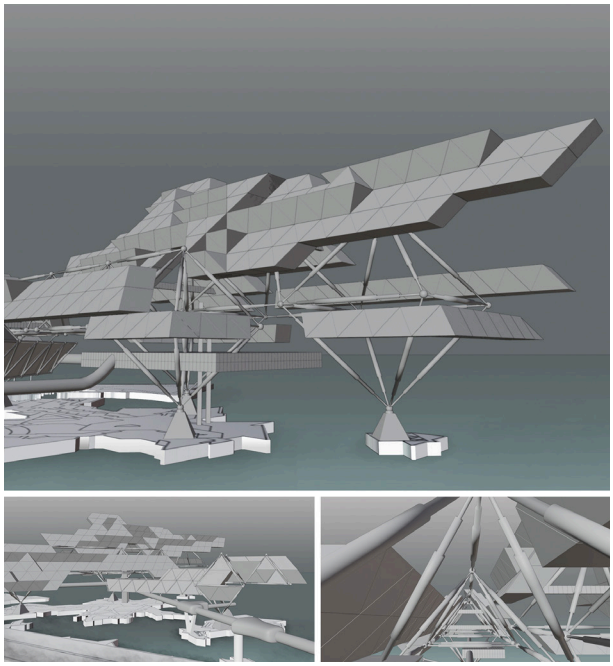


Fig. 11. Hydropolis: viste prospettiche del modello parametrico (elaborazione grafica degli autori).

logiche compositive. Questa coerenza di fondo e le loro differenze hanno permesso di testare e validare l'efficacia dell'approccio metodologico. Il processo di modellazione di *Hydropolis* si è articolato in quattro passaggi principali, che corrispondono alla costruzione e alla validazione del modello parametrico.

1. Travature portanti: la modellazione parte da un ottaedro generatore. I suoi spigoli sono convertiti in cilindri con raggio variabile, che formano il telaio strutturale. L'uso di nodi come *instance on points* e *array* ha permesso di posizionare elementi di connessione (sfere) e di duplicare la struttura, creando sequenze lineari di unità fondamentali (fig. 5).
2. Generazione della forma architettonica: la composizione si basa sulla struttura geometrica del parallelogramma "Octet". Utilizzando nodi *array*, gli ottaedri e i tetraedri sono stati disposti spazialmente per ottenere una tassellazione spaziale e definire i differenti livelli. La regolazione dinamica degli *array* consente di generare diverse configurazioni volumetriche, fedeli ai disegni originali di Giorgini (fig. 6).
3. Attacco a terra e cavi di connessione: le parti mancanti dell'architettura, come la connessione tra le travature portanti e i plinti di fondazione, sono state modellate con *modifier solidify* applicati su curve parametriche e integrate con gli strumenti nodali per garantire la completezza del modello (fig. 7).
4. Validazione del modello: il modello digitale è stato confrontato con gli elaborati d'archivio. La rispondenza in termini di geometria, proporzioni e organizzazione spaziale ha confermato la validità del metodo parametrico, dimostrando la flessibilità con cui le unità compositive possono essere adattate per creare nuove forme (fig. 8).

La complessità del grafo nodale è stata gestita con tecniche come *Node Groups, Frames* e *Color Coding*, facilitando lo sviluppo e la manutenzione del modello (fig. 9).

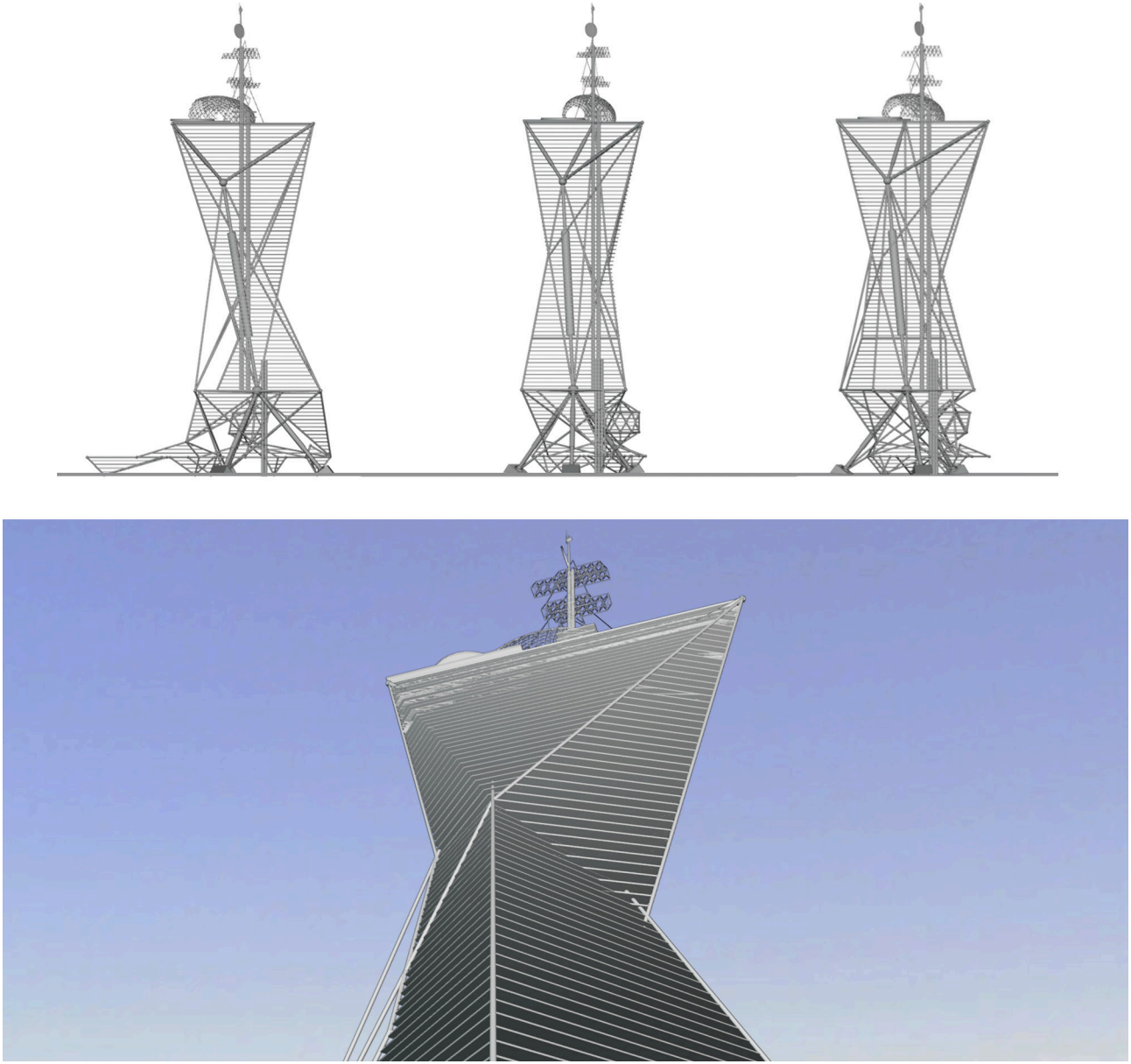


Fig. 12. Modellazione virtuale del progetto Walking Tall: viste di prospetto e scorcio prospettico della sommità (elaborazione grafica degli autori).

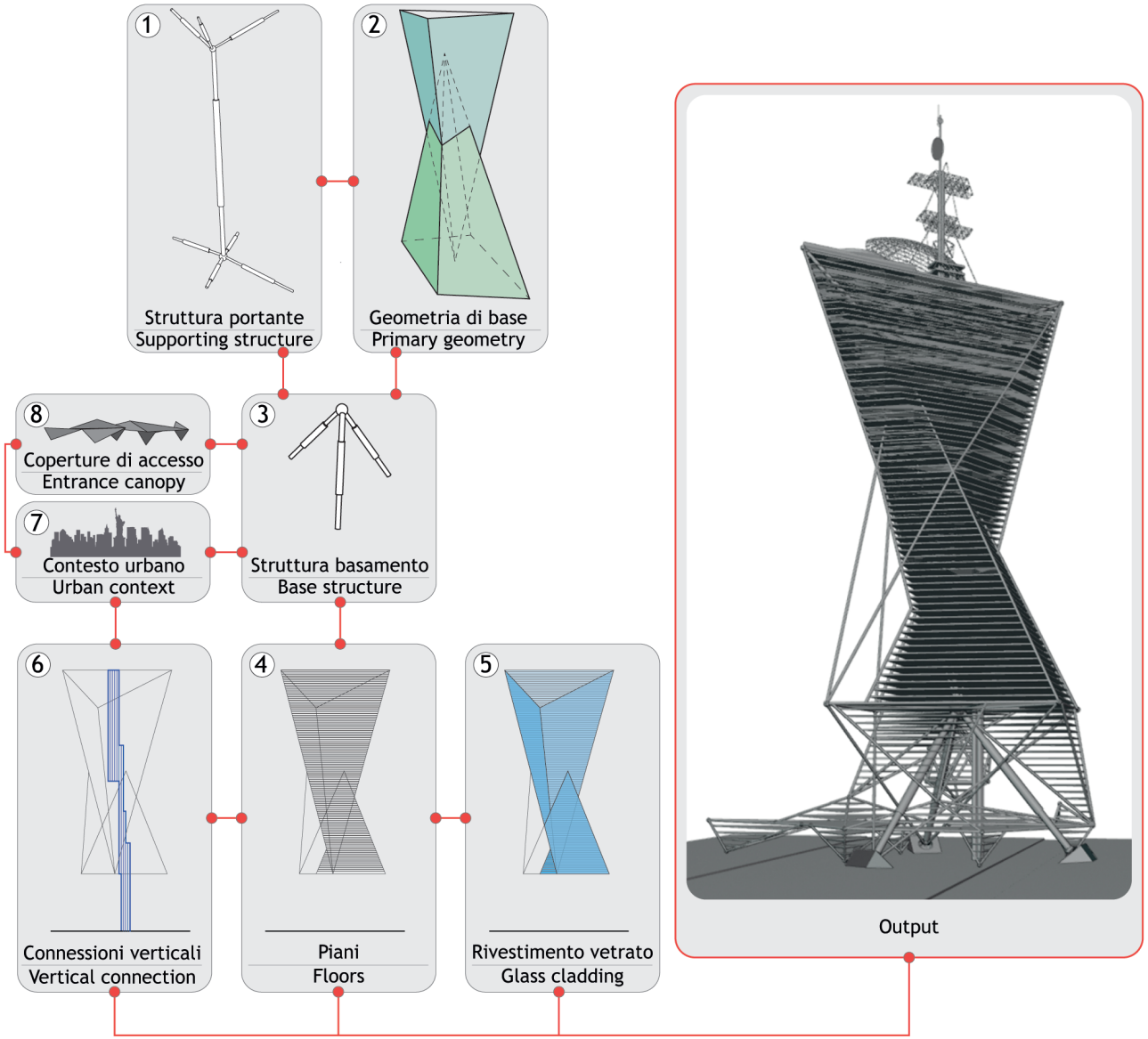


Fig. 13. Sintesi del workflow parametrico applicato al progetto Walking Tall (elaborazione grafica degli autori).

Questo sistema generativo può essere esteso a progetti successivi di Giorgini, come *Genesis* e *River Crane*, che condividono la stessa logica compositiva (figg. 10, 11).
A differenza di *Hydropolis*, *Walking Tall* si basa sulla combinazione di piramidi a base quadrangolare e triangolari rovesciate per l'ossatura portante. Anche in questo caso, la logica di Giorgini si fonda su reticoli geometrici e nodi di intersezione. I piani di calpestio sono stati modellati come un *array* di parallelepipedi, e volumi fondamentali sono stati usati per definire i limiti dell'edificio con operazioni booleane. La modellazione VPL di *Walking Tall* ha richiesto la creazione di un grafo nodale autonomo, a dimostrazione della capacità del metodo di adattarsi a grammatiche geometriche diverse, rispettando la capacità di Giorgini di esplorare differenti logiche compositive (figg. 12, 13).
La modellazione VPL dei casi studio ha validato la coerenza della grammatica geometrica di Giorgini e la sua efficace traducibilità in modelli parametrici operativi. Questi modelli diventano quindi strumenti dinamici che permettono di interpretare, visualizzare e manipolare le logiche progettuali dell'architetto, aprendo la strada a futuri studi su ulteriori casi.

Conclusioni

L'analisi delle architetture americane di Giorgini consente di restituire alla storiografia del secondo Novecento un indiscusso protagonista capace di proporre visioni innovative. I progetti *Walking Tall* e *Hydropolis* rivelano infatti una tensione costante verso un linguaggio architettonico in cui la geometria assume il ruolo di principio ordinatore e generativo, anticipando modalità di pensiero che solo con l'avvento del digitale avrebbero trovato piena legittimazione. Il suo approccio teorico, tradotto in termini progettuali, evidenzia la volontà di superare i limiti del singolo edificio per misurarsi con sistemi urbani complessi, aperti, modulari e replicabili. In questa prospettiva, la ricerca di Giorgini assume un valore non soltanto sperimentale, ma anche etico e politico: proporre modelli alternativi di città, capaci di conciliare crescita urbana, sostenibilità e nuove forme di relazione tra persona e ambiente. La traduzione digitale tramite strumenti VPL ha consentito non solo di ricostruire i progetti rimasti su carta, ma soprattutto di verificarne l'applicabilità, trasformando la ricostruzione in un vero e proprio banco di prova. Il passaggio dalla "forma" al "parametro" permette oggi di cogliere la logica generativa sottesa all'opera di Giorgini, confermandone l'attualità e la capacità di dialogare con i paradigmi della progettazione contemporanea. Giorgini stesso, fin dagli anni Ottanta, intuisce le enormi possibilità creative offerte dal linguaggio digitale, è in contatto con il Massachusetts Institute of Technology, e al Pratt institute inizia a sperimentare i primi *software* CAD [Ulivieri 2025]. Rispetto agli strumenti a disposizione di Giorgini, oggi è possibile digitalizzare non solo i modelli architettonici, ma anche le logiche generative della forma architettonica. Un'analisi approfondita della genealogia progettuale di Giorgini, condotta anche con strumenti digitali, potrebbe chiarirne ulteriormente la reale fattibilità. Tale riflessione è centrale per distinguere l'opera dell'architetto dagli scenari puramente utopici della sua epoca: Giorgini considerava infatti le sue strutture realizzabili, concepite per una produzione seriale e meccanizzata, e dunque sostenibili sia sul piano economico che su quello costruttivo. Permangono tuttavia alcuni limiti legati alla frammentarietà delle fonti e alla complessità dei modelli digitali, che richiedono inevitabilmente un rilevante ruolo attivo e interpretativo; questa condizione può essere letta come un invito a considerare lo studio su Giorgini come un processo aperto, capace di generare nuove ipotesi e varianti, proprio come le architetture che egli concepiva. Il contributo qui presentato mette in luce la necessità di riscoprire e valorizzare una figura che, attraverso una visione multidisciplinare e anticipatrice, ha posto le basi di un'architettura parametrica *ante litteram*.
I suoi progetti americani non rappresentano soltanto un capitolo poco esplorato della storia dell'architettura, ma offrono strumenti critici e metodologici utili per affrontare le sfide contemporanee della progettazione, suggerendo scenari futuri in cui geometria, tecnologia e visione utopica possano ancora costituire un motore di innovazione.

Crediti

Un ringraziamento sentito per l'architetto Marco Del Francia, per il suo sostegno, dialogo e per aver messo a disposizione l'Archivio Vittorio Giorgini. Nonostante il testo sia stato concepito congiuntamente tra gli autori, i paragrafi *Introduzione* e *Conclusioni* sono stati scritti da Marco Giorgio Bevilacqua; *Giorgini: un architetto fiorentino a New York* da Denise Ulivieri; *Logiche generative nell'architettura di Vittorio Giorgini* da Piergiuseppe Rechichi, Zhangliang Shuai, mentre i paragrafi *Strutture visionarie: spazio, geometria, architettura* e *I progetti americani: geometria e struttura come principio* da Alessandro Meloni.

Note

[1] Vedi: Castellano 1987a-b; Castellano 1987b; Del Francia 2000, Ulivieri *et al.* 2020; Ulivieri *et al.* 2022a; Ulivieri *et al.* 2022b; Ulivieri 2025.

[2] B. A. Co. - Vittorio Giorgini Archive - Follonica (GR), Italy; Centre Pompidou; FRAC Centre-Val De Loire.

[3] Vedi: Del Francia 2000; Del Francia 2006; Del Francia 2011; Ulivieri *et al.* 2020; Ulivieri *et al.* 2022a; Ulivieri *et al.* 2022b; Del Francia, Ulivieri 2024.

[4] Per un'analisi della permanenza a New York (1969-1996) e delle relazioni statunitensi: Ulivieri 2025.

[5] Oltre al *softwar*e utilizzato, si citano a titolo di esempio: *Grasshopper* e *Dynamo*.

Autori

Alessandro Meloni, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa, alessandro.meloni@unipi.it
Denise Ulivieri, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa, denise.ulivieri@unipi.it
Marco Giorgio Bevilacqua, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa, marco.giorgio.bevilacqua@unipi.it
Piergiuseppe Rechichi, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa, piergiuseppe.rechichi@phd.unipi.it
Zhangliang Shuai, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa, z.shuai@studenti.unipi.it

Riferimenti bibliografici

Banham, R. (1976). *Megastructure. Urban futures of the recent past*. Londra: Icon Editions.

Castellano, A. (1987a). Il Walking Tall per New York. In *L'Arca*, n. 4, pp. 77-81.

Castellano, A. (1987b). La città sull'acqua: Hydropolis e Genesis. In *L'Arca*, n. 5, pp. 76-81.

Del Francia, M. (a cura di). (2000). *Vittorio Giorgini. La natura come modello.* Firenze: Angelo Pontecorboli.

Del Francia, M. (2006). *Vittorio Giorgini architetto. Morfologia, Topologia, Spaziologia*. Volterra: Generazioni in Arte.

Del Francia, M. (2011). Osservazione della natura e pensiero scientifico. In *HiArt*, nn. 6-7, pp. 104-109.

Del Francia, M., Ulivieri, D. (a cura di). (2024). *Casa Esagono di Vittorio Giorgini*. Firenze: Edifir.

Edmondson, A. (1986). *A Fuller Explanation*. Basel: Birksauser.

Fadigati, N. G. B. (2023). *Giorgini and the Origins of Made in Italy*. Firenze: Gruppo Editoriale.

Giedion, S. (1941). *Space, Time and Architecture: The Growth of a New Tradition.* Cambridge: Harvard University Press.

Giorgini, V. (1982). *Urbology. Six Urban Projects*. São Paulo: Brasilgrāfica S.A. Ind. Com.

Giorgini, V. (1995). *Spatiology. The morphology of the natural sciences in architecture and design / "Spaziologia". La morfologia delle scienze naturali nella progettazione.* Milano: L'Arca Edizioni.

Giorgini, V. (2006). *Storia di uno stronzo*. B.A.Co. Vittorio Giorgini Archive.

Guerriero, A. (2000). Nuove prospettive architettoniche e urbanistiche:i progetti 'urbologici'. In M. Del Francia (a cura di). *Vittorio Giorgini. La natura come modello*, pp. 53-110. Firenze: Angelo Pontecorboli

Koolhaas, R. (1978). *Delirious New York. Retroactive Manifesto for Manhattan*. New York: Oxford University Press.

Moretti, L. (1952). Struttura come forma. In *Spazio,* n. 6, p. 110.

Pennacchio, A., Ricci, G. (2016). *Dante Bini. Machatronics.* Milano: Postmedia Books.

Sky, A., Stone, M. (1976). *Unbuilt America*. New York: Abbeville Press.

Ulivieri, D., Landi, S., Pardidni, C., Bevilacqua M. G., Martino, M., Del Francia, M. (2022a). Analysis and definition of restoration strategies with H-BIM applications. The case study of Vittorio Giorgini's "Casa Esagono" in Baratti, Italy. In *Architecture, Civil Engineering, Enviroment,* n. 4, pp. 73-80.

Ulivieri, D. (2025). Vittorio Giorgini in New York: The Cultural Climate Influences and the "Made in USA" Projects Never Built. In *Heritage,* n. 8(3), pp. 111-1-111-30.

Ulivieri, D., Giorgetti, L., Tognetti, B. (2020). Vittorio Giorgini Spatiology–Morphology Architect. In *Nexus Network Journal,* n. 22, pp. 191-210.

Ulivieri, D., Bevilacqua, M.G., Iardella, F. (2022b). Vittorio Giorgini's Architectural Experimentations at the Dawn of Parametric Modelling. In V. Viana, H. Mena Matos, J.P. Xavier (Eds.). *Polyhedra and Beyond. Trends in Mathematics,* pp. 103-117. Cham: Birkhäuser.

Zevi, B. (1965). Urbatetture e il superamento del razionalismo. In *L'architettura. Cronache e storia*, n. 114, pp. 24-27.

RUBRICHE

Letture/Riletture

Letture/Riletture

La rappresentazione delle forme costruttive

Federico Fallavollita

Introduzione

Il volume *La représentation des structures constructives* di Adrian Gheorghiu e Virgil Dragomir [Gheorghiu, Dragomir 1968], architetto il primo, ingegnere il secondo, fu pubblicato in Francia nel 1968 come traduzione della precedente edizione in lingua rumena [1] (fig. 1). È un libro che considero un compagno di lavoro e, in un certo senso, un punto fermo nella mia formazione: da quasi vent'anni mi accompagna nei percorsi di ricerca, fin da quando, durante il mio dottorato di ricerca preso Sapienza Università di Roma, l'ho studiato come testo imprescindibile per lo studio geometrico delle superfici rigate. Con il passare degli anni ho compreso quanto quest'opera non sia soltanto un manuale tecnico, ma un vero trattato sul rapporto profondo tra forma, struttura e rappresentazione, capace di parlare ancora oggi a chiunque lavori sulla logica dello spazio, sia esso architetto, ingegnere o studioso della rappresentazione.

L'opera è articolata in tre sezioni principali. La prima parte, *Il disegno prospettico, la statica e l'estetica delle costruzioni* [2], è una lunga introduzione concettuale e tecnica dedicata al ruolo del disegno, e in particolare della rappresentazione assonometrica, come strumento di pensiero e come metodo di analisi delle forme architettoniche. La seconda parte, *Dalle superfici geometriche alle vele sottili*, è una trattazione estesa sulle superfici curve, interpretate non solo come oggetti geometrici, ma anche come veri dispositivi costruttivi: ogni tipo di superficie è messo in relazione con esempi storici e contemporanei, cosa che crea una sorta di atlante visivo delle strutture curve. La terza parte, *Dai poliedri alle strutture costruttive reticolari*, si concentra infine sulle geometrie poliedriche e sulle strutture spaziali reticolari, mostrando come la comprensione profonda dei poliedri sia tutt'oggi indispensabile per sistemi tridimensionali complessi, dalle cupole geodetiche alle grandi coperture leggere. Inoltre, in questa sezione del volume è presente un capitolo intitolato *Surfaces Polyédrées*, il quale prefigura gli sviluppi della geometria delle *mesh* e, in certa misura, anche quelli della geometria delle superfici piegate riconducibili alla matematica degli origami [Pottmann et al. 2007]. Quest'ultima ha conosciuto negli ultimi anni un notevole avanzamento, favorito in parte dalla rivoluzione digitale.

Fin dalle prime pagine, gli autori chiariscono l'obiettivo dell'opera: presentare in modo sistematico i principi geometrici delle strutture architettoniche più recenti dell'epoca (ovvero gli anni '60),

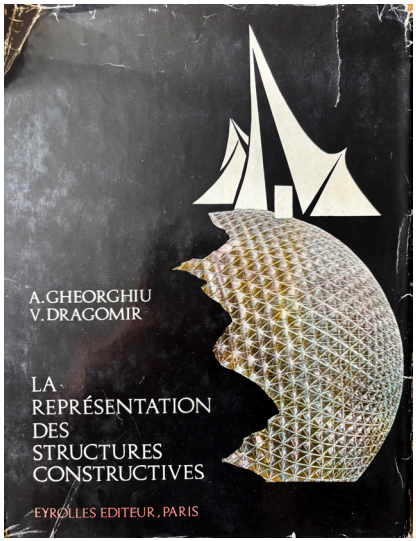


Fig. 1. Copertina della prima edizione francese del volume [Gheorghiu, Dragomir 1968].

https://doi.org/10.26375/disegno.17.2025.26

diségno ISSN 2533-2899
BY-NC-ND

e mostrare come il disegno assonometrico costituisca il linguaggio più adatto per comprenderle, controllarle e rappresentarle. Tale intento non è affatto secondario: esso riflette una precisa posizione epistemologica, per cui la geometria non è un linguaggio sovrapposto all'architettura, ma un sistema cognitivo che precede e informa la progettazione stessa.

La distanza tra manualistica tecnica e processo progettuale

Una delle critiche più attuali formulate dagli autori riguarda la frammentazione della manualistica tecnica. La maggior parte dei testi specialistici, osservano Gheorghiu e Dragomir, presenta solo l'esito finale del progetto: fotografie, prospetti semplificati, schemi costruttivi parziali. In questa modalità manca la continuità del processo logico: la selezione dei dati, le scelte geometriche, la genesi della forma. In altre parole, manca il "pensiero" che si colloca tra il problema e la soluzione. Per questo motivo il libro non vuole presentare solo risultati geometrici, ma i metodi che portano alla forma, ricostruendo il percorso che collega percezione, rappresentazione, verifica e costruzione.

A questa lacuna, individuata dagli autori nella maggior parte della manualistica tecnica, se ne aggiunge una seconda, di natura concettuale: la geometria delle rappresentazioni non ha seguito l'evoluzione della statica strutturale. Mentre i metodi di calcolo diventavano sempre più sofisticati, la componente geometrica rimaneva spesso legata a forme tradizionali, incapaci di accompagnare l'immaginazione tecnica verso nuove soluzioni spaziali. Il risultato è stato uno scarto crescente tra ciò che è possibile calcolare e ciò che è possibile immaginare e rappresentare. La geometria, invece, dovrebbe fungere da ponte: un linguaggio comune che permette ad architetti e ingegneri di condividere visioni e metodi.

Il ruolo della prospettiva parallela o assonometria

La prima parte del libro propone una revisione approfondita delle tecniche del disegno prospettico parallelo, inteso non come semplice metodo di rappresentazione, ma come vero e proprio strumento di ricerca della forma. Per Gheorghiu e Dragomir la prospettiva parallela, a differenza delle doppie proiezioni ortogonali, permette una relazione più stretta tra immagine e spazio: preserva parallelismi, rapporti proporzionali e linearità, consentendo, allo stesso tempo, una lettura immediata e, soprattutto, manipolabile del volume.

È per questo che l'assonometria diventa il linguaggio centrale del volume. Il teorema di Pohlke-Schwarz, che garantisce la possibilità di rappresentare ogni sistema tridimensionale attraverso un'unica immagine bidimensionale, è la base teorica per costruire una geometria delle strutture che sia rigorosa e al tempo stesso intuitiva. L'assonometria, inoltre, permette di eseguire misurazioni dirette sul disegno, di comporre e scomporre forme, di controllare la coerenza di una struttura. In questo senso il disegno assonometrico diventa non solo un mezzo di rappresentazione, ma una "macchina di pensiero".

Struttura, forma e immagine

Il tema dell'interdipendenza tra forma e struttura è affrontato attraverso la rilettura critica della tradizione della stereotomia. Mentre nel passato la forma delle volte in conci era il risultato di un equilibrio complesso tra geometria e tecnica, oggi l'avvento di nuovi materiali quali acciaio, cemento armato, di membrane ed elementi prefabbricati ha scardinato quella stessa logica. Eppure, sostengono gli autori, il principio fondamentale non è cambiato: la struttura deve essere pensata come sistema coerente di linee, superfici e volumi, e l'immagine spaziale che ne emerge deve rappresentare la sintesi di funzione, tecnica e forma.

L'immagine non è un ornamento, né un semplice effetto visivo: è la manifestazione di un ordine costruttivo. Un edificio "si esprime" attraverso la sua immagine, che trasmette la logica interna della struttura a chi lo osserva. Per questo motivo è essenziale che la geometria sia pienamente consapevole delle esigenze statiche: una forma priva di logica costruttiva produce un'immagine fuorviante, mentre una forma generata da una struttura coerente produce un'immagine chiara, storicamente e culturalmente significativa.

Gli autori insistono sul ruolo dell'intuizione nella genesi di ogni progetto. Riprendono un celebre pensiero di Pier Luigi Nervi, secondo il quale gli antichi costruttori riuscivano a concepire opere straordinarie senza disporre degli strumenti di calcolo contemporanei perché possedevano una profonda intuizione della forma e delle forze. Per Nervi, e per gli autori del libro, il calcolo non può sostituire questa intuizione, che è invece un risultato diretto della conoscenza geometrica e dell'esperienza costruttiva.

L'immagine preliminare della struttura, quella che emerge prima dei calcoli, è per Gheorghiu e Dragomir il cuore del processo progettuale. Tale immagine deve essere al tempo stesso suggestiva e rigorosa, capace di evolvere attraverso due serie di approssimazioni: una legata alla statica, l'altra legata alla rappresentazione. Nessuna delle due può procedere isolatamente: la forma non può essere definita senza

considerare le forze, così come la statica non può essere compresa se non attraverso una forma che la rappresenti correttamente.

"Geometria descrittiva" e assonometria a confronto

Ampio spazio è dedicato, nel volume, all'analisi del rapporto tra immagine, proiezione e disegno. L'immagine tridimensionale costituisce una sintesi complessa di percezioni visive, tattili e motorie; il disegno tecnico, tuttavia, deve necessariamente ridurre tale complessità a una costruzione regolata da principi geometrici. Le proiezioni, coniche o cilindriche, definiscono relazioni fondamentali tra i piani, quali congruenza, omotetia, affinità e prospettività. Queste relazioni non rappresentano semplici astrazioni teoriche, ma veri e propri strumenti operativi attraverso i quali lo spazio può essere trasformato, analizzato e rappresentato.

Gli autori non negano l'importanza delle doppie proiezioni ortogonali per lo studio delle forme, ma sottolineano come l'intuizione percettiva si avvalga di un'immagine spaziale immediata, efficacemente resa dal metodo dell'assonometria. Entrambi i metodi condividono un aspetto essenziale: producono una rappresentazione reciproca che consente di ricostruire lo spazio a partire dall'immagine e, al tempo stesso, di intervenire sull'immagine come se si stesse operando direttamente sullo spazio tridimensionale.

Il confronto tra la Geometria descrittiva (per gli autori sinonimo di doppie proiezioni ortogonali) e l'assonometria è sviluppato con grande chiarezza. La doppia proiezione mongiana richiede notazioni complesse e non consente una lettura immediata del volume. L'assonometria, al contrario, fornisce una sola immagine sintetica, capace di preservare parallelismi e proporzioni, e permette di lavorare su tre scale diverse per i tre assi. Per questo motivo gli autori considerano la prospettiva parallela uno strumento più vicino alla logica del progetto e più utile per descrivere strutture complesse come quelle reticolari o superficiali (fig. 2).

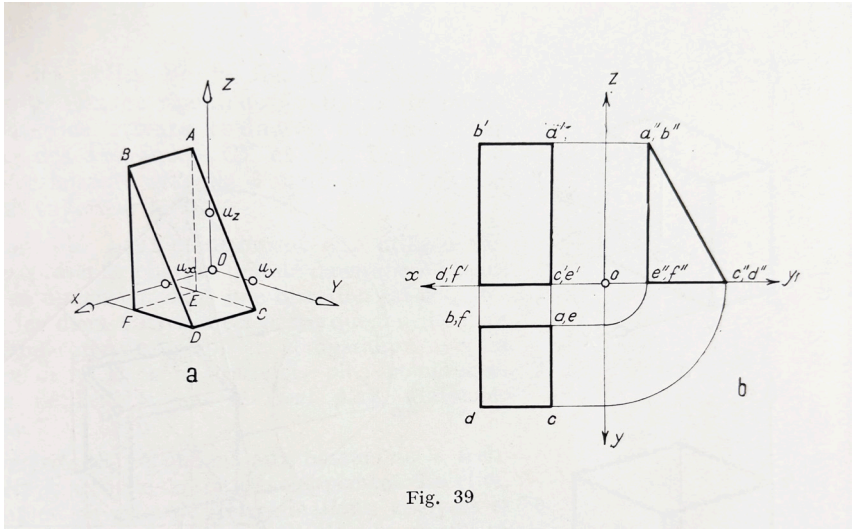


Fig. 2. Confronto fra il disegno in "Geometria descrittiva" e l'assonometria obliqua [Gheorghiu, Dragomir 1968, fig. 39, p. 41].

Particolarmente interessante è la riflessione sulla scelta degli assi e delle unità dell'immagine: gli autori mostrano come una scelta avventata possa deformare l'immagine fino a renderla inutilizzabile, mentre una scelta accurata, spesso guidata dalla costruzione del "cubo guida", produce un'immagine equilibrata e leggibile. Questa attenzione al dettaglio grafico rivela come la geometria delle rappresentazioni non sia una disciplina puramente tecnica, ma una vera arte della percezione.

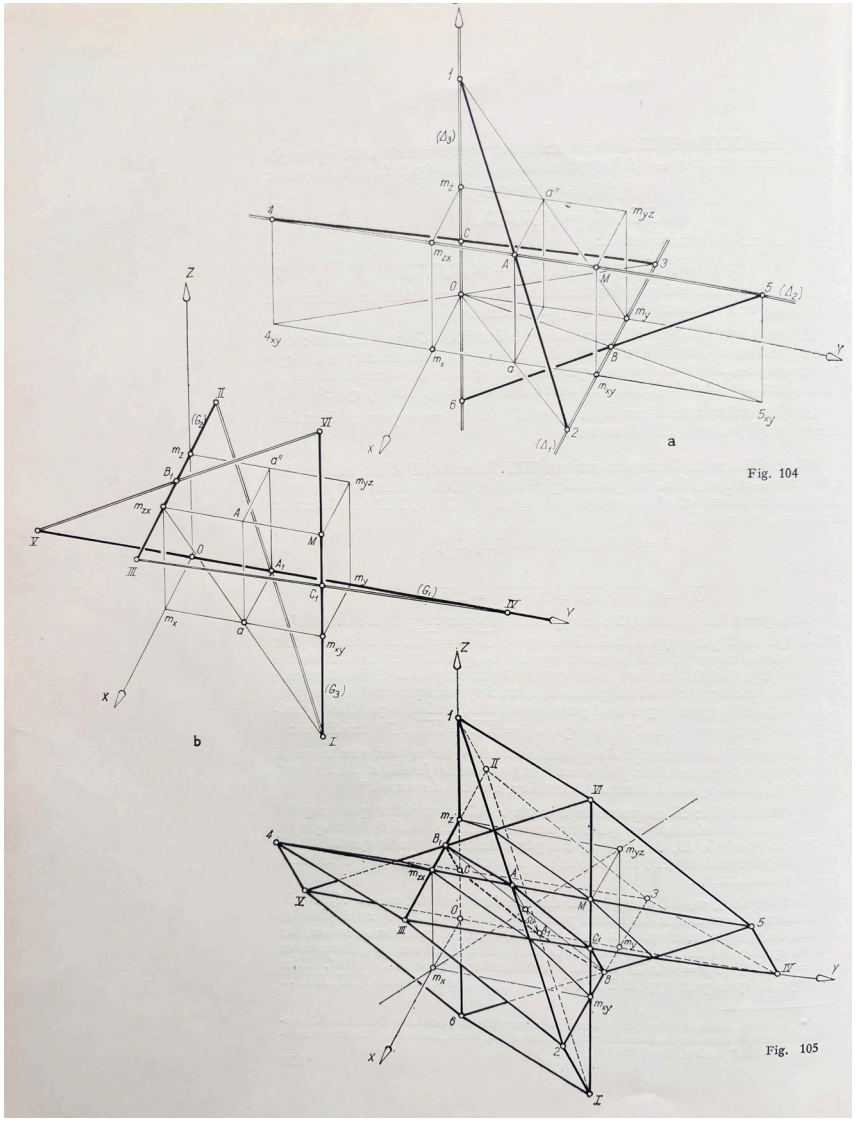
Un'ulteriore osservazione sull'assonometria, particolarmente significativa, merita di essere riportata testualmente: «L'immagine spaziale non è conforme alla vista umana (a distanza finita), come nella prospettiva conica, ma è sufficientemente buona, soprattutto per oggetti di piccole dimensioni, oppure per oggetti molto grandi ma osservati da grande distanza (nel loro insieme)» (p. 42). Il confronto implicito con la prospettiva e con la percezione visiva apre un ampio campo di possibili riflessioni; è tuttavia sufficiente notare come gli autori mostrino piena consapevolezza dell'esistenza di due modalità fondamentali per rappresentare il mondo: come esso è e come esso appare [Arnheim 2009]. L'assonometria si configura, nella loro interpretazione, come una soluzione intermedia, capace di descrivere la struttura oggettiva delle forme senza discostarsi eccessivamente dalla loro apparenza percettiva.

Un esempio personale: il parallelepipedo costruttore

Tra le molte intuizioni e indicazioni contenute nel libro, una ha avuto per me un ruolo decisivo: la costruzione di quello che chiamo il "parallelepipedo costruttore" [3], descritto nel paragrafo *Problèmes de fermeture sur un HR* (fig. 3). Durante il mio corso di Dottorato, studiavo il problema della generazione esatta di un iperboloide rigato definito da tre rette sghembe [Fallavollita 2008] [4]. Le tecniche basate sull'interpolazione delle generatrici erano insufficienti per costruire la superficie in modo completo e accurato: producevano superfici approssimate, non rigorosamente quadriche [5]. Avevo compreso, anche grazie alla lettura della *Geometria intuitiva* di David Hilbert [Hilbert, Cohn-Vossen 1960], che un iperboloide ellittico può essere ottenuto deformando un iperboloide di rivoluzione attraverso una trasformazione affine. Ma per applicare questa idea era necessario individuare con precisione il centro dell'iperboloide generico.

La costruzione riportata da Gheorghiu e Dragomir fornisce esattamente questo: un metodo geometrico rigoroso, basato sulla costruzione di un parallelepipedo associato alle rette direttrici, che permette di individuare il centro della superficie e quindi di generare l'iperboloide in modo esatto. Si tratta di un passaggio concettualmente semplice ma estremamente efficace, che ha influito in maniera determinante sul modo di interpretare la genesi geometrica dell'iperboloide ellittico come superficie quadrica rigata che si appoggia su tre rette date (fig. 4). La procedura costruttiva è estremamente semplice: consiste nel determinare i piani paralleli che passano per ciascuna

Fig. 3. La costruzione del "parallelepipedo costruttore" [Gheorghiu, Dragomir 1968, fig. 105, p. 102].



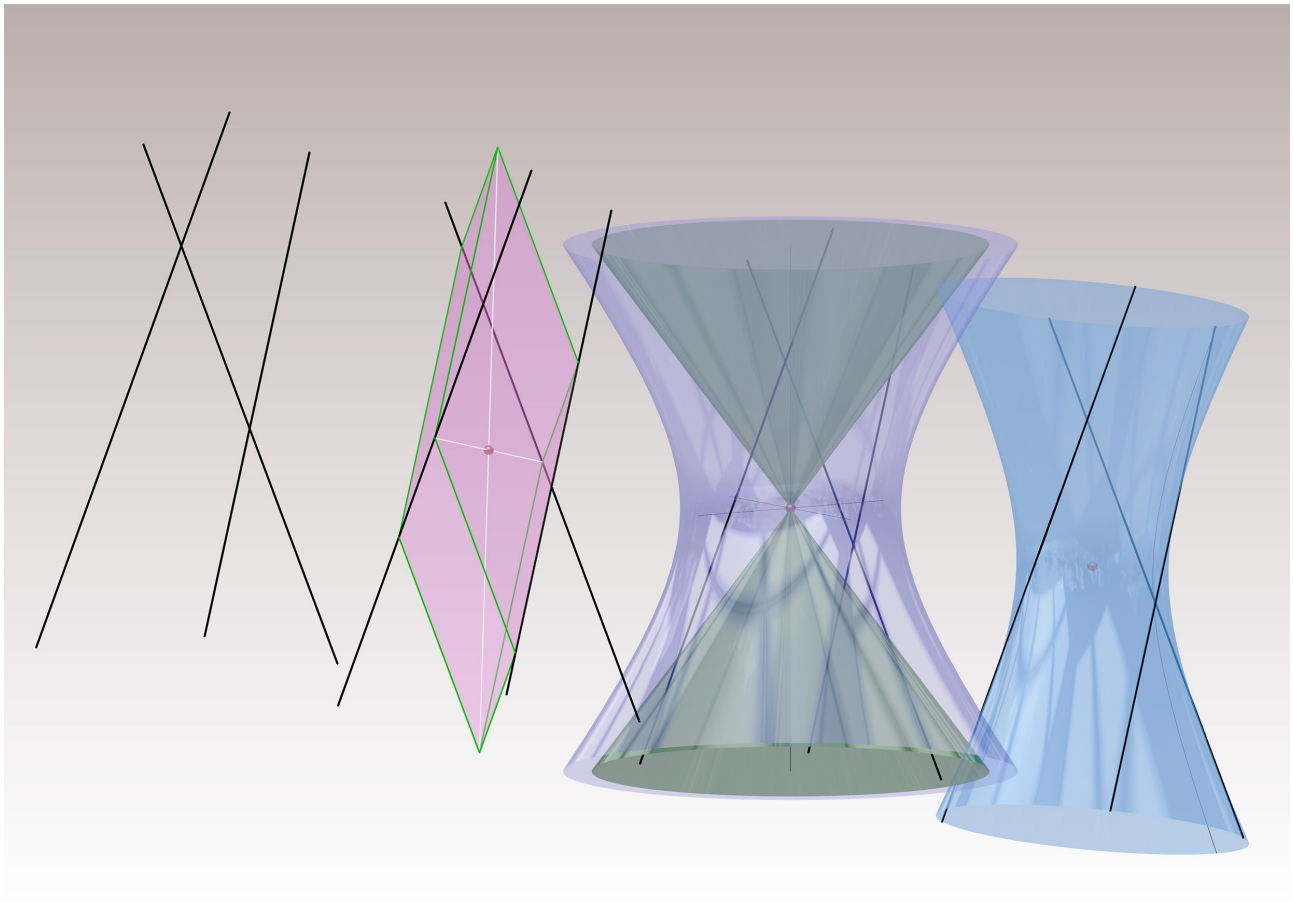


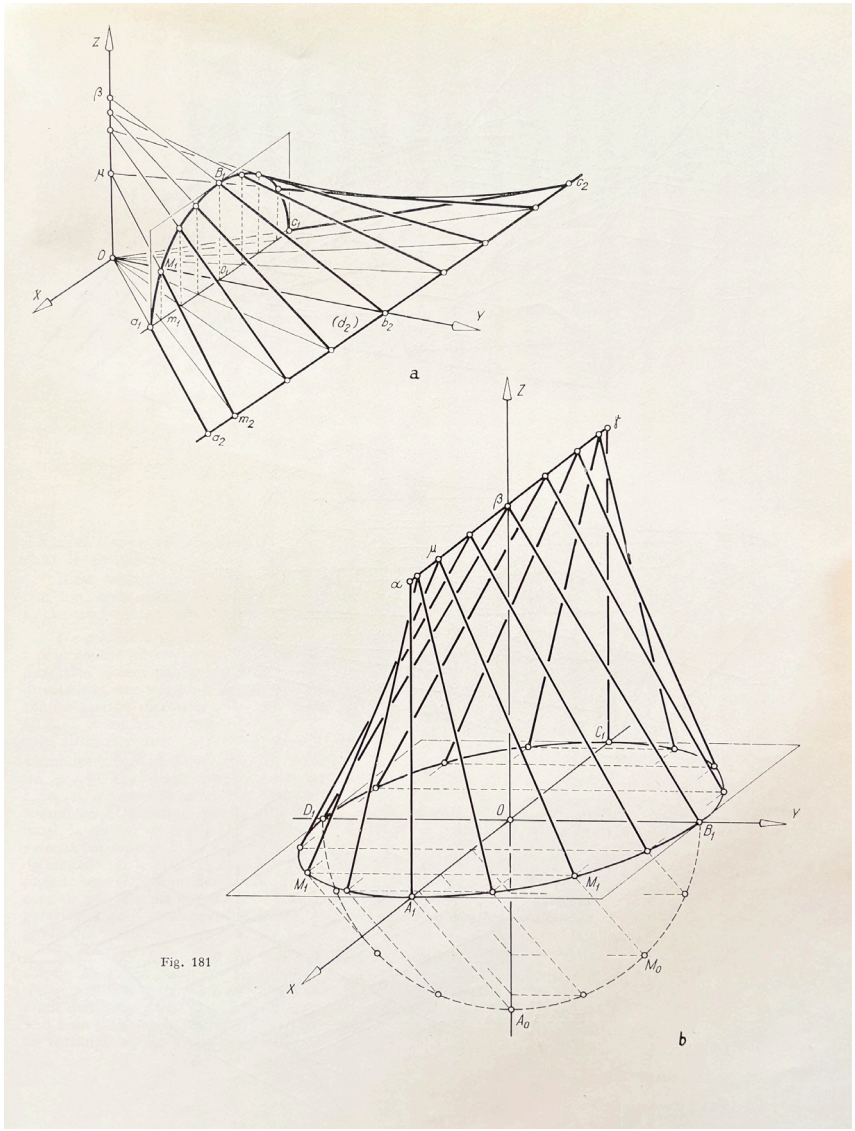
Fig. 4. La costruzione dell'iperboloide ellittico per tre rette sghembe (elaborazione grafica dell'autore).

delle tre rette sghembe assegnate. Tali piani si ottengono costruendoli a coppie. In primo luogo, si sovrappone la prima retta alla seconda e si determina il piano passante per entrambe; successivamente, si riporta questo piano sulla prima retta per ottenere il piano ad essa parallelo. Ripetendo la medesima operazione per ciascuna coppia di rette si ricavano complessivamente sei piani: tre coppie di piani paralleli che definiscono il parallelepipedo costruttore.

Conclusioni

Nelle conclusioni, gli autori presentano la Geometria delle strutture come una disciplina centrale, in grado di guidare l'immaginazione progettuale ben oltre ciò che il calcolo permette di verificare. La geometria non è un linguaggio accessorio, né un mero strumento tecnico: è il fondamento attraverso il quale è possibile comprendere e controllare la forma, anticiparne il comportamento strutturale, verificarne il senso estetico.

Fig. 5. I conoidi [Gheorghiu, Dragomir 1968, fig.181, p. 167].



Le nuove possibilità offerte dai metodi computazionali ampliano enormemente lo spettro delle forme realizzabili, ma tali forme, per essere convincenti e corrette, devono essere radicate in una solida conoscenza geometrica. In questo senso, sostengono gli autori del volume in esame, la Geometria delle strutture deve elaborare gli algoritmi che permetteranno ai computer di assistere, e non sostituire, l'immaginazione creativa.
Il libro si colloca dunque all'interno di un tema più ampio: la Geometria delle forme, delle strutture e delle rappresentazioni nell'architettura e nell'ingegneria contemporanee. A oltre cinquant'anni dalla sua pubblicazione, esso appare sorprendentemente attuale: offre un metodo, un linguaggio e una visione capaci di affrontare la complessità delle forme contemporanee senza rinunciare alla solidità teorica che caratterizza la grande tradizione geometrica europea.
L'ultima considerazione riguarda il valore delle costruzioni geometriche illustrate e delle relative figure (figg. 5-7). L'opera è stata concepita e redatta poco prima dell'avvento della rivoluzione informatica che ha profondamente trasformato la rappresentazione grafica. Nonostante ciò, la qualità delle immagini non ne risente affatto: le forme geometriche sono rappresentate con grande chiarezza, cosa che consente una lettura impeccabile delle configurazioni tridimensionali. Questo risultato è ottenuto mediante strumenti grafici estremamente semplici: vengono infatti impiegati due soli spessori di linea, uno sottile per le costruzioni e uno più marcato per il risultato finale, ossia per le forme descritte. I punti di vista adottati sono sempre ottimali e funzionali alle procedure presentate. Nessun artificio grafico, dunque, ma un'efficacia notevole rispetto agli obiettivi prefissati.

Fig. 6. Griglie dodecaedriche [Gheorghiu, Dragomir 1968, fig. 310, p. 266].

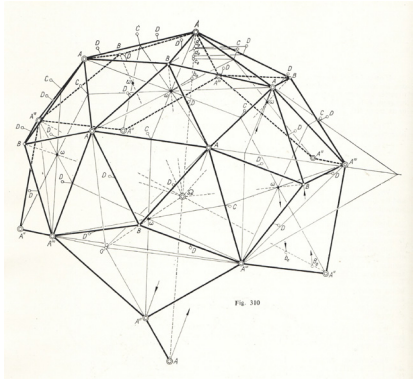
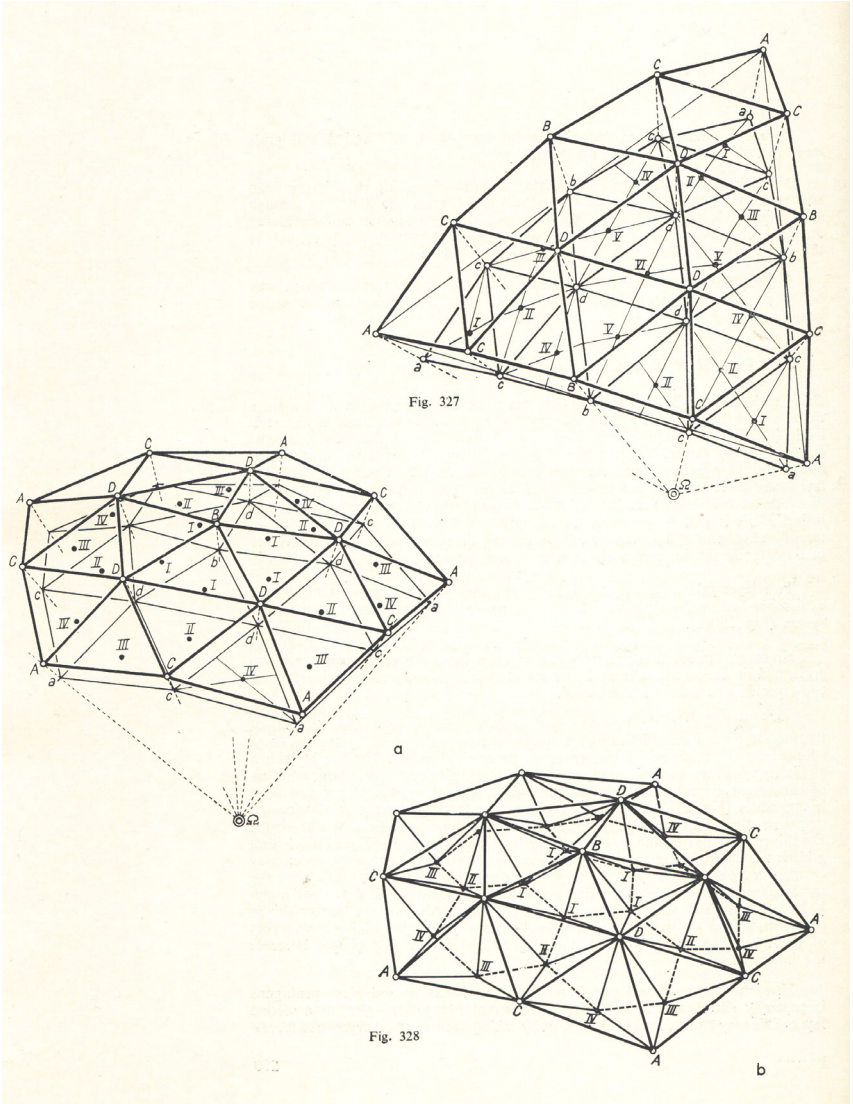


Fig. 7. Cupole geodetiche a doppio strato [Gheorghiu, Dragomir 1978, figg. 327 e 328, p. 287].



Per quanto riguarda le costruzioni illustrate, a una lettura superficiale si potrebbe ritenere che esse siano ormai "superate" o "inutili", poiché oggi è possibile operare direttamente nello spazio tridimensionale. Si tratta, tuttavia, di un giudizio infondato. La maggior parte delle procedure proposte nel testo corrisponde infatti a operazioni che, anche nei moderni ambienti digitali, vengono applicate direttamente alle forme nello spazio. L'assonometria, in particolare, è impiegata come strumento per indagare le configurazioni geometriche in modo immediato e spaziale. Sono in realtà poche le costruzioni che la modellazione digitale rende superflue.
In conclusione, le costruzioni esposte mantengono piena attualità e costituiscono ancora oggi un supporto efficace per comprendere, generare e analizzare superfici e poliedri, tanto nella loro dimensione astratta quanto nelle loro potenziali applicazioni architettoniche.

Note

[1] La prima edizione del volume è stata pubblicata a Bucarest in lingua rumena nel 1968 con il titolo *Probleme de reprezentare a structurilor constructive* [Gheorghiu, Dragomir1968]; esiste anche un'edizione inglese dell'opera, pubblicata nel 1978 dal titolo *Geometry of Structural Forms* [Gheorghiu, Dragomir 1978].

[2] Tutte le traduzioni in italiano dal testo originale, consultato in lingua francese, sono dell'autore.

[3] Nel libro tale costruzione viene riportata sotto una formulazione differente. Il teorema in questione è riportato nel paragrafo *Problèmes de fermeture sur un HR* e afferma: «I simmetrici successivi di un punto qualsiasi dello spazio in rapporto a un triangolo percorso due volte costituiscono una forma chiusa e determinata, in cui i raggi di simmetria sono le generatrici di un solo iperboloide rigato ad una falda»: Gheorghiu, Dragomir 1968, p. 101.

[4] La costruzione dell'iperboloide per tre rette sghembe è stata anche pubblicata in Migliari 2009, par. 2.3.4, *L'iperboloide a una falda*.

[5] Il problema risiede nel fatto che, nell'attuale rappresentazione matematica basata sulle NURBS, non è disponibile un comando automatico per generare una superficie rigata definita da tre direttrici assegnate. È possibile ottenere la superficie unicamente in forma approssimata, mediante interpolazione delle tre linee fornite; tuttavia, il risultato così ottenuto non risulta rigoroso né pienamente accurato.

Autore

Federico Fallavollita, Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, federico.fallavollita@unibo.it

Riferimenti bibliografici

Arnheim, R. (2009). *The dynamics of architectural form: 30th anniversary edition*. Berkeley: University of California Press.

Fallavollita, F. (2008). *Le superfici rigate e le superfici sviluppabili: una rilettura attraverso il laboratorio virtuale*. Tesi di dottorato di ricerca in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo, tutor prof. Riccardo Migliari. Sapienza Università di Roma.

Gheorghiu, A., Dragomir, V. (1968). *Probleme de reprezentare a structurilor constructive*. Bucarest: Tehnica.

Gheorghiu, A., Dragomir, V. (1968). *La représentation des structures constructives*. Paris: Éditions Eyrolles.

Gheorghiu, A., Dragomir, V. (1978). *Geometry of structural forms*. London: Applied Science Publishers.

Hilbert, D., Cohn-Vossen, S. (1960). *Geometria intuitiva* (Vol. 63). Torino: Paolo Boringhieri.

Migliari, R. (2009). *Geometria descrittiva*. Vol. II, *Tecniche e applicazioni*. Novara: CittàStudi.

Pottmann, H., Asperl, A., Hofer, M., Kilian, A. (2007). *Architectural geometry*. S.l. (Canada): Bentley Institute Press.

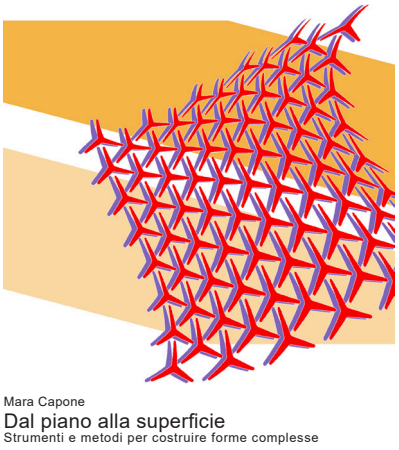
Recensioni

Recensioni

Mara Capone

Dal piano alla superficie. Strumenti e metodi per costruire forme complesse

FrancoAngeli
Milano 2024
218 pp.
ISBN 9788835166993



Il libro *Dal piano alla superficie. strumenti e metodi per costruire forme complesse* di Mara Capone si propone come un'opera articolata e approfondita, capace di creare un percorso coerente che mette in stretta relazione l'ideazione, la rappresentazione e la trasformazione delle forme geometriche. Il volume affronta in modo sistematico i diversi livelli di complessità propri del tema, sia dal punto di vista teorico sia da quello operativo, facendo ricorso anche alle più avanzate tecniche digitali oggi disponibili nel campo della modellazione geometrica e della progettazione parametrica. L'obiettivo complessivo è quello di mostrare come la conoscenza delle regole geometriche possa costituire un fondamento essenziale non solo per la comprensione delle forme tridimensionali, ma anche per la loro generazione consapevole e per la concreta produzione.
All'interno della trattazione, la Geometria descrittiva assume un ruolo primario: essa fornisce le basi concettuali necessarie per indagare le forme tridimensionali, comprenderne la logica interna e analizzare i processi che consentono di generarle a partire dalla bidimensionalità delle superfici piane. Nel *Capitolo 1*, ad esempio, una parte significativa del testo è dedicata alla classificazione delle superfici secondo la loro origine geometrica – superfici di rivoluzione, di traslazione, elicoidali, rigate, interpolate – una categorizzazione che risulta fondamentale per chi intende affrontare la generazione delle forme in modo metodico, anche mediante strumenti parametrici.
Un tratto distintivo del volume è rappresentato dalla presenza di frequenti e mirate citazioni circa le origini storiche degli argomenti in ambito scientifico. Queste non costituiscono semplici intermezzi, ma veri e propri strumenti interpretativi attraverso i quali l'autrice intende mostrare la pluralità dei punti di vista che hanno animato nel tempo il dibattito sulla rappresentazione geometrica. È il caso, ad esempio, dell'introduzione del concetto di classificazione differenziale delle superfici (*Capitolo 2*) introdotta da Leonhard Euler, ripresa da Gaspard Monge e poi sistematizzata da Carl Friedrich Gauss nel 1902. Il riferimento alla curvatura gaussiana diventa così l'occasione per evidenziare la stretta relazione fra Geometria pura e Geometria descrittiva, mostrando come un concetto matematico possa trasformarsi in uno strumento operativo per distinguere, comprendere e rappresentare superfici dotate di caratteristiche peculiari, come le superfici sviluppabili.
Le superfici sviluppabili, caratterizzate da una curvatura gaussiana nulla, sono oggetto di particolare approfondimento

 BY-NC-ND

nel *Capitolo 3*, in cui vengono illustrati diversi modi per la loro costruzione e manipolazione in ambiente virtuale. La trattazione introduce una classificazione delle sviluppabili suddivise in coniche, cilindriche e tangenziali. Queste ultime, in particolare, occupano ancora una posizione una posizione rilevante: esse possono essere generate tramite curve luogo geometrico, curve di intersezione o linee grafiche, e il testo si premura di trattare ciascuna di queste metodologie in modo distinto e accurato.
Il libro presenta numerose elaborazioni attraverso procedure sviluppate con *Visual Programming Language* (VPL). L'uso del linguaggio visuale consente di esplicitare in modo trasparente i passaggi logici che guidano la costruzione delle forme, mettendo in evidenza componenti, relazioni e parametri di controllo. La scelta del VPL permette inoltre di avvicinare anche i lettori meno esperti nel codice tradizionale a processi complessi come la generazione parametrica e la successiva trasformazione delle superfici.
Nel *Capitolo 4* vengono illustrati in dettaglio i metodi per lo spianamento delle superfici sviluppabili, realizzati attraverso specifici *script* applicati a casi ritenuti particolarmente significativi, come quello dell'elicoide sviluppabile. La sezione si apre con un solido inquadramento teorico, arricchito da riferimenti storici utili a comprendere le ragioni e le evoluzioni del problema. Successivamente viene mostrata la costruzione dell'elicoide in ambiente VPL e si introduce lo *script* Developable, uno strumento avanzato capace di affrontare il complesso problema dello sviluppo di una superficie tangenziale generica, un'operazione non sempre ottenibile con le funzioni standard di alcuni dei più comuni *software* di modellazione.
Il volume non trascura il tema delle superfici non sviluppabili, ovvero quelle che non possono essere distese su un piano senza generare lacerazioni o sovrapposizioni. A questo proposito, vengono illustrate le tecniche del per la conversione di modelli digitali in elementi fisicamente producibili. Il *paneling*, ad esempio, consente di realizzare superfici anche a doppia curvatura mediante una discretizzazione in pannelli indeformabili, capaci però di comporsi in molteplici configurazioni. Affiancata a questa vi è la discretizzazione in striscie, ed è inoltre, fondamentale l'introduzione di procedure con piccole sovrapposizioni tramite *bending* o con "rotture" controllate, ossia il *kerfing*. Quest'ultimo, in particolare, viene descritto come la pratica di eseguire tagli strategici su un pannello piano per renderlo capace di adattarsi alla curvatura tridimensionale desiderata. Particolarmente interessante è l'applicazione di tali tecniche al paraboloide iperbolico, superficie rigata ma non sviluppabile, che rappresenta un caso di studio ricco di implicazioni operative.
Fin dalle prime pagine risulta evidente che la finalità del testo non è limitata alla dimensione teorica: al contrario, il fine ultimo è quello di condurre il lettore verso la fase costruttiva, attraversando un percorso che unisce la conoscenza delle superfici alla loro effettiva producibilità. L'approccio parametrico, in questo senso, offre al progettista un vasto repertorio di configurazioni e alternative, selezionabili e modulabili attraverso la variazione dei parametri e dei componenti. Nel *Capitolo 5* si affrontano le tecniche dedicate alla prototipazione, finalizzate alla simulazione di configurazioni complesse ottenute mediante processi cinetici che, a partire da una superficie piana, giungono a forme tridimensionali. Tali modelli virtuali permettono di sperimentare anche la fase realizzativa, offrendo la possibilità di verificare e ottimizzare il progetto. Particolarmente suggestiva è la riflessione sulla reversibilità del processo, che in linea teorica consentirebbe di tornare dalla configurazione tridimensionale a quella bidimensionale, evidenziando la potenzialità di una progettazione realmente bidirezionale.
La sezione dedicata al *kerfing* mostra appieno l'efficacia di questa tecnica in fase di prototipazione. Il testo distingue tagli eseguiti su un solo lato della superficie, idonei alle sviluppabili, e tagli su entrambi i lati o passanti, necessari per le superfici non sviluppabili. Questi procedimenti sono resi possibili dalla definizione di algoritmi avanzati, in grado di gestire l'applicazione dei pattern di taglio in relazione alle qualità *geometriche* della superficie.
Il volume si conclude con un sesto capitolo interamente dedicato alle applicazioni. In questa fase, la trattazione si sposta dalla teoria – e dai molti passaggi di generazione virtuale – alla dimensione concreta delle forme materiali, che dimostrano come sia possibile sfruttare le proprietà dei diversi materiali all'interno di processi logici, replicabili e al contempo adattabili a esigenze progettuali differenti. Vengono presi in esame esempi tratti dalla letteratura che evidenziano la centralità delle superfici sviluppabili e successivamente vengono illustrati prototipi ottenuti con materiali diversi, dal polipropilene al multistrato fino all'alluminio, mettendo in luce come ciascuno di essi richieda accorgimenti specifici.
Il testo dedica particolare attenzione anche alle strategie per ottenere superfici non sviluppabili a partire da elementi piani, proponendo in particolare i due principali approcci citati della discretizzazione tramite *paneling* o di trasformazione della superficie in strisce sviluppabili. In entrambi i casi si ottiene una forma approssimata capace di seguire la curvatura desiderata. Mentre pannelli

e strisce sono generalmente realizzati con materiali rigidi e indeformabili, l'autrice ricorda che è possibile ricorrere anche a materiali deformabili o capaci di prendere forma, come membrane o cementi, che consentono una maggiore flessibilità e processi talvolta reversibili.
In conclusione, *Dal piano alla superficie* mostra una particolare cura nel coniugare principi teorici, procedure operative e sperimentazioni progettuali. Il linguaggio chiaro e la ricchezza delle illustrazioni favoriscono non solo la comprensione dei concetti, ma anche l'immaginazione di varianti e adattamenti utili in diversi contesti. L'opera si inserisce pienamente nel campo dell'*Architectural Geometry*, disciplina che fa della geometria il fondamento delle forme architettoniche, integrandola con metodi computazionali e tecniche contemporanee di produzione. Concentrandosi sulle superfici curve, il testo affronta uno dei temi più importanti per la disciplina del Disegno, proponendo ai lettori un approccio tutt'altro che passivo: nonostante la complessità teorica, il volume fornisce esempi concreti e replicabili, divenendo così uno strumento valido tanto per coloro che si rivolgono al campo teorico, anche in un percorso di apprendimento della progettazione, quanto alle professioni tecniche che intendono approfondire il rapporto fra geometria, progetto e costruzione.

Autore

Cristina Càndito, Dipartimento di Architettura e Design, Università degli Studi di Genova, candito@arch.unige.it

Recensioni

Matteo Flavio Mancini

Esordio, maturità e consacrazione internazionale di Andrea Pozzo. Prospettiva e architettura nei grandi cicli di Mondovì, Roma e Vienna

Fondazione 1563 per l'Arte e la Cultura della Compagnia di San Paolo
Torino 2023
169 pp.
ISBN 9788899808440



Il volume di Matteo Flavio Mancini, dal titolo *Esordio, maturità e consacrazione internazionale di Andrea Pozzo. Prospettiva e architettura nei grandi cicli di Mondovì, Roma e Vienna*, indaga un tema centrale sia per la storia dell'arte e dell'architettura barocca che per la cultura visiva del XVII e XVIII secolo: l'opera di Andrea Pozzo, maestro del quadraturismo e teorico della prospettiva.
Il volume, edito nel 2023 dalla Fondazione 1563 per l'Arte e la Cultura della Compagnia di San Paolo nella collana *Alti Studi sull'Età e la Cultura del Barocco*, si concentra sull'analisi comparata dei tre grandi cicli pittorici mettendoli in relazione con il suo trattato *Perspectiva pictorum et architectorum* (la *Parte Prima* e la *Seconda* del trattato sono rispettivamente del 1693 e del 1700). Lo scopo è quello di restituire una visione completa del cammino culturale di Pozzo, sottolineando il controllo dell'adattabilità dei suoi metodi in contesti di cantiere e maestranze non omogenee.
L'originalità dell'approccio di Matteo Flavio Mancini risiede nell'aver esaminato l'opera di Pozzo non solo dal punto di vista storico-artistico, ma anche mediante gli strumenti dell'analisi geometrica e della modellazione digitale. Ne deriva una lettura innovativa che mette in luce le complesse relazioni fra spazio reale e illusorio, fra architettura e pittura, fra teoria e prassi, offrendo una comprensione approfondita del genio di Pozzo. Inoltre, il ricco apparato iconografico, comprendente fotografie a colori, disegni ricostruttivi e modelli tridimensionali, permette una semplice e piacevolissima lettura, offrendo l'interpretazione e la restituzione dello spazio reale e illusorio dei cicli pittorici indagati e delle strutture murarie che li contengono.
Il volume è suddiviso in quattro capitoli principali, preceduti da due prefazioni, una di Laura Farroni e l'altra di Leonardo Baglioni.
Il primo capitolo delinea il contesto culturale e teorico in cui si sviluppa l'opera di Andrea Pozzo, affrontando temi come il rapporto fra *architectura picta* e prospettiva, il sodalizio fra arte e scienza nella rappresentazione prospettica, la dialettica tra monocentrismo e policentrismo nelle prospettive architettoniche, e il ruolo della cultura dell'immagine nella *Compagnia di Gesù*. Qui, Mancini ricostruisce con chiarezza le tappe fondamentali della storia della prospettiva, da Filippo Brunelleschi (1377-1446) a Girard Desargues (1591-1661), mostrando come Pozzo si inserisca in tale percorso, ereditando la tradizione rinascimentale e aprendo nuove strade all'illusionismo barocco. Mancini mette bene in evidenza come

 BY-NC-ND

Andrea Pozzo si collochi in tale panorama, ereditando lo sviluppo teorico e le sperimentazioni artistiche del XVII secolo e anticipando la magniloquenza del XVIII, portando il virtuosismo illusionistico ai massimi livelli.
Il secondo capitolo è dedicato ai 'metodi prospettici' utilizzati da Pozzo. Mancini analizza in dettaglio le due "regole" esposte nel trattato, la "regola comune" (basata sui punti della distanza) (*Parte Prima* del trattato di Pozzo, 1693) e la "regola facilissima" (basata sull'intersezione di pianta e alzato) (*Parte Seconda*, 1700), evidenziandone le specificità e le applicazioni pratiche. Particolarmente interessante appare la descrizione della tecnica della "graticolazione prospettica", utilizzata da Pozzo per trasferire i suoi progetti sulle superfici voltate. Qui, Mancini illustra come Pozzo adatti il suo metodo alle diverse situazioni, tenendo conto della morfologia delle superfici da decorare, delle esigenze della committenza e del contesto culturale.
Il cuore del libro è costituito dal terzo capitolo, dedicato all'analisi dei tre grandi cicli pittorici, descritti con rigore filologico e un'ottima capacità interpretativa. Le opere di Mondovì (San Francesco Saverio), Roma (Sant'Ignazio) e Vienna (Jesuitenkirche), sono analizzate ricostruendone la storia, descrivendone i contenuti iconografici e analizzandone le caratteristiche formali.
Grazie all'uso di tecniche di rilievo e modellazione digitale, Mancini riesce a restituire la complessità spaziale e illusionistica di questi interventi, mettendo in luce le soluzioni prospettiche adottate da Pozzo e il suo rapporto con l'architettura reale. L'analisi di ogni ciclo è articolata in sezioni che riguardano la presentazione dell'opera, la descrizione dei metodi prospettici utilizzati e la ricostruzione dello spazio reale e dello spazio illusorio.
Nel ciclo di Mondovì, l'autore sottolinea l'importanza della "macchina d'altare" come elemento unificante dello spazio e come strumento per guidare lo sguardo del fedele. Nel ciclo romano, viene messa in luce la capacità di Pozzo di creare un'illusione perfetta, in cui architettura e figure si fondono in un'unica visione. Infine, nel ciclo viennese, vengono evidenziate la monumentalità dell'intervento e la sua capacità di trasformare radicalmente lo spazio della chiesa.
Entrando più nel dettaglio e nel descrivere l'esordio monregalese nella chiesa di San Francesco Saverio, Mancini cita come Pozzo volesse «ricoprire in ricorda almeno i difetti» (p. 53) della volta. In particolare, descrive le modifiche architettoniche apportate da Pozzo, fra le quali l'ampliamento delle finestre e le modifiche alla geometria delle volte. A seguire, descrive l'importanza delle allegorie dei quattro continenti come «testimoni della missione del santo» (p. 55). L'affresco è stato dapprima restituito tridimensionalmente al tratto per entrare in contatto con l'opera, i suoi dettagli e il gesto artistico. Da questa operazione non è emersa la presenza di griglie per il riporto che pure devono essere state utilizzate per il passaggio dal bozzetto all'affresco. In base a queste evidenze si è deciso di operare la ricostruzione della posizione del punto di vista privilegiato ma di non proporre una ricostruzione tridimensionale completa dell'opera. Inoltre, per quanto riguarda l'*Apoteosi di San Francesco Saverio*, Mancini evidenzia come l'ottagono sul quale è dipinta l'opera sia irregolare, e si innesti su un sistema di lunette e pennacchi dalla incerta configurazione geometrica e dalla scarsa coerenza stereometrica (p. 61).
Successivamente, nel descrivere la maturità romana nella chiesa di Sant'Ignazio, Mancini ricorda come la finta cupola fosse ammirata e che «"alcuni partiti che n'eran, ed arrivati fino alla porta ritornavano dell'altro a rimirarlo"» (p. 74). L'autore descrive la finta cupola come soluzione al problema della realizzazione di una vera cupola e riporta che l'opera ricette varie critiche, riguardanti diverse questioni, come l'uso da parte di Pozzo di pennelli di grandi dimensioni, il tono complessivamente scuro dell'opera, la composizione del partito architettonico e, ancora, l'uso di colonne a tutto tondo posate su mensole aggettanti.
Nell'analizzare l'*Allegoria dell'opera missionaria dei Gesuiti*, Mancini descrive il tema dell'opera con le parole dello stesso Andrea Pozzo, che la descrisse ufficialmente in una lettera del 1694 indirizzata al Principe Anton Florian von Lichtestein e, successivamente, nella seconda edizione della *Parte Prima* del suo trattato edita nel 1702. L'autore precisa, inoltre, che la «glorificazione della missione ecumenica svolta dall'ordine Gesuita viene pertanto rappresentata attraverso la monumentale distribuzione delle figure nello spazio che, dalle allegorie dei quattro continenti, vengono redente grazie all'operato dei Santi della Compagnia di Gesù» (p. 92).
Il quarto capitolo trae le conclusioni dello studio, mettendo a confronto i tre cicli e individuando gli elementi di continuità e le specificità di ciascuno. Qui l'autore sottolinea come Andrea Pozzo sia riuscito a creare uno stile inconfondibile, caratterizzato da un sapiente uso della prospettiva, da una grande capacità illusionistica e da una profonda conoscenza dell'architettura. Nello specifico sottolinea come tutti gli interventi di Andrea Pozzo, oltre alla semplice attività di decorazione degli ambienti, inducono una significativa espansione dello spazio reale

di ciascuna chiesa. Per comprendere a fondo tale espediente geometrico, Mancini studia nel dettaglio (e pone nella sezione *Appendice*) le numerose edizioni del trattato *Perspectiva pictorum et architectorum* di Pozzo, fra le quali una traduzione cinese del 1735, lo *Shixue*, che appare significativo per essere il primo caso di esposizione sistematica in lingua cinese delle tecniche di rappresentazione prospettica europee. Ciò testimonia e conferma come la fortuna del trattato di Andrea Pozzo siano state le numerose edizioni e traduzioni comparse nel tempo.

Autore

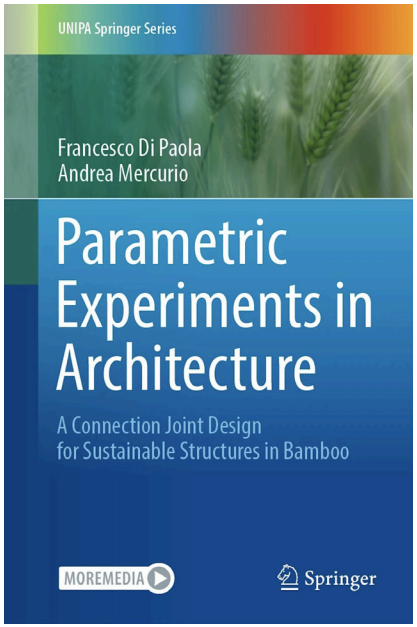
Vincenzo Cirillo, Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale, Università degli Studi della Campania *Luigi Vanvitelli*, vincenzo.cirillo@unicampania.it

Recensioni

Francesco Di Paola, Andrea Mercurio

Parametric Experiments in Architecture. A Connection Joint Design for Sustainable Structures in Bamboo

Springer
Cham 2025
127 pp.
ISBN 9783030962753



Il volume di Francesco Di Paola e Andrea Mercurio si inserisce in un filone di ricerca legato alle pratiche del costruire tra tradizione e innovazione. Gli autori offrono uno sguardo multidisciplinare capace di conciliare le più avanzate tecniche di rappresentazione e simulazione tridimensionale con la scienza dei materiali, delle tecniche costruttive e della meccanica delle strutture. L'evoluzione della disciplina del Disegno, nel suo passaggio all'era digitale, ha evidenziato un impiego di modelli 3D informativi e informati da saperi eterogenei, offrendosi quindi come strumenti di studio prima che di rappresentazione del costruibile. Leggendo tra le righe ci si accorge di come il modello digitale offra oggi due principali innovazioni: in *primis* la possibilità di integrare tra loro, in maniera sinergica, le componenti di un progetto e, di conseguenza, una maggiore capacità computazionale capace di ottimizzare la relazione tra le parti. Protagonista dell'intero volume ma più in generale del passaggio dalla dimensione analogica a quella digitale dell'architettura è il concetto di modellazione parametrica, idonea a rendere flessibili le scelte del progettista attraverso la trasposizione del ragionamento in una funzione con un certo numero di variabili.
Concetti analoghi erano già stati intuiti da Luigi Moretti (1906-1973) nella prima metà del '900: dai suoi scritti e progetti emerge un esplicito riferimento all'"architettura parametrica" e, in particolare, al rapporto tra forma e struttura. Il volume nelle prime pagine analizza alcuni di questi concetti generali anche dal punto di vista storico ricordando ad esempio l'impiego di modelli analogici per il calcolo strutturale, in tale contesto vengono citate le esperienze di Antoni Gaudì (1852-1926) e Frei Otto (1925-2015), impegnati nella ricerca dell'ottimizzazione del rapporto forma-struttura. Tali sperimentazioni, oggi definite *form-finding*, traevano ispirazione dalla natura attraverso l'osservazione di modelli fisici e la materializzazione delle forze alle quali erano soggetti. Oggigiorno simulazioni digitali sono ispirate da analoghi principi: è il caso, ad esempio, degli algoritmi genetico evolutivi, ampiamente impiegati dagli autori del volume per la creazione di snodi per strutture in bambù.
Il carattere multidisciplinare del volume emerge dalla dovuta descrizione delle caratteristiche del materiale impiegato per la ricerca, il bambù. Ascrivibile nell'ambito dell'architettura vernacolare, il materiale dimostra eccellenti caratteristiche costruttive per la sua resistenza al fuoco e per le sue qualità meccaniche: tali caratteristiche ne hanno determinato l'impiego intensivo nelle molte aree geografiche del pianeta adatte alla sua crescita. Una certa attenzione viene rivolta

 BY-NC-ND

anche alla sua preparazione in seguito all'abbattimento della pianta, attraverso tecniche naturali e chimiche. Di particolare interesse per il focus del volume è la disamina dello stato dell'arte relativamente ai metodi impiegati per la giunzione degli elementi, da quelli tradizionali basati sull'impiego di corde annodate a quelli più ingegneristici, diffusi nell'architettura contemporanea, volti alla progettazione di snodi in acciaio orientati nello spazio in funzione della morfologia delle strutture. Gli autori sottolineano come l'impiego del materiale e quindi delle tecniche costruttive ad esso correlate sia oggigiorno piuttosto limitato, soprattutto nel panorama europeo, a causa di una normativa restrittiva poiché «non vi sono garanzie sufficienti riguardo all'omogeneità del comportamento meccanico dei fusti, anche quando questi provengono dalla stessa specie» (p.53).
La principale difficoltà nella progettazione di giunti di connessione per strutture spaziali reticolari consiste nella variabilità degli sterangoli che possono assumere gli elementi di innesto alle aste convergenti verso gli snodi stessi. Le cupole geodetiche di Richard Buckminster Fuller (1895-1983), ad esempio, discretizzavano il problema basandosi sulla geometria dei poliedri elementari per ottenere un numero definito di tipologie di snodi (variabile per numero e inclinazione delle aste) utile a ottimizzare il sistema di produzione e, successivamente, di assemblaggio. Oltre a quanto osservato bisognerà anche notare che l'impiego del bambù per la realizzazione delle aste comporta una possibile variabilità del diametro delle stesse, aggiungendo un elemento di complicazione rispetto all'utilizzo di componenti standardizzati per la realizzazione degli spigoli.
Com'è evidente non si tratta solamente di considerare la complessità geometrica della struttura, ma anche di valutare una distribuzione dello stress in ragione della forma, quanto più possibile omogenea. Più nel dettaglio, l'obiettivo degli autori è quello di trovare una soluzione progettuale capace di tener conto di una serie di fattori: l'assemblaggio a secco della struttura, al fine di semplificare le operazioni di montaggio e smontaggio, tanto da garantire l'adattabilità dimensionale a una gamma specifica di diametri di sezione delle aste di bambù; l'adattabilità delle aste che convergono al nodo secondo direzioni generiche, per offrire al progettista la maggiore libertà formale possibile; la continuità formale tra vertici e spigoli, in modo che questi ultimi possano offrire una continuità di curvatura dal punto di vista formale e al contempo un equilibrio strutturale.
La ricerca descritta ha portato a una soluzione attraverso un approccio progettuale incentrato su metodologie di modellazione *Visual Programming Language* (VPL) e sull'impiego di algoritmi genetico evolutivi, assunti per l'ottimizzazione della forma dei giunti in ragione della loro efficienza meccanica, in seguito a uno sforzo applicato. In altre parole, le analisi FEM condotte hanno garantito la soluzione morfologica del giunto ottimizzata dal punto di vista delle deformazioni, in base alle forze agenti e agli spostamenti subiti dall'elemento. Il modello digitale così ottenuto è stato di supporto alla realizzazione di un prototipo di snodo realizzato in stampa 3D, ipotizzando un possibile modulo di struttura reticolare spaziale con aste in *Bambusa vulgaris*, una delle specie di bambù che si trovano nel Giardino Botanico di Palermo.
L'esperienza maturata dagli autori nell'ambito di strutture con geometrie regolari ha portato a ulteriori sperimentazioni, questa volta basate sulla morfologia a guscio *free-form*, con rimandi critici alle soluzioni adottate dal movimento Decostruttivista. La scelta geometrico-progettuale per la discretizzazione della *free-form* ha preso avvio da una tassellatura basata sul diagramma di Voronoi, ancora una volta uno strumento oggi impiegato in ambito digitale, ma fortemente legato all'analisi di forme naturali. Le successive fasi del processo di ottimizzazione formale e strutturale, così come descritte in precedenza nel volume, hanno garantito la definizione dei giunti e delle aste della reticolare nello spazio, questa volta caratterizzata da elementi tutti diversi tra loro, in ragione dell'irregolarità della superficie generata. Ulteriori esempi in chiusura dimostrano l'efficacia del processo, secondo una struttura logica che dal particolare aspira alla generalizzazione di un metodo la cui complessità viene risolta secondo principi parametrici.
Il contributo si inserisce dunque in un filone di ricerca di grande interesse in ambito contemporaneo, quello che aspira a una conciliazione tra materiali e tecniche costruttive tradizionali, il design computazionale (basato sull'ottimizzazione algoritmica) e la *digital fabrication* vera e propria. Alla base di queste esperienze rimane un atteggiamento remoto, al confine tra ingegneria e architettura, ispirato all'osservazione delle forme naturali e delle leggi a esse sottese, oggigiorno tradotte in ambito digitale attraverso l'impiego di algoritmi parametrici. Esperienze di questo tipo non possono che nascere da una collaborazione tra più saperi, rendendo labili i confini tra caratteristiche estetiche ed efficienza tecnologica.

Autore

Alessio Bortot, Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università IUAV di Venezia, alessio.bortot@iuav.it

Eventi

Eventi

ICGG2024. The 21st International Conference on Geometry and Graphics

Giovanni Albini

La geometria e la grafica, intese sia come discipline sia come strumenti fondamentali della percezione, della tecnica e del pensiero, abbracciano oggi un insieme sempre più articolato di ambiti di ricerca. In questo contesto, la *International Conference on Geometry and Graphics* (ICGG) si configura dal 1978 come un fondamentale momento di incontro della comunità scientifica, promuovendo lo scambio tra studiosi, professionisti e istituzioni coinvolte nella ricerca sui fondamenti, sulle innovazioni e sulle applicazioni della geometria e della grafica. L'aspetto forse più significativo e caratterizzante di ICGG è il suo marcato respiro multidisciplinare, interdisciplinare e transdisciplinare, evidente anche in questa edizione, sia nella struttura delle sessioni, sia nella natura stessa dei contributi presentati e delle iniziative proposte.

La ventunesima edizione del convegno biennale, ICGG 2024, si è tenuta dal 5 al 9 agosto 2024 presso il Kitakyushu International Conference Centre, nella città di Kitakyushu, situata all'estremità settentrionale dell'isola di Kyūshū, in Giappone (fig. 1). Un evento particolarmente significativo e sentito dall'ente organizzatore, ISGG (*International Society for Geometry and Graphics*): era infatti dalla diciottesima edizione del 2018 presso il Politecnico di Milano che il convegno non si svolgeva in presenza a causa dell'emergenza pandemica. Dal punto di vista dell'esperienza partecipativa, il ritorno al formato in presenza dopo la forzata sospensione ha costituito un momento di rilancio significativo che ha raccolto il pieno apprezzamento della comunità scientifica internazionale. Il convegno ha infatti visto la partecipazione di 166 partecipanti provenienti da 22 Paesi. Il contesto giapponese ha inoltre aggiunto una componente culturale e ambientale che ha arricchito l'evento, non soltanto nei contenuti. Le ampie sedi del Kitakyushu International Conference Centre di Arata Isozaki, adeguatamente valorizzate dagli organizzatori, hanno sicuramente favorito i momenti di incontro e interazione. L'eccellente struttura ha tra l'altro attutito, rendendoli quasi impercettibili, gli effetti della potente scossa sismica di magnitudo 7.1 verificatasi il pomeriggio del giorno 8 agosto. La visita guidata ad alcuni siti della città – organizzata il 7 agosto – ha consentito poi di apprezzare l'incantevole atmosfera offerta da Kitakyushu, una città che

Fig. 1. Locandina dell'evento.



https://doi.org/10.26375/disegno.17.2025.30

BY-NC-ND

Fig. 2. ICGG2024 Opening Session: relazione del Presidente ISGG Luigi Cocchiarella e gli atti in tre volumi del convegno.



sorprende per l'armonia tra modernità e tradizione, dove paesaggi urbani innovativi convivono con angoli di quiete ricchi di natura, storia e cultura.
L'*Executive Chair* del convegno è stato Kazuki Takenouchi (Università di Kyushu, già Presidente della Japan Society of Graphic Science), affiancato dai due Co-Chairs, Kazuya Kojima e Yosuke Morioka (Università di Kindai), e dal Local Organizing Committee, composto da Kazuya Saito (Università di Kyushu), Maiko K. Tsujii (Nishinippon Institute of Technology), Shingo Nakanishi (Osaka Institute of Technology), Takefumi Otsu (Università di Oita), Tetsuo Kaneko (Università di Kindai) e Toru Ihara (All Japan Tohsu Technical Association in Civil Engineering). L'organizzazione ha garantito un programma articolato ed equilibrato, facilitando momenti di confronto trasversale tra le diverse aree tematiche. L'organizzazione ha favorito un confronto multidisciplinare, evidenziato in primo luogo dalla varietà tematica offerta dalla *Opening Lecture*, dalle quattro *Special Lecture* e da uno spazio destinato alla discussione durante l'incontro dei membri di ISGG.
Ad aprire i lavori, dopo i saluti di Kumiko Shiina (JSGS, allora Vicepresidente di ISGG) e di Liang-Yee Cheng (*Executive Chair* di ICGG 2022 e ICGG 2020), è stata infatti la *Opening Lecture* tenuta da Luigi Cocchiarella (Politecnico di Milano, allora Presidente di ISGG) dal titolo *Changes in the ICGG's Conference Topics: a Pathway Through Geometry and Graphics Over Time, from Descriptive Geometry to Artificial Intelligence*.
La prima delle quattro *Special Lecture*, dal titolo *Visual Communication and Entertainment*, è stata tenuta da Hitoshi Takekiyo, Hiroki Eto e Satoshi Takeno dell'azienda giapponese MontBlanc Pictures. La presentazione è stata valorizzata da un'esperienza immersiva collegata: la *Mobile 3D Ride Attraction*, allestita il 6 agosto presso l'ingresso principale del centro congressi. I partecipanti hanno potuto salire a bordo di un veicolo per attrazioni visive mobili, parcheggiato accanto alla sede del convegno, sperimentando, nelle intenzioni dei progettisti, una sorta di "macchina del tempo" capace di stimolare tutti i sensi attraverso immagini stereoscopiche, suono immersivo e sistemi di vibrazione integrati nel sedile. L'installazione era ambientata nel mondo del film d'animazione *After School Midnighters*, offrendo un momento di svago ma al tempo stesso coerente con i temi della *Special Lecture*, incentrati sulle frontiere della comunicazione visiva.
A seguire la *Special Lecture* di Masakatsu Matsuyama, della Matsuyama Architect and Associates, dal titolo *Architecture and Design Process*. Due contributi che si sono contraddistinti non soltanto nel valore della conoscenza condivisa, ma anche quale espressione delle peculiarità della creatività nella cultura giapponese: dalle originali soluzioni tecniche nel contesto degli *anime* della MontBlanc Pictures alla testimonianza di Matsuyama nel merito della progettazione della villa destinata ai suoi genitori. Quest'ultima, accompagnata da immagini e video, è stata particolarmente coinvolgente, per la capacità di restituire il processo progettuale in ogni sua fase, mettendo in luce il rapporto intimo tra gesto architettonico, memoria familiare e sensibilità culturale. La terza *Special Lecture*, dal titolo *Geometry and Weaving*, è stata tenuta dalla ricercatrice indipendente Alison Martin; la quarta e ultima, dal titolo *Microgeometry Design, Simulation and Manufacturing*, è stata offerta da Zhenyu Liu (Zhejiang University).
Infine, un momento dedicato ai membri istituzionali ISGG – *Meeting of the ISGG Institutional Members and Associated National Organizations* – è stato organizzato e moderato da Luigi Cocchiarella e ha dato vita alla tavola rotonda ISGG *Cooperative Mission in the AI Era*, focalizzata sulle sfide e le opportunità che l'intelligenza artificiale apre nei campi della rappresentazione e della didattica.
Sono stati 131 i contributi scientifici selezionati, su 173 ricevuti da autori di 29 Paesi. Sono stati suddivisi per la presentazione in trenta sessioni tematiche, che si sono svolte fino a quattro in parallelo e che hanno spaziato dalla matematica pura e applicata alla didattica, fino alla grafica computazionale, intrecciando nei comuni denominatori della geometria e della grafica un ampio ventaglio di discipline scientifiche, tecniche e artistiche. Alle relazioni si è aggiunta una sessione poster che ha raccolto 13 contributi. Tutti i saggi scientifici sono quindi stati pubblicati nel 2025 in tre volumi indicizzati Scopus, editi da Springer col titolo *Proceedings of the 21st International Conference on Geometry and Graphics, nella serie Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies* (fig. 2). Il primo volume è articolato in tre sezioni: *Theoretical Graphics and Geometry, Graphics Education* e *Related Topics*.

Il secondo volume è invece interamente dedicato alla tematica *Applied Geometry and Graphics*: la varietà di studi in esso proposta è decisamente ampia e multidisciplinare. Una semplice ricognizione dei contributi inclusi nel volume è sufficiente a restituire l'ampiezza dei campi di ricerca coinvolti: si va dagli studi di *bio-image analysis* applicati alla morfologia delle foglie e ai processi di biomimetica, a ricerche sulla realtà virtuale, da uno studio dedicato agli spazi metafisici nella pittura di Giorgio de Chirico, fino agli esperimenti di *glitch art* generata tramite intelligenza artificiale, solo per richiamare alcune delle traiettorie affrontate. Il terzo volume è infine suddiviso nelle sezioni *Engineering Computer Graphics, Geometry and Graphics in History* e nella raccolta dei 13 Poster.

La conferenza ha anche ospitato una competizione. L'*International Digital Modeling Contest*, organizzato dalla Japan Society of Graphics Science sotto la guida di Hirotaka Suzuki (Università di Kobe, Presidente di JSGS) e Kensuke Yasufuku (Università di Osaka, Direttore di ISGG), si è svolto durante i giorni del convegno. Il contest mirava a promuovere tecnologie fondamentali per la creazione di meccanismi e oggetti tridimensionali in ambienti innovativi basati sulla produzione additiva (*3D printing*). Sono state presentate dieci proposte provenienti da tre Paesi; tra queste, otto lavori – insieme a opere già premiate in precedenti competizioni nazionali – sono stati esposti pubblicamente durante la conferenza.

La dimensione conviviale del convegno ha trovato il suo momento culminante nella *Conference Dinner*, svoltasi la sera dell'8 agosto presso l'Art Hotel Kokura New Tagawa. L'hotel ospita un rinomato giardino in stile *shoin*, progettato come un percorso attorno a uno stagno e risalente all'era Meiji: un luogo di grande valore storico e paesaggistico, classificato al 35° posto nel *2021 Japanese Garden Ranking* curato dalla rivista americana *Sukiya Living Magazine / Journal of Japanese Gardening*, che valuta circa un migliaio di giardini in tutto il Giappone. La cena è stata ulteriormente arricchita da uno spettacolo di musica tradizionale giapponese, che ha offerto ai partecipanti un'esperienza culturale autentica e armoniosamente integrata con l'atmosfera dell'hotel.

L'ultimo giorno, durante la cerimonia di chiusura, lo *Steve M. Slaby Award*, il più alto riconoscimento scientifico ISGG, è stato assegnato a Cornelie Leopold (TU Kaiserslautern) e Daniela Velichova (STU Bratislava), per il contributo apportato nel campo della Geometria e della rappresentazione grafica nella ricerca e nella formazione durante la loro carriera universitaria. La motivazione è stata letta da Gunter Weiss (presidente ISGG 2005-2008). A Cheng Liang-Yee è stato assegnato dal presidente ISGG in carica il premio *The Loyal Friends of ICGGs*, per le innovazioni introdotte nell'organizzazione della Conference durante il periodo pandemico, in particolare nelle edizioni online della ICGG, svolte nel 2021 e nel 2022. Al termine della conferenza è stato comunicato che la prossima edizione, la ventiduesima *International Conference on Geometry and Graphics*, sarà ospitata a Zagabria (Croazia) dal 3 al 7 agosto 2026. La Conference si è conclusa con la *Resolution of ICGG 2024*, proclamata da Yasushi Yamaguchi (presidente ISGG 2017-2020) e, come da tradizione, con il canto in coro del brano *Auld Lang Syne*, sulla colonna sonora arrangiata da Giovanni Albini, e con la direzione di Gunter Weiss.

Autore

Giovanni Albini, Dipartimento di Didattica, Composizione, Jazz e Musiche Tradizionali, Conservatorio "A. Vivaldi" di Alessandria, giovanni.albini@conservatoriovivaldi.it

Eventi

Il Disegno Virtuale del Reale. PhD UID Summer School 2025

Marcello Balzani

La UID Summer School 2025, sul tema *Il Disegno Virtuale del Reale*, si è configurata come un'esperienza formativa e di ricerca di alto livello, dedicata all'approfondimento delle relazioni tra rappresentazione, tecnologia e interpretazione critica del patrimonio costruito tra simbologia e iconografia. L'iniziativa, promossa dall'Unione Italiana per il Disegno, ha scelto come scenario la città di Venaria Reale, con il suo patrimonio storico e paesaggistico, e il laboratorio *Drawing TO the Future* del Politecnico di Torino, da anni uno dei luoghi emblematici dell'innovazione applicata alla disciplina del Disegno. Il titolo della Summer School esprime una sfida contemporanea importante: indagare come il Disegno, tradizionalmente strumento di conoscenza e comunicazione del reale, possa evolvere in chiave digitale più o meno immersivo, mantenendo un forte rigore scientifico e una elevata capacità di interpretazione critica a partire da una consolidata conoscenza storica. In questo contesto, Venaria Reale ha offerto un palinsesto urbano complesso, dove la città consolidata fatta di architetture minori dialoga con la prestigiosa presenza della Reggia – le sue architetture e i suoi giardini – e con le trasformazioni storiche e contemporanee, mentre il Politecnico ha garantito l'accesso a tecnologie avanzate e a metodologie didattiche sperimentali ed esperienziali. L'obiettivo non è stato solo quello di acquisire competenze, ma soprattutto costruire un pensiero critico sul ruolo del Disegno nella rappresentazione virtuale del reale, attraverso un percorso intensivo che ha intrecciato teoria, pratica e creatività.
La UID Summer School 2025 si è sviluppata come un percorso intensivo, caratterizzato da un programma serrato e da una forte componente interdisciplinare. Docenti di diversi settori disciplinari e ventisei dottorandi provenienti da quindici diverse sedi universitarie italiane e dalla Tokyo University hanno condiviso una settimana di lavoro e confronto, alternando momenti di formazione e di osservazione diretta sul territorio a sessioni di sperimentazione ed elaborazione in laboratorio. La scelta di Venaria Reale come scenario operativo non è stata casuale: la città, con il suo impianto storico e le trasformazioni contemporanee, ha offerto un contesto ideale per riflettere sul rapporto tra permanenza

Fig. 1. Locandina dell'evento.



https://doi.org/10.26375/disegno.17.2025.31

diségno ISSN 2533-2899
BY-NC-ND

e trasformazione, tra architettura e paesaggio, tra memoria e innovazione.
Il programma ha seguito le quattro direzioni individuate dalla Bussola, lo strumento concettuale che ha orientato tutte le attività: *La città consolidata*, per indagare i valori identitari della forma urbana, a partire dalla storica via Maestra (oggi via Mensa); *La città in trasformazione*, per analizzare i processi di mutamento e le dinamiche di resilienza e sostenibilità dell'architettura contemporanea, con un focus particolare sul progetto per il nuovo Hub della Cultura; *L'architettura di mattoni*, per richiamare la materialità e la tradizione costruttiva dei maestri della storia, come avviene nella cappella di Sant'Uberto, opera di Filippo Juvarra; L'architettura delle stagioni, per esplorare la dimensione infinita degli spazi verdi dei giardini della Reggia, in relazione al contesto territoriale verso l'infinito delle Alpi. Questi assi tematici hanno costituito il punto di partenza per un lavoro di interpretazione critica, sviluppato attraverso metodologie integrate che hanno combinato osservazione, rilievo, analisi, rappresentazione e modellazione.
Le lezioni teoriche si sono svolte tra Venaria Reale e il laboratorio *Drawing TO the Future* del Politecnico di Torino, uno spazio ampio e attrezzato che integra un sistema olografico – capace di annullare le distanze trasformando i docenti collegati dall'estero o da altre città italiane in ologrammi tridimensionali – e tecnologie per la prototipazione digitale e analogica, essenziali per una sperimentazione attiva capace di tradurre le idee in forme concrete. Qui i dottorandi hanno potuto utilizzare strumenti come stampanti 3D, software di modellazione e materiali per la lavorazione manuale, tra cui l'argilla, per dare corpo alle riflessioni teoriche. L'obiettivo finale era chiaro sin dall'inizio: ogni gruppo doveva produrre una interpretazione critica del tema assegnato, sintetizzata in un elaborato artistico su tela (60×60 cm) senza limiti nei materiali e di tecniche. Tale opera, lungi dall'essere un semplice esercizio creativo, ha rappresentato la conclusione di un processo complesso, in cui il Disegno si è confermato strumento di conoscenza e comunicazione, ma anche innovazione. Per questa ragione, il percorso non si è limitato alla sola dimensione tecnologica: sono state organizzate attività di team building – come la caccia al tesoro e il puzzle, ma soprattutto la Bussola – per stimolare la collaborazione e la capacità di *problem solving*. Questa componente ludica, inserita in un contesto scientifico, ha contribuito a rafforzare la coesione dei gruppi e a sviluppare competenze trasversali, oggi indispensabili nella ricerca.
La presentazione degli elaborati si è svolta nell'ultimo giorno, nella scenografica Cappella di Sant'Uberto, cornice di straordinario valore storico e simbolico. Qui, attraverso un pitch strutturato, i dottorandi hanno illustrato il percorso seguito e le scelte interpretative, dimostrando chiaramente come il Disegno è elemento privilegiato di connessione tra reale e virtuale. Inoltre, le opere sono state digitalizzate e inserite in un metaverso accessibile e inclusivo, a testimonianza della volontà di superare i confini fisici e di aprire nuove prospettive per la ricerca e la didattica.
Il percorso progettuale della UID Summer School 2025 ha adottato un approccio metodologico integrato, capace di coniugare osservazione diretta, analisi critica e sperimentazione tecnologica. La struttura delle attività ha previsto una scansione temporale precisa: le mattine dedicate alla città di Venaria Reale, con sopralluoghi e lezioni frontali, e i pomeriggi nel laboratorio *Drawing TO the Future* del Politecnico di Torino, spazio attrezzato per ogni tipo di modellazione fisica e digitale ma anche per integrazioni teoriche fisiche o olografiche.
Gli strumenti messi a disposizione hanno rispecchiato la duplice natura del Disegno contemporaneo: da un lato, tecniche tradizionali di rappresentazione e modellazione manuale, come l'uso dell'argilla per la restituzione plastica delle forme o l'utilizzo di cartoncini, foglie e fili per l'interpretazione critica dei contenuti; dall'altro, tecnologie avanzate quali stampanti 3D, software di modellazione parametrica e ambienti immersivi per la costruzione di scenari tra reale e virtuale. Questa combinazione ha consentito ai dottorandi di sperimentare la continuità tra analogico e digitale, riflettendo sul ruolo del Disegno come mediatore tra realtà fisica e dimensione virtuale.
Il metodo si è fondato su un principio di progressiva elaborazione: dalla lettura del contesto alla definizione di un concept interpretativo, fino alla realizzazione di un elaborato artistico su tela, destinato non solo alla presentazione fisica ma anche alla trasposizione in un metaverso inclusivo. Tale processo ha evidenziato come la rappresentazione non sia un atto neutro, ma un dispositivo cognitivo che orienta la comprensione e la comunicazione del progetto.
Fin dall'avvio della UID Summer School 2025, l'obiettivo è stato definito con chiarezza: trasformare l'analisi teorica e la sperimentazione pratica in un prodotto comunicativo capace di sintetizzare la complessità del tema assegnato. I ventisei dottorandi sono stati suddivisi in quattro gruppi di lavoro, ciascuno dedicato a una delle quattro direzioni della Bussola: *La città consolidata*, *La città in trasformazione*, *L'architettura di mattoni* e *L'architettura delle stagioni*. Questa organizzazione ha favorito un approccio collaborativo, stimolando il confronto tra competenze e la costruzione di una visione condivisa.

Ogni gruppo ha sviluppato un percorso interpretativo, articolato in fasi: sopralluoghi e rilievi, analisi critica, definizione del concept e sintesi grafica attraverso sperimentazione con strumenti analogici e digitali. L'esito finale è stato concepito non come semplice esercizio creativo, ma come sintesi di un processo di ricerca. La tela ha rappresentato il punto di incontro tra manualità e tecnologia, tra il Disegno tradizionale e le nuove forme di rappresentazione virtuale.
La presentazione conclusiva si è svolta nella scenografica Cappella di Sant'Uberto, dove ogni gruppo ha illustrato il proprio lavoro attraverso un pitch strutturato, dimostrando capacità di sintesi, argomentazione e comunicazione. Le opere, esposte in un allestimento unitario, che seppur di estrema semplicità, ha comunque restituito la pluralità di interpretazioni generate dal confronto interdisciplinare. Parallelamente, i quadri sono stati digitalizzati e inseriti in un metaverso inclusivo, progettato per garantire accessibilità e continuità oltre i confini fisici dell'evento.
A chiudere la giornata, una performance teatrale curata dal Teatro 8 di Torino, compagnia composta da ragazzi nello spettro dell'autismo, ha offerto una riflessione sul valore del tempo come dimensione estetica e cognitiva. Questo momento ha aggiunto un significato profondo all'esperienza, sottolineando come l'arte, in tutte le sue forme, possa essere strumento di inclusione e di dialogo universale, capace di connettere mondi apparentemente distanti: il reale e il virtuale, ma soprattutto quello interiore.
In conclusione, la UID Summer School 2025, intitolata *Il Disegno Virtuale del Reale*, ha dimostrato come la disciplina del Disegno possa assumere un ruolo strategico nell'interpretazione e nella comunicazione del costruito, in un contesto in cui reale e virtuale si intrecciano in modo sempre più complesso. L'esperienza ha evidenziato la capacità del Disegno di evolvere senza perdere la propria identità epistemologica: da strumento di rappresentazione analogica a dispositivo cognitivo e tecnologico, capace di dialogare con ambienti immersivi come il metaverso, ma anche attraverso processi di prototipazione materica e digitale.
Il lavoro in gruppi tematici ha favorito la costruzione di una conoscenza condivisa, basata sul confronto interdisciplinare e sulla sperimentazione di metodologie integrate. La scelta di Venaria Reale come scenario operativo e del laboratorio *Drawing TO the Future* come spazio di innovazione ha permesso di coniugare la dimensione storica e quella tecnologica, offrendo ai dottorandi un contesto unico per riflettere sul rapporto tra permanenza e trasformazione, tra materialità e virtualità.
L'esito finale – la produzione di opere su tela e la loro trasposizione in un metaverso inclusivo – ha sintetizzato il senso profondo dell'iniziativa: il Disegno non è solo rappresentazione, ma interpretazione critica, mediazione culturale e strumento di comunicazione scientifica.

Fig. 2. I dottorandi e i tutor della UID Summer School 2025 a Venaria Reale con le tele finali.



La presentazione nella Cappella di Sant'Uberto e la performance teatrale conclusiva hanno sottolineato il valore del tempo come dimensione estetica e cognitiva, richiamando l'idea che ogni progetto, pur proiettato verso il futuro, resta comunque fortemente radicato nella memoria e nella storia.
In questo quadro, la UID Summer School 2025 si configura come un modello di formazione avanzata, capace di integrare ricerca, didattica e impatto sociale attraverso la sperimentazione che consente ai giovani studiosi di usufruire di strumenti diversi per affrontare le sfide della rappresentazione nell'era digitale. Il Disegno, lungi dall'essere relegato a un ruolo ancillare, emerge come protagonista di un processo di innovazione che coinvolge non solo le tecniche, ma soprattutto i paradigmi culturali e scientifici del cambiamento.

Autore

Marcello Balzani, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara, marcello.balzani@unife.it

Eventi

UID2025. *èkphrasis. Descrizioni nello spazio della rappresentazione*. 46° Conferenza Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione

Paolo Giandebiaggi

Dall'11 al 13 settembre 2025 si è svolto a Roma il 46° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione, Congresso della Unione Italiana per il Disegno (UID) presso le sedi di Sapienza Università di Roma e di Roma Tre, coordinato in stretta collaborazione dai docenti dell'area della Rappresentazione delle due sedi universitarie suddette oltre a quelli dell'Università San Raffaele Roma e con il patrocinio dell'Istituto Studi Avanzati sul Patrimonio. Di fatto, Roma ha promosso, nelle sue sedi più rappresentative della Scienza del Disegno, il dibattito e il confronto tra centinaia di professori, ricercatori, dottori e dottorandi di ricerca della disciplina, non solo italiani, ma provenienti anche da diverse sedi internazionali. Il tema, attorno al quale gli organizzatori hanno inteso far riflettere i partecipanti, facendo rispondere loro alla *call* lanciata con un anno di anticipo, è stato quello dell'*èkphrasis*, quale «impronta concettuale presente nelle due principali metodologie digitali, oggi oggetto di diffusa sperimentazione: la descrizione algoritmica procedurale, espressa in forma di linguaggio scritto o visuale e, manifestazione ancora più evidente, il *promting* delle piattaforme generative fondate sull'Intelligenza Artificiale». Infatti, la storia ci ha consegnato, soprattutto nella trattatistica, l'esperienza antica della descrizione teorica e metodologica affiancata all'illustrazione dell'architettura nella sua componente formale e soprattutto in quella tecnologico-costruttiva tesa ad ampliare la comunicazione dell'informazione per una conoscenza approfondita dell'arte delle costruzioni. Oggi questo termine assume «una forma più ampia, generale e omnidirezionale, che rende plausibile l'utilizzo del termine stesso per indicare ogni forma espressiva di descrizione e di rappresentazione, fra verbale e visuale e tra varie forme visive». Il Convegno si è quindi focalizzato sulla descrizione puntuale degli aspetti teorici, metodologici e applicativi della ricerca nell'ambito del Disegno, interrogandosi sulla possibilità che le analisi, le costruzioni, le pratiche generative condotte attraverso la Rappresentazione possano essere considerate espressioni di *èkphrasis*, utili a perfezionare la conoscenza. Si è inoltre posto il quesito se disegni, immagini e modelli, anche nella loro mutua rappresentazione, possano essere intesi come forme di ecfrasi, in quanto descrizioni visuali, teoriche e metodologiche puntuali, volte a svelare nuova conoscenza e a generare inesplorati percorsi e suggestioni. Su questa base teorica, fondata sulla descrizione ed espressione nello spazio della Rappresentazione, gli organizzatori hanno di fatto indirizzato i saggi, quali esiti delle ricerche in corso, secondo un'articolazione sia qualitativa che, soprattutto, temporale, orientandoli in tre focus specifici: 1) *Memorie del passato*, per la ricerca rivolta al patrimonio architettonico costruito e immateriale, ma anche all'ambiente, al paesaggio, alla trattatistica, alla cartografia storica, alla storia della rappresentazione, alla storia delle scienze e delle arti, al riconoscimento di un'identità culturale, all'individuazione dei fondamenti teorici che rappresentano un'eredità utile per l'implementazione di valori contemporanei della conoscenza; 2) *Sfide del presente*, accogliendo la ricerca che osserva le nuove esigenze della attuale società contemporanea offrendo risposte alle questioni in essere nella quotidianità culturale seguendo i temi di sostenibilità, inclusione, comunicazione, accessibilità, standardizzazione, prototipazione fisica e modellazione digitale; 3) *Visioni di futuro*, per quelle ricerche di carattere predittivo, orientate alla definizione e al collaudo di attività sperimentali volte all'apertura di nuovi spazi di indagine, quali prospettive immaginative e utopiche nel rapporto tra le scienze, le arti, e le discipline, sperimentando metodi, tecniche e linguaggi per ideare, prefigurare e progettare. In risposta alla *call* sono giunti 224 paper di cui 218, avendo superato il referaggio, sono stati pubblicati negli atti relativi.

https://doi.org/10.26375/disegno.17.2025.32

diségno ISSN 2533-2899
BY-NC-ND

Fig. 1. Locandina del 46° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Roma, 11-13 settembre 2025.



Il Convegno si è aperto nella mattina dell'11 settembre presso l'Aula Magna di Sapienza, con i saluti istituzionali delle Rettrici degli atenei romani (Sapienza e Roma Tre) Antonella Polimeni e Anna Lisa Tota, nonché della Direttrice del Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura di Sapienza, Daniela Esposito.

Ad aprire disciplinarmente il convegno è stata la Presidente UID, Ornella Zerlenga, che, fresca di nomina e per la prima volta in questo ruolo, ha relazionato con competenza e autorevolezza, e anche con una giustificata emozione, sullo stato dell'associazione e sull'importanza che il convegno annuale ha per l'intera comunità scientifica del Disegno, giunto quasi al mezzo secolo di vita. A fornire un quadro d'identità al convegno, alla sua organizzazione e al suo programma articolato nelle tre giornate di svolgimento, sono stati Carlo Bianchini ed Elena Ippoliti, principali organizzatori per la sede di Sapienza. Dopo la relazione di apertura tenuta da Mario Docci, in qualità di Presidente Onorario della Unione Italiana per il Disegno, dedicata al tema della cultura dell'acqua nel mondo romano, nella quale ha illustrato le molteplici ricerche condotte nel tempo su acquedotti, terme e soprattutto sulle più celebri fontane romane, l'introduzione di Maria Grazia Cianci e Graziano Mario Valenti ha dato ufficialmente inizio al convegno. Il primo focus, inerente al *Tempo passato*, coordinato da Carlo Bianchini e Anna Osello, ha visto la presentazione di 15 ricerche esposte da circa 30 autori su temi principalmente rivolti all'architettura costruita, soprattutto di carattere storico-monumentale, ma anche all'architettura dipinta, a particolari decorativi di grande rilievo, al paesaggio analizzato attraverso restituzioni bidimensionali, modelli e atlanti digitali, BIM, e banche dati 3D. Il focus 2, *Presente*, moderato da Alfonso Ippolito e Stefano Chiarenza, ha visto la relazione di altri 15 ricerche di 50 autori, che hanno esposto ricostruzioni digitali di oggetti, paesaggi, gemelli digitali, spazi immaginari e sequenze sferiche, modellazioni algoritmiche, elaborazioni VR e AR, anche attraverso l'uso dell'Intelligenza Artificiale. Il terzo focus, riferito al *Futuro* e coordinato da Emanuela Chiavoni e da Caterina Palestini, ha condiviso l'esposizione di 15 contributi da parte di 47 autori.

Bisogna mettere in evidenza che questa edizione del Convegno UID si è caratterizzata per non aver utilizzato la metodologia delle sessioni parallele per l'esposizione delle ricerche, ma per aver reintrodotto la modalità dell'aula unica al fine di favorire la partecipazione plebiscitaria di ogni relazione esposta, cercando di favorire la maggior diffusione possibile di tutti gli argomenti a un numero maggiore di studiosi partecipanti al convegno. Ciò per contro ha comportato uno sforzo notevole nell'organizzazione dei contenuti di ciascuna relazione, che doveva essere esposta in un tempo ridotto (5 minuti) senza perdere l'incisività della comunicazione scientifica.

Il secondo giorno di convegno si è aperto presso la sede di Architettura di Roma Tre, negli spazi splendidamente recuperati per le attività didattiche e di ricerca dell'Ateneo romano, con i saluti rettorali e del Direttore del Dipartimento di Architettura nonché dai principali organizzatori disciplinari di sede ovvero Maria Grazia Cianci e Marco Canciani. I focus sono stati invertiti, ripartendo dal *Futuro* e passando dal Presente per arrivare al Passato. Quindi, riaperto il tema con cui si era conclusa la giornata precedente, sotto il coordinamento di Marco Canciani e Stefano Brusaporci sono state esposte altre 10 relazioni di oltre 30 autori sui possibili scenari del *Futuro* affrontati tramite descrizioni computazionali VR e AI generative. Il focus sul *Presente*, moderato da Maria Grazia Cianci e Francesca Fatta, ha visto altre 15 presentazioni di 31 autori; infine, una prima sessione sul Passato è stata coordinata da Giovanna Spadafora e Marco Giorgio Bevilacqua, con ulteriori 15 interventi di 32 relatori, e una successiva, coordinata da Daniele Calisi e Valeria Menchetelli con 15 relazioni di altri 30 autori.

Nel loro insieme, gli interventi alla conferenza hanno esteso il concetto di rappresentazione ai temi e ai linguaggi differenti includendo aspetti gestionali, simbolici e narrativi, riferiti a contesti sia storici che contemporanei. In tal modo, la disciplina del Disegno si è ampliata fino a comprendere una dimensione sensoriale, capace di restituire una vastità contenutistica amplificata, attraverso

forme ampie e pluridirezionali, in riferimento al concetto stesso di *èkphrasis*. Durante il convegno si sono svolti altri *talk*, come quelli di Michele Cometa dell'Università di Palermo e dell'artista Kristin Jones sul *Rilevare l'invisibile*, o come quello di Laura Farroni, Marcello Balzani e Alessandro Luigini sul tema della ricerca, dell'innovazione e dell'impresa, nonché quello condotto da Anna Osello sugli esiti della PHD Summer School UID 2025 dal titolo *Il Disegno virtuale del reale* svoltasi a Venaria Reale (Torino). Durante il convegno sono stati promossi eventi collaterali come l'*Urban Drawing* nel viale della città universitaria di fronte alla sede principale del congresso stesso, nonché mostre di disegni, progetti e studi condotti durante attività didattiche e di ricerca da parte dei docenti "romani" dell'area della Rappresentazione. È stato inoltre conferito il Premio UID Giovani 2025 dedicato alla memoria di Vito Cardone al progetto ∀*ISION_E – Drawing: a vision for every extended intelligence* di cui è stato coordinatore Enrico Pupi, selezionato durante l'estate nell'esposizione degli esiti relativi.

Infine, durante la giornata di sabato 13 settembre e dopo aver assegnato i riconoscimenti ai relatori per i *best paper* delle singole sessioni, si è svolto il congresso dei docenti dell'Area ovvero l'assemblea generale dell'associazione scientifica UID, che ha visto nella relazione della Presidente Ornella Zerlenga, l'esposizione delle tante iniziative avviate durante l'anno e il lavoro del Comitato Tecnico Scientifico nonché le prospettive future per l'anno successivo, in cui si è inserita la presentazione da parte di Marcello Balzani del 47° Convegno UID che si terrà a Ferrara nel 2026. Durante la mattinata finale sono state consegnate le tradizionali Targhe d'Oro UID, conferite da Francesca Fatta, Paolo Giandebiaggi e Carlo Bianchini rispettivamente a Ornella Zerlenga, Laura De Carlo e Guendalina Salimei, quest'ultima docente di Progettazione Architettonica presso l'Ateneo romano e architetto di chiara fama, la quale ha illustrato ai partecipanti le principali opere realizzate nella sua carriera.
All'interno della assemblea è stato dedicato uno spazio molto partecipato ed emotivamente coinvolgente in cui è stato ricordato Massimiliano Ciammaichella, collega e membro del Comitato Tecnico Scientifico dell'associazione, scomparso troppo prematuramente durante l'estate. Sia la Presidente, che ha ricordato l'impegno e i principali risultati ottenuti da Massimiliano durante la sua carriera accademica, ma anche il carattere ricco di empatia ed entusiasmo, testimoniato da molte immagini che lo ritraevano nelle tante iniziative UID, che Graziano Mario Valenti attraverso una dedica speciale, lo hanno voluto onorare mediante iniziative concrete: a Massimiliano, si è deciso infatti di dedicare gli atti di questo convegno romano, come testimonianza del vivido e imperituro ricordo, oltre ad altre iniziative che la UID intende assumere in sua memoria.
L'assemblea si è conclusa nella più ampia soddisfazione dei partecipanti, con un sentito e partecipato ringraziamento agli organizzatori e un arrivederci a tutti gli associati e sostenitori a Ferrara, dal 10 al 12 di settembre 2026, per il convegno dal titolo *Il Disegno Furioso*.

Autore

Paolo Giandebiaggi, Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università di Parma, paolo.giandebiaggi@unipr.it

Eventi

APEGA 2025
Pensamiento Grafico entre Docencia, Representación e investigación

Emanuela Lanzara

Dal 2 al 4 ottobre 2025, l'Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación (ETSAE) dell'Universidad Politécnica di Cartagena (UPCT) ha ospitato il *Congreso Internacional de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación* APEGA 2025 [1]. L'appuntamento a cadenza biennale è giunto alla XVII edizione: il tema del convegno, *Pensamiento Grafico/Graphic Thinking,* è inteso come processo che muove dalla sintesi concettuale alla rappresentazione della realtà. L'evento sì è prevalentemente svolto presso il panoramico Salón de Actos Isaac Peral, *venue* delle due sessioni plenarie collocata al terzo piano dell'ETASE con accesso da Calle Real, a pochi passi dalla Plaza del Ayuntamiento, e affaccio omnidirezionale sull'intenso e dinamico paesaggio marittimo del Puerto Comercial della città. Nell'ambiente antistante la sala è stata allestita l'*Exposición Edigráfica*, organizzata nell'ambito del congresso e accessibile per tutta la durata dell'evento. In occasione di ogni edizione, le opere selezionate e pubblicate nel Catalogo della Mostra partecipano al Concorso *Juan Manuel Raya*, istituito per premiare i migliori lavori didattici e di ricerca nel campo della *Expresión Gráfica aplicada a la Edificación*. Degli 88 contributi selezionati, 51 sono stati presentati durante le due giornate di convegno, per un totale di 192 tra autrici e autori provenienti da Spagna, Italia e America Latina.

La *Linea 1. Docencia y Metodología/Teaching and methodology*, ha raccolto 22 contributi dedicati alla trattazione di metodi didattici ed esercizi di espressione grafica che evidenzino la padronanza e abilità del docente; la *Linea 2. Trazo y Representación/Drawing and Representation*, ha registrato 23 contributi dedicati al processo di ideazione e restituzione grafica, con un chiaro accento sull'importanza della qualità della rappresentazione; infine, la *Linea 3. Investigación y Difusión/Research and dissemination*, si compone di 43 contributi finalizzati a promuovere la ricerca e lo sviluppo del pensiero grafico in ambito artistico, architettonico e ingegneristico. Nel corso di otto *mesas* plenarie a tema misto i partecipanti hanno presentato, mediante comunicazioni della durata di dieci minuti, studi teorici e applicativi caratterizzati da un'ampia ricchezza di tematiche trasversali che trovano nel Patrimonio Culturale il principale luogo di indagine e sperimentazione. In occasione della cerimonia di apertura, l'evento è stato introdotto dai saluti istituzionali dei membri del Comitato d'onore, composto da Mathieu Kessler Neyer, rettore dell'UPCT, che ha sottolineato il ruolo fondamentale dal mondo accademico nel dialogo tra pratica professionale e insegnamento, José Antonio Barrera-Vera (Departamento de Ingeniería Gráfica dell'Universidad de Sevilla), Presidente de la Asociación de Profesores de Expresión Gráfica aplicada a la Edificación APEGA, Antonio Caballero Pérez, Direttore Generale delle Universidades de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM), Antonio Mármol Ortuño, Presidente di Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia y de Musaat (COAATIEMU), Fernando M. García Martìn, Direttore dell'ETSAE e Ornella Zerlenga, direttrice del Dipartimento di Architettura dell'Università della Campania Luigi Vanvitelli e presidente dell'Unione Italiana per il Disegno. Il comitato scientifico ha quindi aperto i lavori con la consegna del Premio *Juan Manuel Raya* a Diego Celis-Estrada, Pablo Rodríguez Navarro e Teresa Gil Piqueras (Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universidad Politécnica de Valencia) per il lavoro *De los planos históricos a la precisión digital: Metodología fortogramétrica y SIG para la localización y documentación de estructuras defensivas virreinales*, presentato in dettaglio nel Catalogo di *Edigráfica*, prossimo alla pubblicazione, mentre il secondo premio è stato

https://doi.org/10.26375/disegno.17.2025.33

BY-NC-ND



Fig. 1. Logo/flyer dell'evento.

consegnato a Chiara Vernizzi e Virginia Droghetti (Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università di Parma) per il lavoro grafico esposto nell'ambito della mostra e pubblicato a corredo del contributo *Graphic Design in the Comunication or Architecture projects. Considerations on targeted educational experiences*. Sedici tavole, organizzate in otto categorie, illustrano gli esiti del corso di Visualizzazione dell'Architettura: basata sullo studio della struttura armonica di Munari, l'attività indaga come la composizione e la gestione di elementi grafici quali colore, luce e ombre, influenzino la comunicazione, dimostrando come gli studenti adattino principi teorici consolidati a linguaggi visivi personalizzati. Le tre sessioni della prima giornata, una *mesa* mattutina e due pomeridiane, sono state moderate da Amparo López Bernal-Sanvicente (Universidad de Burgos), Mercedes Valiente López (Universidad Politécnica de Madrid) e Ruth Pino Suarez (Universidad de La Laguna). La prima sessione è stata introdotta dalla *lectio magistralis Pensar con el lápiz en la mano* dell'architetto, grafico, pittore e scultore Vicente Martínez Gadea, membro della Reale Accademia di Belle Arti di Santa María de la Arrixaca. Il maestro ha condiviso con il pubblico la propria esperienza, raccontando come i suoi pensieri e la sua creatività si attivino e trovino espressione attraverso l'atto del disegnare. L'architetto murciano ha ripercorso il periodo della sua formazione tra la Facoltà di Architettura e l'Accademia di Belle Arti di Madrid e ha illustrato le principali influenze grafiche che guidano oggi il suo lavoro architettonico e pittorico. Gli interventi avvicendatisi nel corso della giornata hanno avuto quale comune denominatore il disegno come dispositivo cognitivo, tra formazione, progetto e memoria. Le esperienze didattiche, dal BIM ai padiglioni virtuali, dal gioco alle strategie complementari di apprendimento, mostrano come la rappresentazione analogica e digitale sia oggi laboratorio di competenze eterogenee tanto tecniche, quanto critiche. Scansione 3D, *Gaussian Splatting*, modellazione informativa sono combinate all'interno di un quadro sistemico aperto al *Digital Heritage* e all'educazione al patrimonio e finalizzato a rivelare geometrie latenti e identità di luogo, sullo sfondo di un panorama in cui il progetto grafico si profila quale ponte tra materia e idea, tra passato, ipotesi future e scenari immaginari.

Durante la seconda giornata, le quattro sessioni mattutine e pomeridiane sono state moderate da José Antonio Barrera Vera (Universidad de Sevilla), Pablo Juan Jeremías Gutierrez (Universidad de Alicante), Juan Saumell Lladó (Universidad de Extremadura) e Antonio Miguel Trallero Sanz (Universidad de Alcalá). I temi trattati hanno spaziato dalle sperimentazioni di rilievo digitale integrato alle applicazioni *generative AI*, in un dialogo continuo tra innovazione tecnologica e interpretazione critica. CAD, BIM, GIS e modellazione generativa e computazionale si affiancano a strategie didattiche ed espositive immersive, delineando un panorama in cui la rappresentazione emerge quale principale strumento per documentare conoscenza, memoria e costruire nuove possibilità per il patrimonio e il design contemporaneo.
Dopo il *lunch*, organizzato nel chiostro dell'ETSAE, l'intervento *De la innovación CAD hacia el ingenio IA&BIM* di David Martínez (ISCAR Software de Arquitectura) ha introdotto le sessioni pomeridiane, restituendo una panoramica sugli strumenti digitali più utilizzati in ambito progettuale tra tendenze attuali ed emergenti, ovvero sull'integrazione

tra flussi di lavoro e strumenti innovativi per la modellazione 3D e la visualizzazione in *real-time*, sottolineando il ruolo delle funzionalità BIM nell'ottimizzare il coordinamento e la gestione integrata di progetti e processi complessi. La giornata si è quindi conclusa con evento *cocktail* e cena presso l'Auditorium & Convention Center The Batel, centro congressi polifunzionale progettato dallo studio SelgasCano raggiungibile percorrendo il lungomare di Cartagena.
Infine, nel corso della mattinata della terza giornata, i partecipanti hanno avuto l'opportunità di partecipare alle visite organizzate presso l'Anfiteatro romano de Cartagena e il Palacio Casa Tilly, guidate da José Antonio Rodríguez Martínez (JARM Arquitectura y Patrimonio [2]). In sintesi, la XVII edizione del Congresso APEGA 2025 ha evidenziato il ruolo centrale del *Pensamiento Gráfico* come processo cognitivo capace di integrare, tra ricerca e didattica, analisi, rappresentazione e progetto. Nel dettaglio, la *LINEA 1. Docencia y Metodología* ha registrato una serie di esperienze frutto della combinazione tra analogico e digitale, a supporto di un modello educativo olistico replicabile e fondato sull'equilibrio tra rigore teorico, sperimentazione pratica, innovazione tecnologica e coinvolgimento emozionale. Parte degli studi ha evidenziato come l'osservazione diretta migliori percezione spaziale, sensibilità visiva e comprensione del contesto, dalle esperienze emozionali e *hand drawn life* sviluppate a Genova, Bologna, Brescia e La Plata, alla documentazione dei teatri e cinema di Catania. Emerge il ricorso ad approcci didattici interdisciplinari basati su *Information Modeling*, *Gamification* e laboratori collaborativi finalizzati al coinvolgimento degli studenti come promotori culturali attivi: l'integrazione di tecnologie avanzate, BIM-HBIM, rilievo digitale integrato e VR/AR, affidata a un approccio pedagogico orientato al *problem solving*, favorisce lo sviluppo di competenze trasversali. Altri contributi propongono l'adozione di metodi didattici innovativi finalizzati a potenziare la comprensione e visualizzazione dello spazio tridimensionale, dalla costruzione di modelli analogici pop-up per la progettazione di illustrazioni 3D, alle sperimentazioni digitali VR per la ricostruzione delle Terme romane di Lugo. Parte dei lavori predilige l'indagine di aspetti teorici, dallo studio geometrico-descrittivo della forma, al metodo pedagogico di Turner, tra prospettiva lineare e aerea. Altri studi propongono approfondimenti tecnico-costruttivi, dallo studio della carpenteria a traliccio ispano-musulmana, alla sperimentazione di tecniche cartografiche per la pianificazione urbana.
La *LINEA 2. Trazo y Representación* propone i risultati frutto dell'integrazione di rilievo, rappresentazione, modellazione e comunicazione: dai modelli stampati in 3D delle cattedrali di Girona e Narbona, all'acquisizione e interpretazione dei chiostri ovati di Palma di Maiorca e Napoli, fino al rilievo integrato, tra fotogrammetria e *Gaussian Splatting*, della Sala Terrena della Scuola Grande di San Marco, per la realizzazione di modelli immersivi. Altri contributi raccolgono esperienze di analisi e restituzione multiscalare, dalla mappatura del patrimonio urbano di Guadalajara, elaborata nel XIX secolo dall'Istituto Geografico e Statistico Nazionale, all'analisi interdisciplinare dell'interazione uomo-ambiente nel paesaggio palladiano della città di Piazzola sul Brenta; dalla documentazione storica e grafica de *Les Cavallerisses*, antiche scuderie dell'Eremo della Vergine delle Grazie a Vila-Real, allo studio geometrico delle Escuelas di Gaudí, fino all'approccio *Universal Design* per la realizzazione di modelli tattili e applicazioni inclusive per la valorizzazione della Torre Garisenda di Bologna. Un ulteriore nucleo di contributi approfondisce forme, geometrie e archetipi caratterizzanti il patrimonio architettonico e artistico, tra cui la pavimentazione cosmatesca del Duomo di Salerno, le scale a flussi differenziati di Palazzo Ricca/Cuomo e della Reggia di Capodimonte a Napoli, le geometrie e l'apparato neoegizio del mausoleo Schilizzi, il riuso di archetipi egizi e greci nell'opera di Juan Borchers Fernández. Sul versante didattico, la linea propone sperimentazioni di trasformazione dell'avanguardia artistica sovietica in modelli fisici, utilizzo del fumetto per il racconto di opere e progetti architettonici, impiego di VR e *Metaverse platform* per agevolare la gestione e comprensione del progetto di architettura, elaborazione di *script* per la generazione di proiezioni assonometriche oblique e stampa 3D di mattoni modulari riciclabili in materiale termoplastico. Tra gli studi finalizzati all'analisi prospettica, emergono la reinterpretazione digitale dell'affresco del *Martirio di S. Sebastiano* di Perugino, tra architettura reale e illusoria, e il confronto tra le distorsioni prospettiche strategiche di Pérez Villalta e di Tintoretto.
La *LINEA 3. Investigación y Difusión*, tra i numerosi contributi raccolti, propone un nucleo di esperienze riguardanti l'analisi, documentazione e gestione del Patrimonio Culturale. Dallo studio di vulnerabilità sismica del complesso abbaziale di Montecassino, alla digitalizzazione della chiesa di San Andrés di Adamuz e del Castello di Monteagudo; dal rilievo per il recupero e la valorizzazione della Villa Amparo di Rocafort alla digitalizzazione dell'Arco nabateo di Bab as-Siq a Petra, in Giordania. Le pale d'altare della Basilica di Nuestra Señora del Prado a Talavera, la copertura lignea

della Chiesa di Santiago el Mayor a Totana, la mensola mudéjar di San Antonio Abad a Valencia, l'Ermita del Pilar a Catí, le guglie e cupole policrome di Acireale e Valencia, le cupole napoletane e i portali tardogotici di Geldo, Sot de Ferrer, Alfara, Oliva e di Geldo sono digitalizzati e analizzati al fine di comprenderne e restituirne composizioni grafiche e tracciati geometrici a supporto di adeguate strategie di conservazione. Lo studio degli scritti di matematica antica di Johan Ludvig Heiberg e di Erone di Alessandria supportano la rilettura del progetto architettonico antico. Gli studi dedicati alla produzione eclettica di Velázquez Bosco a Guadalajara, alla Portada del Mexuar, al Water Pavilion di Antonio Bonet Castellana, alla Fondazione Pilar y Joan Miró indagano opere e spazi interrogandone geometria, composizione e modularità. I mulini liguri e le fortificazioni mediterranee tra Italia, Spagna e Turchia sono analizzati e restituiti come 'impronte della memoria'; la documentazione grafica del cimitero cubano del XIX secolo e l'analisi del progetto mai realizzato del cimitero di Valencia supportano studi di carattere tipologico e contribuiscono all'integrazione degli archivi; la digitalizzazione del complesso delle Terme di Baia a Bacoli estende lo studio alle aree archeologiche. Il progetto di valorizzazione delle porte della Feria de Abril di Siviglia e di installazione del presepe inclusivo e sensoriale della Scuola Politecnica di Cáceres declinano l'effimero come dispositivi di inclusione culturale e identitaria. Parte delle sperimentazioni propongono approcci multilivello alla prototipazione: dalla digitalizzazione e stampa 3D dell'angelo di Salzillo a Santa Clara di Murcia, alla riproduzione fisica delle impronte balistiche conservate sulle mura settentrionali di Pompei; dalla digitalizzazione, prototipazione e musealizzazione AR/VR del mobile ottocentesco di Gillow & Co. , alla strutturazione di *moodboard* per guidare gli AI *image generator*. Infine, parte dei contributi tratta l'innovazione digitale in supporto alla progettazione e alla gestione del patrimonio: dalle strategie *BIM for 3D Printing* per la prototipazione di case in Cile, allo studio dello sviluppo storico della stampa 3D di malte; dai processi *Scan to FEM-Ready BIM* strutturati a Burgos, ai progetti di *reparceling* e gestione urbana; dall'uso combinato di GIS/BIM, all'integrazione BIM/economia circolare. Completano il quadro studi finalizzati alla progettazione e produzione di smart glass e dedicati al ruolo funzionale ed estetico assunto dal colore nella progettazione delle piscine.

In conclusione, tra didattica e ricerca, le giornate di studio hanno tracciato una rotta collettiva condivisa, puntando sulla convergenza tra tradizione e innovazione e delineando uno scenario in cui il pensiero grafico assume il ruolo di strumento olistico e inclusivo di conoscenza, memoria e sviluppo consapevole e sostenibile. Gli Atti del Congresso, curati da Josefa Ros Torres e Gemma Vàsquez Arena [3], sono consultabili liberamente nell'archivio *online* dell'UPCT [4].

Note

[1] Universidad Politécnica de Cartagena (2 octubre 2025). Los expertos destacan el impacto de la innovación tecnológica en la Expresión Gráfica. <https://www.upct.es/noticias/2025-10-03-los-expertos-destacan-el-impacto-de-la-innovacion-tecnologica-en-la-expresion-grafica> (consultato il 29 novembre 2025).

[2] JARM. Arquitectura y Patrimonio: <https://jarm-arquitectura.com/somos/> (consultato il 29 novembre 2025).

[3] Ros-Torres, J., Vázquez, G. (Eds). (2025). *Graphic Thinking. XVII International Conference on Graphic Expression Applied to Building APEGA 2025*. Conference Proceedings. Cartagena, 2-3-4 October 2025. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Ediciones UPCT. ISBN: 978-84-95781-52-9. DOI: 10317/18884

[4] Il repositorio digitale dell'UPCT è disponibile al link: <https://repositorio.upct.es/entities/publication/64a85321-c9c3-492a-b2be-3ff3db209f55> (consultato il 29 novembre 2025).

Autrice

Emanuela Lanzara, Dipartimento di Scienze Umanistiche, Università degli Studi Suor Orsola Benincasa di Napoli, emanuela.lanzara@unisob.na.it

Eventi

Alghero Week 2025

Valeria Menchetelli

Nei giorni 1-4 luglio 2025 la sede algherese del Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica dell'Università degli Studi di Sassari è stata teatro di una rassegna di eventi scientifici di significativo risalto per la comunità del Disegno, che ha messo ancora una volta in evidenza la dinamicità e la vivacità del solido e affiatato gruppo di ricerca afferente al Laboratorio di Scienze Grafiche e Visive (GRA•VIS lab), coordinato da Enrico Cicalò e costituito da Michele Valentino, Alexandra Fusinetti e Andrea Sias. Utilizzando una dicitura mutuata dalle grandi *kermesse* di riferimento per importanti ambiti culturali e artistici, questa serie di eventi viene qui intenzionalmente racchiusa nella denominazione sintetica di "Alghero Week 2025", a sottolinearne il carattere di rassegna organica accomunata da un filo conduttore unitario.

Il denso programma di iniziative, che ha visto il susseguirsi di quattro eventi convegnistici, seminariali ed espositivi, è stato aperto dalla mostra *NurACHe. Nuragic Architectural Cultural Heritage. Rilevamento, Rappresentazione e Modellazione*, che nel pomeriggio del 1° luglio ha inaugurato il ciclo di eventi di presentazione delle attività di ricerca del Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica a sostegno del processo di riconoscimento dei Monumenti della civiltà nuragica all'interno della World Heritage List del patrimonio universale UNESCO. La mostra, curata da Enrico Cicalò, Michele Valentino e Alexandra Fusinetti, è stata introdotta dalla presentazione dell'attività sperimentale promossa dal Dipartimento che, attraverso l'integrazione di metodi e strumenti avanzati, ha indagato una selezione di undici architetture monumentali della civiltà nuragica, contribuendo al processo di candidatura per l'iscrizione nella lista UNESCO. Nello specifico, la mostra *NurACHe* ha presentato i risultati di una campagna di rilievi integrati, fondati sull'impiego di metodi aerofotogrammetrici e laser scanner, condotta tra aprile e giugno 2024; i dati raccolti hanno aperto la via verso l'esplorazione di modalità innovative per la rappresentazione e la fruizione dei siti, oltre a consentire la realizzazione di modelli comunicativi e divulgativi prodotti mediante stampa 3D.

Gli undici siti indagati, comprendenti architetture sacre, santuari nuragici, villaggi complessi, masti nuragici, pozzi e fonti sacre, tombe 'dei Giganti' e templi 'a megaron', ancora inesplorati attraverso le potenzialità offerte dalle tecnologie digitali, sono stati dunque protagonisti di un percorso di ricerca proiettato verso temi centrali per la comunità scientifica della rappresentazione quali l'archeologia virtuale, la ricostruzione digitale, l'accessibilità, la comunicazione e la fruizione del patrimonio culturale. L'iniziativa espositiva, a cui hanno fatto seguito nei mesi successivi ulteriori eventi di accompagnamento e supporto al percorso di candidatura, ha confermato così in quale misura la rappresentazione fornisca un apporto irrinunciabile tanto nel processo di costruzione e di approfondimento della conoscenza scientifica quanto nella lettura, nell'interpretazione e nell'aggiornamento tecnologico delle modalità di fruizione delle informazioni e dei siti culturali.

La giornata del 2 luglio 2025 è stata dedicata alla presentazione conclusiva degli esiti del progetto *Graf_I – Grafie dell'Immaterialità. La rappresentazione per la narrazione della cultura immateriale*, vincitore nel 2024 della quinta edizione del Premio UID Giovani dedicato alla memoria di Vito Cardone. Il progetto è stato concepito e promosso da un folto e appassionato gruppo di giovani ricercatori aderenti alla società scientifica Unione Italiana per il Disegno (Andrea Sias, Nicola La Vitola, Sonia Mollica, Flavia Camagni, Luca Martelli, Sonia Mercurio, Johan Sebàstian Wilches Rivera, Simone Sanna Luca Vespasiano, Alma Benitez Calle) afferenti a cinque Atenei (Sapienza

https://doi.org/10.26375/disegno.17.2025.35

BY-NC-ND



Fig. 1. Locandina dell'inaugurazione della mostra NurACHe. Nuragic Architectural Cultural Heritage. Rilevamento, Rappresentazione e Modellazione. Alghero, 1 luglio 2025.



Fig. 2. Logo della giornata di studi Graf_I - Grafie dell'Immaterialità. La rappresentazione per la narrazione della cultura immateriale. Alghero, 2 luglio 2025.

Università di Roma, Politecnico di Bari, Università degli Studi dell'Aquila, Università degli Studi di Sassari, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria) e brillantemente coordinati da Andrea Sias (Università degli Studi di Sassari). L'idea alla base del progetto ha interpretato in maniera innovativa il tema "Prendersi cura: il disegno per il benessere e la salvaguardia", proposto dal bando del Premio UID Giovani 2024, puntando sul ruolo del disegno come linguaggio privilegiato per la narrazione di quegli elementi culturali identitari che, per il proprio carattere intrinseco di intangibilità, più necessitano di attenzione e di "cura". Il progetto è stato così dedicato alle molteplici forme e declinazioni assunte dal patrimonio culturale immateriale, che costituisce oggi un segmento ancora poco indagato e documentato, configurandosi come sfida attualissima e stimolante per il settore del Disegno. Custode di tradizioni e di pratiche sedimentate nel corso della storia delle comunità e delle civiltà, il patrimonio immateriale costituisce un ambito di studio fragile per la propria condizione intangibile oltre che ancora sprovvisto di metodi e strumenti codificati per la rappresentazione, la catalogazione e la comunicazione. Il riconoscimento del valore degli aspetti immateriali del patrimonio è dunque il primo passo per la definizione di pratiche condivise volte non soltanto alla salvaguardia, ma soprattutto alla trasmissione alle generazioni future, necessità imprescindibile per il sopravvivere e il rinnovarsi di queste tradizioni. Il progetto *Graf_I* ha coinvolto la comunità scientifica in una *call for images*, che ha costituito un'ulteriore cifra distintiva dell'iniziativa, differenziando l'invito rispetto alla più ricorrente richiesta di contributi testuali; da subito, dunque, la scelta è stata orientata alla valorizzazione dell'immagine sia come documento che come veicolo comunicativo dell'azione di cura intrapresa verso il patrimonio immateriale. Come sottolineato da Edoardo Dotto nella *Prefazione* al volume edito da Publica che raccoglie gli esiti del progetto, la scelta radicale è quella di costruire una riflessione a partire da un'unica immagine, per la quale il testo funge da lunga didascalia; la collezione dei contributi diviene allora un mosaico visivo ancor prima che verbale, che restituisce la varietà e la complessità di un patrimonio ricco e articolato, che chiede di essere scoperto ed esplorato. Questo mosaico è ben restituito sia dal volume conclusivo, strutturato attorno a tre focus tematici che riflettono l'impiego attuale degli strumenti della rappresentazione (Grafie Analogiche, ovvero immagini realizzate mediante le tecniche tradizionali del disegno; Grafie Digitali, ovvero rappresentazioni prodotte in ambiente digitale; Foto-Grafie, ovvero immagini realizzate attraverso tecniche fotografiche) sia, nei giorni degli eventi algheresi, dalla mostra allestita negli spazi del Dipartimento, che ha valorizzato la relazione dialogica tra le diverse forme di espressione culturale rappresentate e il potere evocativo di un racconto corale costituito da sole immagini. L'ulteriore invito conclusivo a portare con sé una piccola selezione delle schede presenti nel volume ha rafforzato il senso profondo dell'impegno a custodire, divulgare e tutelare gli elementi del patrimonio immateriale, prolungando nello spazio e nel tempo

il gesto della cura. Dopo l'inaugurazione della mostra, la giornata di studi ha previsto alcune relazioni a invito tenute rispettivamente da Mona Hess, responsabile della cattedra in Digital Technologies in Heritage Conservation presso la University of Bamberg, da Gianna Saba, funzionaria della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Sassari e Nuoro, e da Alessandra Sento, direttrice del Centro Società Umanitaria Alghero; a queste, ha fatto seguito una tavola rotonda nella quale più voci interne al settore della Rappresentazione (Ornella Zerlenga, Francesca Fatta, Marcello Balzani, Carlo Bianchini, Stefano Chiarenza, Valeria Menchetelli, Sandro Parrinello) hanno alimentato il dibattito sul significato degli esiti del progetto *Graf_I*. Le prospettive disciplinari ed extradisciplinari aperte da questi contributi hanno ribadito quanto il patrimonio culturale immateriale rappresenti un fertile terreno di indagine e il progetto nato nel contesto del Premio UID Giovani si presti a una proficua prosecuzione futura, come d'altra parte confermato dalla *call for images* recentemente lanciata per la seconda edizione, titolata *Architetture senza corpo. Frammenti, memorie e immaginazioni* e il cui evento conclusivo è in programma per il mese di giugno 2026.

Il terzo degli eventi algheresi si è svolto nei giorni 3 e 4 luglio, con la quarta edizione del convegno *DAI*, che in questa occasione ha mutato il proprio titolo da *Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione* a *Il Disegno dell'Accessibilità e dell'Inclusione*. Questo appuntamento, ormai divenuto uno spazio di riflessione consolidato, di riferimento per la comunità scientifica del Disegno in relazione ai temi dell'accessibilità e dell'inclusione, è promosso con cadenza annuale da un gruppo di docenti (Marco Giorgio Bevilacqua, Cristina Càndito, Enrico Cicalò, Tommaso Empler e Alberto Sdegno) con l'intenzione di coinvolgere studiosi e ricercatori nel confronto progettuale e nell'impegno etico che i temi del convegno richiedono e che si riflettono nell'acronimo esortativo *DAI*, definito dalle iniziali delle parole chiave del titolo. L'edizione 2025 muove da una riflessione sui contributi ricevuti nei primi tre appuntamenti e segna il passaggio dalla raccolta di sperimentazioni e di casi studio tesi a fornire prevalentemente strumenti metodologici al dibattito scientifico su risposte progettuali concrete e operative alle problematiche emergenti dalla società nei campi dell'accessibilità e dell'inclusione. La quarta edizione riconosce dunque in misura predominante la dimensione progettuale che il disegno assume in risposta alle istanze e ai bisogni espressi dalle comunità, attraverso soluzioni costituite da rappresentazioni grafiche, modelli tridimensionali, ambienti digitali e strategie di comunicazione visiva, esito di ricerche basate su teorie e tecnologie avanzate. Accanto ai focus ormai consolidati del convegno, dedicati alle declinazioni spaziale, socio-culturale, cognitiva, psico-sensoriale e negli spazi museali dell'accessibilità e dell'inclusione, l'edizione 2025 si caratterizza per l'aggiunta di un ulteriore ambito tematico dedicato all'accessibilità e all'inclusione nei siti patrimonio culturale all'aperto.

Questa scelta, motivata dalle peculiarità territoriali della Regione che ospita l'evento, che possiede il più elevato numero di parchi e aree archeologiche in Italia, si è rivelata di grande interesse e ha accolto studi e ricerche provenienti da diverse università italiane. Il viaggio tra le sedi che hanno organizzato il convegno (Genova nel 2022, Udine nel 2023, Roma nel 2024 e Alghero nel 2025) ha dunque arricchito il dibattito di nuove tematiche, attualizzando le prospettive di ricerca e raccogliendo interessi disciplinari e interdisciplinari sempre rinnovati e capaci di rinnovarsi nel tempo. Le sessioni del convegno sono state arricchite da due relazioni a invito di contenuto extradisciplinare, allo scopo di offrire stimoli provenienti da punti di vista esterni al settore del Disegno.

In particolare, la relazione *Graphic Medicine: il fumetto in dialogo con la cura* introdotta da Alexandra Fusinetti e tenuta da Stefano Ratti, professore ordinario di anatomia umana presso l'Alma Mater Studiorum - Università di Bologna e presidente dell'Associazione Graphic Medicine Italia, ha aperto



Fig. 3. Locandina del convegno DAI - Il Disegno dell'Accessibilità e dell'Inclusione. Alghero, 3-4 luglio 2025.



Fig. 4. Locandina del seminario M.A.C.IN.A. Multilevel Application for Cultural INformation Archives. Alghero, 4 luglio 2025.

un dibattito sul ruolo e sull'importanza del fumetto (linguaggio grafico tra i più immediati e coinvolgenti) in ambito medico e sanitario, oggi ritenuto un fondamentale veicolo comunicativo, divulgativo e di sensibilizzazione a temi ancora considerati difficili da trattare anche sul piano etico. La relazione *Disegnare la fruizione dei patrimoni universali. Un manuale di progettazione per l'accessibilità ai luoghi della cultura*, introdotta da Michele Valentino e tenuta da Gabriella Cetorelli, funzionaria della Direzione Generale Musei responsabile dell'ambito di lavoro Accessibilità al patrimonio culturale statale, ha fornito un quadro sul tema dell'accessibilità ai siti patrimonio culturale, presentando i contenuti del *Manuale di progettazione per l'accessibilità* e *la fruizione ampliata del patrimonio culturale. Dai funzionamenti della persona ai funzionamenti dei luoghi della cultura*, edito nel 2024 dal Dipartimento Scienze Umane e Sociali, Patrimonio Culturale del Consiglio Nazionale delle Ricerche e finalizzato a fornire strumenti operativi e riferimenti normativi per una progettazione consapevole e sostenibile. Anche nel caso del convegno *DAI* 2025, il corposo volume degli atti è disponibile in *open access* sulla piattaforma editoriale Publica.

Il pomeriggio del 4 luglio è stato infine dedicato al seminario di studio organizzato nell'ambito del progetto *M.A.C.IN.A. Multilevel Application for Cultural INformation Archives*, finanziato nell'ambito del bando PRIN 2022 PNRR e che vede la partnership tra l'Istituto per le Tecnologie della Costruzione del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Principal Investigator Ilaria Trizio), il Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica dell'Università degli Studi di Sassari (Associated Principal Investigator Michele Valentino) e il Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse dell'Università degli Studi di Napoli Federico II (Associated Principal Investigator Silvia Fabbrocino). Il progetto di ricerca, incentrato sulla conservazione, gestione e comunicazione del patrimonio culturale delle aree interne delle Regioni Abruzzo e Sardegna, adotta un approccio metodologico innovativo che integra tecnologie quali HGIS (Historical Geographic Information Systems) e HBIM (Historic Building Information Modelling) per la definizione di un modello HLIM (Heritage Landscape Information Modelling) allo scopo di fornire un'analisi multidimensionale delle relazioni tra patrimonio costruito, ambiente e dinamiche idrogeologiche, promuovendo così una gestione sostenibile e consapevole del territorio. Il programma dell'iniziativa, dopo la presentazione del progetto da parte dei responsabili delle unità di ricerca, ha previsto interventi a invito da parte di studiosi di diverse Università italiane (Sapienza Università di Roma, Università degli Studi dell'Aquila, Università degli Studi di Firenze, Università degli Studi di Padova, Università degli Studi di Napoli Federico II, Università di Pisa) che dedicano la propria attività di ricerca ai modelli informativi digitali per l'architettura storica, alla rappresentazione e comunicazione del paesaggio e all'indagine geologica finalizzata alla valorizzazione del patrimonio culturale delle aree interne. La tavola rotonda conclusiva, coordinata da Ornella Zerlenga, presidente dell'Unione Italiana per il Disegno, ha visto la partecipazione di Marco Giorgio Bevilacqua, Stefano Brusaporci, Emanuela Chiavoni, Silvia Fabbrocino, Andrea Giordano, Roberto Graziano, Sandro Parrinello, Ilaria Trizio, Michele Valentino e Ornella Zerlenga, che sono stati protagonisti di una proficua discussione sulle potenzialità delle tecnologie digitali per il futuro della conservazione e della valorizzazione del patrimonio culturale e paesaggistico.

Nel loro insieme, gli eventi che hanno scandito la "Alghero Week 2025" hanno restituito un quadro organico e significativo della vitalità scientifica e culturale del Laboratorio di Scienze Grafiche e Visive GRA•VIS lab attivo presso sede di Alghero e, più in generale, dell'intera comunità del Disegno. La ricchezza e la varietà delle iniziative proposte hanno confermato il ruolo centrale della rappresentazione come strumento critico di conoscenza, interpretazione e progetto, capace di affrontare in modo consapevole e innovativo le sfide poste dal patrimonio

culturale materiale e immateriale, dai temi dell'accessibilità e dell'inclusione, dalla sostenibilità e dalla comunicazione del territorio e del paesaggio. In questo senso, la rassegna algherese si è configurata non solo come momento di restituzione di ricerche mature e articolate, ma anche come spazio aperto di confronto, capace di alimentare nuove prospettive di studio e di rafforzare reti scientifiche e progettuali destinate a svilupparsi ulteriormente nel tempo.

Autore

Valeria Menchetelli, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia, valeria.menchetelli@unipg.it

Eventi

Nexus 2025 Relations Between Architecture and Mathematics

Maria Zack

La conferenza internazionale *Nexus 2025: Relationships Between Architecture and Mathematics* si è tenuta dal 3 al 6 giugno 2025 nella città storica di Andrea Palladio, Vicenza, in Italia. L'evento segue una tradizione di ricerca interdisciplinare innovativa, l'incontro di quest'anno è stato ospitato dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (ICEA) dell'Università degli Studi di Padova e si è svolto nell'elegante Palazzo Barbaran da Porto, sede del Museo Palladiano. I co-direttori della conferenza, Kim Williams (fondatrice di Nexus) e Cosimo Monteleone (professore presso l'Università degli Studi di Padova), hanno collaborato con un gruppo di pianificazione dedicato e un comitato scientifico per organizzare quattro giorni di intenso scambio accademico.

La serie di conferenze Nexus, che promuove il dialogo sull'interazione tra architettura e matematica, è iniziata nella città italiana di Fucecchio nel giugno 1996. Le riunioni successive si sono tenute ogni due anni: 1998 a Mantova, Italia; 2000 a Ferrara, Italia; 2002 a Óbidos, Portogallo; 2004 a Città del Messico, Messico; 2006 a Genova, Italia; 2008 a San Diego, USA; 2010 a Porto, Portogallo; 2012 a Milano, Italia; 2014 ad Ankara, Turchia; 2016 a San Sebastián-Donostia, Spagna; 2018 a Pisa, Italia; 2021 a Kaiserslautern, Germania (ma tenuto online a causa della pandemia di COVID del 2020) e 2023 a Torino, Italia. L'incontro del 2025 a Vicenza ha segnato la continua crescita di questa comunità internazionale, riunendo studiosi che hanno presentato ricerche e si sono impegnati in conversazioni ad ampio raggio.

Il primo giorno è iniziato con i saluti formali dei co-direttori, Kim Williams e Cosimo Monteleone. Guido Beltramini, direttore del Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio (CISA Andrea Palladio), ha dato il benvenuto ai partecipanti a Vicenza. Andrea Giordano, professore all'Università degli Studi di Padova e Direttore del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, ha offerto un saluto a nome dell'Ateneo. Ornella Zerlenga, professoressa presso l'Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli e Presidentessa dell'Unione Italiana per il Disegno (UID), ha inviato saluti a nome dell'associazione scientifica e culturale. Il programma scientifico è iniziato con la *keynote lecture* intitolata *Palladio's soave armonia*, tenuta dagli eminenti studiosi di Andrea Palladio Guido Beltramini e Deborah Howard. Questa lezione ha offerto spunti critici sull'architettura del Veneto durante l'era di Palladio, stabilendo efficacemente una connessione tematica tra gli argomenti centrali della conferenza e la sua ambientazione storica a Vicenza. Gli *extended abstracts* delle presentazioni sono raccolti nel volume degli atti *Nexus 2025 Relationship Between Architecture and Mathematics Conference Book*. La prima giornata si è concentrata sull'analisi dell'Architettura e sulla Matematica alla base della progettazione.

Le sessioni intitolate *Architectural Analysis I* e *II* si sono focalizzate sull'esame e l'interpretazione di principi numerici e geometrici in strutture specifiche. I casi studio coprivano l'opera di Frank Lloyd Wright, Andrea Palladio, Aldo Rossi, Kazunari Sakamoto e Carlo Scarpa. La seconda sessione ha impiegato l'analisi geometrica e la ricostruzione digitale per interpretare architetture e testi storici, tra cui la cappella della Sacra Sindone di Guarini, la cattedrale di Girona e trattati di architettura militare dei secoli XVI e XVII. La sessione *Mathematics behind the Design* ha esplorato le strutture matematiche sottostanti utilizzate nella progettazione, spesso utilizzando strumenti computazionali per analizzare strutture come cattedrali gotiche, monasteri medievali e volte bizantine in mattoni.

La seconda giornata è iniziata con la sessione *Algorithmic Design*, che ha affrontato l'applicazione di metodi

https://doi.org/10.26375/disegno.17.2025.35

BY-NC-ND



Fig. 1. Poster dell'evento.

algoritmici, computazionali e ricorsivi alla modellazione architettonica, inclusa la piegatura curva morbida (*soft curved folding*) e la microarchitettura gotica. È seguita la sessione *Rule-Based Design*, incentrata sulla generazione e l'analisi di forme architettoniche utilizzando sistemi formali (*shape grammars*) e le regole di classificazione integrate con metodi computazionali e intelligenza artificiale. Le applicazioni includevano la modellazione di ponti e la progettazione di stadi ovali.

Il pomeriggio è stato caratterizzato dalla sessione *Didactics* che ha esplorato modelli geometrici, strumenti digitali ed esercizi creativi per insegnare concetti matematici agli studenti di architettura. Gli argomenti trattati includevano la tracciatura di curve, l'anamorfosi e le superfici complesse. *Perspective and Projection* è stata la sessione finale, con presentazioni che hanno analizzato applicazioni teoriche e pratiche della prospettiva nell'architettura e nell'arte storiche, inclusi lavori di Sebastiano Serlio, Andrea Pozzo e la *Trinità* di Masaccio. Una dimostrazione finale ha evidenziato come la prospettiva solida e la stampa 3D vengano utilizzate per migliorare la comprensione spaziale degli studenti.

La terza giornata è iniziata con la sessione *Surveys and Models*, incentrata sull'applicazione di metodi digitali e geometrici per rilevare, misurare e modellare con precisione gli edifici storici esistenti. Questa è stata seguita da una sessione dedicata all'*Urban Design*, che ha esplorato i principi matematici, geometrici e strutturali nella pianificazione urbana. Tra gli esempi, sono state presentati i disegni di città portoghesi e i progetti di città adattive.

Il pomeriggio è stato caratterizzato dalle *Structures*, che ha considerato il ruolo della matematica nella progettazione strutturale e nella costruzione. Tra gli esempi presentati vi erano l'uso di una versione tridimensionale della catenaria per la costruzione di un tetto e la realizzazione di volte in piastrelle. *Geometric Design* è stata la sessione finale, dove è stato evidenziato l'uso di forme poliedriche in diversi contesti, inclusi l'arte, gli alloggi e gli spazi sacri.

Mantenendo la tradizione *Nexus*, gli organizzatori hanno ospitato i partecipanti a una serata sociale il terzo giorno della conferenza tenutasi nel giardino del Museo Palladiano e seguita da un concerto privato nello spettacolare Teatro Olimpico di Palladio. Le pianiste Stefania Redaelli e Maria Grazia Bellocchio hanno eseguito un concerto per pianoforte a quattro mani delle *Danze Ungheresi* di Johannes Brahms. Questa piacevole serata è stata uno dei momenti salienti dell'evento. La mattina finale è iniziata con la sessione dedicata al tema *Reconstruction and Modeling*, dove i relatori hanno esplorato l'uso di strumenti geometrici e digitali per analizzare sia l'architettura storica, come il Teatro San Giovanni Crisostomo, sia opere moderne, incluse quelle di Giuseppe Samonà. La mattinata si è conclusa con una sessione dedicata alle ricerche di Dottorato (*PhD Research*). Questa sessione ha offerto agli studenti attualmente iscritti o neolaureati (2023-2025) un'opportunità inestimabile per presentare il proprio lavoro di ricerca e ricevere *feedback* da un pubblico di studiosi e architetti professionisti.

La conferenza si è chiusa ufficialmente con un tour pomeridiano dei tesori architettonici di Vicenza, tra cui la Basilica Palladiana, la Chiesa di Santa Corona e la Galleria d'Arte Civica a Palazzo Chiericati. Fondata da Kim Williams nel 1996, la serie di conferenze Nexus è stata a lungo un forum per il dialogo interdisciplinare. Williams ha diretto la serie fino al 2023. Dopo il suo ritiro nel 2024, il *Nexus Network Journal* è stato acquisito da SpringerNature, che continuerà a pubblicare gli atti e la rivista annessa. Nel 2025 è stata fondata l'associazione no-profit *Nexus Architecture and Mathematics APS* per coordinare le future conferenze. L'incontro a Vicenza è stato il primo organizzato dall'associazione. Il prossimo incontro è previsto per l'estate del 2027 e si svolgerà a Cartagena, in Spagna.

Autore

Maria Zack, Department of Mathematical, Information and Computer Sciences, Point Loma Nazarene University, San Diego, California, USA, mzack@pointloma.edu

La biblioteca dell'UID

La biblioteca dell'UID

a cura di Vincenzo Cirillo e Laura Farroni

La biblioteca dell'UID raccoglie monografie e curatele scientifiche pubblicate dai Soci a partire dal 2016 sulla base di una consegna volontaria da parte dei Soci UID all'appello annuale di raccolta della produzione scientifica disciplinare edita in quell'anno.
Le opere sono suddivise in tre categorie principali: *Teoria, prassi e storia del disegno*; *Teoria, prassi e storia del rilievo*; *Teoria, prassi e storia della comunicazione multimediale*.
Tutte le pubblicazioni scientifiche dei Soci inviate per la raccolta UID e pubblicate nell'anno 2025 sono elencate di seguito.
I titoli che trattano temi in linea con la *call for papers* di questo numero sono contrassegnati dal simbolo (•).
Inoltre, dal catalogo delle pubblicazioni scientifiche prodotte negli anni 2016-2024 (accessibile dal sito dell'Unione Italiana per il Disegno - UID al link <https://www.unioneitalianadisegno.it/wp/pubblicazioni/>) è stata estratta e segnalata una lista di titoli coerenti con le tematiche della *call for papers* di questo numero.
Per i volumi disponibili in *Open Access* è indicato il link per accedere direttamente al testo, mentre per quelli che rimandano alla registrazione video della presentazione del volume nella rassegna scientifica *I libro: I disegno* sono indicati, fra parentesi quadre, data e link di riferimento (<https://www.unioneitalianadisegno.it/wp/2025/11/04/1-libro-1-disegno-22/>).

Teoria, prassi e storia del disegno

Monografie

2025

• Buratti, G., Mele, G., Rossi, M. (2025). *"Mirabili artificio". Santa Maria presso San Satiro. Numero e misura nel progetto dello spazio immaginario di Bramante architetto a Milano*. Milano: Biblion edizioni.

Incerti, M. (2025). *Cieli Paleocristiani. Dalla misura alla sua rappresentazione*. Padova: Libreria Universitaria.

• Inglese, C. (2025). *Disegni di Pietra. Le costruzioni geometriche nei tracciati di cantiere*. Roma: Gangemi editore.

• Pirinu, A. (2025). *Forti e cittadelle militari nell'Europa del Cinquecento: Forma, geometria e rappresentazione. Forts and military citadels in the Europe of the sixteenth century. Shape, geometry and representation*. Napoli: La scuola di Pitagora. <https://www.scuoladipitagora.it/_filespdf/TF23-9791256130542.pdf>.

Pirinu, A., Rassu, M. (2025). *L'architettura militare nella Sardegna sabauda. Storia e Disegno di un paesaggio fortificato*. Cagliari: UNICApress. <https://unicapress.unica.it/index.php/unicapress/catalog/view/978-88-3312-194-9/978-88-3312-194-9/978-1>.

• Rossato, L. (2025). *Grade Runner. La reinterpretazione del giocattolo attraverso la rappresentazione digitale*. Rimini: Maggioli Editore.

Ugliotti, F.M. (2025). Greenery. *Il Disegno della Resilienza. La Resilienza del Disegno*. Milano: Pavia University Press. <https://www.paviauniversitypress.it/catalogo/greenery/6712>.

2024

Capone, M. (2024). *Dal piano alla superficie. Strumenti e metodi per costruire forme complesse*. Milano: FrancoAngeli. <https://series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/view/1187/1046/6533>.

Carlevaris, L. (2024). *L'Ottica di Claudio Tolomeo nella storia della prospettiva*. Roma: Edizioni Quasar. <https://www.torrossa.com/en/resources/an/5756664#>.
[5 dicembre 2025 – https://youtu.be/pq8zabY5glg]

Pagliano, A. (2024). *Geometries of anamorphic illusions. Landscape, Architecture, Contemporary art and Design*. Cham: Springer.
[19 dicembre 2025 – https://youtu.be/ahauv5L4O3w]

2023

Agnello, F. (2023). *La memoria fotografica dell'architettura. Restituzioni prospettiche e ricostruzioni*. Milano: FrancoAngeli. <https://series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/view/929/781/5358>.
[26 aprile 2024 – https://www.youtube.com/watch?v=1F1bAGF09_I]

Mancini, M.F. (2023). *Esordio, maturità e consacrazione internazionale di Andrea Pozzo. Prospettiva e architettura nei grandi cicli di Mondovì, Roma e Vienna*. Torino: Fondazione 1563 per l'Arte e la Cultura della Compagnia di San Paolo. <https://www.fondazione1563.it/pdf/8.2_Mancini-IIIB.pdf>.
[29 novembre 2024 – https://www.youtube.com/watch?v=w4uCV_fO4og]

2022

Cumino, C., Pavignano, M., Zich, U. (2022). *Geometrie tangibili. Catalogo visuale di modelli per la comprensione della forma architettonica. Tangible geometries. Visual catalogue of models for understanding the architectural shape*. Roma: Aracne.
[23 giugno 2023 – https://www.youtube.com/watch?v=4-WYmQUftpw]

Migliari, R., Fasolo, M. (2022). *Prospettiva. Teoria e Applicazioni*. Milano: Ulrico Hoepli Editore.
[29 settembre 2023 – https://www.youtube.com/watch?v=1P8uZJaYkiU]

2021

Ciammaichella, M. (2021). *Scenografia e prospettiva nella Venezia del Cinquecento e Seicento. Premesse e sviluppi del teatro barocco. Scenography and Perspective in Sixteenth and Seventeenth Centuries in Venice Preconditions and Developments of Baroque Theatre*. Napoli: La scuola di Pitagora.
[25 febbraio 2022 – https://www.youtube.com/watch?v=mZn19r3AZzs]

Cirillo, V. (2021). *Feste settecentesche a Napoli. Disegni e progetti per l'architettura effimera. Eighteenth-century celebrations in Naples. Drawings and designs for ephemeral architecture*. Napoli: La scuola di Pitagora. <https://www.scuoladipitagora.it/_filespdf/TF15-9788865428368.pdf>.
[23 settembre 2022 – https://www.youtube.com/watch?v=S-2hDUOtvIo&t=908s]

Docci, M., Gaiani, M., Maestri, D. (2021). *Scienza del disegno*. Torino: CittàStudiEdizioni.

Valenti, G.M. (2021). *Di segno e Modello*. Roma: FrancoAngeli.
[16 dicembre 2022 – https://www.youtube.com/watch?v=VVyNSkFBXLc]

Williams, K., Monteleone, C. (2021). *Daniele Barbaro's Perspective of 1568*. Cham: Birkhäuser.
[27 maggio 2022 – https://www.youtube.com/watch?v=OqcTe9Ozux4]

2020

Antuono, G. (2020). *San Carlo alle Quattro Fontane. La dimensione e la forma attraverso la Regola*. Roma: Edizioni Kappa.
[24 settembre 2021 – https://www.youtube.com/watch?v=r6cXG-agr_g]

Bianchini, C., Calvo-López, J., Giordano, A., López-Mozo, A., Navarro-Camallonga, P., Spallone, R., Vitali, M. (2020). *Sistemi voltati complessi: geometria, disegno, costruzione. Complex Vaulted Systems: Geometry, Design, Construction*. Canterano: Aracne.
[29 ottobre 2021 – https://www.youtube.com/watch?v=A1sxu2ZcrBY&t=1s]

Bortot, A. (2020). *Emmanuel Maignan e Francesco Borromini. Il progetto di una villa scientifica nella Roma barocca*. Siracusa: LetteraVentidue.
[16 luglio 2021 – https://www.youtube.com/watch?v=dmvJk75hxvc]

Monteleone, C. (2020). *La prospettiva di Daniele Barbaro. Note critiche e trascrizione del manoscritto It. IV, 39=5446*. Canterano: Aracne editrice.
[28 maggio 2021 – https://www.youtube.com/watch?v=uklI_MRL8n8&t=6062s]

2019

Bianchi, A. (2019). *Disegnare Oggi, Elementi di Geometria. Drawing Now, Elements of Geometry*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.

Cirillo, V. (2019). *Riflessioni e suggestioni fra geometria e forma. Le scale del '700 napoletano. Reflection and suggestion between geometry and form. The Neapolitan staircases of eighteenth century*. Napoli: La scuola di Pitagora.

Farroni, L. (2019). *L'arte del disegno a Palazzo Spada. L'Astrolabium Catoptrico Gnomonicum di Emmanuel Maignan*. Roma: De Luca Editori d'Arte.

Lanzara, E. (2019). *Shaping & Paneling. Superfici complesse per l'architettura e il design*. Milano: FrancoAngeli.

2018

Pagliano, A. (2018). *Le ore del sole. Geometria e astronomia negli antichi orologi solari romani*. Napoli: Editori Paparo.

2017

Cardone, V. (2017). *Gaspard Monge padre dell'ingegnere contemporaneo*. Roma: DEI srl Tipografia del Genio Civile.

Liva, G. (2017). *Proiezione e rappresentazione. Una storia millenaria*. Canterano: Aracne.

Spallone, R., Vitali, M. (2017). *Volte stellari e planteriane negli atri barocchi in Torino. Star-shaped and Planterian Vaults in Turin Baroque Atria*. Canterano: Aracne.

Curatele scientifiche

2025

- Balzani, M., Baratin, L., Gasparetto, F., Maietti, F., Raco, F., Rossato, L., Tronconi, V. (a cura di). (2025). *Un Dialogo Possibile: Rappresentare e Conservare il Contemporaneo*. Rimini: Maggioli Editore.

Davico, P. (a cura di). (2025). *Disegnare la città. Caratteri identitari di Borgo Dora*. Torino: Edizioni Politecnico di Torino.

- Farroni, L., Incerti, M., Pagliano, A. (a cura di). (2025). *Attraversare il tempo. Tracce materiali e nuove prospettive*. Padova: Libreria Universitaria.

Farroni, L., Mancini, M.F. (a cura di). (2025). *Ambienti flessibili. Creatività, inclusione, ecologia, reale/virtuale. Teorie e buone pratiche per l'architettura*. Roma: RomaTrE-Press.

2019

De Carlo, L., Paris, L. (a cura di). (2019). *Le linee curve per l'architettura e il design*. Milano: FrancoAngeli. <https://series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/view/409/209/1939>.

2016

Ciammaichella, M., Bergamo, F. (a cura di). (2016). *Prospettive architettoniche dipinte nelle Ville Venete della Riviera del Brenta in provincia di Venezia. Architectural Perspective in the Venetian Villas along the Riviera del Brenta in the Province of Venice*. Roma: Aracne.

Valenti, G.M. (a cura di). (2016). *Prospettive architettoniche. Conservazione digitale, divulgazione e studio*. Vol. II. Roma: Sapienza Università Editrice. <https://books.google.it/books?id=YHSSDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=it&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>.

Teoria, prassi e storia del rilievo

Monografie

2025

- Cicala, M. (2025). *Approcci sistemici per la conoscenza e la valorizzazione delle architetture snelle. Campanili contemporanei a Napoli. Systemic Approaches to the Knowledge and Enhancement of Slender Architecture. Contemporary bell towers in Naples*. Napoli: La scuola di Pitagora editrice. <https://www.scuoladipitagora.it/_filespdf/TF24-9791256130702.pdf>.

Curatele scientifiche

2025

Fatta, F., Mediati, D. (a cura di). (2025). *Il Museo archeologico regionale eoliano "Luigi Bernabò Brea". La fruizione del patrimonio culturale*. Roma: Carocci editore.

Teoria, prassi e storia della comunicazione multimediale

Monografie

2025

Bevilacqua, M., Bonfitto, M., Davico, P., Minucciani, V. (2025). *Per non dimenticare. Voci del dramma nell'ex Manicomio di Collegno*. Roma: WriteUp.

D'Alessio, M. (2025). *Narrazioni Immersive. Scenari virtuali per la valorizzazione del patrimonio culturale*. Alghero: Publica Editore. <https://publicapress.it/wp-content/uploads/2025/10/NARRAZIONI%20IMMERSIVE%20-%20MIRCO%20DALESSIO%20v2.pdf>.

Meloni, A. (2025). *Percepire e rappresentare lo spazio oltre la visione. Strategie di comunicazione multisensoriale per l'accessibilità del Museo di Arte Orientale Edoardo Chiossone*. Napoli: FedOA. <http://www.fedoabooks.unina.it/index.php/fedoapress/catalog/view/653/687/3250>.

Curatele scientifiche

2025

Sias, A. La Vitola, N., Mollica, S., Camagni, F., Martelli, L., Mercurio, S., Wilches Rivera, J.S., Sanna, S., Vespasiano, L., Benitez Calle, A. (a cura di). (2025). *GRAF_I. La rappresentazione per la narrazione della cultura immateriale*. Alghero: Publica Press. <https://publicapress.it/wp-content/uploads/2025/07/Graf_I_2024.pdf>.

Targhe e premi UID 2025

Targhe e premi UID 2025

Targhe d'Oro UID 2025
commissione: Francesca Fatta, Carlo Bianchini, Paolo Giandebiaggi

Targa d'Oro UID 2025 a Ornella Zerlenga

La targa d'oro 2025 viene assegnata a Ornella Zerlenga, una studiosa dal curriculum scientifico straordinariamente ricco di titoli e riconoscimenti.
Dottore di Ricerca nel 1994, Ricercatore Universitario nel 2000, Professore Associato nel 2001, Professore Ordinario nel 2011 nel settore scientifico disciplinare Disegno presso l'Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli".
È stata Presidente di corso di laurea sia per i corsi triennali che per il corso magistrale a ciclo unico, e coordinatrice di Dottorati di ricerca. Dal 2020 è Direttore del Dipartimento di Architettura e, a questo, si aggiungono numerose altre responsabilità di Ateneo, tra cui componente del Senato accademico.
I suoi interessi scientifici partono da una solida formazione nel campo della Geometria, per indirizzare la sua capacità di ricerca sia nella lettura dei manufatti architettonici e dell'ambiente costruito, sia nella creatività progettuale, consapevole e responsabile, nel campo dell'architettura e del design.
Durante la sua carriera scientifica ha vinto: nel 1989 il Premio 'Luigi Vagnetti' promosso dalla Unione Italiana per il Disegno; nel 1992 il primo premio al concorso 'Storia del Disegno di Architettura' promosso dalla rivista scientifica *XY*; nel 2008 la Targa d'Argento della UID.
È Responsabile Scientifico di progetti di ricerca PRIN e di progetti competitivi di Ateneo, coordinatrice di gruppi di Ricerca sui temi della conoscenza, valorizzazione e comunicazione digitale dei patrimoni culturali. Fin dal 2013 è componente del Comitato Tecnico-Scientifico della Unione Italiana per il Disegno, ricoprendo negli ultimi anni la carica di Tesoriere. Nel novembre 2024 è stata eletta Presidente della Società scientifica per il triennio 2024-2027.

Targa d'Oro UID 2025 a Guendalina Salimei

Guendalina Salimei si distingue nel panorama nazionale e internazionale per il contributo originale e costante al settore del Disegno, inteso come linguaggio fondativo dell'architettura e strumento critico di progetto. La sua attività accademica ha innovato la didattica, integrando il disegno a mano libera con le tecnologie digitali, e formando generazioni di studenti capaci di leggere, interpretare e trasformare lo spazio architettonico.

Parallelamente, come progettista, ha posto il Disegno al centro della prassi professionale, traducendolo in opere emblematiche di rigenerazione urbana e di rinnovata identità collettiva, tra cui il restauro e la riqualificazione del Corviale a Roma.
A livello nazionale e internazionale, progetti come il masterplan Dao Viet Eco City in Vietnam, il piano di rigenerazione per Bagnoli, l'intervento per il Museo Egizio di Torino e il centro servizi polivalente sul waterfront di Taranto testimoniano la capacità di coniugare sperimentazione e responsabilità sociale in contesti diversi e complessi.
Culmine di questo percorso è la curatela del Padiglione Italia alla Biennale Architettura 2025 (*TERRÆ AQUÆ. L'Italia e l'intelligenza del mare*), straordinario dispositivo espositivo corale che riflette sull'intelligenza collettiva necessaria per affrontare le sfide dei territori di confine tra terra e mare.
Con coerenza e visione, Guendalina Salimei ha reso il Disegno non solo strumento di rappresentazione, ma pratica inclusiva, etica e rigenerativa, pienamente in sintonia con i valori fondanti dell'Unione Italiana per il Disegno che, con queste motivazioni, ha deciso di assegnarle la Targa d'Oro 2025.

Targa d'Oro UID 2025 a Laura De Carlo

La Targa d'Oro UID 2025 premia la qualità scientifica, didattica e istituzionale, di una figura che con particolare passione, rigorosa dedizione e naturale propensione, ha saputo indagare e seminare principi, metodi e applicazioni del Disegno, nella nostra comunità. Si tratta di una figura legata, nel pensiero di molti, al contributo offerto al rinnovamento della Geometria Descrittiva, ma che ha affrontato in maniera significativa anche molti altri aspetti delle nostre discipline, unendo uno sguardo scientifico a una spiccata capacità di analisi.
Dalle indagini sui Centri storici minori fino alle trasformazioni urbane, la stessa figura non ha trascurato aspetti attuali, quali le problematiche inerenti la descrizione del verde urbano e del paesaggio.
Con l'attenzione sempre orientata ad un atteggiamento costruttivo e aperto alle reali esigenze del contesto in cui ha operato, non ha mai lesinato il suo impegno per il Dipartimento e per la Facoltà ricoprendo ruoli diversi. Tra questi, non possiamo dimenticare il profondo interesse per la didattica di terzo livello con il grande e continuativo impegno svolto all'interno del Dottorato di Ricerca e della Scuola Nazionale di Dottorato, i cui risultati risultano tutt'oggi evidenti.
Molto attivo e fertile è stato il contributo dato alla rivista Disegnare. Idee, immagini, che ancora oggi non saprebbe rinunciare alla sua grande capacità di intuire esiti e configurazioni. Una figura, dunque, che ha fatto crescere competenze e alimentato collaborazioni scientifiche fondate su sincera stima e generosità: un insegnamento che oggi riconosciamo come un'eredità viva per la nostra comunità.
Per tutto questo, la Targa d'Oro UID 2025 è conferita a Laura De Carlo.

Targhe e Menzioni Gaspare De Fiore 2025

commissione: Marcello Balzani, Alessandro Luigini, Cettina Santagati

La Targa Gaspare De Fiore 2025 è conferita al dott. Felice Romano, per la sua tesi di Dottorato in Architettura, Arti e Pianificazione (XXXIV ciclo) dal titolo *Jean-Jacques Lequeu. Il disegno di un enigma architettonico*, discussa il 28/06/2024 presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Palermo (supervisore prof. Francesco Maggio, Dipartimento di Architettura, Università di Palermo; co-supervisore prof. Edoardo Dotto, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, Università di Catania) con la seguente motivazione: per l'originalità e la rilevanza di una ricerca che restituisce luce a Jean-Jacques Lequeu, figura meno nota di quanto meriterebbe il suo impatto, mettendone in risalto il ruolo nel panorama della rappresentazione architettonica; per l'ampiezza e la profondità dell'indagine, che dal corpus dei disegni si estende alla biografia, all'analisi della biblioteca e al contesto storico-culturale; per la solidità dell'impianto metodologico e la raffinatezza della disamina critica, capaci di offrire un contributo rilevante agli studi e di aprire nuove, feconde prospettive di ricerca.

La Targa Gaspare De Fiore 2025 è conferita alla dott.ssa Noemi Tomasella, per la sua tesi di Dottorato Innovativo Internazionale in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura (XXXVII ciclo) dal titolo *Misure dello sguardo. Modelli visuali tra accessibilità e comunicazione*, discussa il 30/01/2025 presso il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura di Sapienza Università di Roma (supervisori prof.ssa Elena Ippoliti, prof. Andrea Casale, prof. Graziano Mario Valenti, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura di Sapienza Università di Roma) con la seguente motivazione: per l'originalità del tema e per l'approccio pienamente interdisciplinare, che intreccia i saperi del Disegno con quelli delle neuroscienze, dell'estetica e della psicologia; per la solidità metodologica e la coerenza dell'impianto sperimentale, caratterizzato dalla puntuale definizione di metriche e strumenti per la misurazione dei fenomeni percettivi – dal tracciamento oculare alla valutazione dei processi cognitivi; per il contributo significativo alla disciplina del Disegno e per l'apertura di un filone di ricerca promettente, destinato ad avere rilevanti ricadute nella comprensione della relazione tra osservatore e immagine, sia in contesti reali che virtuali.

La Menzione Gaspare De Fiore 2025 è conferita alla dott.ssa Annalisa Brancasi, per la sua tesi di Dottorato Innovativo Internazionale in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura (XXXVII ciclo) dal titolo *Dal documento iconografico all'esperienza multimediale. Rievocazione del Ninfeo di Villa Giulia prima dei restauri del Settecento*, discussa il 30/01/2025 presso il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura di Sapienza Università di Roma (supervisori prof.ssa Laura Carlevaris e dott.ssa Jessica Romor, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura di Sapienza Università di Roma; co-tutor dott. Donato Maniello, Studio Glowarp) con la seguente motivazione: per la compiuta integrazione tra rigore dello studio storico e innovazione digitale, che conferisce al lavoro dottorale solide basi per l'analisi del patrimonio architettonico e, al tempo stesso, la capacità di intravedere applicazioni di grande impatto nella rappresentazione dell'architettura attraverso tecnologie di realtà aumentata spaziale; per l'attenzione rivolta alla valorizzazione dei disegni storici di Gilles Marie Oppenord, che si fanno strumento privilegiato per interpretare e comunicare il valore dei beni patrimoniali oggetto della ricerca.

La Menzione Gaspare De Fiore 2025 è conferita alla dott.ssa Giulia Lazzaretto, per la sua tesi di Dottorato in Architettura, Città e Design, ambito Composizione, curriculum Rappresentazione (XXXVI ciclo) dal titolo *Zaha Hadid. Painting in an expanded field. Sul processo creativo e sulla rappresentazione nell'opera di Zaha Hadid*, discussa il 26/09/2024 presso l'Università Iuav di Venezia (supervisore prof. Agostino De Rosa, Università Iuav di Venezia) con la seguente motivazione: per la sapiente analisi del processo creativo di Zaha Hadid attraverso i suoi disegni di progetto, capaci di dar forma a un linguaggio visivo e spaziale radicalmente innovativo, riconoscendo la centralità dello studio della rappresentazione di progetto nel nostro ambito disciplinare; per l'acuta indagine della sintesi tra il retaggio culturale mediorientale e l'influenza delle avanguardie russe, che ha consentito a Hadid di esplorare una percezione non euclidea e dinamica dello spazio; per il prezioso contributo alla comprensione di un'architettura che, attraverso frammentazione e cinematismi, ha saputo prefigurare nuovi orizzonti e mettere in discussione le convenzioni della rappresentazione.

La Menzione Gaspare De Fiore 2025 è conferita al dott. Fabrizio Natta, per la sua tesi di Dottorato in Beni architettonici e paesaggistici (XXXVI ciclo) dal titolo *Modellazione computazionale per l'interpretazione geometrica di sistemi voltati complessi fra teoria e realizzazione*, discussa il 22/07/2024 presso il Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino (supervisore prof.ssa Roberta Spallone, DAD, Politecnico di Torino, e prof. Pablo Rodríguez-Navarro, Universitat Politècnica de València) con la seguente motivazione: per il rigore metodologico nella ricerca sulla modellazione computazionale di sistemi voltati complessi; per aver indagato con maestria il legame tra teoria geometrica e pratica architettonica nel tardo Barocco piemontese; per aver offerto una sistematizzazione innovativa delle strutture voltate attraverso l'impiego di tecniche digitali avanzate; e per aver elaborato una metodologia flessibile e scalabile, cruciale per la comprensione e la conservazione del patrimonio architettonico.