



TRIBELON

DISEGNO E RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA,
DEL PAESAGGIO E DELL'AMBIENTE

Journal of Drawing and Representation of Architecture, Landscape and Environment

CONFIGURARE: ORDINE E MISURA
To Shape: Order and Measure

4/25



TRIBELON

RIVISTA DI DISEGNO
UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE

Volume 2 | Numero 4 | Anno 2025

CONFIGURARE: ORDINE E MISURA

To Shape: Order and Measure

Direttore responsabile

Susanna Caccia Gherardini | University of Florence

Direttore Scientifico

Sandro Parrinello | University of Florence

Vicedirettrici

Justyna Borucka | Gdańsk University of Technology, Poland
Francesca Picchio | University of Pavia

Comitato Editoriale

Salvatore Barba | University of Salerno
Carlo Bianchini | Sapienza University of Rome
Matteo Bigongiari | University of Florence
Emanuela Lanza | Suor Orsola Benincasa University of Naples
Francesco Maggio | University of Palermo
Riccardo Florio | University of Naples Federico II
Beniamino Polimeni | University of Hertfordshire
Pablo Rodriguez-Navarro | Valencia Polytechnic University, Spain
Massimiliano Savorra | University of Pavia
Jakub Szczepański | Gdańsk University of Technology, Poland

Coordinamento editoriale e segreteria scientifica

Alberto Pettineo | University of Florence

Coordinamento redazionale e progetto grafico

Anna Dell'Amico | University of Pavia

Comitato redazionale

Gianlorenzo Dellabartola | University of Padua
Ilaria Malvone | University of Florence
Anna Sanseverino | University of Naples Federico II
Alessandro Spennato | University of Florence
Marta Zerbini | University of Florence

Attività di co-revisione

Didacomunicationlab | DIDA, University of Florence

Progetto grafico

Francesca Picchio | University of Pavia
Giovanni Anzani | University of Florence
Anna Dell'Amico | University of Pavia

Logo "TRIBELON"

Francesca Picchio | University of Pavia

In copertina

L'uomo fanta-vitriviano
2025 © Sandro Parrinello

Comitato scientifico internazionale

Giovanni Anzani | University of Florence
Barbara Aterini | University of Florence
Marcello Balzani | University of Ferrara
Carlo Battini | University of Genova
Davide Benvenuti | Nanyang Technological University, Singapore
Stefano Bertocci | University of Florence
Marco Giorgio Bevilacqua | University of Pisa
Carlo Biagini | University of Florence
Fabio Bianconi | University of Perugia
Maurizio Marco Bocconcino | Polytechnic University of Turin
Stefano Brusaporci | University of Aquila
Yongkang Cao | Jiao Tong University, China
Alessio Cardaci | University of Bergamo
Reynaldo Esperanza Castro | National Autonomous University of Mexico, Mexico
Santi Centineo | Polytechnic University of Bari
María Pilar Luisa Chías Navarro | University of Alcalá, Spain
Emauela Chiavoni | Sapienza University of Rome
Michela Cigola | University of Cassino and Southern Lazio
Per Elias Cornell | Gothenburg University, Sweden
Carmela Crescenzi | University of Florence
Edoardo Dotto | University of Catania
Francesca Fatta | University of Reggio Calabria
Ludovica Galeazzo | University of Padua
Fabrizio Gay | IUAV University of Venice
Andrea Giordano | University of Padua
Elena Ippoliti | Sapienza University of Rome
Gjergji Islami | Polytechnic University of Tirana, Albania
Karin Lehmann | Bochum University of Applied Sciences, Germany
Jacek Lebiedź | Gdańsk University of Technology, Poland
Cecilia Maria Roberta Luschi | University of Florence
Mounisif Ibouussina | Cadi Ayyad University, Morocco
Massimiliano Lo Turco | Polytechnic University of Turin
Andrea Mecacci | University of Florence
Alessandro Merlo | University of Florence
Giovanni Pancani | University of Florence
Caterina Palestini | University of Chieti-Pescara
Luis Palmero Iglesias | Valencia Polytechnic University, Spain
Gabriele Rossi | Polytechnic University of Bari
Marcello Scalzo | University of Florence
Maria Soler Sala | University of Barcelona, Spain
Roberta Spallone | Polytechnic University of Turin
Graziano Mario Valenti | Sapienza University of Rome
Giorgio Verdiani | University of Florence
Chiara Vernizzi | University of Parma
Ornella Zerlenga | University of Campania "L. Vanvitelli"

TRIBELON Vol. 2 | N. 4 | 2025

Pubblicazione semestrale

Registrata dal Tribunale di Firenze

n. 6205 del 15.07.2024

ISSN 3035-143X (stampa)

ISSN 3035-1421 (online)

I saggi pubblicati da TRIBELON sono stati valutati, in forma anonima, dal comitato direttivo, dal comitato scientifico e dai referees anche internazionali. Per informazioni sul sistema *peer review* utilizzato dalla rivista si rinvia al sito:

<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>
email: tribelon@dida.unifi.it

Copyright: 2025 © The Author(s)

This is an open access issue distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), unless otherwise specified within.

La rivista è a disposizione di tutti gli eventuali proprietari di diritti sulle immagini riprodotte nel caso non si fosse riusciti a recuperarli per chiedere debita autorizzazione.
The Journal is available to all owners of any images reproduced rights in case had not been able to recover it to ask for proper authorization.

Published by Firenze University Press

Università degli Studi di Firenze

Via Cittadella 7, 50144 Firenze, Italy

www.fupress.com

L'opera è stata realizzata grazie al contributo del DIDA
Dipartimento di Architettura | Università degli Studi di Firenze |
via della Mattonaia 8, 50121 Firenze



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

SOMMARIO

EDITORIALE

- La misura dell'umanità**
Sandro Parrinello

4

-
- La forma delle nuvole (di punti)**
Carlo Bianchini

16

- Oltre la misura. Sistemi mensori, ordine e proporzioni per la configurazione dell'architettura**
Caterina Palestini

26

- La ricerca della ragione. Proporzioni e misure nel rilievo dell'architettura religiosa medievale**
Stefano Brusaporci

36

- Arithmetic, geometry, and measurements in the Baroque building site**
Roberta Spallone

46

- La misura dello spazio sacro: rilievo e analisi di Santa Maria della Steccata**
Andrea Zerbi, Sandra Mikolajewska

54

- Oltre il Modulo: misurare l'adattamento nel palinsesto laurenziano**
Matteo Bigongiari

66

- Dimensional Hierarchies in Traditional Chinese Architecture from Cosmic Order to Human Experience**
Yongkang Cao, Dongjian Qian

76

- La digitalizzazione dei modelli al vero nel processo progettuale di Christian Kerez**
Fabio Colonnese

88

- Semantic Metadata and Lexical Standards for Architectural Heritage Documentation**
Gireesh Kumar Thekkum Kara, Olimpia Niglio

96

RUBRICHE

Un disegno dal passato

- Il Pantheon a Roma nei disegni di Mario Mercantini
Marco Bini

106

Un disegno dal presente

- Geometria, misura e memoria nel ridisegno della cupola della nuova Gerusalemme
Sandro Parrinello

109

La logica della forma: il *Viridarium* di Ascalona

- Cecilia Luschi, Novella Lecci, Alessandra Vezzi, Marta Zerbini

112

Codici grafici

- Algoritmi IA per ottimizzare e visualizzare l'errore in 3D nelle trilaterazioni
Giovanni Anzani

115

Linee di ispirazione. Interviste ai maestri del disegno

- Dialogo con Mario Doccì
a cura di Sandro Parrinello

123



TRIBELON
RIVISTA DI DISEGNO
UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE

VOL. 2 | N. 4 | 2025
CONFIGURARE: ORDINE E MISURA
TO SHAPE: ORDER AND MEASURE

Citation: S. Parrinello, *La misura dell'umanità*, in *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 4-13.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3879>

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Parrinello S., this is an open access article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

LA MISURA DELL'UMANITÀ

SANDRO PARRINELLO

University of Florence
sandro.parrinello@unifi.it

Quando i roghi saranno accesi questa notte, che quelle fiamme possano purificare ciascuno di noi nel suo cuore. Ritorneriamo a ciò che era, e sempre dovrebbe essere, la missione di questa abbazia: la preservazione del sapere, preservazione ho detto, non ricerca del sapere, perché non c'è progresso nella storia della conoscenza, ma una mera, costante e sublime ricapitolazione!

*Jorge da Burgos,
dal riadattamento televisivo de Il nome
della rosa di Umberto Eco.*

L'evolversi della scienza riguarda un costante modificarsi di punti di vista rispetto al rapporto tra uomo e ambiente. Pensando al modificarsi degli stili e delle correnti architettoniche che hanno accompagnato questo progresso è del tutto naturale scorgere una continua ricapitolazione di modelli e proporzioni. La reinvenzione o la riscrittura di forme, linguaggi e strutture dimensionali, dà luogo ad alterazioni che agiscono sull'ordine preesistente e, ogni volta che un modello viene riformulato, si apre una nuova angolazione interpretativa, si modifica la prospettiva da cui lo si osserva, e con essa cambia il modo stesso di intendere l'intero sistema. Da queste variazioni emergono nuovi paesaggi culturali, nuove letture dello spazio, nuove correnti di pensiero e di progetto.

La lettura di questa sperimentazione, continua rivisitazione o ricapitolazione, si muove, come l'atto progettuale, in un intento opposto a quello incarnato, nella mia fantasia, dal venerabile Jorge, che rappresenta, simbolicamente, la diffidenza che alcuni colleghi mostrano verso la sperimentazione, o forse, più in profondità, la diffidenza della scienza nei confronti della propria stessa capacità di mettersi in discussione.

Del resto, proprio come è accaduto nelle principali riscritture e astrazioni della storia, è mentre cerchiamo di comprendere il passato, fosse anche un passato a noi molto vicino, in pratica mentre lo misuriamo, in qualsiasi modo venga attuata tale misurazione, che sperimentiamo. Intendo dire che l'atto stesso della misura, nel suo principio, è un inevitabile processo progettuale, un'azione di sperimentazione tesa ad un progresso culturale.

Poche cose ci pongono in contatto con la storia, e con il senso stesso del tempo, quanto la misura. Misurare significa confrontare e ogni confronto presuppone l'esistenza di un modello di riferimento costruito dall'esperienza, che si tramanda e si affina nei secoli, diventando espressione di una cultura del vedere, del pensare e del comprendere. La misura è un atto di conoscenza e di interpretazione che unisce l'osservatore al contesto e il presente con il passato, traducendo ciò

che viene percepito in forma, strutturando attraverso la memoria un dato che poi, nell'esperienza, diventa sapere condiviso.

La misura nasce inevitabilmente più di 60.000 anni fa, e apparteneva già a quel gruppo di esseri umani descritti da Telmo Pievani che, abitanti dell'Africa, avevano stabilito una propria dimensione societaria quando, ad un certo punto, per ragioni ancora ignote, iniziarono ad esplorare il mondo e a muoversi, misurandolo in moltissimi modi. In quelle esperienze, in quei racconti, nella costruzione di un'immagine utile alla costruzione di una strategia esistenziale, era già presente, nel movimento e nella gestualità, nella comunicazione, un disegno e dunque una misura, che proiettava l'uomo in avanti, oltre l'orizzonte e oltre il mare, forzandolo ad immaginare e permettendogli di esplorare il mondo.

Quando giudichiamo il passato, o immaginiamo come potremmo essere ricordati, quando riflettiamo su ciò che resterà del mondo che abitiamo, non facciamo altro che esercitare un gesto di misura verso l'unica dimensione che ci sfugge del tutto, quella del futuro. La misura diventa così un ponte tra ciò che è stato e ciò che sarà, un linguaggio universale che, nel tentativo di definire il reale, rivela i limiti e la grandezza stessa del nostro sguardo umano.

Nel convegno *De Divina Proportione*, tenutosi alla IX Triennale di Milano nel settembre del 1951, la misura, principio unificante fra scienza, arte e architettura, fu intesa come lo strumento di ricostruzione culturale e umana del dopoguerra. La tensione dell'epoca misurava il conflitto tra tradizione geometrica e nuova percezione della materialità, tra la ricerca di armonia universale e le esigenze concrete del vivere contemporaneo. Nell'esperienza della Triennale la misura trascendeva la sua rigidità apparente, quella cioè di esporsi come una regola fissa applicata in modo meccanico, per assumere una dimensione relazionale e diventare un qualcosa che si costruisce in rapporto al contesto, tornando a relazionarsi maggiormente con il corpo umano, con lo spazio vissuto e con la cultura stessa. La misura connotò un linguaggio che, attraverso il disegno, metteva in relazione il progettista con il mondo, il passato con il presente, la teoria con la pratica, permettendogli di trovare armonie che contemporaneamente fossero storiche, che tenessero cioè conto delle proporzioni classiche e delle tradizioni, tecniche, che rispondessero a esigenze costruttive, funzionali e pratiche e infine sensibili, in grado cioè di dialogare con il corpo, parlando alla percezione, all'emozione dell'uomo. La misura fu assunta come una pratica viva, capace di generare si-

gnificato nel tempo, anche nella scienza della rappresentazione e del rilievo architettonico, dove l'affidabilità metrica e lo sviluppo di metodologie per giungere alla conoscenza attraverso la misura stessa, imposero al rilievo un approccio olistico considerando non solo gli aspetti geometrici, ma anche quelli storici, materiali, ambientali e sociali degli edifici e dello spazio urbano che da qui divennero oggetti di nuove forme di misurazione. Ogni tentativo di misurare il mondo è, in fondo, un atto di narrazione e, così come ogni grande impresa scientifica, nasce da una volontà di racconto, di sintesi e di ordine simbolico.

Nasce e si muove nel tentativo di porre in relazione misure diverse e di definire rapporti di scala, di proporzioni, di sperimentazioni. È proprio nel concetto della scalarità e del suo essere espressione di una fisicità che il digitale, ad esempio, perde certi contorni.

Paradossalmente è proprio la misura a dare al digitale, che tanto oggi sembra proiettarci in avanti, un freno. Nel luogo in cui la misura può essere tutto, nello spazio digitale, intuiamo che forse il digitale al quale ci stiamo tanto affezionando, non può funzionare se non attraverso una profonda materializzazione e reincarnazione dei suoi contenuti.

Nel disegno digitale, dove tutto è codice e numero, il concetto di misura subi-

sce una trasformazione e la scala, il filtro attraverso cui rappresentare lo spazio, si dissolve nell'ambiente virtuale. Il segno legato a una misura precisa, a una riduzione controllata del reale, lascia il posto a un'operatività di simulazione e costruzione dove la distanza interpretativa si annulla in favore di un dispositivo immersivo. Da una traduzione del reale si genera una sua prefigurazione, un ambiente di azione, e la misura, garante di proporzione e criterio di verifica, si trasforma in parametro dinamico, costantemente regolabile e spesso invisibile, un codice interno generato dalla logica del software.

Il disegno diventa perlopiù uno spazio operativo e simulativo che esplicita un ambiente oltre che un'immagine. La dimensione simulativa, dove il disegno si misura su di sé, porta a interrogarsi su cosa stiamo disegnando, se non esiste più distanza tra rappresentazione e costruzione e quale sia la misura che resta, se tutto è direttamente espressione di sé. Per cercare di trasmettere questo pensiero ho iniziato a inserire, ormai da qualche tempo, nelle bibliografie dei corsi di rilievo dell'architettura, romanzi e racconti che pongano il tema della misura sotto un'ottica un po' diversa da quella che si mostra normalmente quando si descrive il processo di analisi nei confronti del patrimonio architettonico.

Il primo tra questi è certamente *La misura del mondo* di Daniel Kehlmann, un romanzo che mette in scena le vite parallele di due figure storiche fondamentali del pensiero europeo: Alexander von Humboldt e Carl Friedrich Gauss. Humboldt, instancabile e visionario, attraversa continenti alla ricerca di leggi naturali che confermino la sua fede nel sistema mentre Gauss, genio introverso e misantropo, misura il mondo senza mai allontanarsi veramente da casa. La contrapposizione tra i due diventa il fulcro narrativo per riflettere sul rapporto tra conoscenza e esperienza, tra ordine e caos, tra visione e calcolo. La misura scientifica del mondo reale è affrontata dal romanzo che costringe a riflettere sulla possibilità di misurare tutto senza però capire davvero il significato. Siamo abituati a far coesistere la conoscenza con la misura e con l'ordine, ma la conoscenza dello spazio non elimina il mistero né redime l'uomo dalla solitudine.

Se Humboldt cerca di misurare il mondo fisicamente, Gauss lo misura penetrando le leggi matematiche e comunque ogni tentativo di contenere la realtà in una griglia di coordinate, formule o mappe è parziale e ingenuo. La misura, nel romanzo, diventa metafora del desiderio umano di controllo, del sogno illuminista di ridurre il caos a ordine, di comprendere tutto attraverso la ragione che produce,

in ogni caso, contraddizioni, solitudini, ossessioni e fallimenti. Il sapere non colma il vuoto esistenziale, non risolve il mistero della vita e misurare non significa possedere. Nel romanzo il desiderio di spiegare tutto lascia sempre fuori qualcosa che corrisponde all'imprevisto, all'umano, a l'irriducibile, esplicitando una critica elegante all'arroganza della scienza quando si illude di poter coincidere con il mondo, omaggiando al contempo la curiosità, la ricerca, e soprattutto il dubbio.

Sono molti i romanzi dove viene messa in evidenza la crisi della conoscenza, tra i miei preferiti c'è sicuramente *Solaris*, il racconto fantascientifico di Stanisław Lem, dove nel tentativo di misurare e comprendere l'ignoto (una coscienza planetaria), il desiderio umano di conoscere si palesa come un riflesso narcisistico e l'alterità radicale non si lascia né misurare né capire. Si tratta di un'allegoria sui limiti della conoscenza umana ambientata in una stazione orbitante attorno al pianeta Solaris, abitata da scienziati che tentano, da decenni, di studiarne l'enigmatica superficie liquida che appare come una sorta di entità vivente capace di produrre manifestazioni fisiche tratte dai ricordi più profondi degli osservatori. Il concetto di misura entra in crisi con ciò che non si lascia oggettivare e il pianeta, pur essendo

sotto osservazione costante, rimane insondabile, inafferrabile, refrattario a ogni classificazione scientifica. La critica all'epistemologia occidentale, fondata sull'idea che la realtà possa essere ridotta a dati, concetti e modelli, è espressa dall'auto-referenzialità della scienza, che spesso non cerca davvero l'altro, ma solo conferme di sé stessa. La conoscenza ha un confine, e non è detto che ciò che sta oltre quel limite possa essere integrato nei nostri sistemi concettuali. Un limite che non esalta un puro mistero romantico, ma l'impossibilità strutturale di convertire l'ignoto in sapere dove la misura diviene il mezzo per constatare l'inadeguatezza degli strumenti umani di fronte a una realtà che non si lascia discretizzare.

Un altro romanzo la cui morale epistemologica è amara e in cui la conoscenza è desiderata ma irraggiungibile, e il linguaggio stesso, strumento della comprensione, si rivela insufficiente, è *Il castello* di Kafka. La fede umana che muove il protagonista verso la conoscenza, lo costringe tuttavia a districarsi tra vicende che fanno del racconto una parabola sull'impossibilità di misurare il senso della vita con strumenti razionali. È un testo che adoro per l'accezione culturale che pone il rilevatore, il protagonista che deve misurare il territorio, in contrasto con l'amministrazione che non

è solo l'autorità costituita che risiede nel castello, ma anche l'inaccessibilità di senso. L'agrimensore nella misura, nell'ordine e nella comprensione, può definire il proprio ruolo, comprendere le regole, ottenere un riconoscimento, ma il suo bisogno, umano, di ordine, si scontra con strutture indecifrabili e si traduce in un fallimento sistematico in cui l'assurdità del potere rende tutto opaco, inafferrabile e dove ogni passo verso la conoscenza genera più confusione e più ambiguità. Ogni tentativo di "misurare" la propria posizione nel mondo è destinato al fallimento in una realtà che sfugge alla razionalità.

La misura come desiderio di comprendere, ordinare e dare un senso al mondo, che si rivela però una trappola che sfocia in una tensione irrisolta, è coerente in numerosi romanzi della modernità. La misura che permette di conoscere assume sovente l'aspetto di ciò che tradisce la conoscenza, quando diventa ossessione, simulacro o pura astrazione. Misurare significa voler comprendere, ma anche rischiare di forzare il reale dentro una griglia che lo snatura e per questo ci sono numerosi romanzi in cui la misura, espressione della dimensione umana, si rivela uno strumento potente ma fragile e nei quali il sapere non può mai del tutto afferrare ciò che sfugge, ciò che eccede, ciò che si sottrae al calcolo.

Romanzi come *Moby Dick* di Herman Melville, *L'uomo senza qualità* di Robert Musil o *Il pendolo di Foucault* di Umberto Eco, sono solo alcuni esempi nei quali la misura è ciò che pone l'uomo di fronte a se stesso e ai suoi limiti.

In *Moby Dick*, la misura si incarna nell'ossessione del Capitano Achab, che cerca nella balena bianca il segreto stesso del male e del destino, costringendo tutto l'equipaggio a diventare parte di una missione totalizzante che non conosce mediazione o prudenza. L'ossessione per la misura del mistero, il desiderio di dare forma al caos, incarnato dalla balena bianca, conduce alla rovina, in quanto l'ossessione della misura diventa distruttiva quando perde il contatto con il limite. La conoscenza si consuma in un delirio di assolutezza dove il metodo scompare, accecato, e misurare l'abisso diventa impossibile nel desiderio di ridurlo a un segno dove la ricerca si risolve in tragedia. *L'uomo senza qualità*, è purtroppo un romanzo che appare sempre più attuale e lo dico perché penso alle illogiche guerre che invece di diminuire aumentano. Nel romanzo la misura intellettuale, etica e matematica di una realtà che sfugge a ogni tentativo sistematico di comprensione, rappresenta la condizione umana della modernità che pur immersa nella razionalità, si muove in un vuoto di senso.

Musil descrive un mondo, quello austro-ungarico alla vigilia della prima guerra mondiale, in cui la misura razionale ha perso ogni capacità di orientare e in cui Ulrich, il protagonista, si muove in un universo dominato dalla moltiplicazione delle possibilità e in cui ogni valore può essere misurato, calcolato e messo a confronto, senza che nessuno abbia più forza normativa. La conoscenza si fa analitica e disincantata, ma perde la sua capacità trasformativa producendo un vuoto in cui l'uomo moderno si scopre senza qualità, cioè senza una direzione stabile. Nel pendolo di Foucault il bisogno di trovare ordine nel caos attraverso la misurazione del significato nei sistemi simbolici e nelle cospirazioni, sfocia nella follia. Spesso, anche quando ero studente, mi è capitato di associare la morale del libro alle molte interpretazioni che venivano date nelle nostre discipline a disegni, modelli, piante e proporzioni. Come la deliberata concezione della pianta di Firenze interpretata come la figurazione della testa di un leone, giusto per restare nella scuola fiorentina, ma devo dire che supposizioni curiose, spesso in vero supportate da altrettanto curiose codificazioni della misura, sono, fortunatamente, frequenti e divertenti.

Nel romanzo di Eco chi vuole misurare tutto rischia di perdersi nel gioco stesso dei segni e Il tentativo di leggere il mon-

do come se tutto fosse segno e tutto fosse connesso, conduce i protagonisti della storia a inventare una cospirazione che, da gioco intellettuale, diventa realtà inquietante e la conoscenza si rivolta contro chi la persegue con troppa sicurezza. Nel romanzo ogni misura si dimostra arbitraria, proprio come per alcuni rilievi. Ogni ordine viene costruito, e così la misura si rivela un'illusione strutturata, associata a sistemi simbolici e ossessioni esoteriche. La propensione umana alla misura segue molte traiettorie, rivelando una tensione profonda della modernità che insiste tra i limiti della mente e l'abisso del significato. Se nel pendolo di Foucault la misura si dissolve in un eccesso di interpretazione o in eccesso di significato, la direzione opposta, che esplicita il limite della percezione, è descritta dal romanzo *Flatlandia*, di Edwin A. Abbott, nel quale la misura e la percezione sono orientate alle dimensioni spaziali e i limiti della conoscenza derivano dai limiti della nostra immaginazione, dove chi tenta di superare la visione dominante viene emarginato. In *Flatlandia*, il protagonista vive in un mondo bidimensionale dove tutto è misurabile con esattezza geometrica. La narrazione, costruita come un'allegoria matematica e filosofica, mostra come la rigidità delle categorie percettive impedisca di accedere a dimensioni superiori. Qui la misura è esatta ma limitata, e la

morale epistemologica è chiara, descrivendo una conoscenza vincolata dalla struttura stessa del nostro sguardo, dove il superamento di quel limite richiede immaginazione, rottura e rischio. In *Flatlandia*, l'errore non è l'illusione di verità, il vedere troppo, bensì il non vedere abbastanza.

In entrambi i casi, nei due romanzi, emergono i medesimi interrogativi su cosa significhi conoscere e, soprattutto, su quale sia il confine tra misurare il mondo e proiettare su di esso il nostro bisogno di senso.

Ecco perché, per risollevare forse il morale, l'ultimo libro che inserisco nella bibliografia del corso sono *Le Cosmicomiche* di Italo Calvino, nel quale la misura è un racconto dell'universo con logica ma anche ironia in quanto anche le leggi dell'universo si piegano alla narrazione e in cui ogni misura si esplicita come un atto creativo perché la scienza ha bisogno della fantasia.

Del resto per comprendere la misura è forse più che necessario comprendere il paradosso, esplicitando la tensione tra il desiderio umano di ordine e la scoperta dei limiti della razionalità. Misura e paradosso sono co-originari, si generano a vicenda. La misura porta al paradosso, e il paradosso invita a riconsiderare come e perché misuriamo. È la storia dell'umanità, dalla misura dello spazio e del tem-

po di Zenone di Elea, ad esempio, dove Achille non raggiungerà mai la tartaruga, ai paradossi logici di Gödel, fino alla scienza quantistica, dove proprio il principio di indeterminazione mostra che a un certo livello la misura stessa altera ciò che misura.

In ogni caso la misura nasce dal bisogno di dare forma, confine e proporzione al mondo. È alla base della matematica, della geometria, della scienza, ma anche dell'etica e dell'estetica in quanto quel "giusto mezzo" aristotelico, insito nelle proporzioni e nel canone classico, implica cercare regole, stabilire rapporti, mentre il paradosso è ciò che resiste alla misura, o che la rivela insufficiente. È la contraddizione che nasce dentro un sistema di regole quando esse vengono spinte al limite, mettendo in crisi le strutture logiche, matematiche o linguistiche con cui pensiamo di conoscere e misurare il reale. Calvino dunque affronta il tema della misura con un approccio paradossale mescolando la scienza con la fantasia, la teoria cosmologica con il racconto mitico in cui ogni racconto parte da un'ipotesi scientifica reale (sulla formazione della Luna, l'espansione dell'universo, l'origine della luce ecc.) e la piega a una logica narrativa in cui Qfwfq attraversa miliardi di anni, raccontando l'universo come fosse un ricordo personale. La misura diventa una moltitudine di categorie affettive,

legate al corpo, al desiderio, alla perdita, e ogni tentativo di misura è sempre anche un atto narrativo, una costruzione di senso in cui la misura viene continuamente messa in crisi e al tempo stesso reinventata.

La scienza è piegata alla logica dell'immaginazione perché la misura non basta, ma è necessaria e non esiste comprensione del mondo che non sia anche interpretazione, racconto e forma, restituendo alla scienza la sua dimensione più umana in cui il bisogno di misura convive con il bisogno di meraviglia e dove misurare l'universo sconfinato, come per i popoli di 60.000 anni fa che si trovavano di fronte all'universo sconfinato del viaggio sulla terra, sia innanzitutto imparare a raccontarlo.

La misura è il metodo attraverso il quale l'umanità si autoverifica. Misurare l'umanità oggi è terribile. Basta volgere lo sguardo nei luoghi che da sempre sono il riferimento culturale del nostro vivere per scoprire quanto tale misura sia andata persa. Nel linguaggio e nei gesti della guerra la misura viene cancellata. L'ignoranza si oppone alla misura quando la vendetta prende il posto della giustizia e la distruzione viene celebrata come diritto, allora ogni idea di umanità si sgretola, assieme alla misura. Assistiamo increduli ad un ripetersi ossessivo di violenze che forse non sono mai cessate, ma che

cancellano ogni conquista sociale, ogni memoria. È una sconfitta per la storia, che viene brandita come alibi mentre la diplomazia si eclissa, il linguaggio si irridisce, il pensiero cede nel silenzio davanti alla morte, all'oblio. Credo che un compito, forse il più importante, della cultura sia proprio proporre la misura come esercizio di responsabilità e come freno all'odio, per opporsi all'oblio della ragione e al fanatismo della forza.

Quanto accade oggi è il segno di un paradosso morale e culturale dove si crede di abitare il tempo della ragione, ma si agisce nella ripetizione cieca della violenza replicando il meccanismo dell'oppressione. Non si misura l'umano e così si ritiene giustificato un super uomo che sfoggia nel proprio eccesso l'orrore di un vicinissimo Novecento dove il genocidio, la disumanizzazione, la distruzione sistematica, hanno solo cambiato confini e linguaggio. E questa, più che una crisi politica, è una sconfitta etica, che accade in numerose parti del mondo ma che, quando si avvicina ai luoghi della propria cultura, diviene misurabile e quindi leggibile, immaginabile, e ancor più incomprensibile. Se tutto questo accade ancora oggi con una logica antica ma una più colpevole indifferenza, la misura è fallita e l'uomo, che si illudeva pochi decenni fa di aver imparato, sembra ricadere in un abisso più profondo, promuovendo una crisi

della civiltà dietro meccaniche economiche che non hanno alcun fondamento di connessione con la vita e con la dimensione concreta dell'esistenza.

In questo numero di *Tribelon* avrei voluto includere contributi provenienti dalla filosofia e dalla semiotica, discipline che offrono letture fondamentali del concetto di misura, soprattutto nelle sue implicazioni culturali e politiche. Nonostante questa mancanza, la sequenza dei saggi raccolti compone un quadro sorprendentemente ricco e sfaccettato dove ogni autore affronta la misura da una prospettiva distinta, mettendo in dialogo metodologie, periodi storici e sensibilità differenti. Il risultato è un insieme di contributi capaci di restituire la natura intrinsecamente polisemica della misura e di ampliare la riflessione disciplinare oltre i confini tradizionali. Queste visioni, pur diverse tra loro, convergono nel delineare un riferimento solido e originale per il settore della rappresentazione, offrendo al lettore percorsi interpretativi stimolanti e profondamente attuali.

Ne *La forma delle nuvole (di punti)* Carlo Bianchini affronta il tema della tensione tra analogico e digitale nelle procedure di rilevamento architettonico. Attraverso esperienze e casi studio basati su differenti *dataset* tridimensionali, il saggio mette in luce come l'atto interpretativo, quando realmente esercitato, resti im-

mutato, mentre a cambiare, ad offrire nuove forme e modelli, siano i dispositivi e i prodotti attraverso cui il disegno contribuisce alla conoscenza del manufatto. *Oltre la misura* è il saggio di Caterina Palestini che affronta uno studio dei sistemi mensori, tra ordine e proporzione, funzionali alla configurazione dell'architettura. Assieme ai saggi su *La ricerca della ragione*, di Stefano Brusaporci, che analizza proporzioni e misure nell'architettura medievale e di Roberta Spallone su *Arithmetic, geometry, and measurements* per il controllo del cantiere barocco, viene proposto costituiscono un viaggio nel tempo attraverso le pagine della rivista. Tre prospettive differenti che mostrano come la misura sia stata elaborata, interpretata e codificata all'interno del linguaggio progettuale nelle diverse epoche della storia dell'architettura.

Due saggi restituiscono con chiarezza il valore della misura, dell'analisi metrica e della proporzione come chiavi interpretative delle grandi fabbriche rinascimentali. Lo studio dedicato a Santa Maria della Steccata a Parma, di Andrea Zerbi e Sandra Mikolajewska, e l'indagine sul palinsesto laurenziano della basilica di San Lorenzo di Matteo Bigongiari offrono letture rigorose che mettono in relazione forma, costruzione e intenzione progettuale. Questi lavori dialogano idealmente con il saggio di Yongkang Cao, che apre

il confronto a una dimensione interculturale, osservando l'architettura tradizionale cinese attraverso i suoi moduli, le proporzioni e le gerarchie strutturali per individuare corrispondenze e differenze tra Oriente e Occidente. La riflessione sul rapporto fra misura e progetto si amplia con il contributo di Fabio Colonnese, che analizza il processo creativo di Christian Kerez, individuando nel modello una forma di pensiero capace di restituire tanto la memoria costruttiva quanto le tensioni della contemporaneità. Infine, Gireesh Kumar Thekkum Kara e Olimpia Niglio introducono un cambio di scala concettuale, affrontando la misura come valutazione della conoscenza ed esplicitando un pensiero sotteso a tutti gli interventi di questo numero. Misura dei dati, misura della qualità, misura dell'affidabilità dei modelli digitali, queste misure e la loro analisi mettono a fuoco tematiche cruciali come l'accuratezza, la standardizzazione lessicale e la struttura semantica dei *dataset*, che permettono di verificare, comprendere e rendere interoperabile l'informazione digitale. La misura emerge così come fondamento tecnico e scientifico della rappresentazione digitale, strumento epistemologico indispensabile per garantire la solidità dei processi di documentazione, acquisizione e modellazione che oggi accompagnano la ricerca sul patrimonio.

Seguono poi le consuete rubriche della rivista *Un Disegno dal passato* Marco Bini presenta i bellissimi disegni di Mario Mercantini sullo studio proporzionale del Pantheon a Roma. Disegni e rappresentazioni in pianta, sezione, spaccato assonometrico e dettagli di un capitello per lo studio della forma dell'importante monumento romano. Il Pantheon è il monumento che più rappresenta, nella rilettura dell'età imperiale romana, la dimensione cosmologica dello spazio architettonico, ponendo sotto la sfericità della sua cupola cassettonata, l'uomo in rapporto diretto con la dimensione immortale e infinita delle divinità. In diretta sinergia con il modello di una cupola che proietta oltre la dimensione terrena, la cupola del Santo Sepolcro di Gerusalemme proietta verso la resurrezione dell'anima, e il modello seicentesco della cupola nella Nuova Gerusalemme di Istra a Mosca, copia del Santo Sepolcro, è protagonista di una ricerca nella rubrica *Un Disegno dal presente* che riguarda la definizione della misura, la lettura del testo architettonico e il ridisegno di un monumento andato perduto durante la seconda guerra mondiale. Nella stessa rubrica viene presentata la ricerca coordinata da Cecilia Luschi ad Ashkelon, dove il disegno diviene strumento e di analisi logica della forma del *Viridarium* presente nel sito archeologico. La ricerca riguarda un cantiere di sperimentazione e analisi promosso da ac-

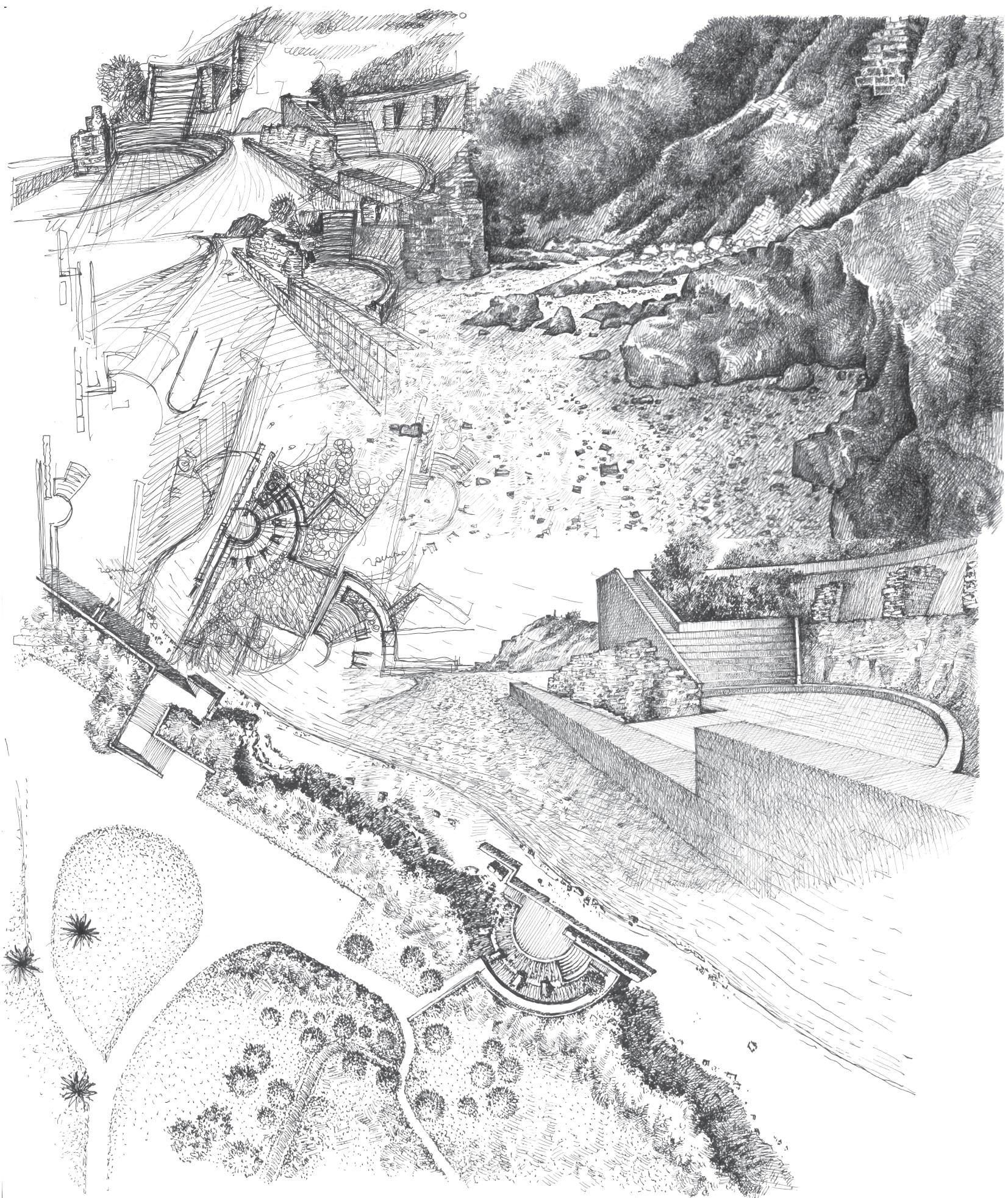
cordi bilaterali e supportato dal Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale a cui hanno, negli ultimi anni, partecipato numerosi studenti e ricercatori tra cui le allora dottorande della scuola fiorentina Novella Lecci, Alessandra Vezzi e Marta Zerbini. Nella rubrica *Codici Grafici* Giovanni Anzani instaura un dialogo con l'intelligenza artificiale, in particolare con *GitHub Copilot*, per sviluppare script in AutoLISP dedicati all'ottimizzazione e alla visualizzazione dell'errore nelle trilaterazioni, a supporto dei processi di compensazione della misura.

La rivista si chiude con l'intervista ai Maestri del Disegno, attraverso il dialogo con Mario Docci. Il professore rappresenta una delle figure che più hanno traghettato la scienza del rilievo architettonico fino a oggi, e nelle sue parole riaffiora una passione per la ricerca capace di invadere persino il sogno. Il suo colloquio onirico con il gromatico Balbo suggerisce quanto il mestiere del rilevatore sia, in fondo, una tensione continua verso la misura e, quindi, verso la conoscenza.

Il rilevatore porta nello spazio del sogno il proprio studio, disegnando con la mente oltre l'orizzonte visibile, per proseguire nel racconto della vita, spinto a procedere così come lo erano gli uomini che, migliaia di anni fa, avanzarono per abitare e comprendere l'infinito della terra. In questa visione di meraviglia rivolta allo

spazio ho immaginato la copertina ripensando l'uomo vitruviano come una figura ormai fluida, ancora in dialogo con la misura e la geometria, ma proiettata verso le forme del fantastico. Dalle anatomie di *Alien* alle metamorfosi di *Total Recall*, la mutazione diventa esito naturale della ricerca, attraversando il digitale e l'interazione con il Disegno. E se in *Guida galattica per gli autostoppisti* i topi sono le forme di vita più evolute del pianeta, allora ha senso pensare che siano proprio loro a misurare questa deformazione in cui l'uomo si conferma la cavia di se stesso. In questa volutamente ironica e forse dissacrante rappresentazione ho pensato che fosse utile tentare di evitare, come ammoniva Eco, di diventare come il venerabile Jorge, schiavi dei fantasmi e prigionieri dell'ossessione per un'unica verità. Ho scelto di attingere alla fantascienza per rappresentare la misura proprio perché ciò che un tempo relegavamo all'immaginazione oggi si manifesta, sempre più spesso, nella sua forma più cruda e tragicamente reale. Se persino l'orrore che credevamo definitivamente consegnato alla storia torna a ripetersi, allora tutto può diventare possibile. E in questa possibilità, inquietante ma inevitabile, la fantasia e anche l'ironia restano uno degli ultimi spazi liberi per raccontare, comprendere e restituire senso al mondo che abitiamo e che abiteremo, misurando oltre l'orizzonte.

*In memoria del collega Andrea Ricci,
raffinato disegnatore e studioso della composizione,
questa tavola riunisce alcuni dei suoi disegni dedicati all'analisi del teatro di Ascalona,
testimonianza della sua sensibilità grafica e della profondità del suo approccio alla rappresentazione.*



Citation: C. Bianchini, *La forma delle nuvole (di punti)*, in *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 16-25.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3723>

Received: October, 2025

Accepted: November, 2025

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Bianchini C., this is an open access peer-reviewed article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

LA FORMA DELLE NUVOLE (DI PUNTI)

The shape of (Point) Clouds

CARLO BIANCHINI

Sapienza University of Rome
carlo.bianchini@uniroma1.it

Traditionally conceived as a process of measurement and representation aimed at understanding built heritage, Survey has always been an interpretative act, where Drawing instead used to mediate between observation and conceptualisation. With the advent of 3D capturing technologies, particularly Terrestrial Laser Scanning (TLS) and Structure from Motion (SfM), this paradigm has shifted: sketches and measured drawings have been replaced by the point cloud, a massive numerical dataset seemingly detached from subjectivity. Yet, the cognitive nature of Survey persists, now articulated across two distinct phases (data acquisition and selection/interpretation) where transparency of procedures aligns the first with the scientific method, while interpretation remains an authorial act.

Research conducted within the NRRP project Produzione, Organizzazione e Comunicazione della Conoscenza on the Aachen Cathedral, the San Lorenzo in Miranda Church, the Unfinished of Venosa, and the Cathedrals of Acerenza and Aversa, demonstrates how digital infrastructures, databases, and HBIM frameworks enable new readings of historical architecture.

The point cloud thus emerges as both autonomous source and representational form: a "geometric imprint" preserving spatial and material memory. Beyond its technical role, it embodies a new epistemic layer, a digital palimpsest where knowledge and interpretation converge.

Keywords: Point clouds, Data layering, Digital survey, Documental 3D sources, Temporal value of point clouds.

Il Rilievo, tradizionalmente inteso come processo di misurazione e rappresentazione finalizzato alla conoscenza di un manufatto, è sempre stato un'operazione eminentemente interpretativa. Il Disegno, strumento principe di tale processo, ha per secoli rappresentato il punto di incontro tra osservazione e concettualizzazione: una traduzione ragionata della realtà costruita, in cui ogni linea era frutto di una scelta e, al contempo, di una rinuncia. La mano del rilevatore, guidata da esperienza, formazione e finalità conoscitiva, operava una selezione che trasformava il visibile in significato, la misura in conoscenza¹.

Nella tradizione italiana il Rilievo non è mai stato quindi soltanto un esercizio tecnico, ma una forma di lettura critica applicata agli oggetti costruiti. Ogni linea tracciata, ogni scelta grafica, costituiva una decisione epistemologica: che cosa

mostrare, che cosa tacere, quale scala e quale linguaggio adottare per rendere intelligibile la complessità dell'opera. Il Rilievo era dunque un dispositivo di conoscenza, una forma di scrittura che, attraverso la mediazione della mano, trasformava la misura in significato². Questa dimensione interpretativa emerge con forza nei grandi rilievi analogici del Novecento³, nei quali la rappresentazione si configurava più che come copia come "restituzione concettuale". Si pensi ai rilievi delle architetture rinascimentali o barocche romane, in cui il disegno diventava il campo di una doppia operazione: osservare e comprendere, restituire e interpretare. L'atto del disegnare era una forma di pensiero grafico, un modo per «vedere nel disegno ciò che la realtà nasconde nella sua complessità»⁴. Con l'avvento delle tecnologie di 3D capturing, in particolare con la diffusione del

“ La nuvola di punti non è soltanto un semplice intermediario tra la realtà e il modello, ma un livello di rappresentazione autonomo.



1 | Cattedrale di Aachen. Prospetto texturizzato RGB della facciata est ottenuto proiettando la nuvola di punti.

Laser Scanning Terrestre (TLS) e delle applicazioni fotogrammetriche di *Structure from Motion* (SfM), questa dinamica si è profondamente trasformata. Il rilievo contemporaneo appare oggi produrre non più un disegno, ma un insieme massivo di dati numerici, organizzati in forma di coordinate spaziali: la cosiddetta “nuvola di punti”. L’atto del disegnare, inteso come mediazione diretta tra soggetto e oggetto, sembra in questo scenario cedere il passo a un processo di acquisizione automatica apparentemente privo di interpretazione. Tale mutamento ha sollevato interrogativi epistemologici di grande rilevanza: se il disegno era interpretazione, la nuvola è conoscenza oggettiva? Se la misura è affidata a una macchina, dove si colloca la soggettività dell’operatore?

La rivoluzione digitale e la costruzione del dato

Le tecnologie di *3D capturing* hanno radicalmente modificato il modo in cui il rilevatore entra in relazione con il manufatto. L’atto del misurare non coincide più con quello del disegnare: il contatto diretto con l’oggetto è sostituito da una catena di acquisizioni digitali che, in apparenza, sottrae spazio all’interpretazione.

Eppure, la natura conoscitiva del rilievo non è venuta meno: si è semplicemente spostata su un nuovo piano, dove le fasi di acquisizione del dato e della sua selezione/interpretazione, di fatto fuse nell’approccio tradizionale, risultano distinte sia temporalmente che operativamente⁵. Mentre la “lettura” interpretativa ricade secondo questo schema ancora pienamente nel campo dell’autorialità

¹ Docci, Maestri, *Manuale di rilevamento architettonico*.

² *Ibid.*

³ Esiste a questo proposito una lunga tradizione che affonda le sue radici nell’attività dell’Associazione Artistica fra i Cultori di Architettura prima e poi in quella del Centro di Studi per la Storia dell’Architettura e nelle molte altre iniziative attive anche fuori dal contesto romano. E’ tuttavia solo nel secondo dopoguerra che le attività di rilevamento assumeranno progressivamente un pieno carattere scientifico dando infine origine ad un Settore Scientifico Disciplinare specifico.

⁴ Docci, Maestri, *Manuale*, cit.

⁵ Bianchini, *Metamodellazione*.

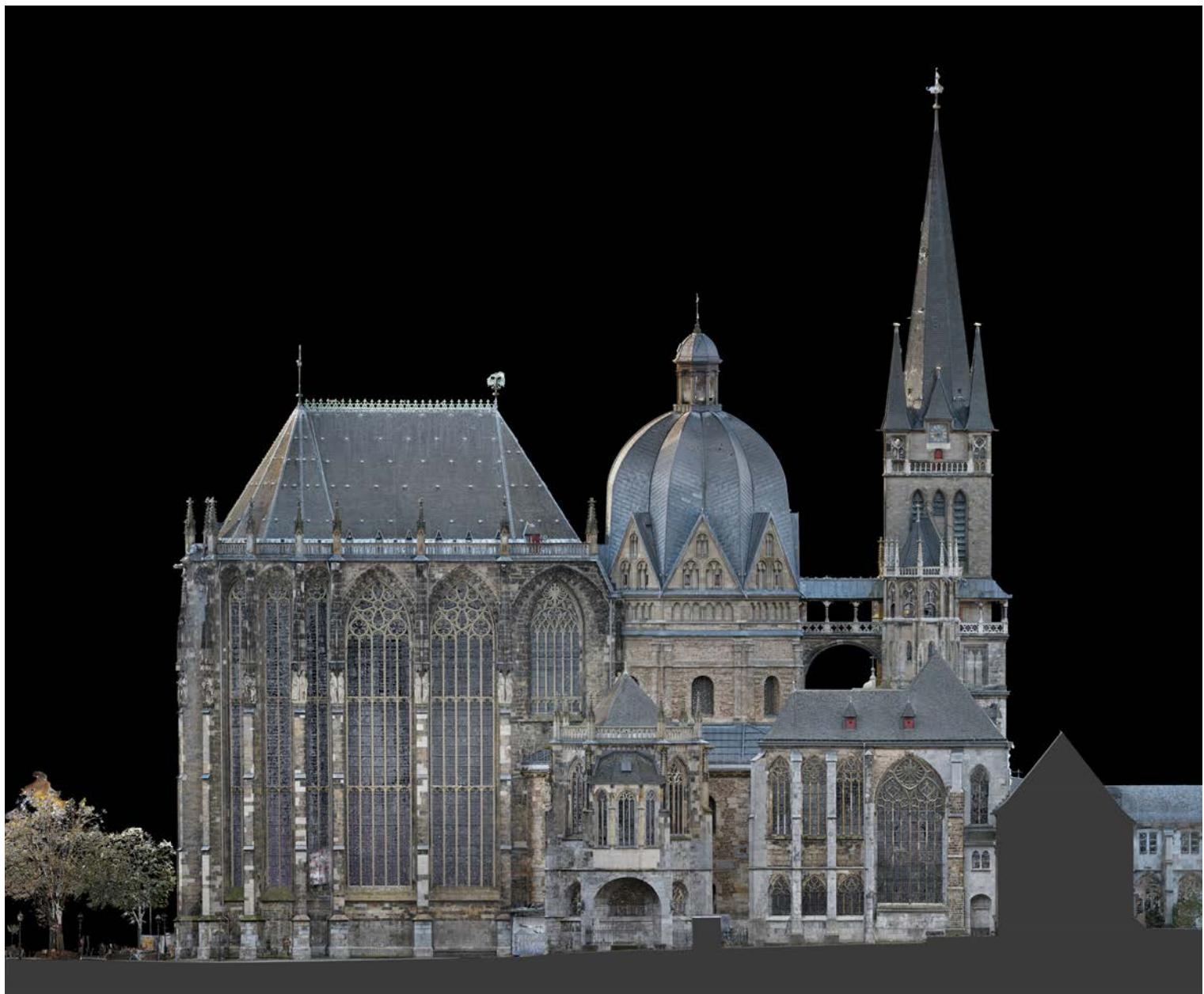


2 | Cattedrale di Aachen. Sezione longitudinale con sovrapposizione della nuvola di punti, i cui valori di riflettanza sono rappresentati tramite mappatura cromatica.

soggettiva, il prodotto della prima fase, la nuvola di punti, appare invece ragionevolmente assoggettabile al "metodo scientifico". Infatti, sebbene nasca anch'essa da un insieme di scelte "soggettive" (la selezione dello strumento, la posizione delle stazioni di scansione, la risoluzione dell'acquisizione, la calibrazione delle immagini, i filtri di rumore e i criteri di allineamento, etc.) la trasparen-

za e condivisione di tali scelte assumono il ruolo di "condizioni al contorno" di una fase di 3D capturing assimilabile ad un esperimento scientifico⁶. Tutte queste affermazioni non sono tuttavia congetturali, ma al contrario rappresentano l'asciutta sintesi di quanto testato sul campo specialmente nel corso del progetto di ricerca *Produzione, Organizzazione e Comunicazione della Conoscenza svilup-*

⁶ Bianchini, *Metamodellazione*, cit.



3 | Cattedrale di Aachen. Ortografia della nuvola di punti texurizzata con i valori RGB.

pato nell'ambito del PNRR⁷ che ha visto come casi studio, tra gli altri, la Cattedrale di Aachen, la Chiesa di San Lorenzo in Miranda a Roma, l'Incompiuta di Venosa e le Cattedrali di Acerenza e Aversa.

Con sfumature diverse, infatti, tutti questi progetti hanno rappresentato un banco di prova emblematico dove la complessità geometrica delle fabbriche e la stratificazione della materia e delle fasi costruttive hanno imposto un uso critico delle tecnologie digitali. La densità della nuvola, la risoluzione fotogrammetrica e la strategia di scansione sono evidentemente diventate parte integrante del processo di conoscenza, non semplici premesse tecniche.

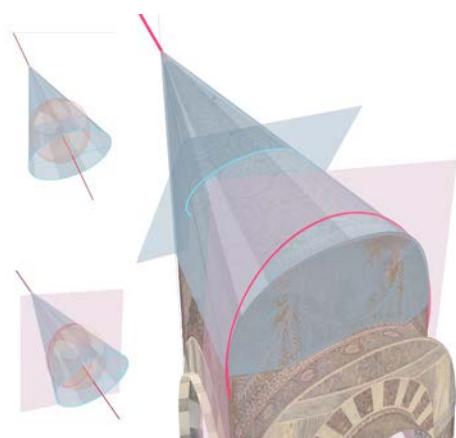
Analogamente, questo attento approccio procedurale ha evidenziato come

l'integrazione tecnologica, nella misura in cui diviene infrastruttura del processo di conoscenza, possa risultare una componente metodologica essenziale anche per una *nuova lettura* degli edifici storici. In questo caso, la nuvola di punti non è servita soltanto a generare un modello metrico accurato, ma anche a indagare le relazioni spaziali tra elementi diacronici nonché la loro matrice geometrica profonda.

Tra gli esempi citati, lo studio condotto sulla Chiesa di san Lorenzo in Miranda⁸ appare particolarmente significativo. In questo caso, infatti, l'approccio tradizionale allo studio storico-architettonico dell'edificio è stato arricchito da nuovi strumenti e prospettive, con l'obiettivo di costruire un ecosistema capace di

⁷ Il progetto *Produzione, Organizzazione e Comunicazione della Conoscenza* costituisce la Linea Tematica 1 dello Spoke 8 del PE5-Changes finanziato nell'ambito del PNRR. Oltre al PI Carlo Bianchini, hanno fatto parte del gruppo di ricerca: Alfonso Ippolito, Roberta Dal Mas, Carlo Inglesi, Guglielmo Villa, Martina Attenni, Marila Griffi, Roberto Barni, Rinaldo D'Alessandro, Gabriele Giuliani, Marco Pistolesi.

⁸ Dal Mas, S. *Lorenzo de' Speziali in Miranda: Universitas Aromatariorum Urbis*.



4 | Cattedrale di Acrenza. Icnografia della nuvola di punti generale texturizzata con i valori di riflettanza.

5 | Cattedrale di Aachen. Studio della forma della volta comica triangolare del primo livello.

garantire interoperabilità e interdisciplinarità nei processi di raccolta, organizzazione e gestione dei dati. Scopo ultimo del lavoro è stato trasformare i *dati* in *informazioni* significative, attraverso un processo di "stratificazione della conoscenza".

Il primo passo ha riguardato la definizione di un sistema di riferimento condiviso per la georeferenziazione e strutturazione standardizzata di dati e metadati e l'individuazione di un ambiente informativo idoneo alla loro archiviazione e visualizzazione.

Per quanto concerne la georeferenziazione, tra il 2022 e il 2024 è stato condotto un rilievo 3D integrato volto a documentare le caratteristiche fisiche del monumento. Le campagne di rilievo hanno combinato TLS, fotogrammetria e topografia, consentendo di ancorare la nuvola di punti alla rete topografica del Parco Archeologico del Colosseo. Il sistema di riferimento adottato è stato l'RDN, realizzazione italiana dell'ETRF 2000⁹. La nuvola di punti georeferenziata è così diventata una risorsa fondamentale per l'analisi architettonica della chiesa, fornendo coordinate assolute e metricamente affidabili di ciascun elemento.

Parallelamente si è lavorato alla definizione della struttura dei dati e dei metadati, aspetto cruciale in ogni ricerca che coinvolga manufatti, così che le diverse

fonti disponibili (cartografie, rilievi storici, immagini d'archivio, nuvole di punti, modelli 3D, etc.) potessero essere organizzate in un quadro descrittivo omogeneo.

Per San Lorenzo in Miranda, la struttura del database è stata adattata da quella sviluppata nell'ambito del progetto *Lazio Antico*¹⁰, un atlante GIS dedicato alla documentazione delle testimonianze archeologiche di Roma antica¹¹. Tale modello associa a ciascuna Unità Topografica (UT), definita come «la minima traccia identificabile di insediamento o attività umana»¹², l'insieme dei dati disponibili, organizzati secondo una specifica tassonomia e relazioni semantiche.

Pur mantenendo la compatibilità con il modello originario, concepito per dati archeologici, si è reso necessario un adattamento per accogliere la documentazione architettonica, caratterizzata da un grado di dettaglio più elevato. Nel caso specifico, le fonti bibliografiche e archivistiche relative a San Lorenzo in Miranda consentono di ricostruire con precisione le fasi di cantiere, dal progetto iniziale (1602) al completamento dell'opera (1720). Per rappresentare tale articolazione cronologica, si è distinta la fase costruttiva vera e propria (1602–1720) da quella successiva, segnata dai primi interventi archeologici del 1810¹³. Nel passaggio dall'ambito archeologico

⁹ Baroni, Cauli, Farolfi, Maseroli, *Final results of the Italian "Rete Dinamica Nazionale" (RDN) of Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI) and its alignment to ETRF2000*.

¹⁰ <https://lazioantico.datascape.dev/app.html>

¹¹ Carafa, *The Information System of Ancient Rome*.

¹² Ippoliti, *Lazio antico: from the information system for the archaeological heritage of ancient Latium to the virtual museum*.

¹³ Dal Mas, *S. Lorenzo de' Speziali in Miranda*, cit.

¹⁴ Pritchard, Sperner, Hoepner, Tenschert, *Terrestrial laser scanning for heritage conservation: The Cologne Cathedral documentation project*.

¹⁵ Pritchard, Sperner, Hoepner, Tenschert, *Terrestrial laser scanning for heritage conservation: The Cologne Cathedral documentation project*.

¹⁶ Attenni et al., *The vaulting system of the Palatine Chapel: the Aachen Cathedral World Heritage Site documentation project*; Bianchini, *Sulle unghie coniche della Cappella Palatina di Aachen*.



a quello architettonico, è inoltre emersa la necessità di includere informazioni relative alla consistenza materica, alla distribuzione degli arredi mobili e alla documentazione sullo stato di conservazione, fondamentali per una descrizione più esaustiva dell'edificio. Di conseguenza, la struttura del *database* è stata arricchita di ulteriori parametri descrittivi, capaci di restituire la complessità del manufatto. Inoltre, questa organizzazione del *dataset* della chiesa è stato di fatto propedeutico alla ricostruzione delle caratteristiche costruttive del manufatto attraverso un processo di "smontaggio" virtuale, reso possibile proprio dalla struttura semantica del modello. Tale smontaggio costituisce la base per la ricostruzione digitale mediante sistemi informativi tridimensionali e, in questa direzione, le soluzioni HBIM assumono un ruolo strategico nel processo di stratificazione della conoscenza e nell'integrazione di dati eterogenei e multidisciplinari. Il modello di *database* è stato quindi testato anche per garantirne la piena compatibilità con le strutture parametriche dell' HBIM, in vista di futuri sviluppi.

La nuvola di punti come fonte autonoma e rappresentazione

Accanto a questa "filiera della conoscenza", negli ultimi anni si è andata affermando l'idea di considerare la nuvola di punti come una "fonte autonoma"¹⁴. Tale definizione non implica in alcun modo l'oggettività perfetta del dato, ma tuttavia riconosce alla nuvola una dignità documentaria propria, indipendente dalle successive elaborazioni. Secondo quest'impostazione, essa costituisce un archivio primario, una sorta di "impronta geometrica" dell'oggetto che conserva in forma numerica la totalità delle relazioni spaziali e materiche¹⁵.

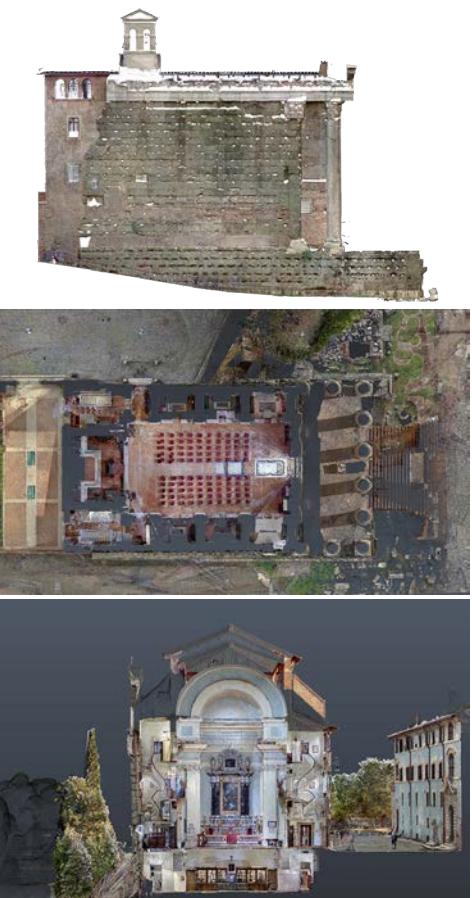
Il valore di questa prospettiva emerge chiaramente in tutti i progetti già citati ma in quello relativo alla Cappella Palatina di Aachen essa ha già consentito di offrire nuovi spunti di ricerca.

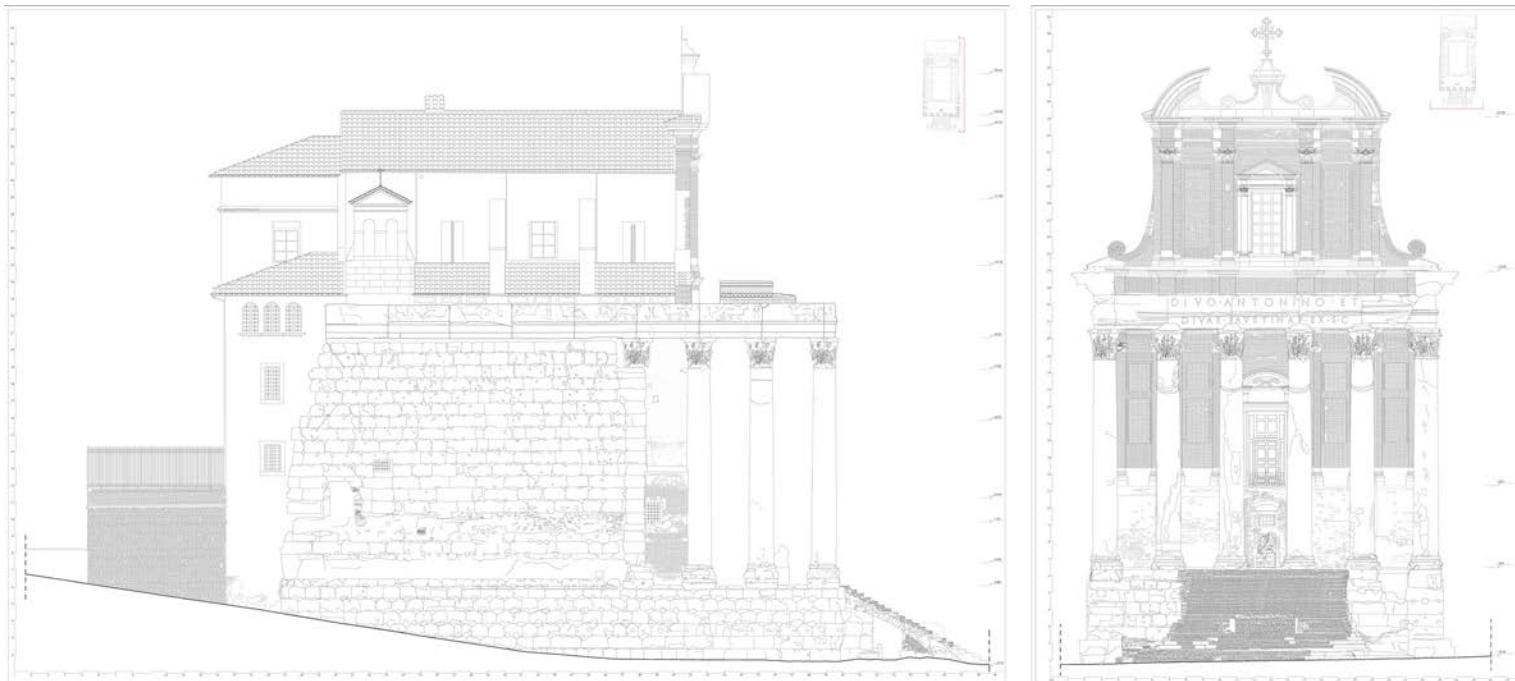
La nuvola risultante dalla campagna di acquisizione integrata che ha interessato più del 95% delle superfici del manufatto, ha restituito infatti un *dataset* denso di informazioni sia cromatiche che radiometriche con un'incertezza media inferiore a 1 cm. In altre parole "un documento a se stante" capace di alimentare analisi strutturali, studi decorativi, confronti diacronici e che, nel nostro caso specifico, ha permesso di svelare una geometrica conica inedita per le vol-

6 | Cattedrale di Acerenza. Sezione trasversale della nuvola di punti texturizzata con i valori RGB.

7 | Chiesa di san Lorenzo in Miranda. Icnografia e ortografia della nuvola di punti generale texturizzata con i valori RGB.

8 | Chiesa di san Lorenzo in Miranda. Sezione prospettiva della nuvola di punti generale texturizzata con i valori RGB.





9 | Chiesa di san Lorenzo in Miranda. Disegno al tratto dei prospetti nord e ovest.

te triangolari dell'ambulacro del primo livello¹⁶.

Il medesimo approccio è stato replicato come detto anche per le Cattedrali di Acerenza e Aversa e nel caso dell'Incompiuta di Venosa, tutti edifici medievali accomunati da un impianto che ospita un coro deambulato. Anche se gli studi sono ancora nella fase preliminare, la possibilità di interrogare *dataset* densi, affidabili e con un grado di completezza simili a quelli della Cappella Palatina, sta già mettendo in evidenza aspetti di omogeneità e disomogeneità tra queste fabbriche con il risultato di stimolare nuovi spunti di ricerca circa l'esistenza di una matrice architettonica comune, la sua genesi e infine le sue eventuali contaminazioni locali¹⁷.

Ancora una volta, dunque, la nuvola di punti dimostra un carattere intrinseco che, lungi dall'essere un prodotto "tecnico", assume la funzione di un palinsesto conoscitivo: uno strato di dati attraverso cui leggere (come nel caso della Cappella Palatina di Aachen e auspicabilmente nelle chiese a coro deambulato) anche la tensione tutta architettonica tra progetto e costruzione, tra idea e materia.

In tutti questi esempi, la nuvola non è soltanto un semplice intermediario tra la realtà e il modello, ma un livello di rappresentazione autonomo¹⁸, una "immagine analitica" della realtà, una forma di

rappresentazione che sostituisce la selezione grafica con la densità informativa. Tuttavia, la sua natura costruttiva rimane: ogni nuvola è una rappresentazione mediata, frutto di scelte e intenzioni, non un riflesso neutro del reale.

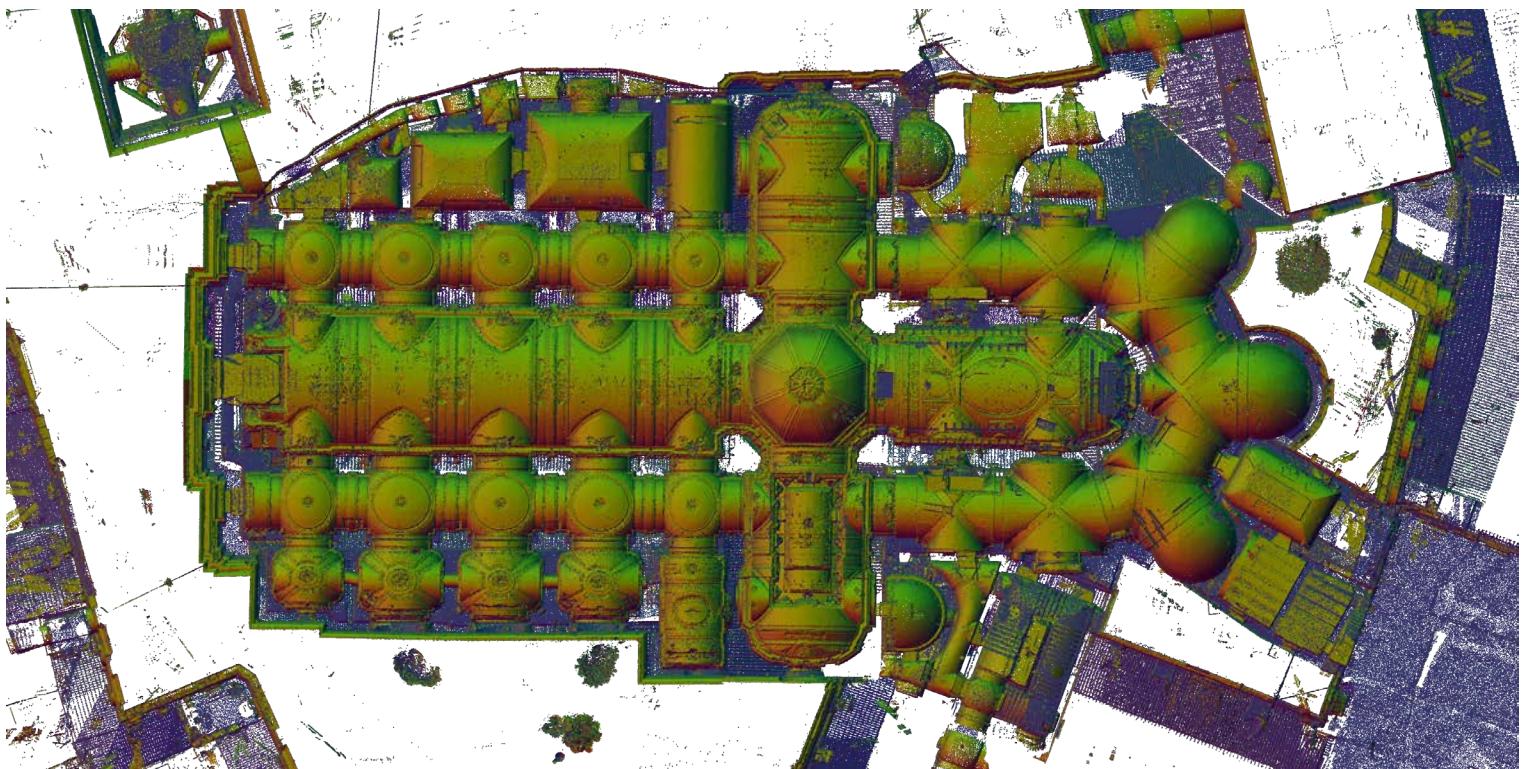
Temporalità, memoria e interpretazione nel rilievo digitale

Un altro aspetto da mettere in luce del rilievo digitale è la "temporalità del dato", un tratto indipendente dalla incertezza o quantità dei dati e che può a ben vedere essere annoverato tra le novità epistemologiche più significative che questo approccio ha introdotto.

Sebbene ogni rilievo ambisca a cristallizzare un preciso istante nella vita del manufatto, le attività di *3D capturing* che generano una nuvola di punti lo fanno in una forma inedita: essendo di fatto una sorta di "fotografia tridimensionale", la nuvola è capace non solo di fissare la geometria, ma anche le tracce del tempo, le patine, le deformazioni, le discontinuità materiche. In questo senso la nuvola di punti di un manufatto appare più simile alla fotografia 3D di una "scena del crimine" (in cui appaiono fissati oggetti, tracce, condizioni, posizioni) più che al prodotto di una massiva sequenza di singole misure.

¹⁷ Gallotta, Villa, *Cantieri monastici e rinnovamento del linguaggio nell'architettura duecentesca del Lazio meridionale*; Barni, Gallotta, Inglese, *Modelli digitali complessi per l'analisi dei chiostri di Fossanova e Casamari*.

¹⁸ Attenni et al., *A Semantic Classification Approach for the Aachen Cathedral*.



10 | Cattedrale di Aversa. Icnografia della nuvola di punti generale texturizzata con i valori di riflettanza.

11 | Cattedrale di Aversa. Sezione longitudinale della nuvola di punti texturizzata con i valori RGB.

Ci troviamo allora veramente davanti a una nuova forma di documento tecnico-scientifico, un archivio capace di catturare ovviamente gli aspetti materiali ma che altresì intrappa anche la memoria per così dire *immateriale* della scena. In altre parole essa conserva non solo la *forma*, ma anche la *presenza*: una caratteristica che, tralasciando qualunque componente umanistica e limitandoci al solo valore architettonico, corrisponde a documentare le imperfezioni della pietra, le variazioni cromatiche, le minute irregolarità che costituiscono la sostanza stessa dei manufatti.

Queste considerazioni possono probabilmente apparire quasi "spigolature" rispetto al dibattito ancora piuttosto intenso rispetto alle tecnologie digitali di acquisizione. Al contrario, invece, se inquadrate nella prospettiva "storica" di un ipotetico studioso del futuro, esse immediatamente suggeriscono che le nuvole di punti di oggi sono destinate ad assumere in pochi decenni il ruolo prezioso che hanno per noi le fotografie storiche o i rilievi del passato. In questo senso, ogni *dataset* assume una valenza di tipo anche etico nella misura in cui appare in grado di consegnare informazioni sul nostro presente alle generazioni future.



In conclusione, la transizione dal rilievo fissato sulla carta dal rilevatore a quello che vive nello spazio digitale 3D segna una delle tante metamorfosi vissute dal Disegno nel corso della sua lunga vita. Il rilievo digitale, in particolare, lunghi dall'essere l'esito di un processo meccanico mantiene ancora oggi una pratica dalla forte componente umanistica dove precisione e interpretazione, scienza e sensibilità trovano un fertile campo di interazione. Esso non elimina il soggetto, ma ne ridefinisce il ruolo come attore di un processo di conoscenza in cui le fasi di acquisizione e selezione/interpretazione, fuse nell'approccio tradizionale, risultano invece distinte in quello digitale.

In questo senso, anche il rilievo contemporaneo si pone in continuità con la grande tradizione del disegno: non più linea quasi immediatamente tracciata contestualmente alla misura, ma linea modellata interpretando natura e posizione di punti del *dataset* misurato che chiamiamo nuvola di punti. Diversa la tecnica, comune il fine tuttavia: la costruzione di un significato.

La nuvola di punti diventa così il nuovo campo in cui si intrecciano conoscenza e interpretazione, memoria e misura: la forma digitale della stessa tensione conoscitiva che, da secoli, muove l'arte del rilievo.

12 | Incompiuta di Venosa. Icnografia della nuvola di punti generale texturizzata con i valori RGB

13 | Incompiuta di Venosa. Sezione longitudinale della nuvola di punti texturizzata con i valori RGB.

Bibliografia

- M. Attenni, R. Barni, C. Bianchini, M. Griffio, C. Inglese, Y. Ley, D. Pritchard, G. Villa, *The vaulting system of the Palatine Chapel: the Aachen Cathedral World Heritage Site documentation project*, in *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-M-2-2023, Atti del convegno CIPA 2023 – Documenting, preserving, understanding Cultural Heritage: Humanities and Digital Technologies for Shaping the Future, Firenze 25–30 giugno 2023, pp. 119-128.
- M. Attenni, R. Barni, C. Bianchini, M. Griffio, *A Semantic Classification Approach for the Aachen Cathedral*, in *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 2025, 48, pp. 71-78.
- G. Bacci, M. Bozzola, M. Gaiani, S. Garagnani, *Novel Paradigms in the Cultural Heritage Digitization with Self and Custom-Built Equipment*, in *Heritage*, VI, 2023, 9, pp. 6422-6450.
- L. Baroni, F. Cauli, G. Farolfi, R. Maseroli, *Final results of the Italian "Rete Dinamica Nazionale" (RDN) of Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI) and its alignment to ETRF2000*, Istituto Geografico Militare, 2009.
- R. Barni, E. Gallotta, C. Inglese, *Modelli digitali complessi per l'analisi dei chiostri di Fossanova e Casamari*, in A. Carannante, F. Linguanti (a cura di), *I chiostri nell'area mediterranea tra XI e XIII secolo. Architettura, archeologia, arte, All'Insegna del Giglio*, Firenze 2024.
- C. Bianchini, Impronte3: il teatro greco di Siracusa tra storia, rilievo e riuso, in *Impronte, Artegrafica*, 2014, pp. 25-28.
- C. Bianchini, *Metamodellazione*, in *Disegnare Idee Immagini*, 2023, 66.
- C. Bianchini, *Sulle unghie coniche della Cappella Palatina di Aachen / The conical vaults in the Palatine Chapel in Aachen*, in *Disegnare Idee Immagini*, 2024, 68, pp. 56-71.
- P. Carafa, *The Information System of Ancient Rome*, in A. Carandini, P. Carafa (eds.), *The Atlas of Ancient Rome: Biography and Portraits of the City*, Princeton University Press, Princeton–Oxford 2017, pp. 44-55.
- P. Cimadomo, M. Griffio, *Vita di un monumento: Il Ninfeo di Egeria tra storia e rappresentazione*, Franco Angeli, Milano 2023.
- R. M. Dal Mas, S. Lorenzo de' Speziali in *Miranda: Universitas Aromatariorum Urbis*, Tipografia Cardoni, Roma 1998.
- P. Dillmann, P. Liévaux, L. De Luca, A. Magnien, M. Regert, *The CNRS/MC Notre-Dame scientific worksite: an extraordinary interdisciplinary adventure*, in *Journal of Cultural Heritage*, 2024, 65, pp. 2-4.
- M. Docci, D. Maestri, *Manuale di rilevamento architettonico*, 1999.
- E. Gallotta, G. Villa, *Cantieri monastici e rinnovamento del linguaggio nell'architettura duecentesca del Lazio meridionale*, in S. Colaceci, R. Ravesi, R. Ragione (a cura di), *Rappresentazione, architettura e storia. La diffusione degli ordini religiosi in Italia e nei paesi del Mediterraneo tra medioevo ed età moderna*, Atti del convegno internazionale (Roma, 10-11 maggio 2021), Sapienza Università Editrice, Roma 2023, pp. 89-114.
- D. Pritchard, J. Sperner, S. Hoepner, R. Tenschert, *Terrestrial laser scanning for heritage conservation: The Cologne Cathedral documentation project*, in *Annals of the Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 2017, 4, pp. 213-220.
- F. Remondino, *Heritage recording and 3D modelling with photogrammetry and 3D scanning*, in *Remote Sens.*, III, 2011, 6, pp. 1104-1138.
- R. Roussel, L. De Luca, A. Guillem, F. Comte, *A cathedral of spatialised annotations portraying the multidisciplinary study of Notre Dame de Paris*, in S. Campana, D. Ferdani, H. Graf, G. Guidi, Z. Hegarty, S. Pescarin, and F. Remondino (eds.) *Digital Heritage, The Eurographics Association*, 2025.



RIVISTA DI DISEGNO
UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE

VOL. 2 | N. 4 | 2025
CONFIGURARE: ORDINE E MISURA
TO SHAPE: ORDER AND MEASURE

Citation: C. Palestini, *Oltre la misura. Sistemi sensori, ordine e proporzioni per la configurazione dell'architettura*, in *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 26-35.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3724>

Received: October, 2025

Accepted: November, 2025

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Palestini C., this is an open access peer-reviewed article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

OLTRE LA MISURA. SISTEMI MENSORI, ORDINE E PROPORZIONI PER LA CONFIGURAZIONE DELL'ARCHITETTURA

Beyond Measure. Measuring Systems, Order, and Proportions in the Configuration of Architecture

CATERINA PALESTINI

University of Pescara

caterina.palestini@unich.it

Considering what underlies the concept of measure inevitably entails a reflection on its meanings, its prerogatives within compositional practice, and its dimensional and qualitative roles in the configuration of spaces and forms. It is therefore necessary to ask where to begin in order to analyse the explicit and hidden content of architectural dimensioning, fundamentally based on the relationship between proportions and units of measurement, the ordering modules of a eurhythmic system that over the course of history has established its own priorities. The extension of number as the regulating foundation of every aesthetic perfection constitutes the premise of many philosophical theories which attribute symbolic and proportional meanings aimed at defining the design of the cosmos, from which architecture descends by symbiosis. The search for universal harmony, filtered through Neoplatonic thought and Christian doctrines, also governs the configuration of cities, laid out according to modular schemes and geometries from which their alignments are derived and from which the design of the perfect form unfolds. This gives rise to an architectural lexicon founded on ordering systems that compose both the whole and the subdivisions of the work. In this sense, investigations into compositional processes of the past still succeed in revealing significant insights into the knowledge and construction methods adopted over the centuries by our predecessors. It is striking that in the third millennium ancient architectures are still able to surprise us and prompt questions about how they were conceived, dimensioned, and built. These questions, today, in the age of artificial intelligence, urge us to reconsider and retrace the mathematical concept of proportion, order, and measure as guiding themes that, from the past, continue to define design systems up to the contemporary age.

Keywords: Measure, Proportion, Order, Architecture, Composition.

“ Il concetto di proporzione è d'altronde presente in tutte le epoche con rapporti diversi, con minori o maggiori accentuazioni, ma comunque presente [...].

Introduzione

Il concetto di misura in architettura assume molti significati in rapporto alle tematiche cui si relaziona, dall'antichità ci si interroga nel tentativo di individuare la formula più opportuna per soddisfare i requisiti numerici, estetici e funzionali nella ricerca dell'armonia delle forme.

Il riconoscimento dell'ordine di misura adottato per la concezione e realizzazione di un'opera architettonica consente di interpretare le operazioni del passato chiarendo la natura dei processi ideativi, numerici e compositivi che sottendono la costruzione.

Le indagini sui processi compositivi del passato riescono tuttora a rivelare interessanti cognizioni sulle conoscenze e sui procedimenti costruttivi adottati nel corso dei secoli dai nostri predecessori. Ciò ci induce a ricercare remoti percorsi pro-

gettuali, a ripercorrere a ritroso gli aspetti salienti della misura, al fine di ritrovare all'interno della complessa stratificazione di cui si compongono i manufatti, le ragioni tecniche e culturali che ne hanno determinato le scelte composite.

Una delle possibili chiavi di lettura è rappresentata dalla ricerca della misura celata nelle matrici geometriche che sottendono la costruzione. L'individuazione di probabili griglie strutturali permette infatti di risalire al sistema adottato per modulare i diversi elementi, di rintracciare e comprendere le regole composite su cui è stata impostata la costruzione.

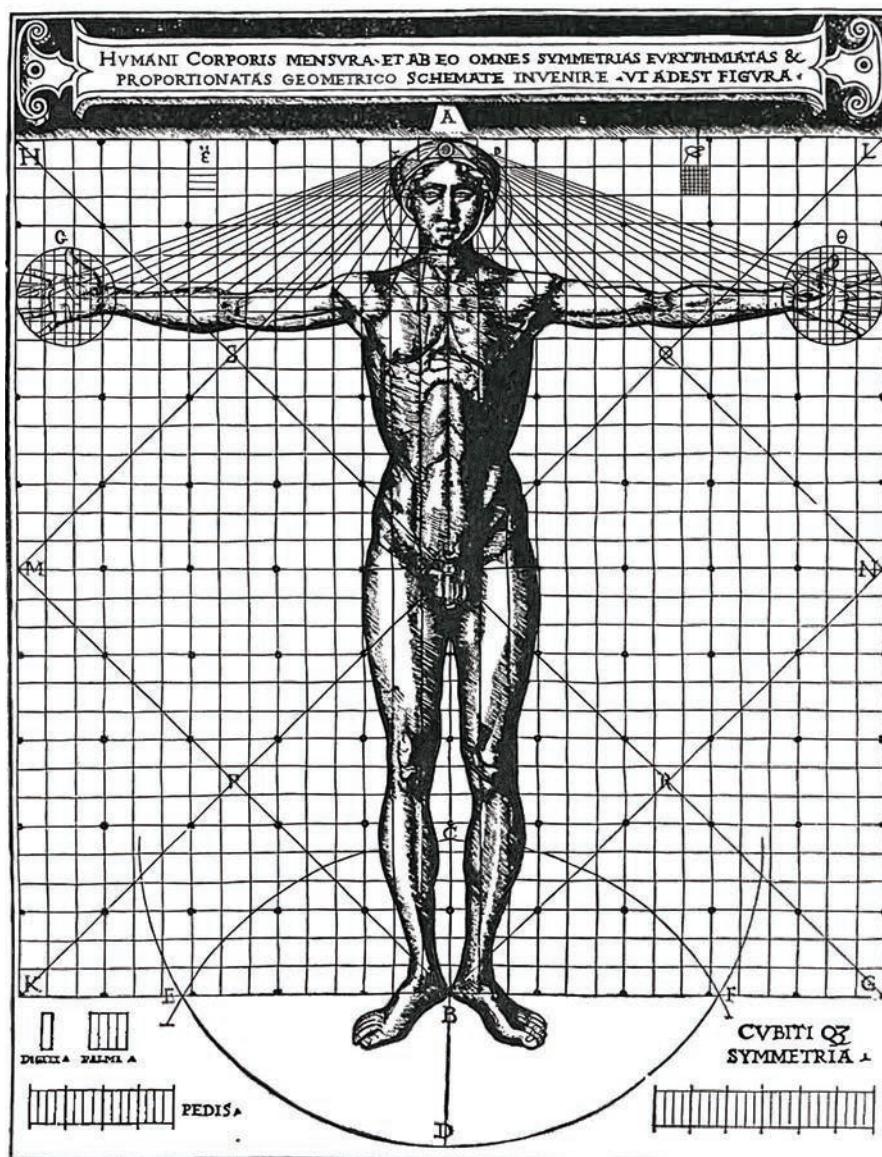
Un aspetto rilevante da indagare è quello insito nel rapporto numero-geometria che nelle varie epoche, seppure con scelte e principi diversi, definisce il filo conduttore nella ricerca di un nesso logico del suo ruolo nel processo compositivo. L'ausilio della geometria come sistema

di misura nella configurazione di spazi e superfici, in realtà trae origine da esigenze di carattere pratico, legate a problemi metrici relativi all'agrimensura, ma rapidamente diventa un valido mezzo per la definizione e il controllo formale dei manufatti architettonici.

La presenza di tracciati regolatori, costituiti da figure elementari desunte dalla geometria pratica, è infatti riscontrabile nella realizzazione di molte delle grandi fabbriche del passato dove i rapporti dimensionali, relativi all'insieme e alle singole parti, risultano basati su sistemi di misura antropometrici legati da corrispondenze con il corpo umano.

Vitruvio nel primo capitolo del libro III del *De Architectura* descrive l'importanza del rapporto tra le proporzioni architettoniche e l'unità di misura: «[...] non può fabbrica alcuna dirsi ben composta se non sia fatta con simmetria e proporzione, come l'hanno le membra di un corpo umano ben formato [...] il piede è la sesta parte dell'altezza del corpo: il cubito la quarta [...] se dunque la natura ha composto il corpo dell'uomo in maniera che corrispondano le proporzioni delle membra al tutto; hanno con ragione stabilito gli antichi, che anche nell'opere perfette ciascun membro avesse esatta corrispondenza di misura con l'opera intera [...]. Anzi le regole delle misure, le quali sono necessarie in tutte le opere, le presero pure dalle membra del corpo umano: tali sono il dito, il palmo, il piede, il cubito: e poi li distribuirono in un numero perfetto che i Greci chiamano Telion [...]»¹.

Il colto trattatista pone in relazione il sistema metrico romano con quello greco evidenziando che le misure lineari usate per l'architettura erano di tipo chiuso, costituite cioè da multipli e sottomultipli da disporre nelle adeguate proporzioni. Il concetto di proporzione è d'altronde presente in tutte le epoche con rapporti diversi, con minori o maggiori accentuazioni, ma comunque presente, innumerevoli autori ne hanno definito il significato, tra questi Viollet-le-Duc che gli dedica un notevole spazio nel suo celebre *Dictionnaire d'architecture*² comparandolo con quello di simmetria e dimensione, precisandole con la descrizione fornita da Quatremére de Quincy. La voce proporzione è così descritta: «I Greci avevano una parola per designare



1 | Rapporti dimensionali e proporzioni basate sul corpo umano, da Vitruvio, , De Architettura, edizione del Cesariano 1521.

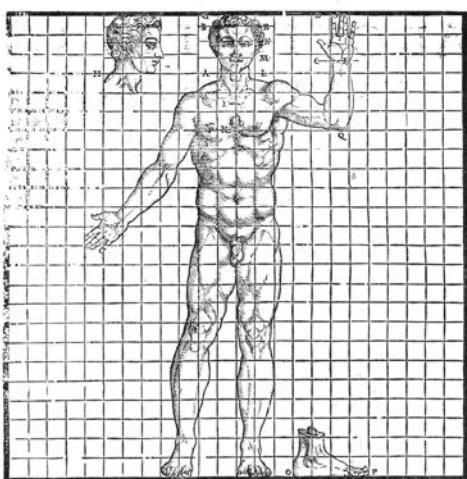
cio che noi intendiamo per proporzione [...] da cui noi abbiamo tratto Simmetria che non vuol dire per niente proporzione. Infatti un edificio può essere simmetrico e non essere affatto costruito secondo proporzioni convenienti o felici, [...]. Si devono intendere per proporzioni i rapporti tra le parti e il tutto, rapporti logici, necessari e tali da soddisfare parimenti la ragione e gli occhi [...] bisogna stabilire una distinzione tra le proporzioni e le dimensioni. Le dimensioni indicano semplicemente altezze, larghezze e superfici, mentre le proporzioni sono i rapporti relativi tra le parti secondo una legge [...]. Che gli architetti Greci abbiano adottato un sistema di proporzioni è incontestato e incontestabile, ma [...] non consegue che anche gli Egiziani e i gotici non ne abbiano adottato uno, ciascuno il proprio»³. Da quanto riportato è evidente che l'autore si riferisce a sistemi

¹ Vitruvio, *De Architectura*, ed. e commento di C. Cesariano.

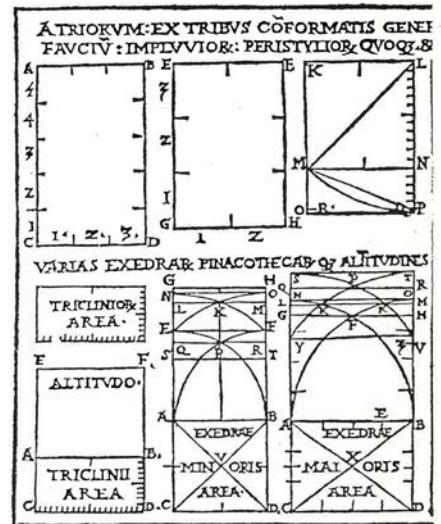
2 Viollet-le-Duc, *L'architettura ragionata* s.v. "pro-
porzione", pp. 211-245.

3 Viollet-le-Duc non sembra essere d'accordo con la definizione che Quatremére de Quincy riporta nel *Dictionnaire d'architecture*, infatti, afferma citandolo a sua volta: «[...] L'idea di proporzione, dice Quatremére de Quincy nel suo *Dictionnaire d'architecture*, racchiude quella di rapporti fissi, necessari e costantemente gli stessi e reciproci fra le parti che hanno uno scopo determinato. Il celebre accademico ci pare non afferrare qui completamente il valore della parola *proporzione*. In architettura le proporzioni non implicano affatto rapporti fissi, costantemente gli stessi [...] ma al contrario rapporti variabili, in vista di ottenere una scala armonica. [...]», *L'architettura*, cit., pp. 211-12.

L I B R O
45
fa parte dell'altezza del corpo, il cubito la quarta, il petto anco la quarta; & in questo modo anco le altre membra hanno le loro convenienti, & proporzionate misure, come gli antichi pittori, & statuarij hanno benissimo conosciuto, & viaro.



DALLO stesso corpo humano si caua la forma perfetta del Circolo, & del Quadrato, come pur seguita Vitruvio nello stesso Capitolo, & vediamo anco disegnato nelle due seguenti figure. Se l'uomo fù piano stenderà le braccia, & le gambe, si che una punta della feita parte nell'ombelico poscia con l'altra girarsi attorno per la sommità delle dita de' piedi, & delle mani, haueremo il Circolo perfetto. Se anco dalle piante alla som-



2 | Proporzioni ideali basate sul corpo umano, da Giovanni Antonio Rusconi, Dell'Architettura, 1590.

3 | Proporzionamenti per la conformazione degli ambienti architettonici, da Vitruvio, De Architectura, edizione del Cesariano 1521.

4 Gardner, *Enigmi e giochi matematici*, pp. 222-232.

5 Bartoli, *Cubito, pertica, canna ferrata*, pp. 81-82.

6 La grande piramide fu fatta innalzare dal faraone Cheope nel 2575 a.C. circa, la sua altezza, prima che andasse perduto il materiale che ne formava la sommità, raggiungeva 148 metri e i lati di base misuravano 232 metri circa.

7 Cfr. Mezzetti, *Il lazzaretto di Ancona un'opera dimenticata*, pp. 49-51.

8 Boyer, *Storia della matematica*, pp. 53-56.

9 *Ivi*, pp. 77-81.

10 *Ivi*, pp. 105-11.

11 Pitagora con l'ausilio di un cassetto di risonanza determinò sperimentalmente i rapporti numerici tra suoni, nelle misure di 1:2 per l'ottava (*diapason*) corrispondente al rapporto tra l'intera corda e la sua metà; 2:3 per la quinta (*diapente*) e di 3:4 per la quarta (*diatesteson*) corrispondenti al rapporto della corda intera rispettivamente con i due terzi e con i tre quarti di essa. Osservò quindi che gli intervalli musicali più piacevoli corrispondevano a rapporti

e culture diverse, tutte essenzialmente fondate su cognizioni geometriche, imprimate su moduli e sistemi ordinatori capaci di connettere armonicamente le dimensioni numeriche da applicare ai processi costruttivi.

Concetti e declinazioni storiche

Il concetto matematico di misura⁴, intesa come proporzione, ha notevolmente influenzato gli artisti del passato; nella ricerca del giusto rapporto geometrico, dell'armonia delle forme, molti di loro hanno assegnato un ruolo fondamentale alla sezione aurea, formula che originariamente assumeva anche un significato mistico e filosofico, era al contempo misura e religione.

Il numero 1.618 risultante dallo sviluppo in frazione del numero irrazionale $(1+\sqrt{5}) / 2$ non è altro che l'espressione numerica conosciuta con il nome di sezione aurea o costante di Fidia, che ha avuto una parte così importante nei tentativi di ridurre a formula matematica la bellezza delle proporzioni.

Un esempio notoriamente manifesto è costituito dalla concezione costruttiva egizia: le piramidi sono dei semplici solidi, con base quadrata e facce triangolari, in cui si determinano sezioni triangolari con rapporti basati sul triangolo equilatero e isoscele egiziano⁵.

La grande piramide di Cheope rappresenta, più di ogni altra, l'opera che sintetizza le conoscenze di questa civiltà. Molti studiosi sostengono che fosse stata eretta non solo come tomba⁶, ma piuttosto per tramandare ai posteri, in simbolico ermetico linguaggio, un condensato di nozioni filosofiche e scientifiche. Infatti, dalle misurazioni condotte sul manufatto emerge la presenza di molti numeri importanti: il rapporto aureo è stato applicato nella costruzione del volume esterno ed è presente anche interamente nelle misure della cosiddetta camera del re, l'orientamento riflette inoltre la concezione cosmologica⁷.

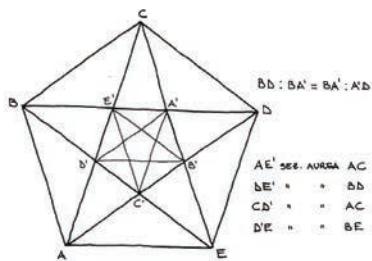
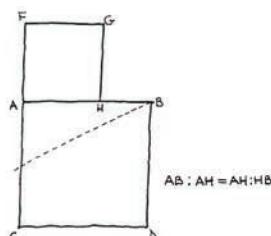
Elaborazioni fondate su forme geometriche e moduli misuratori sono quindi individuabili fin dalle epoche più remote, ma è presso i Greci che lo studio della geometria assunse caratteristiche di astrattezza e di rigore raggiungendo una collocazione teoretica elevata.

Nonostante gli inizi istituzionali si facciano risalire agli scritti di Euclide (300 a.C.) già dal VI sec. a. C. i rapporti tra misura e geometria ebbero sviluppi caratterizzanti scaturiti dalle intuizioni pratico-teoriche di Talete da Mileto⁸ che condussero alla scoperta pitagorica dell'incommensurabilità tra il lato e la diagonale del quadrato; alla quadratura delle lunule di Ippocrate di Chio⁹, agli studi sulle proporzioni di Eudosso di Cnido¹⁰. Gli studi euclidei costituiscono una sintesi di circa tre secoli di ricerche sulla geometria; la matematica nell'antichità fu infatti soprattutto geometria, sia per motivi di ordine pratico che ideologico-filosofico. La principale preoccupazione dei primi filosofi greci era stata la ricerca di un principio o ordine in un universo che appariva assolutamente caotico. La scoperta del rapporto esistente tra le consonanze musicali e i numeri¹¹ sembrò rivelare il segreto dell'armonia del mondo. Platone, nel *Timeo* spiega che i principi ordinatori nel cosmo sono interamente contenuti in alcuni numeri, nei quadrati e nei cubi nel rapporto doppio e triplo partendo dall'unità. Individuò quindi, a questo scopo, due progressioni geometriche (1,2,4,8, e 1,3,9,27) costituite da sette numeri fondamentali. Da queste teorie filosofiche si svilupparono il simbolismo e misticismo dei numeri e la preferenza per alcune forme considerate perfette.

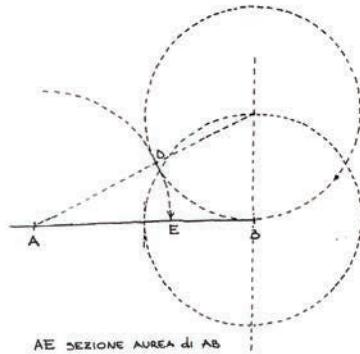
A conferma di quanto detto troviamo che le proprietà mistiche costituivano la base dell'aritmetica pitagorica. Erano considerati essenziali i numeri da 1 a 10 (dopo il dieci non si fa altro che tornare indietro). Il dieci rappresenta il numero sacro per eccellenza, il simbolo della salute e dell'armonia, grazie anche alla sua perfezione estetica di numero triangolare, inoltre è generato dalla somma dei primi 4 numeri essenziali (1+2+3+4=10). Il numero 1 era associato al punto; il 2 alla linea; il 3 al triangolo che individua la superficie; il 4 rappresenta lo spazio, basta aggiungere un punto al di sopra del triangolo e si ottiene il solido geometrico il tetraedro, la piramide a base triangolare.

I pitagorici¹² si dedicarono inoltre allo studio dei solidi regolari, inizialmente ne conobbero tre: il tetraedro, il cubo, l'ottaedro, in seguito scoprirono l'icosaedro

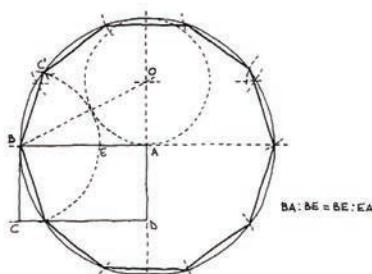
PROCEDIMENTO usato da Euclide per dividere un segmento in "media ed estrema ragione"; da Elementi, libro II proporzione 11 e libro IV prop. 30.



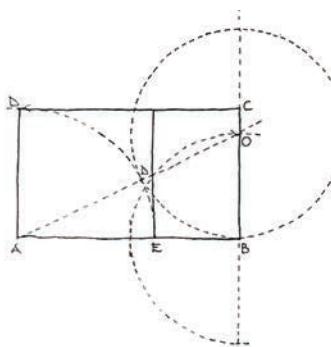
Il pentagono è considerato il simbolo della sezione aurea, le diagonali intersecandosi stabiliscono automaticamente tale rapporto, riproducibile all'infinito.



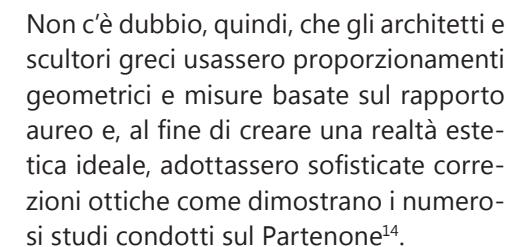
Schema della costruzione geometrica del rettangolo aureo dato il lato maggiore AB.



Schema della costruzione geometrica del rettangolo aureo con l'ausilio del decagono regolare.



Una delle proprietà principali della sezione aurea è il fatto che essa di autoriproduce. Possiamo ottenere una sequenza ininterrotta di rettangoli simili inscritti gli uni agli altri. Il punto di intersezione delle rette CE e AB costituisce il polo della spirale logaritmica.



e il dodecaedro formato da dodici facce pentagonali, completando la serie dei 5 poliedri regolari che rappresentavano gli elementi dell'intero universo.

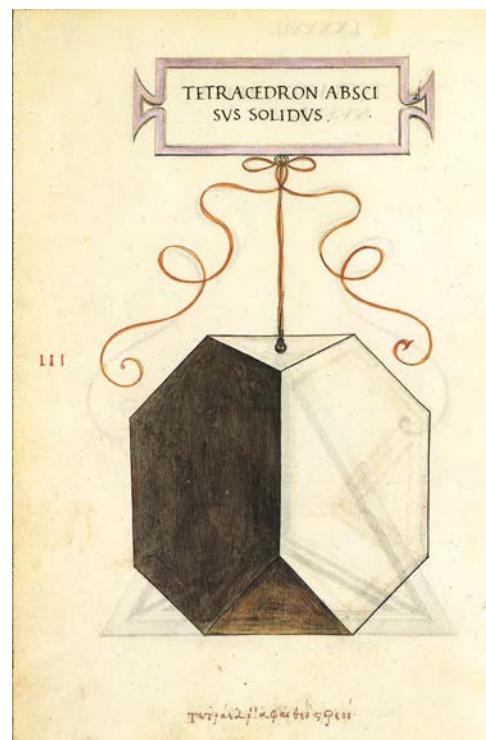
Grande importanza fu attribuita al triangolo rettangolo, che gli egizi definiscono sacro, i cui lati sono proporzionali ai numeri 3, 4 e 5 sui quali si possono costruire le figure del triangolo, del quadrato e del pentagono. La figura della stella a cinque punte, ottenuta tracciando le diagonali del pentagono, rappresentava inoltre il simbolo della scuola pitagorica elemento che ci dimostra la conoscenza delle proprietà auree, inevitabilmente impiegate anche nella costruzione dei poliedri.

Euclide¹³, in *Elementi*, tra gli enunciati spiega il metodo per dividere un segmento in media ed estrema ragione, in modo tale che il rettangolo formato dal segmento e da una delle sue parti sia uguale al quadrato dell'altra parte.

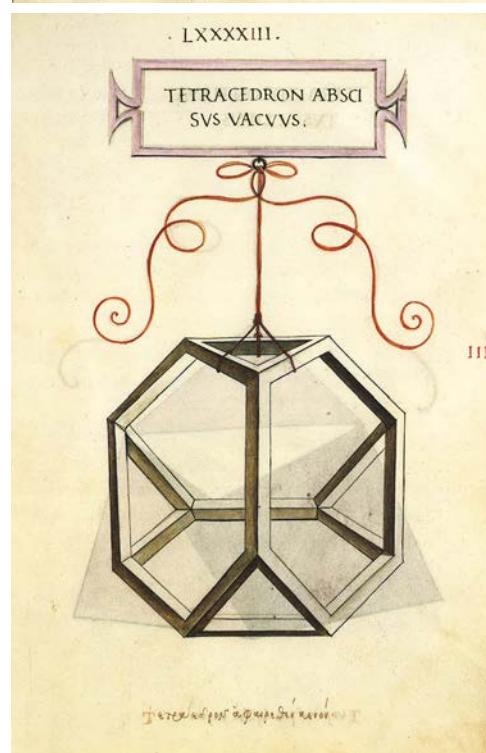
Non c'è dubbio, quindi, che gli architetti e scultori greci usassero proporzionamenti geometrici e misure basate sul rapporto aureo e, al fine di creare una realtà estetica ideale, adottassero sofisticate correzioni ottiche come dimostrano i numerosi studi condotti sul Partenone¹⁴.

Al periodo greco è dunque da attribuire il merito di aver attestato le nozioni precedenti sistematizzandole in diverse categorie di cui tre tradizionalmente attribuite a Pitagora senza le quali come dice Wittkower¹⁵ «[...] non è immaginabile alcuna teoria proporzionale razionale.»

Si tratta della proporzione aritmetica, di quella geometrica e di quella armonica verificate rispettivamente quando la somma dei medi egualia quella degli estremi; il prodotto dei medi egualia quello degli estremi e i reciproci di tre numeri risultano in proporzione aritmetica.



TETRAEDRON ABSCI SVS SOLIDVS.



TETRAEDRON VACUUM.

4 | Rapporti proporzionali basati sulla sezione aurea, disegni dell'autore.

5 | Tetraedro solido, poliedri raffigurati da Luca Pacioli in *De Divina proporzione*, 1509.

6 | Tetraedro vacuum, poliedri raffigurati da Luca Pacioli in *De Divina proporzione*, 1509.

esprimibili con numeri interi.

12 I pitagorici studiarono le disposizioni geometriche dei numeri soffermandosi particolarmente su quelli che chiamavano triangolari (1, 3, 6, 10, 15, ...) e quadrati (1, 4, 9, 16, 25, ...), essi li rappresentavano con palline disposte in forma di quadrato o triangolo scoprendo importanti proprietà come il famoso teorema.

13 Cfr. Boyer, *Storia*, cit., pp. 119-136.



Teorie quest'ultime riprese e codificate dai trattatisti del periodo rinascimentale, tra questi Andrea Palladio¹⁶ fornisce un metodo per stabilire le tre dimensioni che determinano la forma di un ambiente, basato essenzialmente sui predetti rapporti, riesaminati in maniera originale. Leon Battista Alberti¹⁷, sempre riferendosi alle scoperte pitagoriche, esamina invece le corrispondenze tra gli intervalli musicali e le proporzioni architettoniche. Sebastiano Serlio¹⁸ oltre ad analizzare singolarmente le forme e le relative costruzioni affronta le possibili variazioni sul tema del quadrato. Cesariano¹⁹ riporta invece i tracciati dei rettangoli armaturici e il loro possibile uso all'interno di spazi architettonici.

I rapporti statici, ottenuti cioè da numeri interi, e quelli dinamici, espressi da numeri irrazionali, vengono esplorati e divulgati nei trattati del periodo rinasci-

mentale diventando una vera e propria prassi costruttiva.

Nel Cinquecento inoltre vengono pubblicati trattati che esaminano specificamente i rapporti aurei. Luca Pacioli²⁰ dedica alla sezione aurea il suo *De Divina Proportione* analizzando i tredici differenti effetti della proporzione divina²¹, analogamente Francesco Giorgi²² da alle stampe un ampio in-folio sull'armonia dell'universo con l'intento di riconciliare le dottrine cristiane con il pensiero neoplatonico.

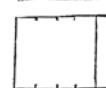
Nel XV e XVI secolo vengono quindi divulgati le regole desunte dall'antichità, riaffermate attraverso il loro costante riferimento al corpo umano da cui scaturiscono comparazioni e simbiosi con l'architettura. Dalle corrispondenze derivanti dalla struttura del corpo umano viene dedotta, tra le altre, la straordinaria regola compositiva degli ordini archi-

L I B R O P R I M O: 19
Le proporzioni quadrangulari sono molte: ma io quiui ne pongo fette principali, delle quali l'Archetto è dueferse cose se ne potrà servire, & accomodar se ne in più accidenti, & quella che non farà per al luogo, potrà servire ad un altro, come saprà vfarle.

Quella primiera forma è son quadro perfetto di quattro lati uguali, & quattro angoli retti.



Quella seconda figura è una sequiquarta, cioè un quadro, & un quarto.

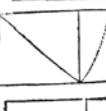


Quella terza figura è una sequitertia, cioè un quadro, & un terzo.

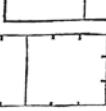


Quella quarta figura si dice proportione diagonale, la quale, se fa così y sia tirata, el quadrato perfeccio ha linea d'ibianco da angolo ad angolo, & qui 2. linea è de la longezza di questa proporzione, la quale è trentatreesima parte, ne si troua proporzione alcuna dal quadro perfetto e questo cremento.

Quella quinta figura sarà sey quialtera, cioè d'una quattro & mezzo.

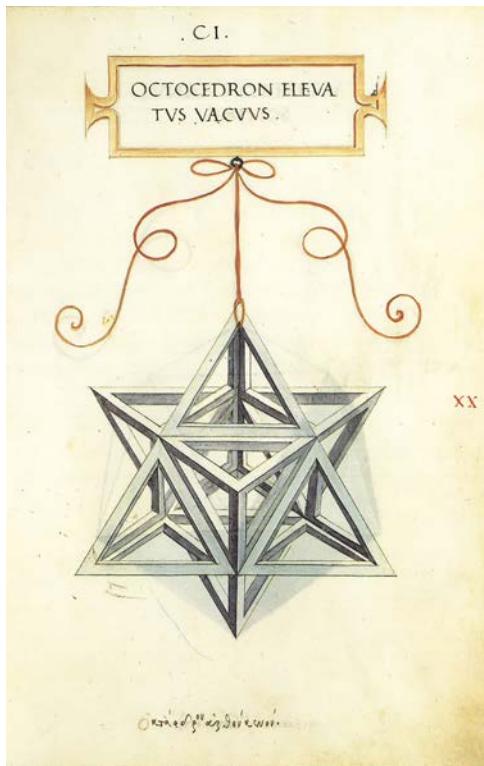


Quella sesta figura farà di proporzione superbiapartitionem tercias, cioè partito il quadro perfetto in tre parti uguali, & à quelle aggiungente due.



Quella settima, & ultima proporzione farà doppia, cioè di due quadrati, & sopra quella forma se ne cose buone anziché non i' trovano forme che si fonda alli a doppi, essendo anche i' loghi, qualche parte, & finissime, le quali han passato di alquante: ma di resibili, false, camere, & altre cose habilebili non si comporia fra gli intendenti, perché non è commoda.





7 | Ritratto di Luca Pacioli che insegna ad un allievo, probabilmente Guidobaldo da Montefeltro, le regole della geometria sul bordo della lavagna è scritto Euclide, compaiono inoltre gli strumenti per disegnare e i solidi platonici, un dodecaedro e un rombicubotetraedro trasparente sospeso da una corda.

8 | Proporzionamenti armonici basati sul quadrato, da Sebastiano Serlio, libro I, 1584.

9 | Octaedro vacuum, poliedri raffigurati da Luca Pacioli in *De Divina proporzione*, 1509.

10 | Dodecaedro, poliedri raffigurati da Luca Pacioli in *De Divina proporzione*, 1509.



14 Cfr. Moe, *I numeri di Vitruvio*.

15 Wittkower, *Principi dell'età dell'Umanesimo*, pp. 106-135

16 Palladio, *I quattro libri dell'architettura*, libro I, pp.46-55.

17 Battista Alberti, *De re Aedificatoria*.

18 Serlio, *I sette libri dell'architettura*, libro I

19 Vitruvio, *De Architettura*, cit.

20 Pacioli, *De Divina Proportione*.

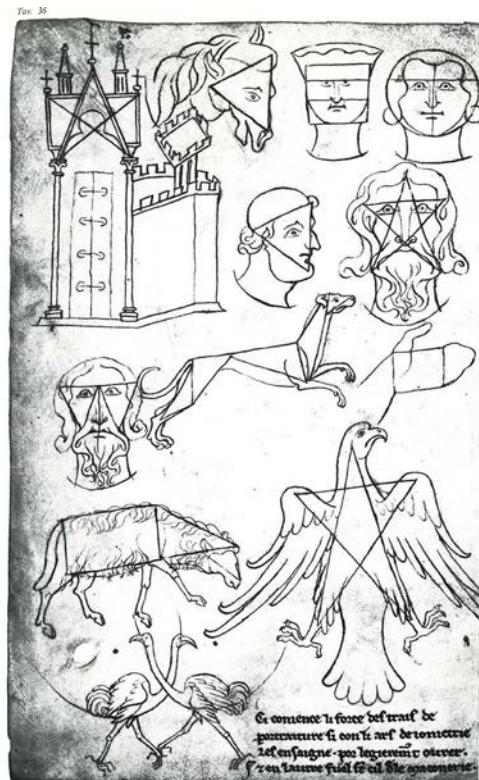
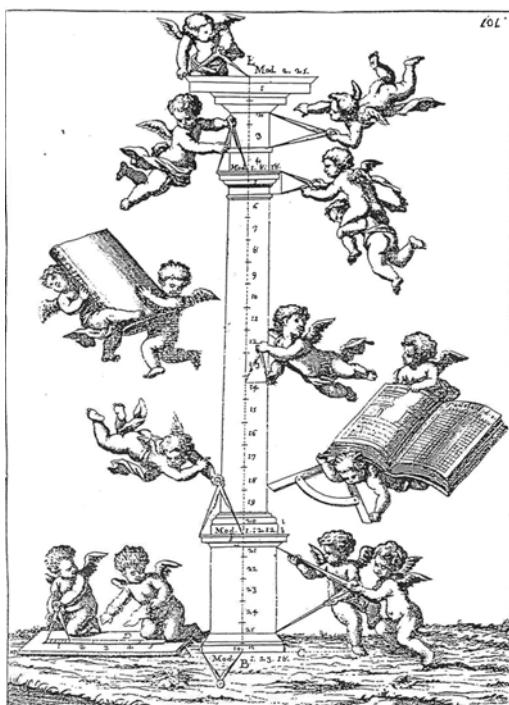
21 Pacioli definisce la sezione aurea in tredici effetti, il primo la descrive con precisione: è una proposizione irrazionale tra due termini, seguono gli altri dodici che la definiscono essenziale, singolare, ammirabile... nella settima spiega che i lati dell'esagono e del decagono si tagliano secondo questa proporzione e nella tredicesima ribadisce che senza questa proporzione non è possibile costruire il pentagono regolare. Nell'ultima parte del trattato riporta i poliedri illustrati da Leonardo da Vinci, ritenuti fondamentali per i metodi costruttivi del rinascimento.

22 Zorzi, *De Harmonia mundi totus*.

tettonici, basata su un criterio intrinseco alla composizione. Un sistema proporzionale che partendo dal modulo di base della colonna consente di svincolarsi dalle misure, che all'epoca non erano unificate, mantenendo invariati i rapporti tra l'unità e le partizioni correlate tra loro.

In un rapporto diverso rispetto al periodo classico con un sentimento tendente alla trascendenza, si esprimono le concezioni

sulla misura e sui proporzionamenti delle costruzioni medioevali. Le forme architettoniche vengono in questo caso definite attraverso le pratiche di cantiere con la semplificazione delle regole desunte dalla geometria, esse ci rivelano la compresenza di schemi basati su triangoli e poligoni da cui risultano determinati non solo i tracciati principali, ma anche quelli che definiscono gli elementi decorativi e di dettaglio.



11 | Proporzioni ordine architettonico, da G. D'Amico *Architettura pratica*, 1726.

12 | Rapporti mensori e schemi geometrici medioevali, da Villard de Honnecourt, *La pensée technique au XIII siècle et sa communication*, Picard 1993.

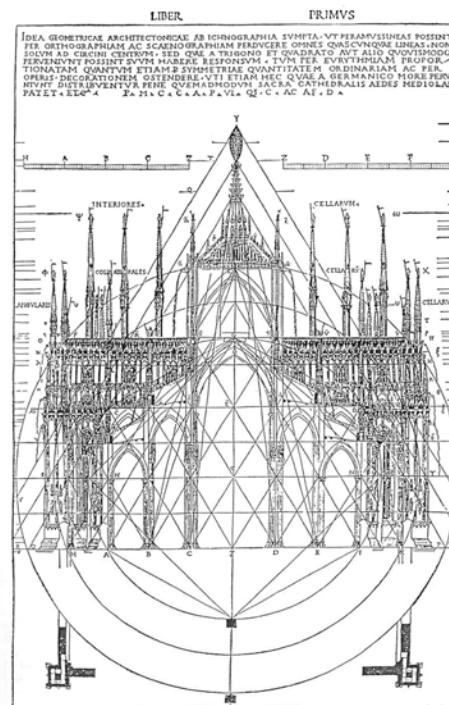
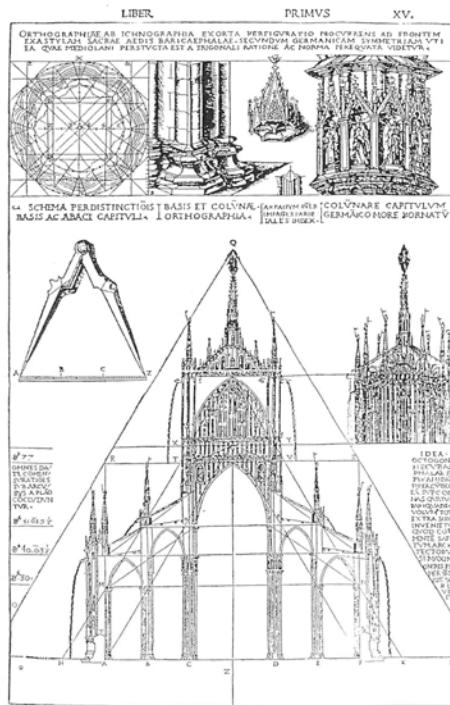
13,14 | Studi sulle proporzioni del Duomo di Milano, da Vitruvio edizione del Cesariano 1521.

²³ Bechmann, Villard de Honnecourt: *La pensée technique au XIII siècle et sa communication*.

²⁴ AA.VV., Villard de Honnecourt. Disegni.

²⁵ Viollet-le-Duc, *Conversazioni sulla architettura*, pp. 45-115.

²⁶ Vitruvio, *De Architettura*, cit.



Pur mancando documentazioni testuali sull'argomento il medioevo non è esente dall'applicazione di rapporti mensori. Permangono alcune fondamentali testimonianze di studi basati su schemi geometrici come quelli rivelati nel famoso taccuino di Villard de Honnecourt²³ da cui si discernono i sistemi adottati per la composizione delle architetture. Nel *Livre de portraiture*²⁴ appaiono forme geometriche simbioticamente inscritte in figure umane, in animali e edifici da cui sono deducibili i principi concettuali e i precetti architettonici in uso nei cantieri gotici. Il pentagramma, il triangolo, rettangoli aurei e rettangoli ottenuti su $\sqrt{2}$ compaiono innumerevoli volte, confermando la presenza dell'applicazione di regole tramandate dall'antichità, seppur declinate con le concezioni speculative dell'epoca.

Analogamente gli studi di Viollet-le-Duc²⁵ sulle cattedrali gotiche, evidenziano le principali figure usate dai costruttori medioevali come generatrici di proporzioni, i triangoli: equilatero, isoscele, perfetto o sacro, isoscele egiziano e il quadrato.

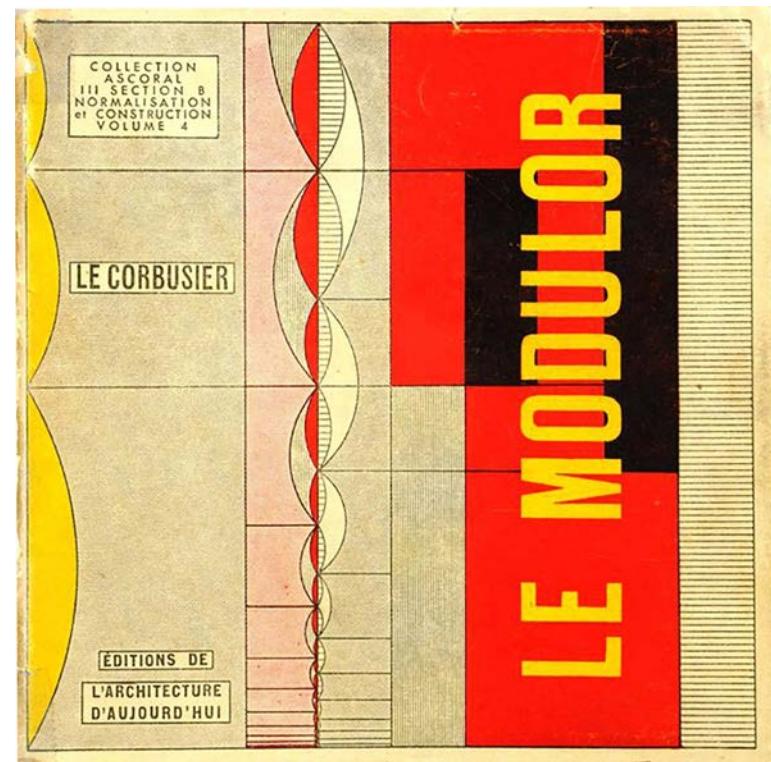
Moltissime chiese medioevali furono costruite ad *quadratum* e ad *triangulum* come ci testimoniano i disegni del duomo di Milano del Cesariano²⁶.

La figura pentagonale compare in molte architetture religiose francesi, negli alzati interni, come nel caso della cattedrale di Parigi e nelle vetrate di Amiens, di Char-

tres, di Notre-Dame, la stella a cinque punte rappresenta, inoltre, la protezione contro il maligno.

Sulla base di queste considerazioni, tese ad analizzare i processi ideativi, i mezzi logici e metodologici che hanno determinato l'uso di tracciati geometrici per le configurazioni architettoniche definite tra ordine e misura, nel corso della storia emergono con ricorrenza figure generatrici di proporzioni: il triangolo e le sue aggregazioni; i rettangoli armonici ottenuti nella ricerca della forma ideale per un rettangolo che sia compreso fra il quadrato, come forma perfetta, e il rettangolo ottenuto dall'unione di due quadrati considerati nelle varie soluzioni intermedie ottenute su numeri irrazionali fino al rettangolo aureo.

Le figure del pentagono e del decagono generatrici di rapporti aurei, nelle diverse costruzioni da quella di Ippocrate di Chio, che riassume in se tutte le principali forme geometriche, a quella di Serlio e di Dürer ottenuta con una sola apertura di compasso, che determina un pentagono equilatero ma non equiangolo. E infine i rapporti proporzionali basati sulla sezione aurea "divina proporzione", che ha come fondamentale proprietà quella di autoriprodursi ottenendo una sequenza ininterrotta di rettangoli simili iscritti gli uni agli altri che generano la spirale logaritmica.



Conclusioni

Per arrivare a delimitare questo vasto argomento, attraverso il rapido excursus storico-critico sul significato di misura correlato alla composizione architettonica, si conferma che tali sistemi in realtà non sono stati mai abbandonati, ma ri-formulati nel corso delle epoche.

Arrivando al Novecento tale interesse si ritrova in movimenti artistici d'avanguardia e post-cubisti. Gli studi sulle proporzioni e sui procedimenti della mistica geometrica medioevale furono ripresi, tra gli altri, da Jacques Villon fondatore nel 1911 del movimento della *Section d'or*²⁷. Nell'ambito del cubismo risulta importante l'opera di Gino Severini²⁸ che cercando di ritrovare il significato che i greci avevano dato al numero e alla geometria, elabora una vera e propria estetica del numero e del compasso. L'estetica del numero fu poi potenziata dagli artisti del gruppo De Stijl, Oscar Schlemmer nell'ambito del Bauhaus²⁹ analizza la scomposizione del corpo umano in base al rapporto aureo, proporzione ulteriormente sviluppata da Le Corbusier per il suo *Modulor*, consistente in due serie di Fibonacci³⁰ interrelate tra loro.

A partire dagli anni '30 Luigi Moretti³¹ con l'intento di formulare un nuovo linguaggio architettonico, veramente moderno capace di oltrepassare gli schematismi e

lo stato di accademia in cui seguitava a permanere, introduce il concetto di architettura parametrica. Prova quindi a superare i limiti del "razionalismo" che a suo parere aveva dato risposte sommarie, affrontando le questioni del rinnovamento su un piano puramente formale, riproponendo il concetto scientifico di configurazione architettonica basata su criteri matematici³², derivante cioè dalle interrelazioni tra forma e funzione.

Il geniale architetto affiancato dal matematico Bruno De Finetti e da esperti di diversi settori, ingegneri, biologi, psicologi, economisti capaci di affrontare le problematiche legate alle complessità della città moderna, tenta di definire un metodo di progettazione basato su regole obiettive, capaci di tradurre necessità e funzioni in forma³³.

L'articolazione degli spazi, in questo modo, non sarebbe derivata dal gusto, dalla "vanità personale", dalle scelte individuali del progettista, ma dallo sviluppo imparziale delle complesse funzioni che definiscono una struttura architettonica, calcolata attraverso elaboratori che ottenevano variazioni delle forme al mutare dei parametri della misura.

Le sorprendenti anticipazioni di Moretti³⁴, non portate a compimento per la mancanza di processori capaci di gestire l'enorme mole di dati, configuravano forme e ideali compositivi dedotti scien-

15 | Manifesto della Mostra La Section d'or di Theo van Doesburg 1920.

16 | Il Modulor frontespizio volume Le Corbusier, ed. Mazzotta 1974.

²⁷ Associazione di pittori e critici d'arte appartenenti ad una diramazione del cubismo nota come orfismo che attribuiva un significato mistico alla sezione aurea.

²⁸ Severini, Dal cubismo al classicismo e altri saggi sulla divina proporzione e sul numero d'oro, a cura di P. Pacini.

²⁹ Saggio, Architettura e modernità. Dal Bauhaus alla rivoluzione informatica.

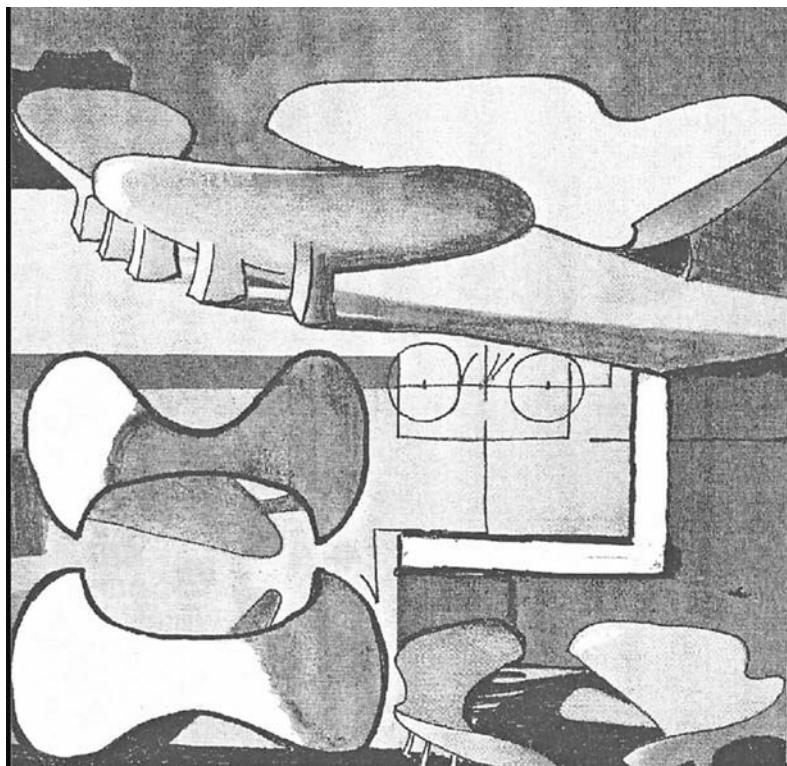
³⁰ Fibonacci (c.a. 1170-1250) è lo pseudonimo del matematico Leonardo da Pisa autore del *Liber Abaci*, considerato uno dei matematici più autorevoli del medioevo. La serie da lui elaborata consiste in una sequenza di numeri in cui il termine successivo al secondo può ottenersi sommando i due precedenti (1,2,3,4,5,8,13, ...).

³¹ Bucci, Muzzalani, Luigi Moretti. Opere e scritti.

³² Moretti, Ricerca matematica, pp.30-53.

³³ Moretti, Forma come struttura, pp 33-34.

³⁴ Palestini, Basso, Parametric Architecture and Representation, the Experiments of Luigi Moretti, pp. 183-198.



17 | Luigi Moretti, studi sull'architettura parametrica, XII Triennale Milano 1960.

18 | Ricostruzione modello digitale dello Stadio M da progetto di Luigi Moretti, elaborato con l'ausilio di Grasshopper, C.Palestini, A. Basso 2018.

tificamente, invitano a riflettere sull'importanza della misura come strumento grafico di progettazione e controllo formale anche nell'era attuale, della così detta dematerializzazione.

La contemporaneità ci conferma l'importanza della misura e del dimensionamento in architettura come strumento di progettazione e controllo formale, un sistema concettuale che indipendentemente dalla tecnologia e dal dispositivo con cui viene posto in atto, richiede un processo mentale che parte da principi ordinatori anche per arrivare alla scomposizione.

Provando a concludere con alcuni punti fermi e qualche interrogativo, il concetto di misura in architettura non può essere disgiunto dalla contestualizzazione culturale e sociale delle epoche in cui si esprime, dalle connessioni teoriche e operative tratteggiate che da sempre le appartengono.

L'orizzonte contemporaneo ci propone sofisticate tecnologie che superano sé stesse in maniera sempre più rapida. Le formule evolutive del parametrico attraverso geometrie computazionali impiegano algoritmi e relazioni matematiche per creare forme architettoniche complesse, modificabili simultaneamente ai variare delle misure, consentendo ai progettisti di esplorare i flussi di lavoro me-

diante la programmazione visiva delle possibili configurazioni. Sistemi digitali e IA introducono nuove sfide finalizzate alla ricerca del perfetto connubio matematico creativo per ottenere composizioni visivamente armoniose e bilanciate nelle immagini generate, ma si conferma una continuità del concetto di misura per la configurazione dell'architettura che, in chiave concettuale, affronta il binomio ordine-misura rispondendo ai problemi della società odierna: alle domande relative alla qualità urbana, alle aree periferiche, agli spazi dismessi, al rischio ambientale, alla mobilità, a una produzione edilizia ecologicamente sostenibile, in sintesi alle qualità dimensionali etiche ed estetiche che riguardano gli spazi e le conformazioni riguardanti la complessità della vita quotidiana.

Per finire appaiono interessanti le opere dello scultore giapponese Keisuke Matsuoka, esposte nella mostra *Armonia 5.0*³⁵ allestita al padiglione 9 del Mattatoio di Roma (12.11.2025 - 03.01.2026) tese ad indagare l'immagine di un "essere umano universale" combinando elementi digitali (*video mapping*, visori 3D) con l'esposizione corporea delle opere dell'artista che smaterializza e ricompone le forme umane nel tentativo di scoprire, da un punto di vista morfologico-antropologico-culturale e animi-

stico-spirituale, i rapporti che legano gli uomini prescindendo da ogni componente di genere, etnia, luogo o cultura che possa classificarli o condizionarli. L'ossimoro di una conclusione aperta ci porta a chiederci se oggi esiste e quale possa essere l'espressione dell'essere umano universale, può esserci un'immagine di riferimento?

Il prototipo dell'uomo vitruviano e le sue proporzioni antropometriche possono ancora guidarci nella configurazione delle architetture che abita, nel modo di vivere contemporaneo, o essa stessa si dissolve e si ricompone come propone Matsuoka assumendo forme algoritmiche complesse estensibili e modificabili oltre misura?

³⁵ <https://www.mattatoiroma.it/mostra/otello-scatolini-armonia-5-0-allorche-di-due-farete-un>

Bibliografia

- AA.VV., *Villard de Honnecourt. Disegni*, Jaca Book, Milano 1988.
- M. T. Bartoli, *Cubito, pertica, canna ferrata*, in *Disegnare Idee Immagini*, II, 1991, 2, pp. 81-90.
- L. Battista Alberti, *De re aedificatoria* (1485), a cura di G. Orlandi, con un'Introduzione e note di P. Portoghesi, Il Polifilo, Milano 1966.
- R. Bechmann, *Villard de Honnecourt. La pensée technique au XIII^e siècle et sa communication*, Picard, Paris 1993.
- C. Boyer, *Storia della matematica*, Mondadori, Milano 1980.
- F. Bucci, M. Muzzalani, *Luigi Moretti. Opere e scritti*, Electa, 2000 Milano.
- A. C. Cimoli, F. Irace, *La divina proporzione. Triennale 1951*, Electa Milano 2007.
- M. Gardner, *Enigmi e giochi matematici*, Rizzoli, Milano 2001.
- C. Mezzetti, *Il lazzeretto di Ancona un'opera dimenticata*, Ancona 1978.
- C. J. Moe, *I numeri di Vitruvio*, ed. del Milione, Milano 1945.
- L. Moretti, *Ricerca matematica in architettura e urbanistica*, in *Moebius*, IV, 1971, 1, pp. 30-53.
- L. Moretti, *Forma come struttura*, in *Spazio*, 1957, 6, pp. 33-34.
- C. Palestini, A. Basso, *Parametric Architecture and Representation, the Experiments of Luigi Moretti*, in *Graphic Imprints The Influence of Representation and Ideation Tools in Architecture*, Springer 2019.
- L. Pacioli, *De Divina Proportione*, ed. Silvana, Milano 1986.
- A. Palladio, *I quattro libri dell'architettura*, Hoepli, Milano 1990.
- V. Riavis, *A misura d'uomo. Disegno e proporzione della figura vitruviana*, in *disérgo*, 2020, 7.
- A. Saggio, *Architettura e modernità: dal Bauhaus alla rivoluzione informatica*. In *Architettura e modernità: dal Bauhaus alla rivoluzione informatica*, Carocci Editore, Roma 2010.
- G. Severini, *Dal cubismo al classicismo e altri saggi sulla divina proporzione e sul numero d'oro*, ed. Marchi e Bertolli, Firenze 1972.
- S. Serlio, *I sette libri dell'architettura*, Venezia 1584, ed. Forni 1978.
- E. Viollet-le-Duc, *L'architettura ragionata*, Jaca Book, Milano 1984.
- E. Viollet-le-Duc, *Conversazioni sulla architettura*, Milano 1990.
- Vitruvio, *De Architectura*, ed. e commento di C. Cesariano, Il Polifilo, Milano 1981 (rist. anast. dell'edizione 1521).
- R. Wittkower, *Principi dell'età dell'Umanesimo*, Einaudi, Roma 1964.
- F. Zorzi, *De Harmonia mundi totus*, Venezia 1525.



RIVISTA DI DISEGNO
UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE

VOL. 2 | N. 4 | 2025
CONFIGURARE: ORDINE E MISURA
TO SHAPE: ORDER AND MEASURE

Citation: S. Brusaporci, *La ricerca della ragione. Proporzioni e misure nel rilievo dell'architettura religiosa medievale*, in *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 36-45.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3671>

Received: October, 2025

Accepted: November, 2025

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Brusaporci S., this is an open access peer-reviewed article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

LA RICERCA DELLA RAGIONE. PROPORZIONI E MISURE NEL RILIEVO DELL'ARCHITETTURA RELIGIOSA MEDIEVALE

The Search for Reason.

Proportions and Measures in the Surveying of Medieval Religious Architecture

STEFANO BRUSAPORCI

University of L'Aquila

stefano.brusaporci@univaq.it

Historical architecture is characterised by deep phenomena of modification and stratification occurred over time, witnessing historical events, players, architectural values, traditions and cultures. Design models become tangible through processes rooted in good practice and construction experience, where proportions and measures correspond to ideal values. If the proportional and metrological studies seem to pertain to two independent analyses, in practice they are integrated into a complex knowledge process. In medieval times, architectural systems or construction phases can be based on specific modules and units, with measures that coexist and change, mostly according to local situations. Experience shows that in various cases some measurements appear to be revealing, elsewhere it is appropriate to search for recurring quantities, even considering proportional analysis, always in relation to the construction cultures to which the architectural artifact refers. Metrology manuals can provide useful indications to study specific rules and references, and to understand buildings construction phases. The paper aims to propose a methodological reflection on metrological and proportional study of medieval architecture, rising from experiences conducted in the Italian territory of Abruzzo.

Keywords: *Metrology, Proportioning, Medieval Architecture, Architectural Survey, Medieval Measures.*

Introduzione

L'architettura storica risulta caratterizzata da profondi fenomeni di modifica e stratificazione, succedutisi nel tempo, testimoniali degli eventi storici, dei protagonisti, delle culture architettoniche e costruttive. Luoghi, periodi, culture, artefici possono riferire a modelli progettuali di valenza ideale, che divengono concreti tramite processi di cantiere dettati dalla buona norma e dell'esperienza costruttiva, e secondo unità di misura variabili diacronicamente e diatopicamente.

I manuali di metrologia, soprattutto quando esito di esperienze di rilievo condotte in campo, possono fornire utile suggerimento, a fronte della diffusa condizione in cui è posto il rilevatore di ricercare regole proporzionali e specifiche unità impiegate nel tempo nelle fabbriche. In particolare, in epoca medievale,

se gli impianti architettonici e le fasi costruttive possono trovare riferimento in specifiche unità di misura, la situazione è resa complessa da fenomeni che vedono tali misure convivere e modificarsi, spesso con fenomeni locali. Così nella pratica tutti questi elementi si vengono a declinare secondo manifestazioni che coniugano, in maniera variabile, rimandi ideali ad applicazioni locali. Pertanto, può non essere semplice riscontrare principi di validità generale, se non fino ad epoca moderna, quando si cerca di definire unità di misura condivise.

Inoltre il ricorso, quale modulo progettuale, a multipli o sottomultipli anche non interi della misura di riferimento e l'impiego di proporzioni e tracciamenti geometrici, possono dar luogo a dimensioni apparentemente irregolari.

L'esperienza mostra come in molti casi alcuni semplici misurazioni appaiano



come rivelatrici – ad esempio, lo studio della larghezza dei vani porta e finestra, quando non modificati o restaurati in epoche successive –, altrove la ricerca di quantità ricorrenti anche a partire dall’analisi proporzionale può suggerire modularità alla base del tracciamento. Si vuole proporre una riflessione metodologica sul tema dello studio metrologico e proporzionale delle architetture medievali, anche con riferimento all’esperienza condotta nel rilevamento di architetture medievali in ambito abruzzese.

Metodologia e contesto

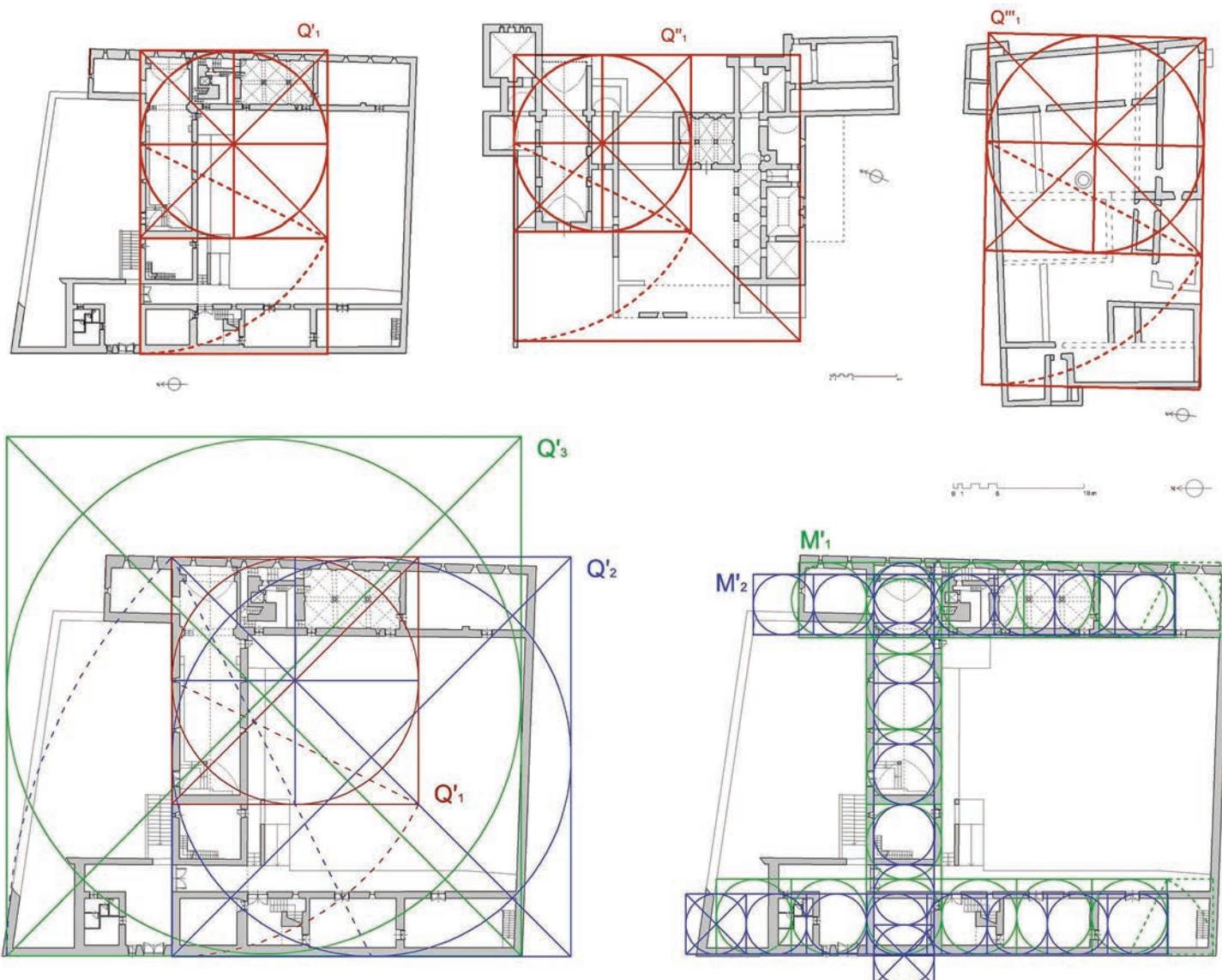
Se, in linea di principio, lo studio dei caratteri metrologici e proporzionali possono essere riferiti a due analisi differenti, nella pratica appare evidente come queste letture tematiche siano integrate.

Infatti specifiche proporzioni matematiche sono relazionate a costruzioni di geometriche, e al contempo la definizione di moduli dimensionali fonda la sua concreta applicazione sulle unità di misura utilizzate.

Intendendo il rilevamento come processo storico critico di conoscenza del manufatto architettonico, gli studi metrologici e proporzionali vengono a costituirsì quale portato di conoscenza per comprendere i principi che sottendono l’ideazione e realizzazione dell’opera, nel suo complesso e nelle sue componenti, e per ricostruire la successione delle fasi storiche che hanno condotto all’attuale configurazione.

In particolare considerando come i principi armonici e le unità di misura siano sempre da riferirsi a specifici contesti storici e geografici, queste analisi possono supportare lo studio della cronologia

1 | Vista del monastero di S. Spirito d’Ocre presso L’Aquila.



relativa ed assoluta delle fasi costruttive, ed evidenziare influssi culturali¹. Focalizzandosi sul tema dell'architettura religiosa medievale, appare necessario tenere in debito conto alcune specifiche questioni: la rara disponibilità di informazioni e grafici di progetto; una concezione dell'opera che si fonda sul connubio tra arte e tecnica, e che diventa immanente nel cantiere attraverso la pratica professionale; una figura del progettista da interpretare come magister artigiano, operante nell'ambito di scuole e botteghe, la cui sapienza e scienza costruttiva informa l'incarnato dell'opera, secondo una concezione ben differente rispetto all'idea moderna, che tende ad identificare una personalità ben definita. Con l'obiettivo di studiare le proporzioni di edifici religiosi, va ricordato lo specifico contesto storico medievale, dove alla costruzione sacra viene richiesto

di rispecchiare l'armonia che sottende la creazione universale: si tratta di una concezione mistica per la quale la chiesa viene ad incarnare e descrivere simbolicamente e didascalicamente l'opera del Sommo Creatore.

La tecnica e l'abilità artigianale si fondono con i mezzi della ragione, quali algebra e geometria, così che scienza e sapienza possano dare forma ad un edificio che incarna le leggi divine. Pertanto, dato che i numeri e le proporzioni possiedono un insito valore simbolico, le analisi metrologico-proporzionali acquistano particolare valore nel rilievo dell'architettura medievale².

La ricerca della proporzione

Una serie di studi ha messo in evidenza l'importanza del proporzionamento nel progetto delle architetture storiche³ così

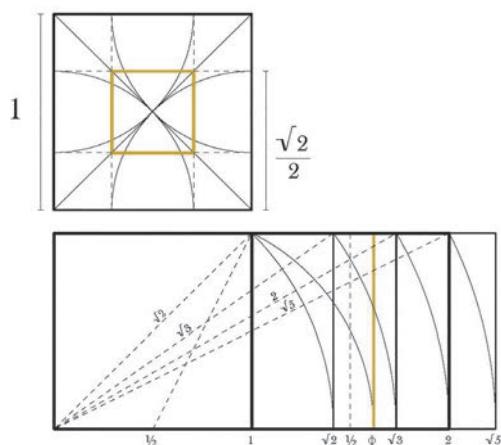
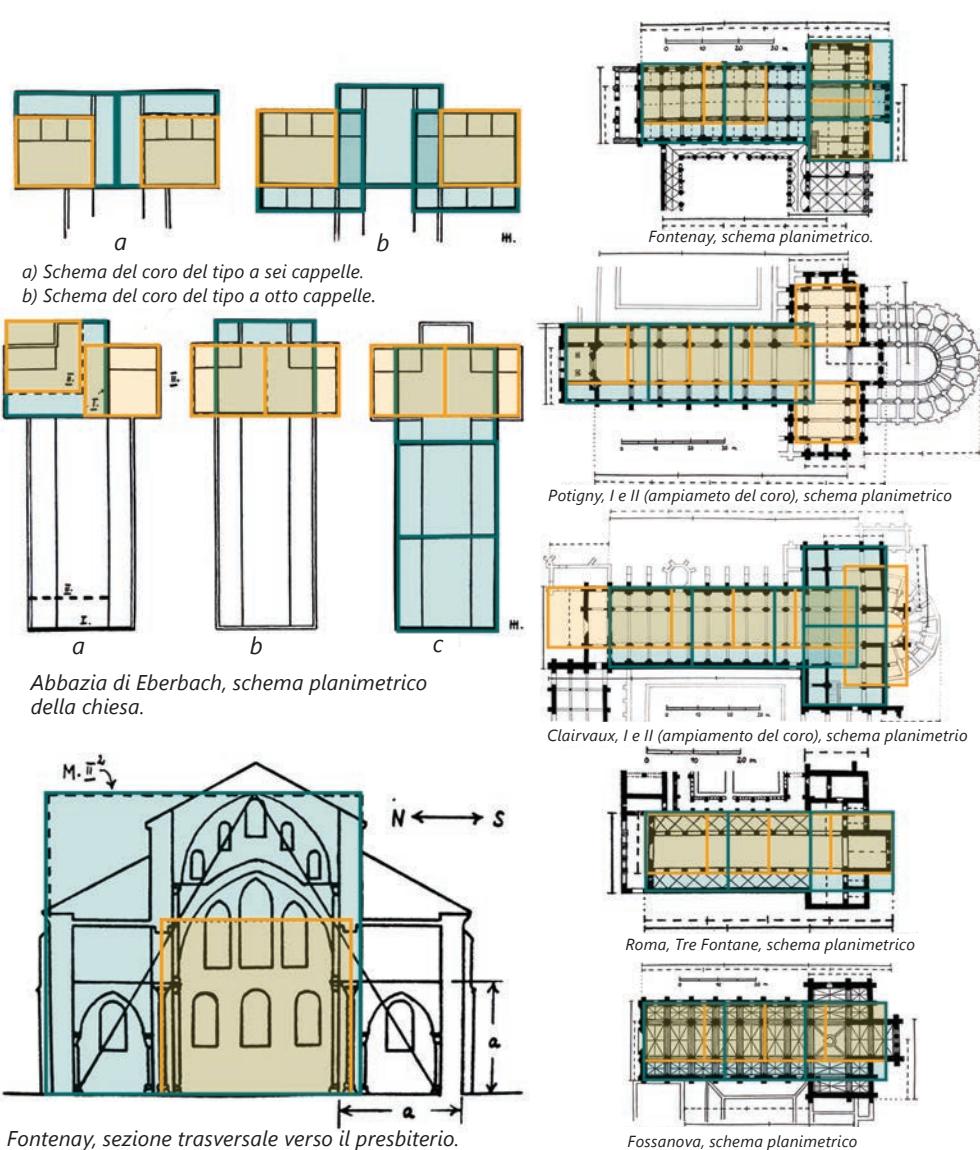
2 In rosso, analisi proporzionale delle abbazie cistercensi abruzzesi di S. Spirito d'Ocre (1222), S. Maria di Casanova presso Villa Celiera (1191-1197), S. Maria del Monte (1222-1303) sulla Piana di Campo Imperatore nel Gran Sasso. In tutti e tre i casi si può riscontrare un impianto basato su proporzioni auree sviluppate a partire da un quadrato avente lato pari alla lunghezza della chiesa.

3 Abbazia di S. Spirito d'Ocre. Utilizzo ripetuto della proporzione aurea per dimensionare l'insediamento ed individuazione di moduli dimensionali quadrati.

¹ De Angelis D'Ossat, *Realtà dell'Architettura*; Carbonara, *Restauro dei Monumenti. Guida agli elaborati grafici*.

² Eco, *Arte e bellezza nell'estetica medievale*.

4 | Rielaborazione di immagini tratte dal saggio "Die frühe Kirchenbaukunst der Zisterzienser" di Hanno Hahn del 1957 con i due quadrati, con lati in rapporto 3/4, impiegati per dimensionare la pianta e la sezione di chiese cistercensi.



5 | Schemi geometrici per il tracciamento della Sezione Sacra, Sezione Aurea e altri rapporti matematici.

³ Tra gli altri cfr. Wittkower, *Principi architettonici nell'età dell'Umanesimo*.

⁴ Bartoli, *Measures in Architecture*.

⁵ Marcos González, *Metrology in Egyptian Architecture of the XVIII Dynasty, in Thebes*.

⁶ Schüffler, *Proportions and Their Music*.

⁷ Inglese, *Disegni di pietra. Le costruzioni geometriche nei tracciati di cantiere*.

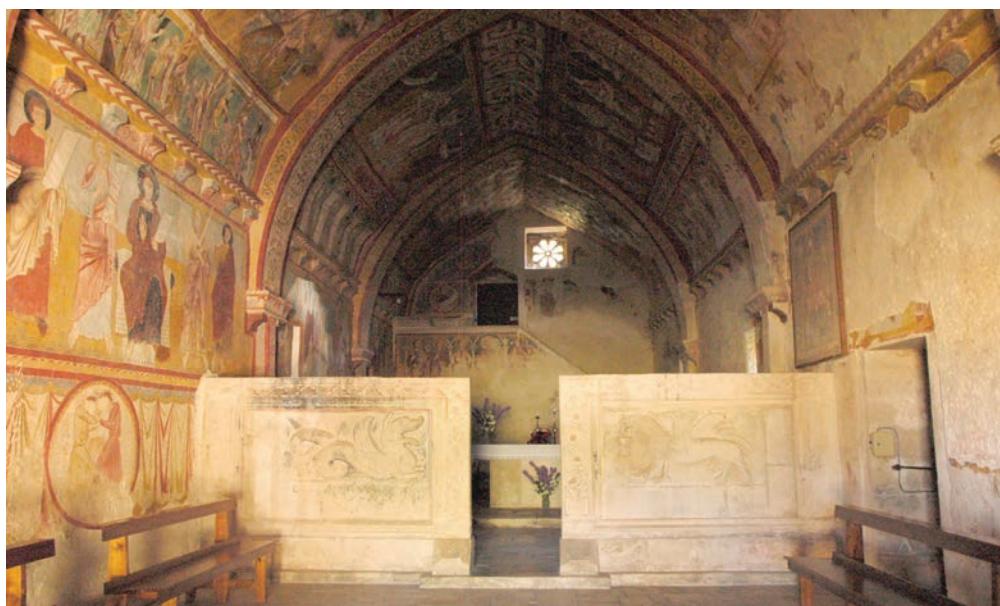
⁸ Bork, *The Geometry of Creation: Architectural Drawing and the Dynamics of Gothic Design*.

da dare vita ad uno specifico filone dedicato⁴. I principi proporzionali erano alla base del tracciamento dei progetti sin da epoca antica⁵, anche in relazione alle proporzioni musicali⁶.

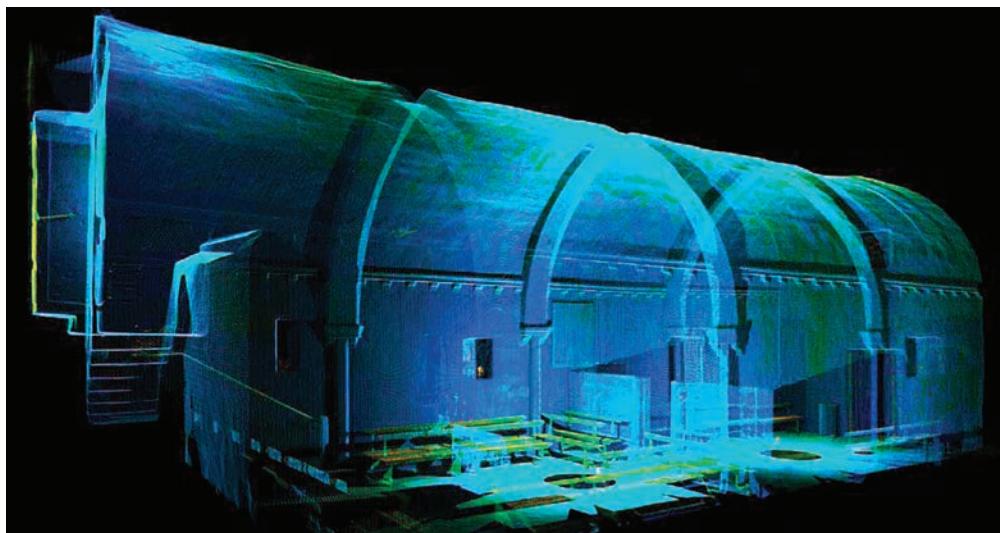
In particolare le proporzioni possiedono una valenza armonica riferita a rapporti numerici, e al contempo sono legate a modalità grafiche di tracciamento, tanto dei disegni di progetto che dell'impianto della fabbrica in sede di cantiere. Questi aspetti geometrici sono integrati praticamente e razionalmente tramite i principi della geometria. Così Carlo Inglese evidenzia attraverso i segni riscontrabili sugli elementi in pietra⁷ o sulla base dei disegni storici di progetto⁸. In particolare il righello e il compasso per i disegni o per gli elementi architettonici, come il metro e la corda in cantiere, si offrono quali strumenti concettuali e metodologici per

un definito design della forma, delle proporzioni e delle geometrie.

Secondo il connubio che vede un parallelo con la musica, alcune leggi proporzionali impiegate sono i rapporti corrispondenti agli intervalli di ottava, quinta, quarta e seconda cioè $1/2=0,5$ (*diapason*), $2/3=0,666$ (*diapente*), $3/4=0,75$ (*diatessaron*), $8/9=0,888$. Altre proporzioni armoniche in architettura sono: la proporzione aritmetica $b-a=c-b$ con $a=2$, $b=3$, $c=4$; la proporzione geometrica $a:b=b:c$ con $a=4$, $b=6$, $c=9$; la proporzione armonica $(b-a):a=(c-b):c$ con $a=6$, $b=8$, $c=12$. Si ricordano anche che i numeri alla base del teorema di Pitagora 3-4-5, che consentono di tracciare agevolmente angoli retti. Inoltre la sezione sacra = 0,707 e la sezione aurea = 1,618 (o l'inverso 0,618) sono di facile tracciamento geometrico attraverso le diagonali del quadrato (fig. 5). Ad esempio si è avuto modo di riscon-



6,7 | Chiesa di S. Pellegrino (1263) a Bominaco. Vista fotografica dell'interno, nuvola di punti.



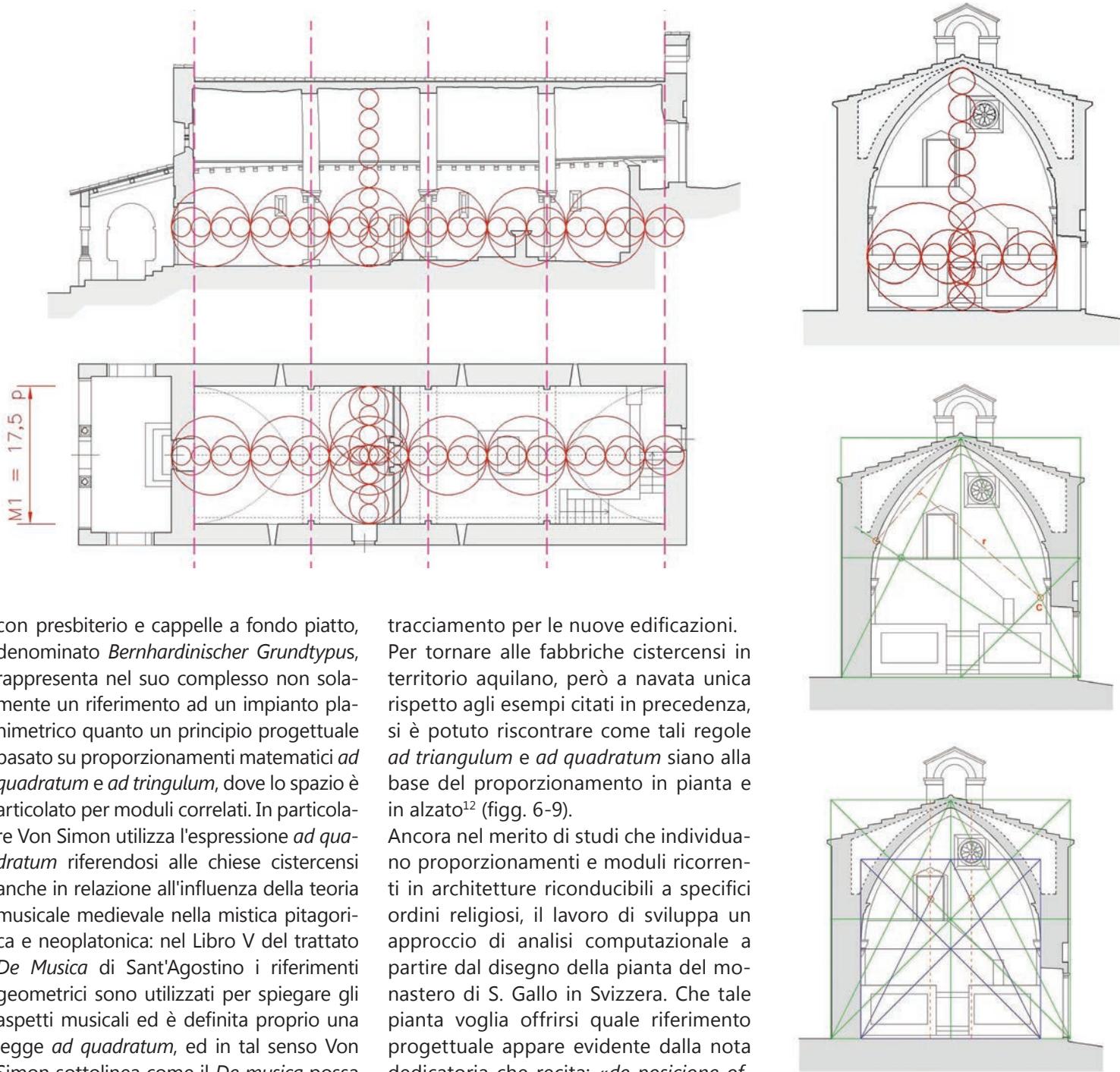
trare come alla base dell'impianto delle abbazie cistercensi in Abruzzo vi sia il ricorso a proporzioni auree, sviluppate a partire da un quadrato avente lato pari alla lunghezza della chiesa⁹ (figg. 1-4). Alcuni studi hanno messo in luce l'esistenza di proporzioni ricorrenti in fabbriche riferibili a contesti culturali omogenei, anche in aree geografiche distanti tra loro. Di particolare interesse quanto riscontrato da Hanno Hahn che individua delle proporzioni geometriche ricorrenti nel prozionamento delle architetture cistercensi nel XII secolo¹⁰. Sulla base degli studi condotti sulla chiesa a tre navate di Eberbach, osserva una legge basata sull'impiego di due quadrati con lati in rapporto 3/4: il quadrato maggiore ha lato pari alla larghezza del fronte principale, ovvero della navata centrale più la laterale più il transetto, ovvero della profondità del transetto più quella dell'abside; il qua-

drato minore ha lato pari alla larghezza della navata centrale più la navata laterale, misura uguale alla distanza tra l'asse longitudinale della chiesa e il termine del transetto. Tre volte il lato del quadrato maggiore è uguale a quattro volte quello del quadrato minore e corrispondono alla lunghezza del corpo dell'edificio (fig. 4).

Hahn verifica come tali proporzioni siano presenti in numerosi altri edifici in Europa, seppur con declinazioni in parte diverse. Lo storico tedesco Hahn sottolinea come questa regola non venga applicata per riprodurre sistematicamente un modello ma serva ad offrire una "ratio" intellettuale in linea con la regola ed il pensiero cistercense. E lo stesso San Bernardo aveva redatto tra il 1123 ed il 1125 lo scritto *Apologia* dove dissertava sulla concezione dell'edificio chiesastico. Di conseguenza l'impianto ricorrente con chiesa a tre navate, transetto

⁹ Brusaporci, *Architetture cistercensi nell'Abruzzo aquilano. Misure geometrie proporzioni*.

¹⁰ Hahn, *Die frühe Kirchenbaukunst der Zisterzienser*.



con presbiterio e cappelle a fondo piatto, denominato *Bernhardinischer Grundtypus*, rappresenta nel suo complesso non solamente un riferimento ad un impianto planimetrico quanto un principio progettuale basato su proporzionamenti matematici *ad quadratum* e *ad triangulum*, dove lo spazio è articolato per moduli correlati. In particolare Von Simon utilizza l'espressione *ad quadratum* riferendosi alle chiese cistercensi anche in relazione all'influenza della teoria musicale medievale nella mistica pitagorica e neoplatonica: nel Libro V del trattato *De Musica* di Sant'Agostino i riferimenti geometrici sono utilizzati per spiegare gli aspetti musicali ed è definita proprio una legge *ad quadratum*, ed in tal senso Von Simon sottolinea come il *De musica* possa aver avuto un ruolo almeno altrettanto importante del *De arithmeticā*¹¹.

Certamente va precisato come l'espressione *ad quadratum* non sia da riferirsi solo all'architettura cistercense, in quanto diffusa in epoca medievale. Va ricordato come l'ordine cistercense fosse regolato da un rigoroso sistema di dipendenze basato sulle filiazioni, dove ogni nuovo insediamento dipendeva rigorosamente dalla casa madre che lo aveva fondato. Questo definiva uno stretto sistema di controllo, e pertanto implicitamente può aver condotto alla riproposizione di sistematiche regole di

tracciamento per le nuove edificazioni. Per tornare alle fabbriche cistercensi in territorio aquilano, però a navata unica rispetto agli esempi citati in precedenza, si è potuto riscontrare come tali regole *ad triangulum* e *ad quadratum* siano alla base del proporzionamento in pianta e in alzato¹² (figg. 6-9).

Ancora nel merito di studi che individuano proporzionamenti e moduli ricorrenti in architetture riconducibili a specifici ordini religiosi, il lavoro di sviluppa un approccio di analisi computazionale a partire dal disegno della pianta del monastero di S. Gallo in Svizzera. Che tale pianta voglia offrirsi quale riferimento progettuale appare evidente dalla nota dedicatoria che recita: «*de posizione officinarum paucis exemplata*». Beatrix individua le misure d1 corrispondente alla larghezza dell'intera chiesa, d2 larghezza della navata centrale, d3 passo delle campate tra i pilastri; e suggerisce come i rapporti d1/d2 e d2/d3 siano ricorrenti in numerosi edifici benedettini¹³. Infine si ricordano gli studi di Maria Teresa Bartoli dedicati a Santa Maria Novella e Palazzo Vecchio a Firenze, fondati su di un accurato rilievo architettonico. Tali lavori, oltre che offrirsi come riferimento metodologico, propongono una modalità di lettura delle proporzioni basata sul rapporto tra aree di figure geometriche¹⁴.

8,9 | Chiesa di S. Pellegrino (1263) a Bominaco. Analisi metrologica, e riscontro dei principi "ad quadratum" e "ad triangulum".

¹¹ Von Simon, *The Gothic Cathedral. Origins of Gothic Architecture and the Medieval Concept of Order*, p. 215.

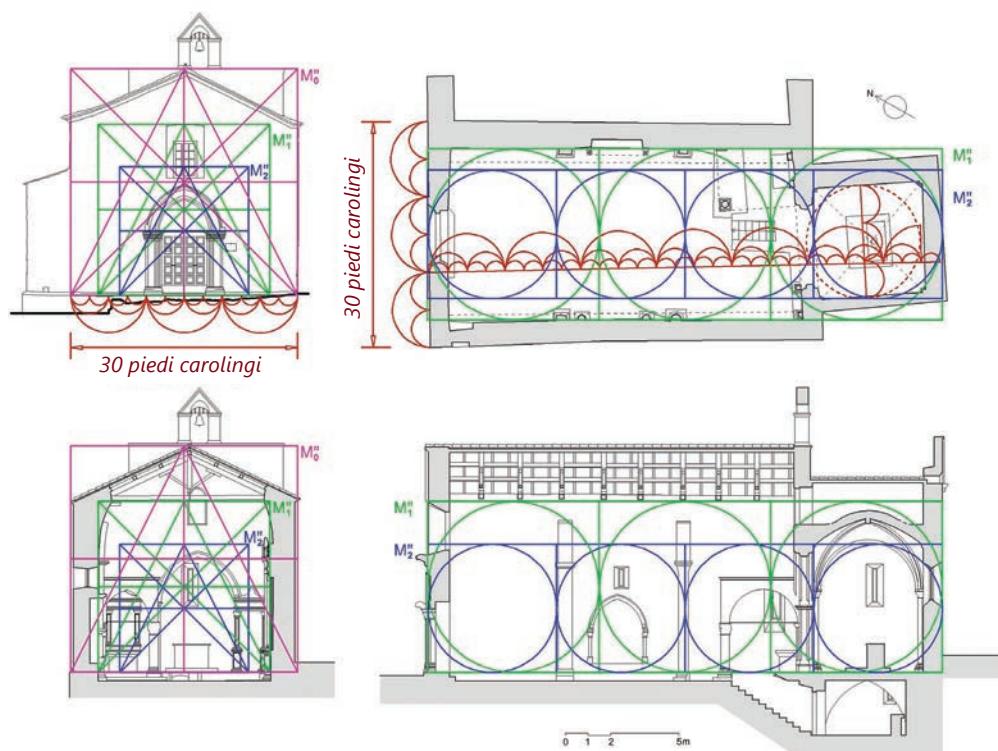
¹² Brusaporci, *Architetture cistercensi nell'Abruzzo aquilano. Misure geometrie proporzioni*.

¹³ Beatrix, *The Benedictine Proportions*.

¹⁴ Bartoli, *Musso e non quadro. La strana figura di palazzo Vecchio dal suo rilievo; Id., Santa Maria Novella a Firenze. Algoritmi della scolastica per l'architettura*.



10,11,12 | Chiesa di S. Maria ad Cryptas (XIII sec.) a Fossa. Vista della facciata e dell'interno, analisi metrologica e proporzionale con in evidenza l'impiego di quadrati con lati in rapporto 3/4 per proporziona-re l'organismo edilizio.



La ricerca della misura

Il mondo romano aveva definito una serie di riferimenti antropometrici, basati sul "piede", e su suoi multipli e sottomultipli, come il *digitus* = 1/16 di piede, il *palmus* = 1/4 di piede; il *cubitus* = 1+1/2 piede, corrispondente alla distanza gomito - punta della mano; il *gradus* = 2 + 1/2 piede (passo semplice); il *passus* = 5 piedi (passo doppio); la canna o pertica = 10 piedi. Inoltre il *bes* = 2/3 piede e il *dodrans* (spanna) = 3/4 piede. La lunghezza del piede romano può essere ricavata dal rilievo dei resti antichi, e in letteratura è possibile riscontrare misure quali 29,48 cm, 29,56 cm, 29,64 cm.

A Roma il piede romano rimane in uso sino al Rinascimento, mentre nelle altre regioni, a partire dall'Alto Medioevo, inizialmente perdura l'impiego delle misure romane, poi dall'età tardoantica iniziano a diffondersi unità di misura conseguenti allo stanziamento di nuove popolazioni: il piede longobardo = 28,75 cm; il piede bizantino = 31,5 cm; il piede normanno = 35,4 cm; il piede carolingio = 33,3 cm. Solo a partire dal 1480, Federico I d'Aragona definisce un riferimento unico per la misura del palmo napoletano, valida per tutto il Regno di Napoli¹⁵. Uno dei più noti riferimenti per le misure storiche è il manuale di Angelo Martini del 1883¹⁶. Le misure riportate hanno valenza generale e

richiedono precisazioni quando applicate alle specifiche situazioni. Marcello Salvatori propone una revisione sulla base delle sue esperienze di studio ed in particolare osserva: «Dal secolo X si ebbe il fiorire delle libertà comunali, più o meno accentuate, nel Settentrione e nel Centro Italia. Era considerata quasi un'affermazione della propria libertà il poter stabilire in ciascun comune unità di misura propria. Si ebbe così una miriade di moduli, spesso diversificati anche in funzione dei beni o dei prodotti posti in commercio. Ovviamente, in tal caso, prenderemo in considerazione ciò che veniva chiamato "piede di fabbrica" oppure "piede di terra", il quale poteva anche essere preso in considerazione nel misurare i fabbricati¹⁷».

Ne consegue l'importanza, nell'analisi metrologica, non solo di confrontare le misure del rilievo con le unità di misura storiche, così come riferite dalla letteratura di settore, ma anche verificare se, nella specifica costruzione, possa essere individuato un riferimento metrico costante, che eventualmente possa anche differenziarsi da quelli tradizionali. Quando ciò avviene è utile verificare se tale misura sia da riscontrarsi in altre fabbriche coeve nel territorio di riferimento e, in particolare, riferibili ad analoghe maestranze e committenti. Fermo restando una specifica attenzione ai processi di trasformazione della fabbrica, e facendo riferimento ad una specifi-

¹⁵ Salvatori, *Osservazioni di metrologia antica ed altomedievale e dei coevi paramenti murari*.

¹⁶ Martini, *Manuale di metrologia ossia misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*.

¹⁷ Salvatori, *Manuale di metrologia*, p. X.

¹⁸ Brusaporci, *Le murature nel versante meridionale del Gran Sasso (secc. XI-XIV)*.

¹⁹ Brusaporci, *Modelli interpretativi dell'architettura medievale*.

Pertanto appare centrale verificare le analisi proporzionali e metrologiche sulla base di rilievi scientificamente condotti e verificati, dove il rapporto tra regolarità ed irregolarità è in genere particolarmente rivelatrice.

ca fase di impianto, la ricerca dell'unità di misura può utilmente prendere le mosse dall'analisi delle dimensioni dei vani, delle distanze tra elementi caratterizzanti le architetture – soprattutto larghezza di vani porta e finestra –, dello spessore delle murature e di elementi costruttivi modulari quali i mattoni. In riferimento alle apparecchiature murarie, spesso è possibile riconoscere spianamenti orizzontali, posti a distanze regolari; in caso di murature in elementi sbozzati, quindi irregolari, è possibile verificare l'altezza di tre, quattro o cinque ricorsi. In particolare analisi mensicronologiche e tipocronologiche delle murature possono offrire importanti indicazioni¹⁸.

Potrebbe accadere che si venga a riscontrare una quantità ricorrente, non corrispondente a nessuna misura storica, tuttavia riconducibile ad un multiplo o sottomultiplo di una misura di base, come ad esempio nel caso di 2,5 piedi nelle già citate chiese cistercensi aquilane. Fermo resta il fatto che dimensioni scaturite da operazioni geometriche, a partire da figure semplici, possono condurre a lunghezze irregolari (diagonale del quadrato, proporzione aurea, etc.).

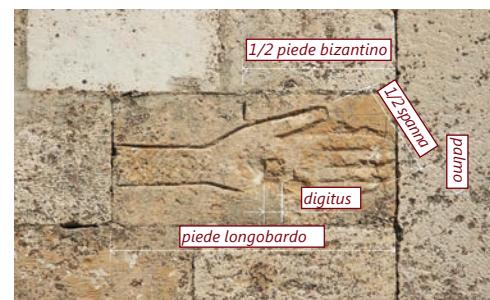
Nello studio delle fabbriche medievali in Abruzzo, nell'Alto Medioevo si è potuto riscontrare l'utilizzo di misure romane, come in quelle di impianto benedettino di S. Giustino a Paganica e S. Paolo a *Peltuinum*¹⁹. Nel caso delle architetture cistercensi si è verificato l'impiego del piede bizantino da 31,5 cm e di quello carolingio da 33,3 cm.

Il piede bizantino ricorre anche in alcune fortificazioni presenti nel territorio così da lasciar supporre come le maestranze cistercensi possano aver avuto un ruolo nella diffusione di specifiche unità²⁰ (figg. 10-12).

In relazione ad un contesto locale spesso caratterizzato da elementi di indeterminatezza, dove diverse unità lineari coesistono o possono cambiare anche in luoghi a poca distanza, appare evidente l'utilità per le popolazioni del passato di realizzare incisioni di riferimento, in genere esposte sui paramenti delle chiese. Un caso da segnalare è quello di un concio in pietra presente sul fronte destro della chiesa di S. Maria Assunta a Bominaco (XII-XIII secolo) su cui è inciso il disegno di un braccio. Il concio ha larghezza pari ad un piede longobardo, misura che nel territorio è riscontrabile anche nella coeva cattedrale di San Massimo di Forcona presso L'Aquila²¹. In particolare il piede longobardo è diffuso nell'Italia centro-meridionale, e permane in età federiciana, sicuramente riscontrato anche nel vicino ducato di Spoleto. In particolare le dimensioni della mano si offrono quale riferimento per definire la grandezza del palmo e di mezza spanna; una incisione sul palmo precisa la grandezza del *digitus*. Di interesse una tacca sulla pietra che segna la misura corrispondente a mezzo piede bizantino, in tutta probabilità tracciata successivamente per ridefinire, aggiornare o integrare i riferimenti metrici in uso (figg. 13-15).

La metrologia storica può offrire utili indicazioni per comprendere le fasi di impianto e trasformazione di un complesso, soprattutto quando integrata con altre analisi quali quella delle apparecchiature murarie e degli spessori e allineamenti murari.

Ad esempio la chiesa di S. Pietro di Copitto all'Aquila presenta una configurazione medievale esito di un completo ridisegno dell'edificio compiuto negli anni 1969-71 nell'ambito di una campagna di restauri di ripristino. Per quanto riguarda il doppio transetto è possibile riscontrar-



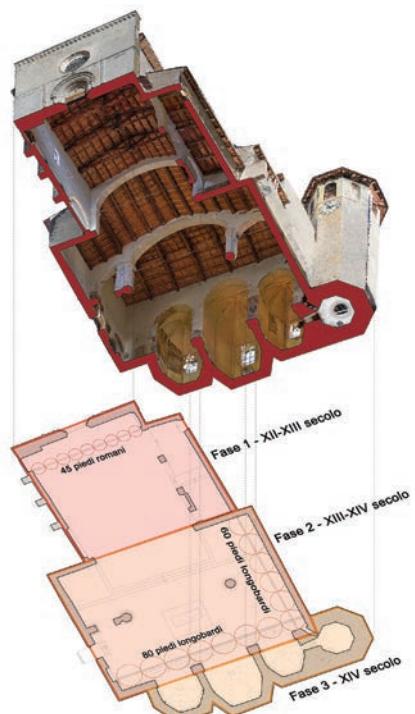
13,14,15 | Chiesa di S. Maria Assunta a Bominaco (XII-XIII sec.). Vista della facciata e del fronte destro. Particolare di un concio con il disegno di un braccio con mano ed indicazione di come le dimensioni fungano da riferimento metrico.

²⁰ Brusaporci, Architetture cistercensi nell'Abruzzo aquilano. Misure geometrie proporzioni.

²¹ Forgione et al., La cattedrale di San Massimo di Forcona (AQ). Primi dati dalla lettura archeologica delle architetture.

²² Brusaporci et al., Survey and critical analysis of the church of S. Pietro a Coppito in L'Aquila.

²³ Docci, Il rilievo delle proporzioni e dei tracciati armonici in architettura.



16,17,18 | Chiesa di S. Pietro di Coppito (XIII sec.) nel centro storico dell'Aquila. Vista esterna ed interna e spaccato assonometrico con analisi metrologica sulla base della quale è possibile evidenziare le fasi costruttive.

re l'impiego del cosiddetto piede longobardo, con la porta sul fronte sinistro larga 6 piedi, il vano verso la torre 2,5 piedi, l'ambiente 60x80 piedi.

Invece la navata principale è larga 45 piedi romani. Infine nella zona absidale, appaiono unità di misura riferibili alla cultura cistercense. Pertanto si può ipotizzare che l'impianto del transetto sia riferibile ad una prima fase, antecedente la fondazione della città (ante XIII sec.); segue l'ampliamento della chiesa (metà XIII secolo) e in fase di poco successiva la costruzione delle absidi (XIV secolo)²² (figg. 16-18).

Conclusioni

Gli argomenti trattati non hanno ambizioni di esaustività ma vogliono evidenziare tematiche in ordine allo studio metrologico-proporzionale di architetture storiche, ed in particolare medievali, con esempi riferiti ad uno specifico contesto. L'argomento apre a molteplici approfondimenti che per ragioni di sintesi si è ritenuto di non sviluppare, come ad esempio la questione delle regole geometriche nel tracciamento delle città medievali, o il disegno – con relative questioni di stereometria – degli elementi architettonici e decorativi.

Con riferimento allo studio delle proporzioni e dei tracciati armonici in architet-

tura, Mario Doccia sottolinea l'importanza del rilievo architettonico, in quanto spesso gli studi storici offrono accurate analisi però non sufficientemente supportate da riscontri diretti sulle fabbriche. Inoltre evidenzia il ruolo fondamentale dell'unità di misura, piuttosto che del modulo, in quanto quest'ultimo deriva dall'unità stessa o da suoi multipli²³.

Pertanto appare centrale verificare le analisi proporzionali e metrologiche sulla base di rilievi scientificamente condotti e verificati, dove il rapporto tra regolarità ed irregolarità è in genere particolarmente rivelatrice. Al contempo è importante riferire le analisi condotte su di una fabbrica al relativo contesto storico, culturale e geografico.

In conclusione, la natura generativa dei rapporti geometrici e delle unità di misura da luogo al disegno delle architetture storiche, tanto più quelle medievali, dove proporzioni armoniche tra numeri e geometrie assumono valenze estetiche e simboliche, e si inverano in un processo grafico che procede dall'ideazione al tracciamento in cantiere.

Bibliografia

- M.T. Bartoli (a cura di) *Measures in Architecture, DisegnareCon*, VIII, 2015, 15.
- M.T. Bartoli, *Musso e non quadro. La strana figura di palazzo Vecchio dal suo rilievo*, Edifir, Firenze 2007.
- M.T. Bartoli, *Santa Maria Novella a Firenze. Algoritmi della scolastica per l'architettura*, Edifir, Firenze 2009.
- L. Bartolini Salimbeni, A. Di Matteo, *Santa Maria Arabona. Un'abbazia cistercense in Abruzzo*, Carsa, Pescara 1999.
- F. Beatrix, *The Benedictine Proportions*, in *Nexus Network Journal*, 2025, 27, pp. 467-490.
- R. Bork, *The Geometry of Creation: Architectural Drawing and the Dynamics of Gothic Design*, Routledge, London 2011.
- S. Brusaporci, *Le murature nel versante meridionale del Gran Sasso (secc. XI-XIV)*, Gangemi, Roma 2007.
- S. Brusaporci, *Modelli interpretativi dell'architettura medievale*, Arkhé, L'Aquila 2007.
- S. Brusaporci, *Architetture cistercensi nell'Abruzzo aquilano. Misure geometrie proporzionali*, in *Disegnare Idee Immagini*, XXII, 2011, 43, pp. 36-45.
- S. Brusaporci, L. Vespasiano, P. Maiezzi, *Survey and critical analysis of the church of S. Pietro a Coppito in L'Aquila*, in AA.VV. (a cura di), *Misura / Dismisura-Measure / Out of Measure*, Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione, Padova-Venezia 12-14 settembre 2024, FrancoAngeli, Milano 2024, pp. 973-986.
- A. Buratti, M. Civita, G. Mezzanotte, *Comunità cistercensi in Abruzzo*, in *Città e società*, XI, 1980, 1.
- G. Carbonara, *Restauro dei Monumenti. Guida agli elaborati grafici*, Liguori, Napoli 1990.
- M. Cohen, M. Delbeke (edited by) *Proportional Systems in the History of Architecture: A Critical Consideration*, Leiden University Press, Leiden 2018.
- G. De Angelis D'Ossat, *Realtà dell'Architettura*, Carucci editore, Roma 1982.
- M. Docci, *Il rilievo delle proporzioni e dei tracciati armonici in architettura*, in *Quaderni del Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo*, 1988, 1-2, pp. 7-11.
- U. Eco, *Arte e bellezza nell'estetica medievale* (1987), La Nave di Teseo, Milano 2016.
- W.M. Flinders Petrie, *Inductive Metrology; or, The Recovery of Ancient Measures from the Monuments*, Hargrove Saunders, London 1877.
- A. Forgione, A. Arrighetti, A. Lumini, S. Brusaporci, *La cattedrale di San Massimo di Forcona (AQ). Primi dati dalla lettura archeologica delle architetture*, in *Archeologia dell'Architettura*, 2022, pp. 189-216.
- L. Fraccaro De Longhi, *L'architettura delle chiese cistercensi italiane con particolare riferimento ad un gruppo omogeneo dell'Italia Settentrionale*, Ceschina, Milano 1958.
- I.C. Gavini, *Storia dell'architettura in Abruzzo*, Casa editrice d'arte Bestetti e Tumminelli, Roma 1927-1928.
- J. Gyllenbok, *Encyclopaedia of Historical Metrology, Weights, and Measures*, Springer, New York 2018.
- H. Hahn, *Die frühe Kirchenbaukunst der Zisterzienser*, Gebr. Mann Verlag, Berlino 1957.
- C. Inglese, *Disegni di pietra. Le costruzioni geometriche nei tracciati di cantiere*, Gangemi, Roma 2025.
- M.M. Marcos González, *Metrology in Egyptian Architecture of the XVIII Dynasty in Thebes*, in Versaci, A., Bougdah, H., Akagawa, N., Cavalagli, N. (edited by), *Conservation of Architectural Heritage. Advances in Science, Technology & Innovation*, Springer, Cham 2022, pp. 91-108.
- A. Martini, *Manuale di metrologia ossia misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*, Loescher, Torino 1883.
- J. Michell, *Ancient Metrology. The Dimensions of Stonehenge and of the Whole World as Therein Symbolised*, Pentacle Books, Toms River 1981.
- M. Moretti, *Architettura medievale in Abruzzo (dal VI al XVI secolo)*, De Luca, Roma 1971.
- J. Neal, *Ancient Metrology: The Whole World*, Wooden Books, Glastonbury 2025.
- A.M. Romanini, *Le abbazie fondate da San Bernardo in Italia e l'architettura cistercense «primitiva»*, in *Studi su San Bernardo di Chiaravalle*, Editiones Cistercienses, Roma 1975, pp. 281-303.
- M. Salvatori, *Osservazioni di metrologia antica ed altomedievale e dei coevi paramenti muri*, in *Opus*, 1993, 3, pp. 5-42.
- M. Salvatori, *Manuale di metrologia*, Liguori, Napoli 2006.
- K. Schüffler, *Proportions and Their Music*, Springer, Berlin Heidelberg 2024.
- G. Viti (a cura di) *Architettura cistercense*, Casamari, Certosa di Firenze 1995.
- O. Von Simon, *The Gothic Cathedral. Origins of Gothic Architecture and the Medieval Concept of Order*, Princeton University Press, London 1956.
- M. Wedell, *Metrology*, De Gruyter, Berlin 2010.
- R. Wittkower, *Principi architettonici nell'età dell'Umanesimo* (1962), Einaudi, Torino 1994.



TRIBELON
RIVISTA DI DISEGNO
UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE

VOL. 2 | N. 4 | 2025
CONFIGURARE: ORDINE E MISURA
TO SHAPE: ORDER AND MEASURE

Citation: R. Spallone, *Arithmetic, geometry, and measurements in the Baroque building site*, in *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 46-53.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3791>

Received: October, 2025

Accepted: November, 2025

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Spallone R., this is an open access peer-reviewed article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

ARITHMETIC, GEOMETRY, AND MEASUREMENTS IN THE BAROQUE BUILDING SITE

ROBERTA SPALLONE

Politecnico di Torino
roberta.spallone@polito.it

Between the 16th and 17th centuries, intellectuals, mathematicians, and military engineers wrote treatises dedicated to the measurement of architecture and fortifications, while the practice of surveying was considered a nearly professional endeavor.

Modo di misurare le fabbriche (1674) by Guarino Guarini responds to the need for expeditious methods for measuring architectural elements in buildings under construction during the second expansion of Baroque Turin. Dedicated to the measurement of surfaces and volumes, unlike other texts, the treatise devotes very little space to the description of surveying techniques. The work stands out for its absolute novelty in the treatise landscape, as it refers to the construction phase of the architectural process.

In this essay, new considerations are developed regarding the relationships between arithmetic, geometry, and measurements, highlighting their connections to the construction of buildings.

*The analysis carried out underlines the need to read Guarini's writings on architecture as a complementary system of highly integrated knowledge. In particular, the link between geometry and architecture, intrinsic to Guarini's treatises, is expressed in *Modo di misurare le fabbriche* through the concept of measurement.*

Keywords: Survey, Measurements, Geometry, Guarini, *Modo di misurare le fabbriche*.

Introduction

Over the centuries, surveying and measurement have revealed different possible interlacings.

Surveying, as a technique that uses instruments to acquire angular and linear dimensions, interacts with measurement depending on the objectives of the survey and the characteristics of the object under examination, whether it be, in the scope of built heritage, an urban fabric, a building, or a detail. In turn, measurement characterises the object from the design stage, defining its modularity and proportions. Between the 16th and 17th centuries, intellectuals, mathematicians, and military engineers wrote treatises dedicated to the measurement of architecture and fortifications¹, while the practice of surveying was considered a nearly professional endeavor².

Modo di misurare le fabbriche (1674) by Guarino Guarini, who was an abbot of the Theatine order, fits into this context, responding to the need for expeditious methods for measuring architectural elements in buildings under construction during the second expansion of Baroque Turin. Dedicated to the measurement of surfaces and volumes, unlike other texts, the treatise devotes very little space to the description of surveying techniques. One hundred thirty-one pseudo-axonometric diagrams, produced using xilography³, illustrate the text propositions. This essay, which builds upon previous studies on the calculation of vault surfaces in the treatise. It develops new considerations on the relationships between arithmetic, geometry, and measurements, highlighting their interconnections with the building's construction.

¹ Vagnetti, *La teoria del rilevamento architettonico in Guarino Guarini*, pp. 503-505.

² Docci, Maestri, *Storia del rilevamento architettonico e urbano*, p. 136.

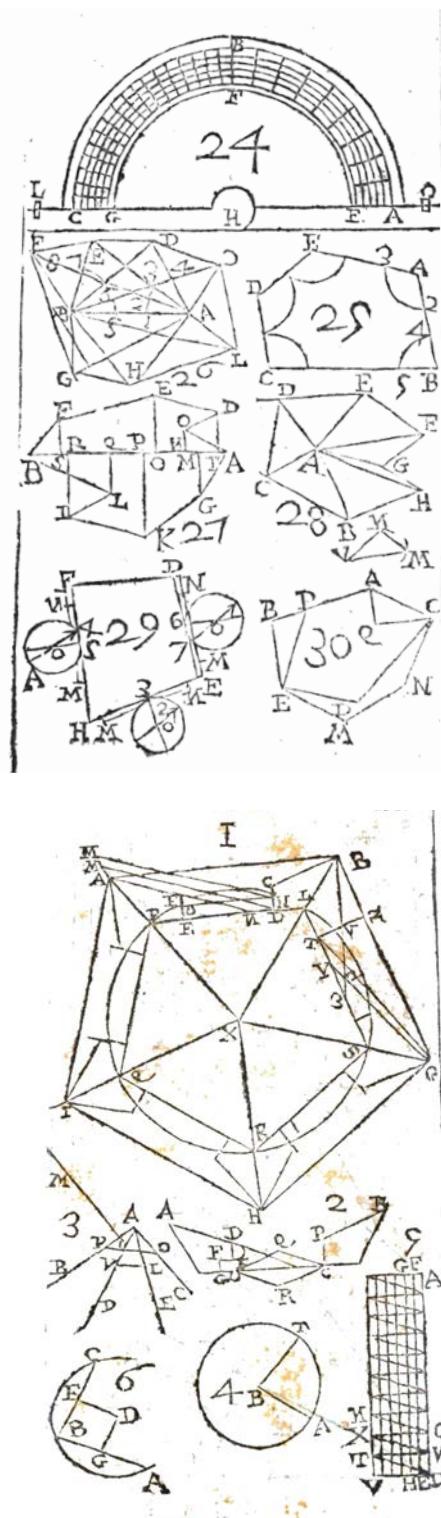
³ Scotti Tosini, *Testo e immagini nell'Architettura civile e nelle opere teoriche di Guarini*, p. 96.

⁴ Vagnetti, *La teoria del rilevamento architettonico in Guarino Guarini*, pp. 497-511.

⁵ Docci, Maestri, *Storia del rilevamento architettonico e urbano*.

⁶ Vagnetti, *La teoria del rilevamento*, cit., p. 500.

⁷ Tavassi La Greca, *La posizione del Guarini in rapporto alla cultura filosofica del tempo*, pp. 452-453; Bianchini, *La scienza della rappresen-*



1 | The mobile square and the different techniques for using the instrument. *Trattato di fortificazione* 1676, plate 5.

2 | At the bottom right, the composed graphic scale for reducing measures in trabuchi and piedi liprandi. Source: *Trattato di fortificazione* 1676, plate 1.

tazione nella concezione di Guarino Guarini, pp. 22-41; Spallone, *Rappresentazione e progetto. La formalizzazione delle convenzioni del disegno architettonico*, p. 58.

⁸ Roero, *Guarino Guarini and Universal Mathematics*, p. 418.

Survey and measurement in the Baroque era

Luigi Vagnetti⁴ and Docci and Maestri⁵ provided a comprehensive overview of the state of the art in surveying during the Baroque age

Vagnetti recalls the entire Renaissance tradition of surveying, closely linked to the rediscovery of antiquity, which had its forerunners in Brunelleschi, Donatello, and Alberti, culminating in Raffaello's proposal described in his Letter to Leo X and in Palladio's systematic survey campaigns. The author sharply observes both the conceptual distance between the recognition and understanding of the formal lexicon of antiquity achieved in the 15th century and the need to account for the works built, which is the motive aim of Guarini's work. Moreover, he highlights the absence of methodological and regulatory texts suitable for governing survey activity until the late Renaissance, so that we can only appreciate the graphic results. Finally, Vagnetti emphasises the novelty of the Baroque master's work: no one before him had ever dealt with the method of measuring the surfaces and volumes of architecture⁶.

Docci and Maestri observe the continuity of techniques and practices in the 17th and 18th centuries with respect to the two previous centuries.

Still, they also note the different ways of conceiving culture and science, particularly in the field of surveying. Measurement techniques were perfected, and representation systems received greater attention with respect to the codification that would lead to their formalisation through the work of Monge. The surveying of monuments assumed a general knowledge function aimed at achieving greater objectivity. The practice of surveying almost took on the status of a profession, with artists and architects conducting architectural and urban surveys for educational purposes, aided by advances in xylography and chalcography, lower paper costs, and the widespread use of printing.

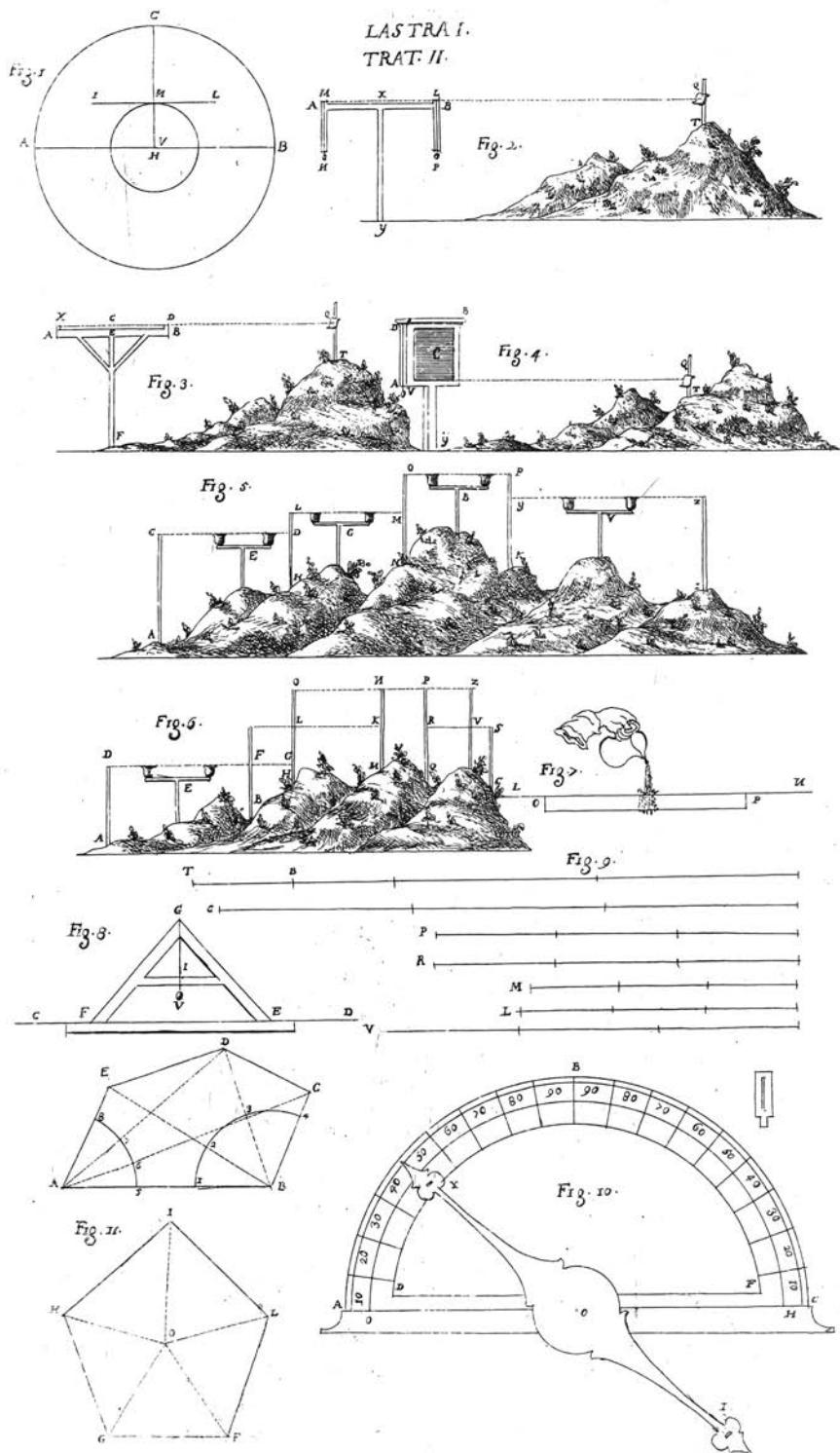
Furthermore, we must not forget the significant boost provided by the territorial surveys that became necessary from the 16th century onwards in the field of fortifications.

In fact, the transformation of war techniques brought about by the use of new weapons that employed gunpowder led to the need to build "modern" fortified structures, often by modifying or adding to existing buildings, or by creating them *ex novo*. The intertwining of geometry, architecture, and ballistics, necessary for the new techniques of city defense, required very accurate surveys, translated into precise plans.

Survey and measurement in Guarini's treatises

The thematic complementarity between Guarini's theoretical works on architecture has been highlighted in several studies⁷. In *Modo di misurare le fabbriche*, the Theatine constantly refers to his previous extensive work on geometry, *Euclides adactus et methodicus mathematicaque universalis*, published in Turin in 1671 by Bartolomeo Zapata. Scotti Tosini and Roero have highlighted the relationship between the two treatises⁸. A central topic, *Modo di misurare le fabbriche*, namely the measurement of the surfaces and volumes of vaulted structures, the main contributions of Euclides are evident. They come from *Tractatus XXIV*, which deals with conics, *Tractatus XXXI*, which is related to the calculation of surfaces, and *Tractatus XXXII*, which can be linked to stereometric techniques through the illustration of intersections between solids, between solids and planes, and developments on the plane. Furthermore, from the dedication to the readers, Guarini recalls that in *Euclides*, he had illustrated methods previously unknown for measuring surfaces and solids, but without specifying their applications to the measurement of buildings, as he would do in *Modo di misurare le fabbriche*. The actual references to architecture in the latter text will be discussed in the following paragraphs. Still, the fact remains that *Euclides* is constantly mentioned in the development of each topic and that some figures coincide, suggesting that Guarini reused the duplicate drawings in the exact dimensions in both works⁹.

Equally interesting are the connections with the other two works dedicated to architecture and construction: the



3 | Territorial surveying methods using different techniques and instruments.(From G. Guarini, *Architettura civile* 1737, plate 1, treatise II).

Trattato di fortificazione of 1676 and the *Architettura civile*, published posthumously in 1737.

In his *Trattato di fortificazione*, ch. 2 - *Del modo di levar'un sito per fortificarlo* (On the method of surveying a site for fortification), located within Book II - *Delle fortezze irregolari* (On irregular fortresses), Guarini raises the issue of metric surveying of the territory. As mentioned above, this issue is particularly signifi-

cant when fortifying an *ex novo* structure or when modifying an existing fortified structure to enhance its defensive capabilities. The tools and techniques proposed help measure angles and lengths. In the first case, Guarini describes the construction of the mobile square (fig. 1), an instrument with two arms, one fixed and one mobile, mounted on a graduated half-circle, which allows the angles to be read in sexagesimal degrees. In the second case, he illustrates how to take linear measurements, also using ropes and poles. More space devoted to the graphic representation of the measurements on paper. To carry out this step, it is essential to construct a composed scalebar (fig. 2) for the proportional reduction of the actual measurements¹⁰, which allows for the measurement of *trabucchi* and *piedi liprandi*, the measurement units used in Piedmont at that time (one *trabucco* is about 3.0825 m, one *trabucco* contains six *piedi liprandi*). The mobile square can therefore be used to fix lines perpendicular to an axis, to construct trilaterations, to fix lengths with respect to two vertices, and to draw angles at the vertices of polygons. These graphic tracing choices depend on the site's features and are directly related to the peculiarities of the ground in terms of intervisibility between the vertices to be projected onto the plane.

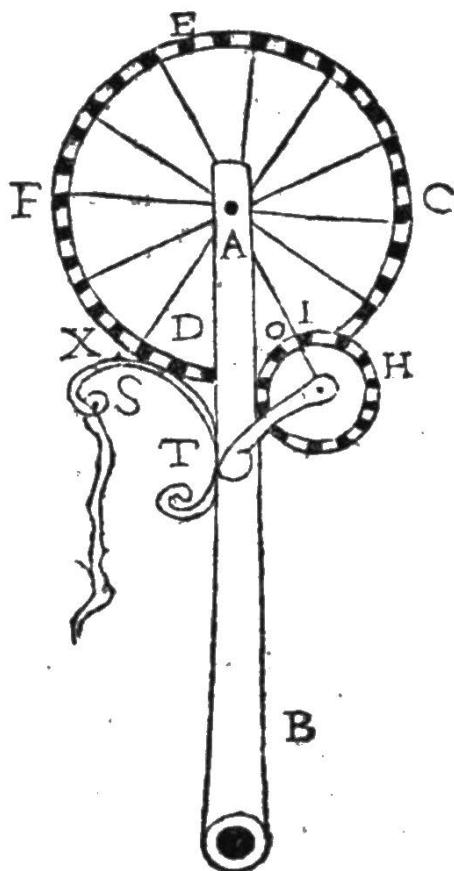
In *Architettura civile*, the discussion of surveying is located in *Treatise II*, dedicated to iconography, i.e., the orthogonal projection of civil buildings in plan. In *Treatise II*, the topic of building design in plan, guided by geometry. Guarini's definition of iconography as «a description on paper of the buildings, from which, in the plan where they are to be constructed, measurements are taken to locate the building»¹¹. The discourse continues through the framing of a real workflow, still common today in direct architectural surveying, which involves in the operations of leveling, measuring, and drawing, the construction of a scalebar in accordance with local units of measurement, and the application of the methods and techniques of representation.

The description of the surveying instruments is quite detailed: a ruler with a plumb line, a spirit level, a ruler with a

⁹ Scotti Tosini, *Testo e immagini nell'Architettura civile*, cit., p. 96.

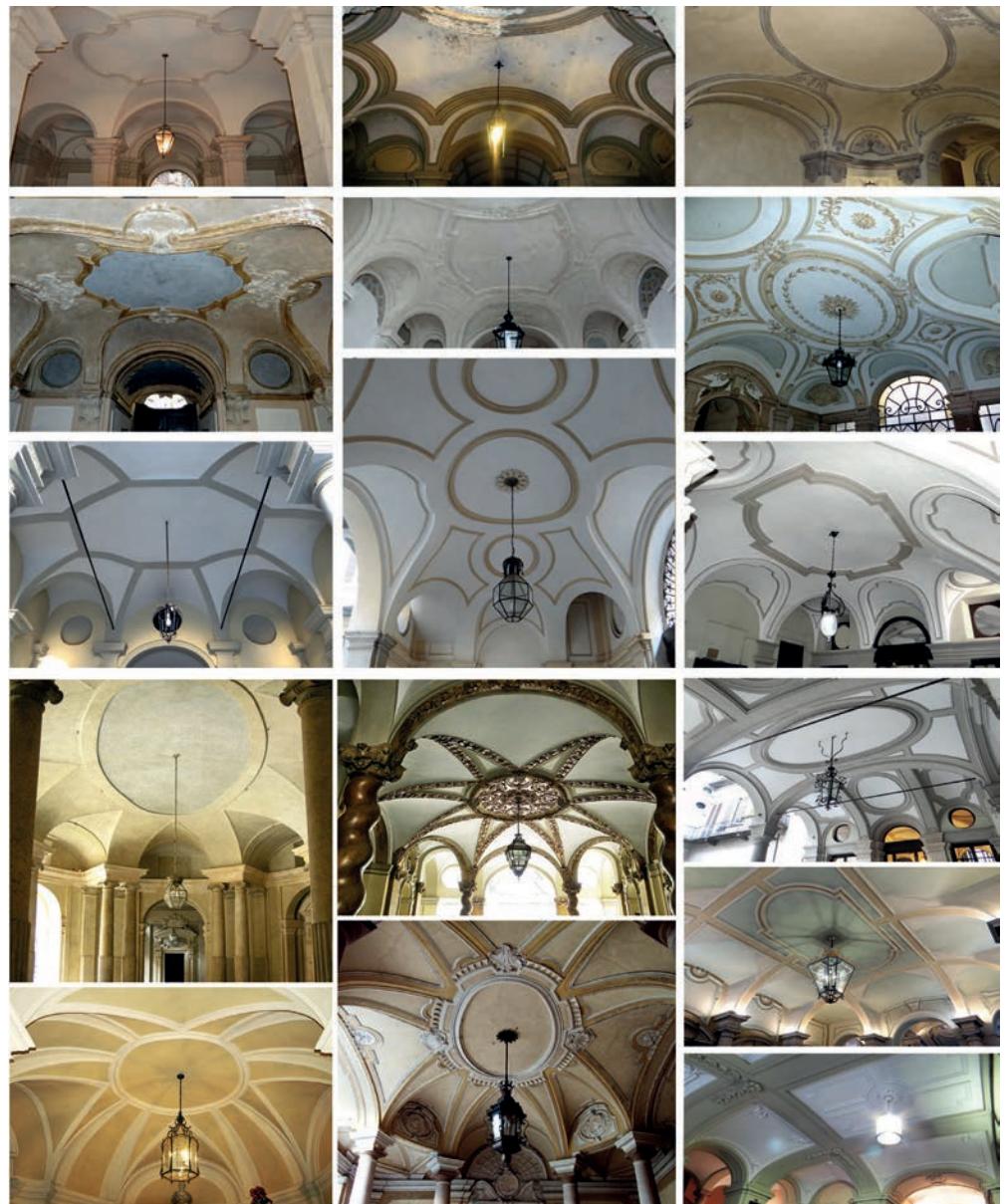
¹⁰ Bevilacqua, Spallone, *Composed Graphic Scales in the European Military Treatises and Manuals from the 17th to the 19th Centuries*, pp. 180-189.

¹¹ Guarini, *Architettura civile*, p. 38.



mirror for leveling, a rope, poles, and a telescope for constructing alignments, a square and a mobile square for measuring angles constitute the surveyor's toolkit. Angle measurement, in particular, is carried out with the mobile square placed at one, two, or more station points; the instrument can be replaced with a compass and magnet.

Great attention is paid to the units of measurement in use in different geographical areas, with the possibility of conversion between them, by the comparative scheme of seven scalebars. It refers respectively to the piede lirando, the King's or geometric foot, the Roman foot, the Cremonese arm, the modern Roman palm, the Spanish foot, and the Venetian foot, which, through subdivisions and comparisons, identify additional units used in other places. Compared to the *Trattato di fortificazione*, the development of surveying techniques, again on a territorial scale, in *Architettura civile* is more comprehensive, extending the discussion to levelling and the comparison between units of measurement, with the presumed aim of fully explaining the techniques of planimetric graphic restitution (fig. 3).



The *Modo di misurare le fabrique*

Modo di misurare le fabrique was published in Turin in 1674 by the Gianelli heirs. At that time, Guarini was living in the city, having been called there in 1666, first by the Theatines, and then commissioned to design civil and religious buildings, as well as to teach some of the descendants of the Savoy family. His stay in Turin ended with his death in 1683.

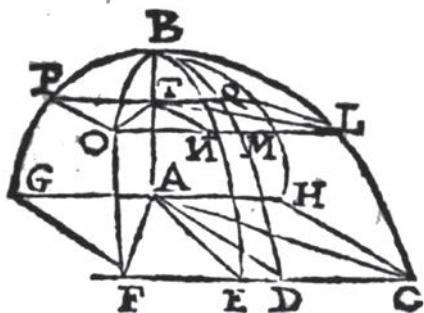
The treatise is compact in size, measuring 10.5 x 18.5 cm for ease of handling. It is written in Italian and consists of 208 pages.

Pseudo-assyntometric diagrams, probably not autographic, illustrate most of the propositions.

The volume is dedicated to Giovanni Andrea Ferrari, Count of Bagnolo, Presi-

4 | Guarini's design of a toothed wheel for measuring the lengths of oval-section vaults. (From G. Guarini, *Modo di misurare le fabrique* 1674, p. 48).

5 | Complex vaulted systems in Baroque Turin. Photo by M. Vitali.



6 | Lowered pavilion vault on a rhombus plan. (From G. Guarini, *Modo di misurare le fabbriche* 1674, p. 105)

Angular pavilion vault in the street-facing atrium of Palazzo Provana di Collegno by Guarini. Photo by M. Vitali.



“The intertwining of geometry, architecture, and ballistics, necessary for the new techniques of city defense, required very accurate surveys, translated into precise maps.

dent and General of Finance of His Royal Highness. Scotti Tosini states that the text was intended to provide clear rules in an area characterised by uncertainty and disputes, often linked to the financial fragility of builders caused by prolonged payment delays.

The specific aim, however, was to support the Count of Bagnolo in his supervisory duties as the city's financial manager during its intense period of transformation¹². The dedication expresses the aim of providing methods for measuring the surfaces and volumes of buildings under construction during the second expansion of Baroque Turin, undertaken in 1673 under the guidance of Amadeo di Castellamonte. It is, therefore, a work with an explicit practical purpose, for the calculation on site of materials and works under construction, a sort of operational complement to Euclides' demonstrations. Vagnetti emphasizes the absolute novelty of this approach, also in relation to the practice of architectural surveying, which had been consolidated over 250 years of activity on ancient monuments¹³. An introductory prelude provides the basic knowledge in the field of arithmetic, which helps tackle subsequent calculations. These are, in particular, the four operations, including tests to verify their accuracy, the search for the proportional quarter, the calculation of the square and cube roots, and the multiplication of lengths in relation to units of measurement. The prelude continues with some additions to Euclides, presented as «propositions that supplement our augmented Euclides»¹⁴ expanding the variety of surfaces considered. The prelude concludes with some indications and tips relating to surveying techniques and equipment, including the invention of a toothed wheel, a valuable instru-

ment for measuring the lengths of oval-section vaults (fig. 4).

The treatise is divided into three parts, dedicated respectively to the rules for calculating the areas of plane figures, the surfaces of solids, and the volumes of solids.

The first part is divided into 18 propositions contained in three chapters devoted respectively to the measurements of different countries (Chapter I), the measurements of plane surfaces with straight contours (Chapter II), and the measurements of plane surfaces with curved contours (Chapter III).

The second part comprises 35 propositions, developed across five chapters dedicated to calculating the surfaces of solid bodies. The chapters distinguish between flat and cylindrical surfaces (Chapter I), conical surfaces (Chapter II), pavilion vaults and lunettes (Chapter III), spherical and spheroidal surfaces (Chapter IV), and annular and spiral surfaces (Chapter V).

The third is dedicated to the measurement of volumes: 45 propositions are part of ten chapters dealing with the calculation of the volumes of solids bounded by flat surfaces (Chapter I), cylinders and cones (Chapter II), spheres, spheroids, and vaults (Chapter III), rectangular, parabolic, and hyperbolic conoids (Chapter IV), spheres, spheroids, and ellipsoids (Chapter V), parabolic and hyperbolic conoids (Chapter VI), annular solids (Chapter VII), spiral-shaped solids (Chapter VIII), solids bounded by curved surfaces (Chapter IX), and hollow solids (Chapter X).

The appendix contains quick solutions for calculating volumes and surfaces.

As we shall see, the list of chapters above only partially reflects the intertwining of strictly geometric themes with built architecture.

The treatise and architecture

Vagnetti states that the work is a manual in which architecture is mentioned almost in passing and further defines it as a normative text in which buildings, reduced to simple surfaces or regular volumes, can be described using the vocabulary of a mathematician, or at most a geometer, rather than an architect.

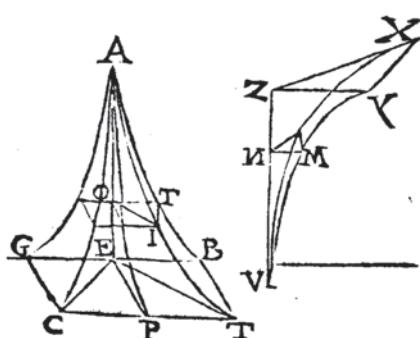
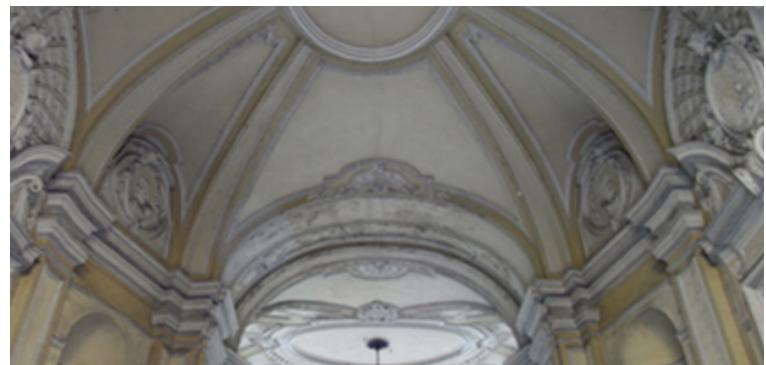
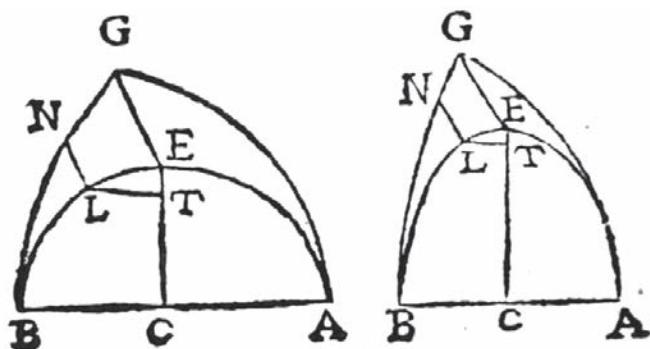
¹² Scotti Tosini, *Testo e immagini nell'Architettura civile*, cit., p. 96.

¹³ Vagnetti, *La teoria del rilevamento*, cit., p. 500.

¹⁴ Guarini, *Modo di misurare le fabbriche*, p. 33.

¹⁵ Vagnetti, *La teoria del rilevamento*, cit., p. 499.

¹⁶ Scotti Tosini, *Testo e immagini nell'Architettura civile*, cit. pp. 96-97.



7 | Elliptical section groin. Source: *Modo di misurare le fabrique* 1674, p. 120. Groins having an elliptical section in the courtyard atrium of Palazzo Provana di Collegno by Guarini. Photo: M. Vitali.

8 | Pointed groin obtained from a concave pyramid. *Modo di misurare le fabrique* 1674, p. 122.

The scholar supports his interpretation by conducting a careful examination of the treatise and highlighting passages where the measurement of architectural elements and parts is explicitly mentioned¹⁵.

Scotti Tosini summarises Vagnetti's observations, highlighting the peculiarity of Guarini's method: in his words, «he starts from elementary notions and gradually moves on to more complex themes, focusing on the possibility of effortlessly measuring any artefact by reducing architecture to simple surfaces or volumes of regular shapes, comparable to those of the geometric vocabulary»¹⁶.

However, it is necessary to emphasize that the links between architecture and geometry, which recur throughout Guarini's theoretical work, emerge from the very first pages of *Architettura civile*, in which the author states: «And because architecture, as a discipline that uses measurements in all its operations, depends on geometry and must know at least its basic elements»¹⁷. It is also important to remember the systematic approach taken by the treatise writer in every field of science he deals with. One might then ask: how could Guarini have dealt with the subject of the measurement of buildings without addressing all the possibilities and varieties of surfaces and volumes, also in view of the critical developments in the study of Geometry in the 17th century?

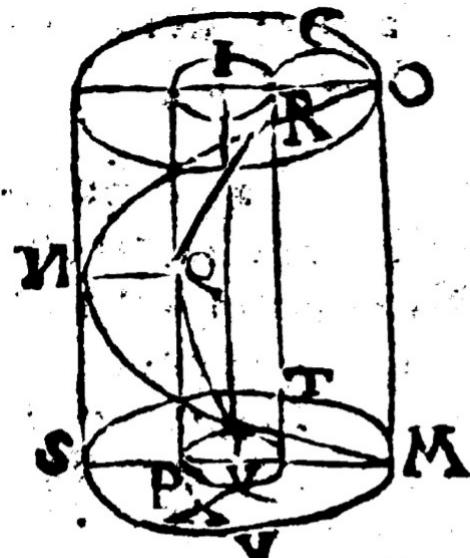
It is well known that the main problem in calculating surfaces and volumes in the period and cultural context in which the Theatine worked was related to complex vaulted systems in brick masonry.

He was one of the leading designers and experimenters of these vaults during the Baroque era. In Turin and the Piedmont area, he and several contemporary archi-

tects found fertile ground for inventing new configurations of considerable geometric complexity, built without intermediate pillars (fig. 5). In *Modo di misurare le fabriche*, the decomposition of these structures into simple elements, referable to 3D geometric surfaces, explores numerous possibilities, including those attributable to conical sections rediscovered a few decades earlier in Descartes' analytical geometry. The theme of calculating the intrados surface area of vaults, therefore, emerges as central to the second part of the volume. Among 36 propositions presented therein, 19 refer to them.

Compared to *Architettura civile*, where Guarini first systematised the typology of vaults¹⁸ in geometric terms, the text examined here proposes over 30 types of shapes applicable to vaults, 20 of which add variations to the elementary cases presented in *Architettura civile*, bringing the examples closer to real cases. Among the most significant models are: the surface calculation of a lowered pavilion vault on a rhombus plan, discussed in Part Two, Proposition 12, which can be referred to the angular vault in the street-facing atrium of Palazzo Provana di Collegno (fig. 6), designed by Guarini, and the elliptical section groin, examined in Part Two, Proposition 23, present in the courtyard atrium of the same building (fig. 7), and, finally, the calculation, apparently unrelated to architectural references, of the surface area of a concave pyramid in Part Two, Proposition 24, which is actually very useful for calculating the surface area of pointed groins (fig. 8).

Explicit references to architecture, therefore, seem to focus on the most complex shapes to measure, which are also immediately reflected in Guarini's designs.



Perhaps it is no surprise that a further reference to architecture is linked to the calculation of the intrados surface area of spiral staircases, resolved in Part Two, Proposition 33, which is reflected in the two small oval twin staircases in Palazzo Carignano (fig. 9).

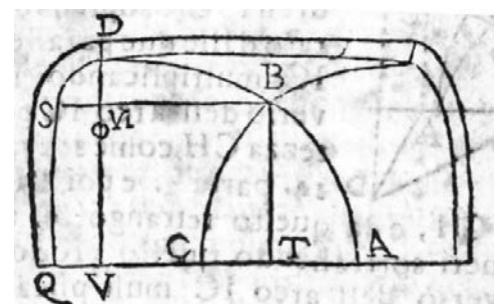
Only one proposition deals with survey techniques. Indeed, in Part two, Proposition 16 addresses a problem related to the lunette vaults: specifically, calculating the surface to be subtracted from the main surface, which consists of a quarter of a cylinder after cutting with vertical planes. The author explains the necessity of such a calculation to achieve a correct measurement of the lunette vaults: «As it is reasonable to measure the lunettes, which certainly make greater the surface of a vault, so it is convenient to remove that surface from the same vault, which occupies the space of the lunette»¹⁹. Guarini explains how to survey the position of specific points and the horizontal plane tangent to the vertex of the groin, finalising these operations with the calculation (fig. 10). In the empty space, a lunette must be inserted.

Conclusions

The analysis carried out highlights the need to read Guarini's writings on architecture as a complementary system of highly integrated knowledge. Guarini's position on surveying and measurement must therefore be analysed by combining the contributions of four treatises: *Euclides adiunctus*, *Architettura civile*, *Trattato di fortificazione*, and *Modo di misurare le fabriche*.

In particular, the link between geometry and architecture, intrinsic to Guarini's treatises, is expressed in *Modo di misurare le fabriche* through the concept of measurement.

The work stands out for its absolute novelty in the treatise panorama: it refers, in fact, to the construction phase and not to the survey of ancient works, and deals with the calculation of surfaces and volumes, not with operations aimed at representing measurements referring to orthogonal views of the building and to scale. The 3D diagrams accompanying the work bear witness to this approach and are adequately drawn to aid understanding of the textual content.



9 | Intrados surface area of spiral staircase. (From G. Guarini, *Modo di misurare le fabriche* 1674, p. 132). Intrados surface of the oval staircase in Palazzo Carignano by Guarini. Photo by F. Natta.

10 | Surface to be subtracted from the main vault for inserting a lunette. (From G. Guarini, *Modo di misurare le fabriche* 1674, p. 110).

¹⁷ Guarini, *Architettura civile*, p. 3.

¹⁸ Spallone, Vitali, *Star-shaped and Planterian Vaults in the Baroque Atria of Turin*, pp. 91-117.

¹⁹ Guarini, *Modo di misurare le fabriche*, p. 109.

Bibliography

M.G. Bevilacqua, R. Spallone, *Composed Graphic Scales in the European Military Treatises and Manuals from the 17th to the 19th Centuries*, in L. Hermida González, J.P. Xavier, I. Pernas Alonso, C. Losada Pérez, *Graphic Horizons. EGA*, Springer, Cham 2024, pp. 180-189.

C. Bianchini, *La scienza della rappresentazione nella concezione di Guarino Guarini*. Gangemi, Roma 2008.

J. Calvo-López, *Stereotomy*, Birkhäuser, Basel 2020.

M. Docci, D. Maestri, *Storia del rilevamento architettonico e urbano*, Laterza, Roma- Bari 1993.

G. Guarini, *Euclides adiunctus et methodicus, mathematicaque universalis*, Typis Bartolomaei Zapatae, Torino 1671.

G. Guarini, *Modo di misurare le fabrike*, Appresso gl'Heredi di Carlo Gianelli, Torino 1674.

G. Guarini, *Trattato di fortificatione, che hora si usa in Fiandra, Francia, et Italia; composto in ossequio del sereniss. principe Lodovico Giulio cavagliere di Savoia*. Appresso gl'Heredi di Carlo Gianelli, Torino 1676.

G. Guarini, *Architettura civile*, Appresso Gianfrancesco Mairesse, Torino 1737.

H.A. Meek, *Guarino Guarini and his architecture*, Yale University Press, New Haven and London 1988.

H.A. Millon, *La geometria nel linguaggio architettonico del Guarini*, in *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze, Torino 1970, vol. 2, pp. 35-58.

C.S. Roero, *Guarino Guarini and Universal Mathematics*, in *Nexus Network Journal*, 2009, 11, pp. 415-439.

A. Scotti Tosini, *Testo e immagini nell'Architettura civile e nelle opere teoriche di Guarini*, in G. Dardanello, S. Klaiber, H. A. Millon, *Guarino Guarini*, Allemandi, Torino 2006, pp. 89-105.

R. Spallone, *Rappresentazione e progetto. La formalizzazione delle convenzioni del disegno architettonico*, Edizioni dell'Orso, Torino 2012.

R. Spallone, *Geometry, Arithmetic, Architecture. Calculation Methods for Vault Surfaces in the Modo di Misurare le Fabrike by Guarini*, in L. Cocchiarella, *ICGG 2018 - Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics*, Birkhäuser-Springer, Cham, Switzerland 2019, pp. 2108-2119.

R. Spallone, *Geometry of vaulted systems in the treatises by Guarino Guarini*, in *Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, 2019, 11, pp. 74-88.

R. Spallone, *Lunette Vaults in Guarini's Work. Digital Models between Architettura Civile and Modo di Misurare le Fabrike*, in *disérgo*, I, 2019, 4, pp. 91-102.

R. Spallone, M. Vitali, *Star-shaped and Planterian Vaults in the Baroque Atria of Turin / Volte stellari e Planteriane negli atrii barocchi in Torino*, Aracne, Ariccia, pp. 85-148.

B. Tavassi La Greca, *La posizione del Guarini in rapporto alla cultura filosofica del tempo*, Id. (a cura di) G. Guarini, *Architettura Civile*, Il Polifilo, Milano 1968, pp. 439-459.

L. Vagnetti, *La teoria del rilevamento architettonico in Guarino Guarini*, in *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, t. I, Accademia delle Scienze, Torino 1970, pp. 497-511.



RIVISTA DI DISEGNO
UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE

VOL. 2 | N. 4 | 2025
CONFIGURARE: ORDINE E MISURA
TO SHAPE: ORDER AND MEASURE

Citation: A. Zerbi, S. Mikolajewska, *La misura dello spazio sacro: rilievo e analisi di Santa Maria della Steccata*, in *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 54-65.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3789>

Received: October, 2025

Accepted: November, 2025

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Zerbi A., Mikolajewska S., this is an open access peer-reviewed article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

LA MISURA DELLO SPAZIO SACRO: RILIEVO E ANALISI DI SANTA MARIA DELLA STECCATA

Measuring Sacred Space: Survey and Analysis of Santa Maria della Steccata

ANDREA ZERBI, SANDRA MIKOŁAJEWSKA

University of Parma

Corresponding author: andrea.zerbi@unipr.it

The Church of Santa Maria della Steccata in Parma represents one of the most significant examples of centrally planned Renaissance architecture in the Emilia-Romagna region. Despite its historical relevance and the continuous need for conservation and restoration, the monument has only been surveyed systematically on a few occasions during the twentieth century (in 1904 and 1982). Although both campaigns were appropriate for their time and context, the data collected are now outdated when compared to the levels of precision achievable with contemporary technologies.

This paper presents the results of a survey carried out in 2024, which enabled a highly accurate documentation of the church. The extensive scale of the basilica, its intricate morphological articulation, and its distinctive urban setting required the adoption of an integrated methodology. This approach combined Terrestrial Laser Scanning (TLS), Close-Range Photogrammetry (CRP), and Unmanned Aerial Vehicle (UAV), all supported by a georeferenced topographic control network.

The survey accurately documented the complex layout of the basilica, defined by a Greek cross plan inscribed in an almost perfect square. The main goal of the study is to analyse, for the first time on the basis of updated metric data, the geometric and spatial structure of the building, with particular attention to the compositional principles underlying its design. Through an examination of the proportional relationships, the aim is to understand their meaning within the context of religious architecture.

Keywords: Digital Integrated Survey, Proportional analysis, Renaissance church, Cultural Heritage Digitization, Santa Maria della Steccata.

Introduzione

Il presente contributo prende le mosse da un contratto di ricerca fra il Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università di Parma e il Segretariato Regionale del MIC per l'Emilia-Romagna avente come obiettivo quello di provvedere ad una esaustiva conoscenza geometrico-dimensionale e architettonica della Basilica di Santa Maria della Steccata a Parma. Fine ultimo del progetto era quello di definire il quadro conoscitivo di supporto per la progettazione di un intervento di sicurezza sismica dell'edificio finanziato nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza.

Nonostante la basilica sia uno dei più importanti esempi di architettura rinascimentale della regione e, come tale, necessiti di continui lavori di restauro e manutenzione, in tempi recenti l'edificio

è stato oggetto di campagne di rilievo sistematico solo nel 1904 e nel 1982. Per quanto entrambi questi rilievi possano essere considerati di buona qualità in relazione ai tempi in cui sono stati realizzati, sicuramente non hanno potuto usufruire delle strumentazioni oggi a disposizione, in grado di garantire livelli di precisione molto superiori.

In questa sede, oltre ad illustrare sinteticamente le procedure utilizzate per il rilievo attuale e la modellazione della basilica evidenziando le difficoltà connesse all'integrazione di tecniche di rilievo differenti in un edificio di elevata complessità, si intende porre l'attenzione sullo studio del raffinato sistema di proporzioni che governa, almeno planimetricamente, il progetto originario del complesso mariano. Il rilievo, eseguito per la prima volta con strumenti di ultima generazione e accompagnato da



1 | Vista aerea della Basilica di Santa Maria della Steccata di Parma (immagine tratta da Adorni, *Santa Maria della Steccata a Parma. Dalla chiesa "civica" a Basilica magistrale dell'Ordine costantiniano*, p. 60).

2 | Vista interna della Basilica con le decorazioni affrescate da Francesco Mazzola, detto il Parmigianino.



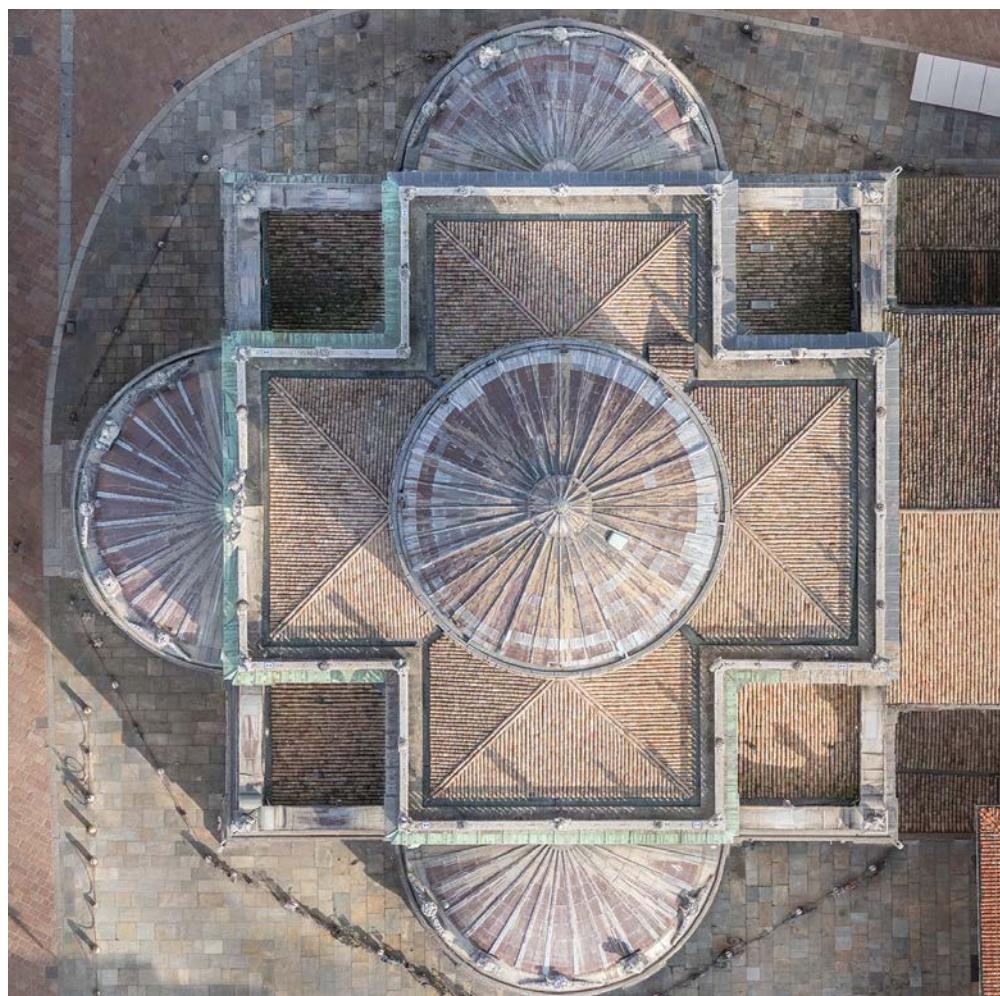
un'analisi dei sistemi metrici dell'epoca, ha raggiunto un livello di accuratezza tale da consentire l'individuazione di geometrie e rapporti proporzionali finora poco esplorati.

Cenni storici

La chiesa di Santa Maria della Steccata (fig. 1), elevata a Basilica minore nel 2008, sorse per custodire una raffigurazione della Vergine col Bambino, detta appunto *Madonna della Steccata*. Questa immagine, di origine trecentesca, doveva essere dipinta all'interno di un piccolo oratorio situato nel centro della città. Nel corso del XV secolo la devozione popolare nei suoi confronti crebbe al punto da attribuirle virtù miracolose. Per proteggerla l'oratorio venne quindi circondato da un recinto, uno "steccato", da cui derivò il nome dell'immagine e, in seguito, della chiesa stessa. All'inizio del Cinquecento il Comune stabilì di allargare le strade e abbellire la città senza curarsi troppo degli edifici che sarebbe stato necessario demolire. In tale occasione, un terzo dell'oratorio fu abbattuto. Per evitare ulteriori danni, la confraternita della Madonna della Steccata, fondata nel 1493, promosse la costruzione di una nuova chiesa a brevissima distanza dal luogo originario. La posa della prima pietra avvenne nel 1521.

È ormai accertato che il progetto esecutivo del nuovo edificio fu fornito da Bernardino Zaccagni con il supporto del figlio Gian Francesco. La maggior parte degli studiosi, tuttavia, concorda sul fatto che l'architetto parmigiano non disponesse degli strumenti culturali necessari per concepire un progetto di tale grandiosità. In particolare, lo storico dell'architettura Bruno Adorni, respingendo l'attribuzione bramantesca proposta da Vasari, individua in Leonardo da Vinci (morto nel 1519, pochi anni prima dell'avvio dei lavori) e nella sua concezione della chiesa-monumento la vera fonte ispiratrice del progetto¹. Numerosi disegni di Leonardo, presente a Parma nel 1514 e attivo a Milano per lunghi periodi, mostrano infatti forti affinità con la grande chiesa parmense, caratterizzata da una pianta a croce greca inscritta in un quadrato pressoché perfetto. Non è questa la sede per ripercorrere le vicende, spesso travagliate, che accompagnarono la costruzione dell'edificio. È sufficiente ricordare che gli Zaccagni furono allontanati dalla fabbrica nel 1525 e con ogni probabilità sostituiti da Giovan Francesco D'Agrate. La cupola, invece, con il suo elegante loggiato esterno in corrispondenza del tamburo, fu quasi certamente realizzata su disegno di Antonio da Sangallo il Giovane, presente a Parma nel 1526.

¹ Adorni, *Santa Maria della Steccata a Parma*, p. 43 e segg.



3 | Stralcio dell'ortofoto delle coperture della Basilica di Santa Maria della Steccata di Parma. Scala originale dell'elaborato 1:50.

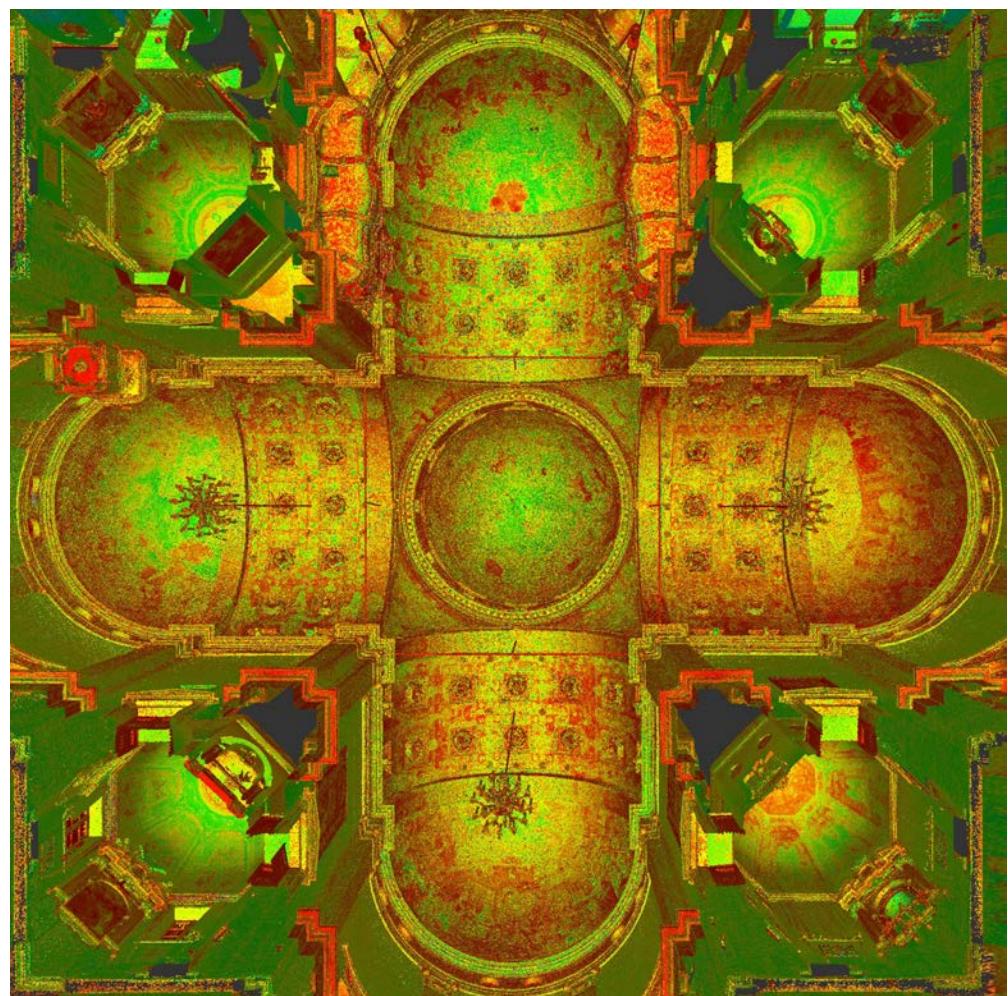
La nuova chiesa, ormai completata, venne consacrata il 23 febbraio del 1539 e accoglie importanti affreschi di Michelangelo Anselmi (in parte su disegno di Giulio Romano) e, soprattutto, di Francesco Mazzola, detto il Parmigianino (fig. 2).

Nel 1718 il santuario, già sottratto all'antica congregazione che ne aveva promosso la costruzione, fu donato da Francesco Farnese all'Ordine Costantiniano di San Giorgio. Nel corso del XVIII secolo l'edificio venne completato con una serie di aggiunte di gusto tardo barocco. Tra queste meritano particolare menzione il grande *Coro dei Cavalieri*, edificato da Edelberto Dalla Nave alle spalle del nicchione orientale tra il 1725 e il 1730; l'attuale altare della Madonna e gli altri altari collocati nei nicchioni meridionale e settentrionale; le balaustre, le statue e, più in generale, l'intero apparato decorativo oggi visibile in corrispondenza delle coperture, le quali vennero modificate proprio per accogliere tali interventi.

Articolazione dell'edificio

L'edificio è impostato su una pianta a croce greca – forma simbolo della chiesa cattolica – con i quattro bracci orientati secondo gli assi cardinali. Tre di essi, coperti da volte a botte, terminano in ampie absidi semicircolari sormontate da calotte sferiche (fig. 3); il quarto, a est, accoglie il grande altare scenografico di epoca settecentesca alle cui spalle si apre il *Coro dei Cavalieri* dell'Ordine Costantino. In corrispondenza degli angoli della croce si trovano le strutture che, in origine, avrebbero dovuto configurarsi come torri a pianta quadrata con funzione esclusivamente statica e prive di accessi. Dopo l'allontanamento degli Zaccagni, tuttavia, si decise di aprire questi volumi al livello inferiore della croce, ricavandovi quattro cappelle destinate al culto, ciascuna caratterizzata da una pianta ottagonale. Escludendo le absidi semicircolari, la croce greca e le torri angolari sono inscritte in un quadrato quasi perfetto di lato pari a circa 31 m.

4 | Vista della nuvola di punti ottenuta dalla campagna di rilievo TLS della Basilica, in cui risulta evidente l'impostazione a croce greca dell'edificio (la vista è stata realizzata all'interno dell'edificio, dal basso verso l'alto).



All'incrocio dei bracci, sopra il tamburo, si eleva la grande cupola progettata da Antonio da Sangallo il Giovane la cui quota d'imposta si attesta a circa 31 m dal piano di calpestio. L'impianto è completato da ulteriori ambienti secondari collocati alle spalle del *Coro dei Cavalieri* e da un articolato sistema di sottotetti e terrazze.

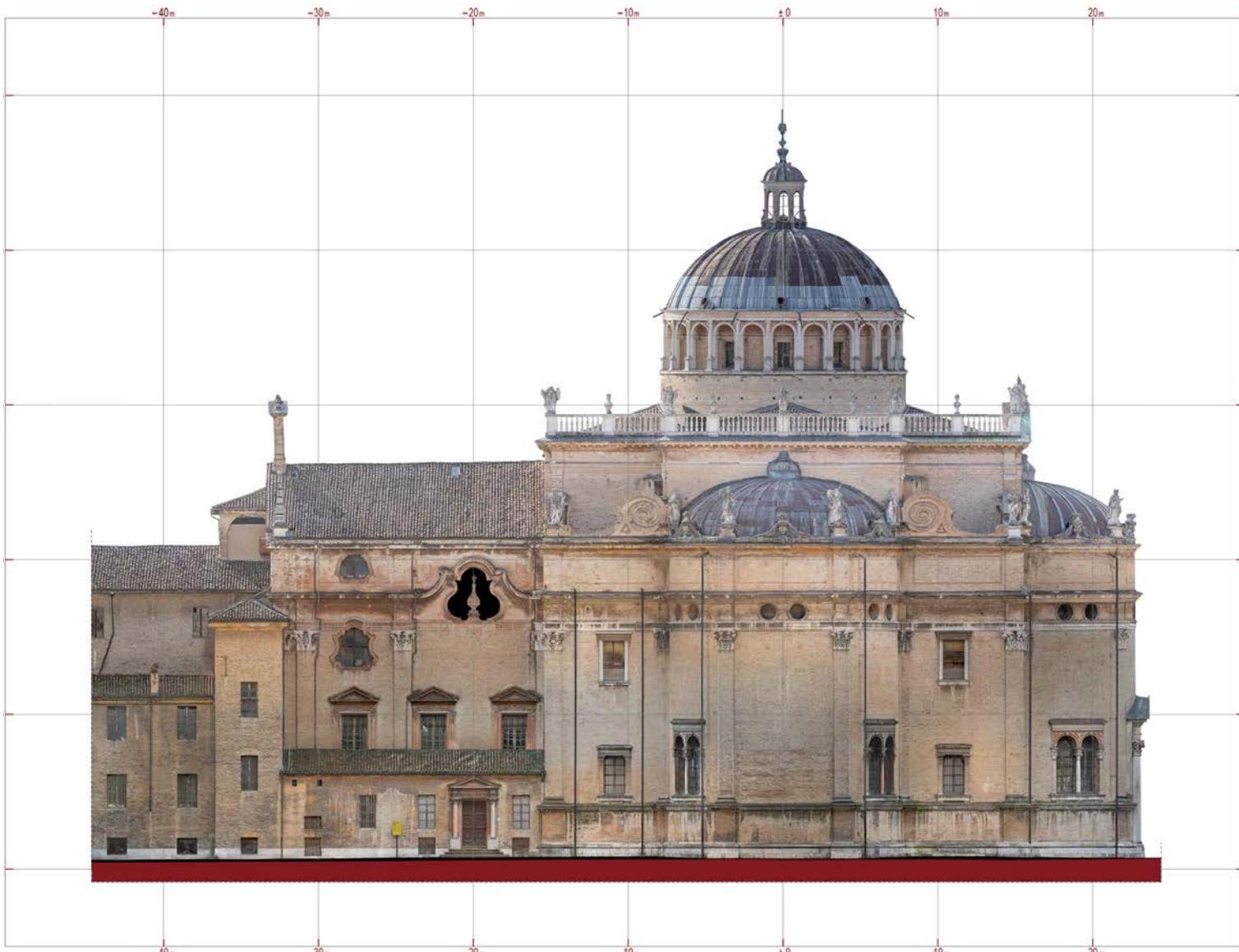
Particolarmente complesso risulta il sistema di collegamento tra il livello inferiore a quelli superiori. Quattro strette scale a chiocciola, inserite all'interno dei grandi pilastri che sostengono la cupola, mettono in comunicazione il piano base con altrettante stanze voltate, poste circa 13 metri più in alto, e successivamente con i sottotetti delle quattro torri angolari. Soltanto la scala accessibile dalla cappella sud-est consente di raggiungere, attraverso un'ulteriore serie di ripide e strette rampe, il vasto sottotetto che circonda il tamburo della cupola. Da qui, una piccola scala a pioli in legno permette infine di accedere alla terrazza posta al di sopra delle coperture.

² Una descrizione più accurata del rilievo è consultabile in Zerbi et al., *Challenges in 3D integrated surveying of complex historic sites: The case of Santa Maria della Steccata (Parma – Italy)*.

Il rilievo

Per fronteggiare le principali difficoltà legate al rilievo di un edificio caratterizzato da grandi dimensioni, minuti particolari decorativi, struttura complessa e contesto urbano estremamente articolato, è stato necessario pianificare con cura le operazioni da svolgere. Seguendo procedure ormai consolidate e ampiamente testate all'interno del Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università di Parma, si è adottato un approccio basato sull'integrazione di diversi strumenti e metodi di rilievo. Nello specifico, il progetto ha previsto l'impegno combinato di laser scanner terrestre, fotogrammetria da terra e fotogrammetria da drone, supportati da una rete topografica georeferenziata. Senza entrare nei dettagli di ogni singola operazione, si riportano qui le principali attività eseguite².

La prima fase del rilievo ha riguardato la creazione di una rete topografica di inquadramento, destinata a supportare



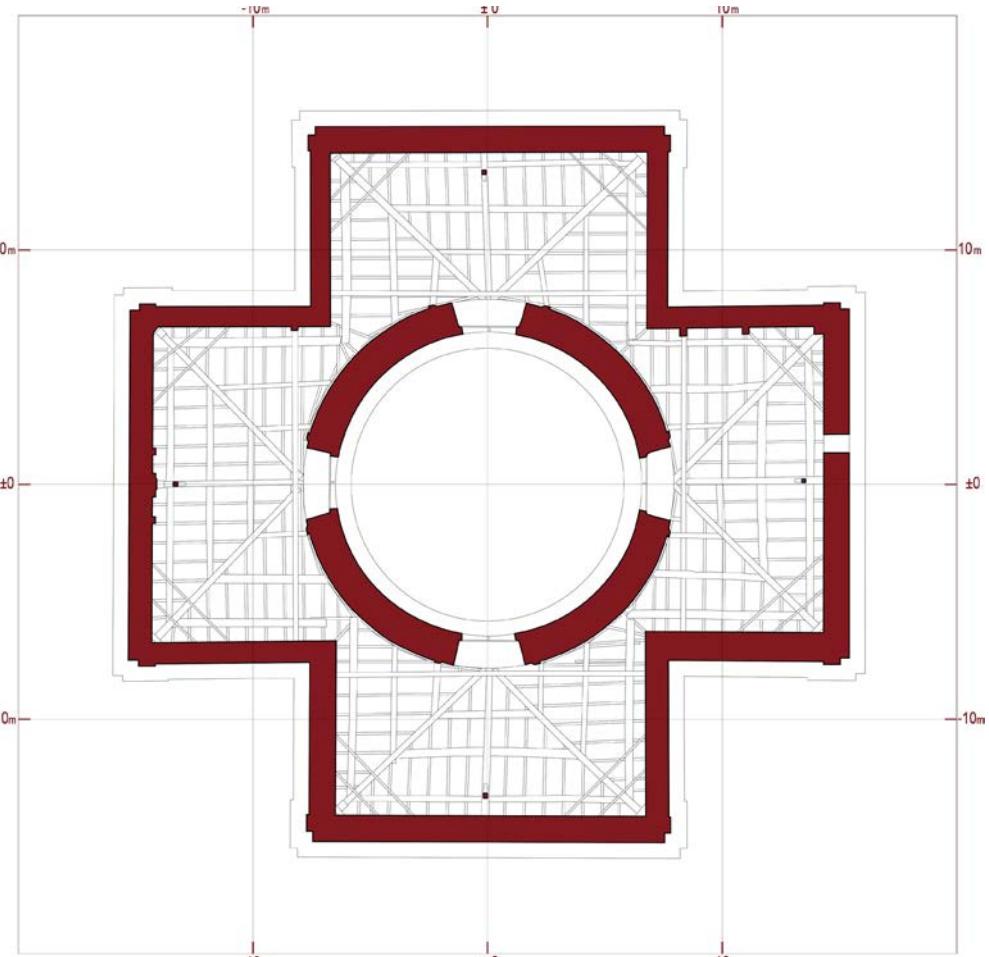
sia il rilievo laser scanner sia quello fotogrammetrico, terrestre e da drone. La principale difficoltà ha riguardato l'impossibilità di costruire un'unica rete in grado di collegare simultaneamente le parti basse e quelle elevate dell'edificio, a causa della complessità dei collegamenti interni precedentemente descritti. Per ovviare a tali problematiche, sono stati collocati 42 target, facilmente individuabili sia nelle scansioni laser sia nelle immagini fotografiche: 10 nella porzione esterna a livello del suolo, 15 all'interno della chiesa e dei locali di servizio circondanti, 3 nella stanza sovrastante la cappella Sud-Est e 14 al livello delle terrazze. Una volta posizionati, i target sono stati georeferenziati mediante un rilievo topografico basato su due polygonali chiuse collegate fra loro. La prima, comprendente 17 punti di stazione, è stata realizzata a livello del suolo e ha coperto sia

l'interno che l'esterno dell'edificio; la seconda, composta da 6 punti di stazione, è stata eseguita al livello delle terrazze. La connessione tra le due polygonali è stata assicurata da tre coppie di punti di stazione con reciproca visibilità. Altri collegamenti non sono stati possibili a causa delle alte balaustre presenti sulle terrazze e dei vincoli spaziali che impedivano di posizionare ulteriori punti visibili tra loro. Nel rilievo laser³ (*TLS, Terrestrial Laser Scanning*) si sono riscontrati problemi analoghi a quelli precedentemente descritti, legati all'impossibilità di realizzare un'unica serie di scansioni per l'intero edificio a causa delle difficoltà nei collegamenti verticali. Per questo motivo è stato predisposto un primo set di scansioni dedicato alla parte bassa del santuario, sia all'interno che all'esterno. Per ottenere una documentazione completa, in grado di ricostruire sia la struttura

5 | Ortofoto della facciata nord della Basilica di Santa Maria della Steccata. Scala originale dell'elaborato 1:50.

³ Il rilievo è stato realizzato utilizzando un Laser Scanner 3D Leica RTC360 ad alta velocità, in grado di registrare oltre due milioni di punti al secondo, con portata fra 0,5 e 130 metri e risoluzione fino a 3 mm a 10 metri di distanza. Lo strumento è altresì dotato di sistema di *imaging* sferico HDR integrato e di *Visual Inertial System* (VIS), che permette di tracciare i movimenti del laser scanner da una posizione di scansione all'altra.

I risultati delle analisi condotte sulla base di un rilievo morfometrico di grande accuratezza mostrano come l'ideatore dell'edificio, chiunque sia stato, abbia saputo dominare un sistema proporzionale di notevole rigore e coerenza.



6 | Pianta ribaltata dei sottotetti della Basilica su cui è stato impostato il progetto di restauro di tutti gli elementi lignei. Scala originale dell'elaborato 1:50.

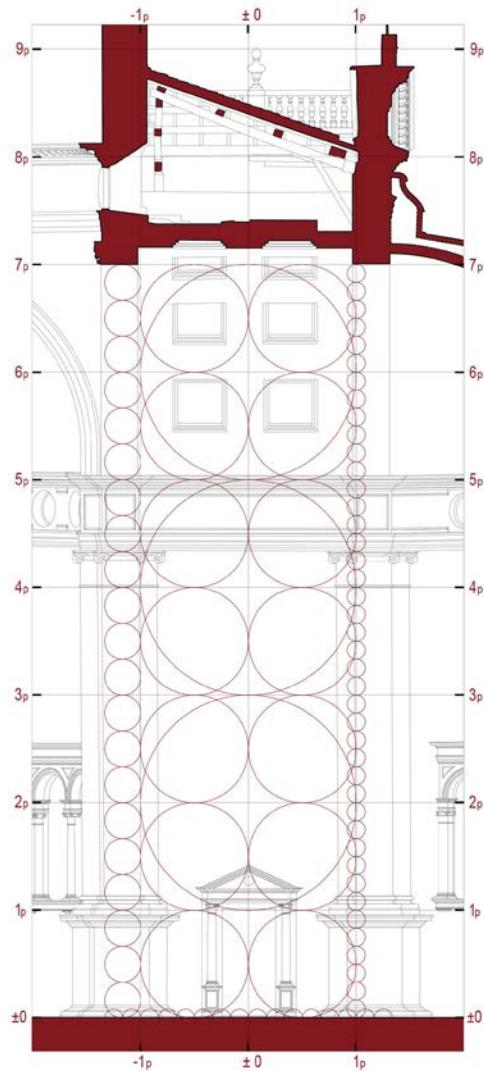
tura architettonica sia l'apparato decorativo, sono state acquisite 145 scansioni. Successivamente è stato realizzato un secondo set, destinato a documentare la parte superiore esterna della chiesa e tutti i sottotetti. In questo caso, la maggiore percorribilità delle scale, prevalentemente rettilinee, ha permesso di includere nello stesso set anche le scansioni della torre sud-est fino alla stanza sovrastante la relativa cappella. Questo secondo set ha comportato l'acquisizione di 64 scansioni.

Durante il processamento, i due set sono stati co-registrati insieme alla nuvola di punti derivante dal rilievo topografico dei target, generando un unico dataset composto da 209 scansioni e oltre tredici miliardi di punti (fig. 4).

Per integrare il rilievo laser scanner e documentare le aree non direttamente visibili dal livello del suolo o dalle terrazze, sono stati impiegati metodi fotogrammetrici per l'esterno dell'edificio. Questi rilievi hanno consentito di migliorare la risoluzione spaziale alle quote più elevate e di ottenere ortofoto ad alta risoluzione (fig. 5), fondamentali per la pia-

nificazione degli interventi di restauro. Complessivamente sono state acquisite 1065 immagini. La fotogrammetria UAV è stata utilizzata per documentare tutte le facciate esterne e le coperture, mentre le aree accessibili dal suolo sono state rilevate anche tramite fotocamera DSLR (*Digital Single-Lens Reflex*)⁴. L'acquisizione dei dati è avvenuta in due fasi distinte: un volo nadirale a circa 55 m di altitudine per catturare la visione d'insieme del sito e delle strutture di copertura, seguito da una serie di voli obliqui con strisciate a differenti quote parallele alle facciate verticali. Tale strategia ha consentito una copertura completa dell'edificio, in particolare delle sezioni superiori delle facciate, come le cornici, che richiedevano un elevato livello di dettaglio in previsione del loro restauro e messa in sicurezza. Tutte le immagini sono state elaborate congiuntamente mediante un flusso di lavoro *Structure from Motion* (SfM) standard in *Agisoft Metashape*. In assenza di posizionamento RTK (*Real-Time Kinematic*), la georeferenziazione si è basata esclusivamente sui target precedentemente rilevati tramite stazione totale.

⁴ Per l'acquisizione delle immagini UAV è stato utilizzato un drone DJI Mavic Mini: con un peso inferiore a 250 g, questo UAV è classificato a basso rischio ed è autorizzato a operare in zone urbane soggette a restrizioni. Per il rilievo fotogrammetrico a corto raggio è stata utilizzata una fotocamera DSLR Nikon D3x con obiettivi grandangolari (18–35 mm).



7 | Prima ipotesi di proporzionamento degli alzati elaborata a partire dalla sezione longitudinale della Basilica di Santa Maria della Steccata.

Ordine e misura

Al di là delle specifiche finalità per cui il rilievo è stato eseguito – finalità che hanno comunque permesso di costituire la base indispensabile per la redazione di un accurato progetto di sicurezza sismica e di restauro di tutte le strutture lignee dei sottotetti (fig. 6) e dei cornicioni esterni – la grande mole di dati raccolti ha consentito di creare una banca dati fondamentale per la conoscenza della basilica mariana. In particolare, i numerosi modelli grafici e digitali ri elaborati a partire dai rilievi hanno reso possibile svolgere alcune considerazioni sulle matrici progettuali, basate su dati di estrema affidabilità sia dal punto di vista geometrico-architettonico sia da quello metrico.

Da questo punto di vista, infatti, l'architettura, intesa come espressione formale e spirituale, può essere letta su più livelli: dalla percezione estetica e visiva delle forme, fino alla ricostruzione dell'idea generatrice che ha dato origine al progetto. In particolare, nel caso delle chiese rinascimentali a pianta centrale, lo studio delle proporzioni assume un ruolo determinante per la comprensione del sistema ordinatore che governa lo spazio. Tali edifici, infatti, non sono solo contenitori liturgici, ma monumenti nei quali la geometria si fa linguaggio simbolico e razionale, capace di veicolare significati cosmologici e teologici.

In questo contesto, le figure geometriche fondamentali, il cerchio, il quadrato e l'ottagono, assumono un valore che travalica la pura razionalità compositiva per farsi veicolo di significati profondi⁵. Il cerchio, in quanto figura perfetta, rappresenta la totalità e la perfezione del divino, grazie all'equidistanza costante di ogni punto dalla propria origine, il centro. Il quadrato, invece, simboleggia la sfera terrena, la stabilità e la razionalità del mondo umano, anche per la sua associazione con i quattro punti cardinali e le quattro stagioni. L'ottagono, forma intermedia tra il cerchio e il quadrato, costituisce un ponte simbolico tra il cielo e la terra, frequentemente adottato come figura di passaggio nelle soluzioni planimetriche rinascimentali.

L'indagine sulle proporzioni e sulle geometrie che determinano la composi-

zione architettonica di un edificio privo dei disegni di progetto originali richiede innanzitutto un'attenta lettura del rilievo. Quest'ultimo deve essere redatto con il massimo grado possibile di attendibilità, poiché rappresenta la base di ogni interpretazione successiva. Inoltre, quando tale analisi riguarda le architetture storiche, essa deve necessariamente tener conto delle unità di misura in uso al momento della costruzione, senza le quali risulterebbe difficile comprendere pienamente i criteri progettuali originari⁶.

Nello specifico caso della Chiesa di Santa Maria della Steccata, l'analisi è stata condotta a partire dalla pianta dell'edificio rilevata alla quota +1,70 m dal piano di calpestio. Tale sezione orizzontale risulta particolarmente significativa, in quanto consente di individuare con chiarezza le componenti strutturali e compositive dell'architettura. Come unità metrica di riferimento è stato adottato il braccio parmigiano, inserito in un sistema proporzionale basato sul numero sei (6 braccia = 1 pertica), pari a 54,52 cm nel sistema metrico decimale (fig. 8). Così facendo è stato possibile interpretare con maggiore coerenza i rapporti dimensionali dell'edificio, restituendo ordine a misure che, se lette in unità moderne, apparirebbero frammentarie o incongruenti. È opportuno precisare che l'analisi non tiene conto delle trasformazioni che hanno interessato la basilica in epoca barocca modificando la zona absidale del braccio orientale. L'ipotetico progetto originario della chiesa⁷, infatti, prevedeva una struttura perfettamente simmetrica lungo gli assi sud-nord e est-ovest. In questa sede si è scelto di considerare la struttura nel suo stato attuale, evitando la ricostruzione di ipotetiche configurazioni iniziali, che avrebbero comunque comportato margini di incertezza. In ogni caso, l'ampliamento settecentesco, con la creazione del grande altare barocco e la costruzione del *Coro dei Cavalieri*, non compromette le analisi svolte.

Dal punto di vista geometrico, l'impianto planimetrico della Chiesa di Santa Maria della Steccata si fonda essenzialmente sull'interazione di due forme primarie: il quadrato e la circonferenza. Il primo, tradizionalmente associato ai concetti di terra, ordine e stabilità, costituisce la matrice generatrice dell'intera composi-

⁵ Per ulteriori approfondimenti sulla relazione delle forme geometriche elementari e le chiese a pianta centrale si veda il contributo di Belluzzi, *Le chiese a pianta centrale nella trattistica rinascimentale*, pp. 37-47.

⁶ Da questo punto di vista, risulta interessante il contributo di Ghiretti et al., *Analisi grafica e metrologia*, nel quale gli autori illustrano lo studio proporzionale della Chiesa di Santa Maria del Quartiere, elaborato a partire dai dati di rilievo laser scanner.

⁷ La pianta con l'ipotesi ricostruttiva della chiesa di Santa Maria della Steccata nel Cinquecento è stata pubblicata da Adorni, *La chiesa a pianta centrale. Tempio civico del rinascimento*, p. 180.

zione architettonica; la seconda, simbolo di perfezione e di continuità, si inserisce come elemento complementare e definisce le porzioni curve dell'edificio, contribuendo all'equilibrio complessivo del disegno.

La pianta può essere inscritta in un quadrato perfetto (A), tangente alle absidi semicircolari, con lato pari a 84 braccia (14 pertiche) (fig. 9). Questo quadrato principale può essere a sua volta suddiviso in nove quadrati minori di lato pari a 28 braccia (B). I cinque disposti lungo i due assi ortogonali del quadrato maggiore determinano la larghezza dei bracci della croce greca, comprese le murature (di larghezza pari a due braccia) che separano lo spazio centrale dai quattro volumi posti agli angoli. Originariamente concepite come torri angolari non accessibili, tali porzioni furono trasformate già durante la costruzione dell'edificio in cappelle laterali, comunicanti con l'aula centrale mediante otto porte. La collocazione simmetrica di queste aperture, distribuite in corrispondenza delle direzioni principali, mantiene la continuità spaziale tra l'ambiente centrale e gli spazi secondari, rafforzando la percezione della centralità geometrica della pianta.

Le circonferenze inscritte nei quadrati posti agli estremi degli assi principali definiscono la forma delle absidi semicircolari, conferendo alla pianta la peculiare alternanza tra elementi ortogonali e curvilinei. Un secondo quadrato (C), concentrato rispetto al principale e di lato pari a 57 braccia (9,5 pertiche), corrisponde al perimetro esterno dell'edificio, escluse le absidi. Poiché le pareti perimetrali esterne presentano uno spessore costante di 2,5 braccia, il quadrato che delimita lo spazio interno (D) – comprensivo delle cappelle angolari – misura 52 braccia per lato. Questa relazione modulare tra i vari quadrati, organizzati secondo rapporti di scala e di concentricità, testimonia la coerenza geometrica che governa la concezione planimetrica del monumento. Anche gli ambienti interni rispondono a questo principio modulare (fig. 10). Le quattro cappelle, internamente di forma ottagonale, sono inscrivibili in un quadrato di lato pari a 12 braccia, equivalenti a 2 pertiche (E); lo stesso modulo, raddoppiato lungo uno dei suoi lati, definisce la larghezza dei bracci della croce

greca (24 braccia, ovvero 4 pertiche) e la distanza tra le paraste che scandiscono gerarchicamente il volume interno della basilica (12 braccia). Tali paraste, non sezionate nella pianta rilevata a quota +1,70 m dal piano di calpestio impiegata nelle elaborazioni grafiche, costituiscono il prolungamento delle murature entro cui si aprono le otto porte d'accesso alle cappelle laterali e hanno larghezza pari a 2 braccia.

All'incrocio dei bracci della croce greca, al di sotto della grande cupola sanguigna, si genera infine un quadrato di lato pari a 24 braccia, fulcro geometrico e simbolico dell'intera composizione architettonica. In questo punto, l'intersezione tra i sistemi ortogonale e radiale esprime esemplarmente la sintesi tra razionalità costruttiva e aspirazione simbolica che ha caratterizzato la concezione rinascimentale dello spazio sacro.

Lo studio delle proporzioni e delle geometrie che governano l'alzato della basilica è tuttora oggetto di approfondimento e risulta più complesso a causa delle trasformazioni sicuramente subite dal progetto originario dopo l'allontanamento degli Zaccagni nel 1525. Sebbene la ripetizione dei moduli osservati in pianta sia chiaramente riconoscibile anche nelle sezioni verticali (figg. 7, 11), tale coerenza si mantiene solo fino alla trabeazione principale. Al di sopra di essa, la cupola sanguigna si discosta completamente dal disegno originario, interrompendo il rapporto proporzionale che caratterizza la parte inferiore dell'edificio.

Conclusioni

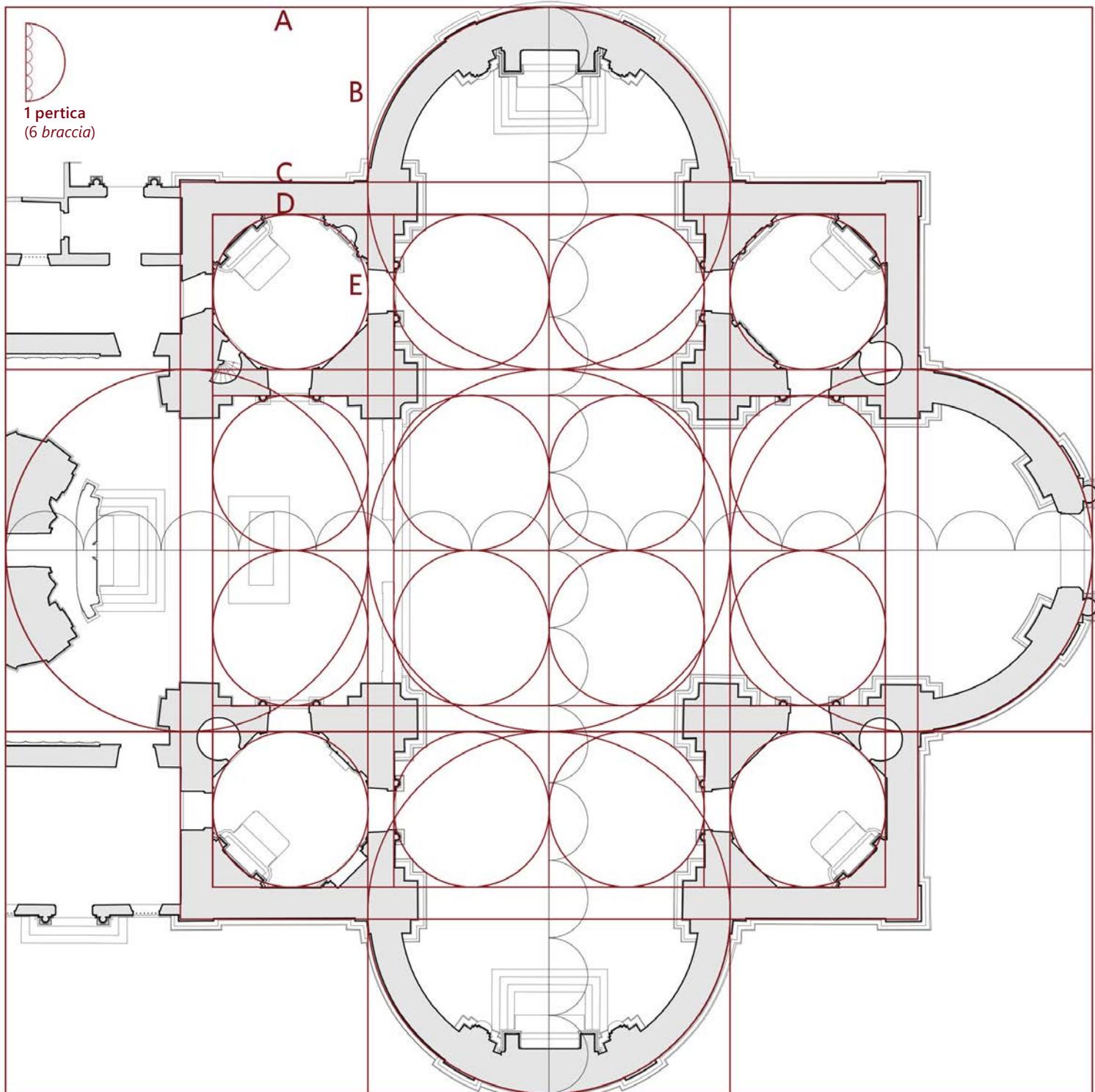
L'analisi condotta ha mostrato come l'impianto della chiesa rispecchi pienamente un preciso disegno del progettista, fondato su relazioni proporzionali ben definite. Allo stesso tempo, questo studio sottolinea l'importanza del riconoscimento delle unità di misura antiche. Come evidenziato, le dimensioni dei diversi elementi assumono pieno significato solo se interpretate nel loro contesto storico-metrologico. Non a caso, molte misure risultano multipli o sottomultipli di tre: tale ricorrenza quasi sicuramente non è casuale, ma riflette una precisa volontà progettuale basata su rapporti numerici semplici e armonici, funzionali sia

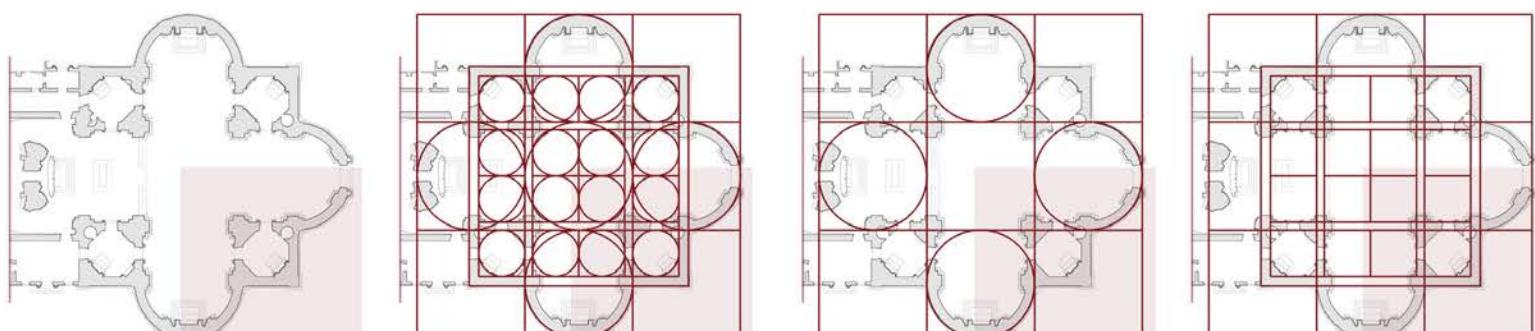
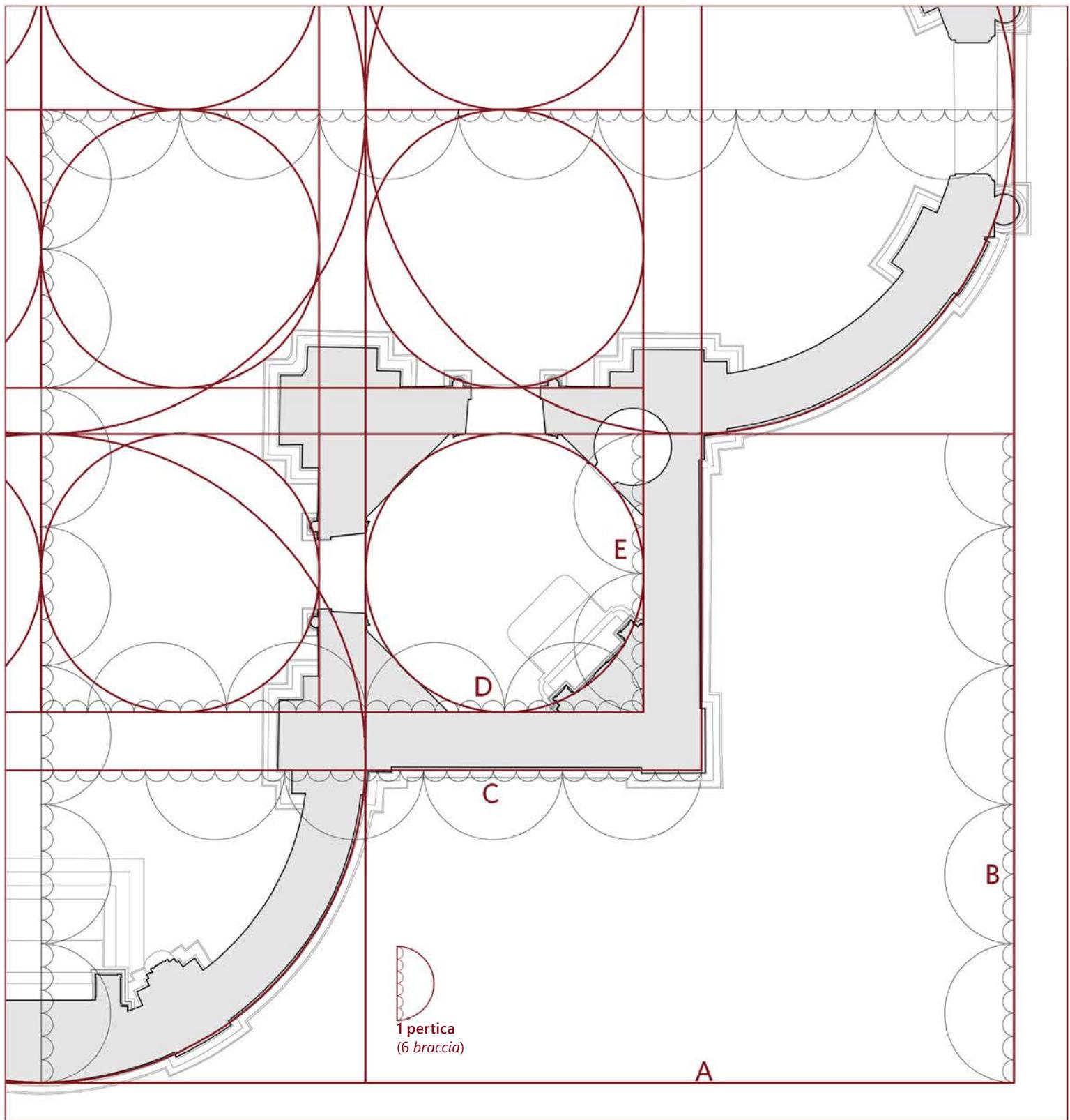
	MISURA (BRACCIA PARMIGIANE)	MISURA (M)
Quadrato A (lato)	1 braccio	0,5452
Quadrato B (lato)	84 braccia (14 pertiche)	45,7968
Quadrato C (lato)	28 braccia (4 pertiche e 2/3)	15,2656
Quadrato D (lato)	57 braccia (9 pertiche e 1/2)	31,0764
Quadrato E (lato)	52 braccia (8 pertiche e 2/3)	28,3504
Spessore muratura esterna	12 braccia (2 pertiche)	6,5424
Spessore muratura interna	2,5 braccia	1,363
Larghezza braccio croce greca	2 braccia	1,0904
	24 braccia (4 pertiche)	13,0848

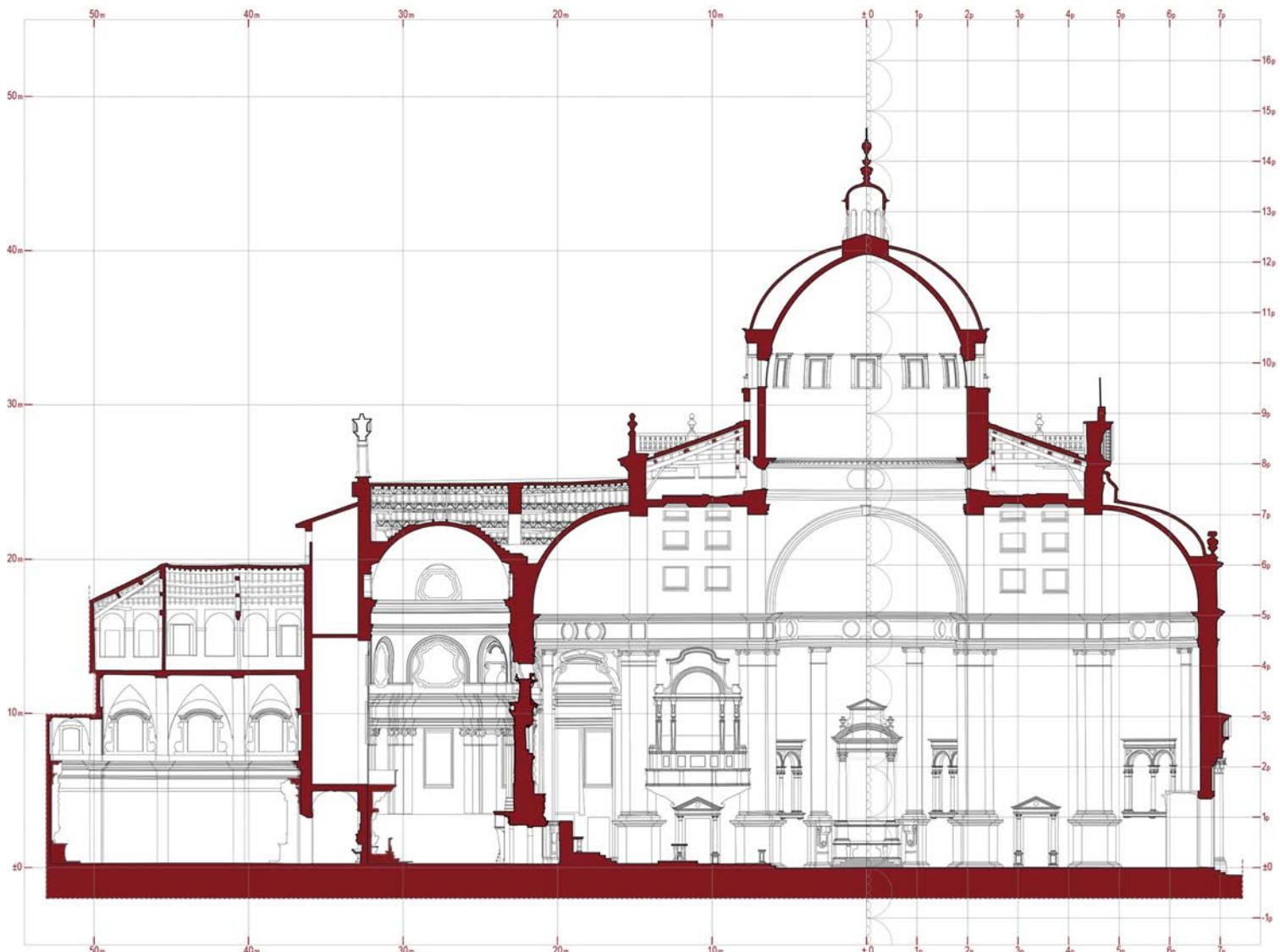
8 | Tabella riassuntiva delle dimensioni degli elementi geometrico-architettonici individuati, espresse in braccia parmigiane e in metri.

9 | Pianta della Basilica, realizzata a quota +1,70 m dal piano di calpestio, con la sovrapposizione dell'analisi dei rapporti proporzionali.

10 | Stralcio della pianta della Basilica, realizzata a quota +1,70 m dal piano di calpestio, con la sovrapposizione dell'analisi dei rapporti proporzionali (sopra). Schemi esemplificativi dell'analisi (sotto).







al controllo costruttivo sia al significato simbolico delle proporzioni.

Senza voler mettere in discussione l'opinione consolidata degli storici dell'architettura, secondo i quali Bernardino Zaccagni non avrebbe posseduto la formazione culturale necessaria per elaborare un progetto di tale complessità, i nuovi dati acquisiti invitano a riconsiderare alcuni aspetti della vicenda progettuale della Basilica.

Alcune criticità, evidenti soprattutto all'interno, spiegano perché l'edificio non sia entrato a pieno titolo fra i capolavori del Rinascimento italiano. Tra queste, si segnalano la collocazione troppo bassa delle bifore, che penalizza l'illuminazione naturale, l'apertura delle cappelle angolari, che compromette la piena leggibilità della pianta a croce greca, e una configurazione dello spazio centrale non sempre equilibrata.

È tuttavia opportuno ricordare che nel progetto originario le bifore erano poste più in alto e che le torri angolari, come già evidenziato, non dovevano essere accessibili dall'interno.

Considerati nel loro insieme, i risultati delle analisi condotte sulla base di un rilievo morfometrico di grande accuratezza mostrano come l'ideatore dell'edificio, chiunque sia stato, abbia saputo dominare un sistema proporzionale di notevole rigore e coerenza. La simmetria, l'armonia delle proporzioni, la regolarità del tracciato e la straordinaria precisione metrica (espressa in braccia parmigiane) rivelano una profonda consapevolezza geometrica e un controllo sapiente dello spazio. Questa coerenza, portata alla luce dal rilievo integrato, restituisce un'immagine più nitida e rigorosa del progetto originario, aprendo al contempo nuove possibilità di ricerca sulle figure che ne furono protagoniste.

11 | Sezione longitudinale della Basilica di Santa Maria della Steccata. Scala originale dell'elaborato 1:50.

Bibliografia

- B. Adorni (a cura di), *Santa Maria della Steccata a Parma*, Cassa di Risparmio di Parma, Parma 1982.
- B. Adorni (a cura di), *La chiesa a pianta centrale. Tempio civico del rinascimento*, Mondadori Electa, Milano 2002.
- B. Adorni (a cura di), *Santa Maria della Steccata a Parma. Dalla chiesa "civica" a basilica magistrale dell'Ordine costantiniano*, Skira, Milano 2008.
- M. Balestrieri, I. Valmori, M. Montuori, *UAS and TLS 3D data fusion for built cultural heritage assessment and the application for St. Catherine Monastery in Ferrara, Italy*, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-M-4 (45th Canadian Symposium on Remote Sensing CSRS, 10–13 June 2024, Halifax, Canada), pp. 9–16.
- M. Balzani, F. Maietti, *Alberti e Brunelleschi: la conservazione della memoria per il restauro della materia. La banca dati 3D per la documentazione e il progetto*, in *DisegnareCon*, VIII, 2015, 14, pp. 1-12.
- A. Belluzzi, *Le chiese a pianta centrale nella trattatistica rinascimentale*, in B. Adorni (a cura di), *La chiesa a pianta centrale. Tempio civico del rinascimento*, Mondadori Electa, Milano 2002, pp. 37-47.
- C. Costantino et al., *3D Laser Scanning Survey for Cultural Heritage. A Flexible Methodology to Optimize Data Collection*, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B2 (31 August - 2 September, on-line, Nice, France), pp. 821-828.
- S. Giannetti, *La natura generativa dell'unità di misura nel processo creativo medievale. Il progetto di San Francesco ad Arezzo*, in *DisegnareCon*, Volume 8/n.15, 2015, pp. 9.1-9.8
- A. Ghiretti, F. Ottoni, *Analisi grafica e metrologia*, in P. Giandebiaggi, C. Mambriani, F. Ottoni (a cura di), *Santa Maria del Quartiere in Parma. Storia, rilievo e stabilità di una fabbrica farnesiana*, Grafiche Step, Parma 2009, pp. 174-185.
- E. Magnano di San Lio, M. Galizia, C. Santagati, *Rilievo e modellazione 3D per lo studio delle chiese a pianta ovale in Sicilia: il caso di Santa Chiara a Catania*, in *DisegnareCon*, V, 2013, 10, pp. 193-200.
- R. Migliari, *Il disegno degli ordini e il rilievo dell'architettura classica: Cinque Pezzi Facili*, in *Disegnare idee immagini*, vol. 2, Gangemi Editore, Roma 1990, pp. 49-66.
- Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio, *Tavole di ragguaglio dei pesi e delle misure già in uso nelle varie Province del Regno col sistema metrico decimale*. Stamperia Reale, Roma 1877.
- X. Gao, S. Shen, L. Zhu, T. Shi, Z. Wang, Z. Hu, *Complete scene reconstruction by merging images and laser scans*, in *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2020, 30, pp. 3688–3701.
- L. Testi, *Santa Maria della Steccata in Parma*, L. Battistelli, Firenze 1922.
- R. Wittkower, *Principi architettonici nell'età dell'umanesimo*, Einaudi, Torino 1992.
- A. Zachos, C.N. Anagnostopoulos, *Using TLS, UAV, and MR methodologies for 3D modelling and historical recreation of religious heritage monuments*, in *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, IV, 2025, 17, pp. 1-23.
- A. Zerbi, N. Bruno, S. Mikolajewska, R. Roncella, *Challenges in 3D integrated surveying of complex historic sites: The case of Santa Maria della Steccata (Parma – Italy)*, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII, 2025 (30th CIPA Symposium Heritage Conservation from Bits, Seoul, Republic of Korea, 25–29 August 2025), pp. 1675–1682.

Citation: M. Bigongiari, *Oltre il modulo: misurare l'adattamento nel Palinsesto Laurenziano*, in *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 66-75.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3720>

Received: October, 2025

Accepted: November, 2025

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Bigongiari M., this is an open access peer-reviewed article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

OLTRE IL MODULO: MISURARE L'ADATTAMENTO NEL PALINSESTO LAURENZIANO

Beyond the Module: Measuring Adaptation in the Laurentian Palimpsest

MATTEO BIGONGIARI

University of Florence
matteo.bigongiari@unifi.it

This paper dialogues with the traditional historiographical reading of the Laurentian Complex, seeking to complement the established studies on the abstract modular Order by focusing on its material implementation. The essay advances the thesis that the Laurentian site, defined by pre-existing structures and a complex "piecemeal" evolution, is a "palimpsest" whose current form is the result of a continuous process of material adaptation.

*The Renaissance "module" is framed not as a rigid grid, but as an ideal norm (*regula*) constantly mediated by constructional practice (*facture*) and the inevitable *in situ* adaptations. This essay presents a "knowledge project" based on an integrated digital survey (TLS, GNSS, UAV). This apparatus is not aimed at a purely abstract verification of the module, but rather at scientifically measuring the discrepancy between the ideal norm and the reality of the construction site.*

The unified metric infrastructure allows, for the first time, for the mapping of three-dimensional discontinuities. This approach quantifies the structural and altimetric differences between the foundations, the transept of the first phase, and the subsequently built nave, as well as the physical constraints of pre-existing elements. This process transforms the Survey from a documentary act into a hermeneutic investigation. The Drawing (Representation) thus becomes the critical synthesis that "puts in order" the palimpsest, making legible the complex stratification of adaptation, which constitutes the material realization of the Order on the site.

Keywords: Architectural Survey, Cultural Heritage, Palimpsest, Architectural Order, Critical Interpretation.

Misura come Ordine

La Basilica di San Lorenzo a Firenze si offre alla storiografia e alla disciplina dell'architettura come un testo canonico, l'epitome dell'Ordine e della *regula* rinascimentale. È l'edificio che, per autonomia, segna l'avvio di una nuova sintassi progettuale basata sul modulo, sulla proporzione e sulla chiarezza spaziale. Tuttavia questa lettura consolidata rischia di appiattire una realtà materica, documentale e di cantiere di straordinaria complessità. Sotto la superficie della celebre "sintassi brunelleschiana" si nasconde un palinsesto stratificato, un apparente "disordine" fatto di preesistenze, progetti ideali, cantieri reali, interruzioni e ripensamenti che attraversano i secoli¹.

Il presente contributo si inserisce in questo dibattito e intende rispondere direttamente al tema "Order and Measurement".

Di fronte a un simile palinsesto, l'atto del "misurare" – inteso qui nel quadro epistemico del progetto di conoscenza² – trascende il suo ruolo meramente strumentale. Il rilievo architettonico, in questo caso digitale e multi-scalare, diviene l'unico dispositivo critico ed ermeneutico capace di imporre intelligenza a questa complessità. È l'atto scientifico che permette di mettere ordine alle tracce, di salvare dalla dispersione una cultura materica frammentata e di fornire una base metricamente accurata per la verifica delle ipotesi storiografiche³.

Si intende dimostrare come sia compito specifico del rilievo e della rappresentazione farsi carico di questa "messa in ordine". Se la storia dell'architettura (intesa qui sia come il naturale trascorrere del tempo e quindi delle fasi costruttive di una fabbrica, ma eventualmente anche come disciplina necessaria all'approfon-

¹ Il dibattito sulla natura di palinsesto del cantiere laurenziano è un nodo storiografico consolidato. Si vedano almeno i contributi fondamentali sulle fasi costruttive e la committenza (Pacciani, *Testimonianze per l'edificazione della basilica di San Lorenzo a Firenze*, pp. 85–99), sul dualismo progettuale Brunelleschi/Manetti Cioccheri (Saalman, *Filippo Brunelleschi: The Buildings*), sull'analisi linguistica e il contesto urbano (Bruschi, *Filippo Brunelleschi*) e sul recente dibattito internazionale (Aroni, *Vitruvian Proportions in the Design of the Architectural Orders of the Basilica of San Lorenzo*).

² L'accezione di rilievo come "progetto di conoscenza" si innesta nel solco teorico tracciato dalla scuola italiana di disegno. Si supera la visione del rilievo come "restituzione" per abbracciarla come "strumento di conoscenza" critica (Docci, *Teoria e pratica del disegno*). In questo senso, l'atto di analisi (la lettura del palinsesto) e la sintesi (il "progetto" di un ordine della conoscenza) diventano due fasi inseparabili dello stesso atto intellettuale, come già teorizzato da Quaroni (*Progettare un edificio. Otto lezioni di architettura*).

³ La costruzione di una "base metricamente certa" tramite tecnologie digitali (TLS, GNSS) e la sua concretualizzazione come "atlante" o "infrastruttura attiva" è al centro del dibattito disciplinare recente. Questo approccio permette di gestire la complessità informativa del patrimonio (Balzani, Maietti, *Architectural Space in a Protocol for an Integrated 3D*

dimento delle fonti scritte e degli eventi costruttivi) ha definito la complessità del problema, è il disegno che offre lo strumento per risolverlo. Il rilievo non è una fase preliminare al processo di analisi, ma è lo studio stesso: un atlante metrico unificato che funge da infrastruttura attiva per la conoscenza, permettendo di correlare, per la prima volta in modo sistematico, l'evidenza materica⁴ alla fonte documentale.

Il presente contributo procederà analizzando la natura stratificata del palinsesto laurenziano, utilizzando la storiografia consolidata per definire la complessità del problema. Successivamente, verrà descritto il dispositivo metodologico evolutivo (il rilievo multi-scalare) sviluppato per mettere ordine a tale complessità. La discussione affronterà il rilievo come atto ermeneutico, capace di mappare sia l'Ordine (le *regulae*) sia l'evidenza materica. Infine, si utilizzerà l'analisi applicata ai diversi casi di studio dell'intero complesso (dalla Sagrestia Vecchia alla navata della Basilica, dai chiostri alla facciata) per dimostrare la pervasività e la validità del metodo, prima di concludere con una riflessione sulla centralità della Rappresentazione come atto interpretativo.

Il Disordine, ovvero il palinsesto laurenziano

La definizione canonica di "Basilica brunelleschiana", sebbene utile ai fini dell'inquadramento storico e stilistico, tende a oscurare la straordinaria complessità di un cantiere durato secoli, le cui vicende costruttive sono un aggregato di intenzioni progettuali, vincoli materici, cambi di direzione e stratificazioni. L'ordine rinascimentale, che oggi percepiamo, non è un atto fondativo *ex-novo*, ma un magistrale (e a tratti conflittuale) tentativo di ordinare nuove forme e necessità superando i vincoli di una realtà preesistente. Questo capitolo intende definire i principali nodi storiografici di questa complessità, ovvero il "disordine" storico e materico che il progetto di conoscenza si prefigge di misurare.

La ricerca storiografica ha ampiamente dimostrato come il cantiere del nuovo San Lorenzo non parta da una *tabula rasa*, ma si innesti su una fitta trama di preesistenze, *in primis* la basilica paleo-

cristiana e la sua successiva riedificazione romanica⁵. L'avvio del cantiere mediceo (ca. 1421-1422) non riguarda l'intera chiesa, ma un ampliamento monumentale del transetto, concepito, secondo una logica planimetrica ancora tardogotica e funzionale, per essere inglobato nel corpo della vecchia basilica⁶. È in questo contesto vincolato che si inserisce l'intervento di Filippo Brunelleschi, che applica per la prima volta il suo nuovo linguaggio in alzato – la sintassi modulare e proporzionale – a una pianta di fatto tardo-trecentesca. La Sagrestia Vecchia, completata nel 1428, è il primo, autonomo capolavoro che funge da "esempio" per la committenza, ma la sua costruzione avviene mentre la basilica medievale è ancora in funzione. L'impatto sociale, economico e politico di questo avvio è stato documentato a fondo, descrivendo le demolizioni necessarie per far spazio a un cantiere che si imponeva con forza sul minuto tessuto urbano preesistente⁷. Il cuore della complessità laurenziana risiede nella dicotomia tra l'intenzione progettuale e la sua realizzazione. Brunelleschi muore nel 1446, lasciando un progetto impostato, con un ordine basato su *regulae* proporzionali⁸, ma un cantiere in gran parte incompiuto. La costruzione della navata è affidata al suo successore, Antonio Manetti Ciaccheri. Il dibattito scientifico si interroga da sempre su quanto Manetti Ciaccheri sia stato un fedele esecutore o un interprete che ha (necessariamente o volontariamente) modificato il progetto ideato dal maestro⁹. Questa transizione tra due architetti, due visioni e due fasi di cantiere, è l'evidenza materica più significativa che il rilievo ha il compito di mappare, andando a cercare le suture, gli scarti e le interpretazioni. La celebre immagine del *Codice Rustici* della metà del secolo è la prova visiva di questo cantiere per parti, mostrando il nuovo transetto ancora in costruzione e la Sagrestia Vecchia innestati sulla vecchia navata, documentando il momento esatto del passaggio di consegne¹⁰.

Il complesso laurenziano non si esaurisce in questo dualismo. È un palinsesto in continua evoluzione, dove ogni generazione ha aggiunto il proprio strato, spesso in modo conflittuale con le preesistenze.



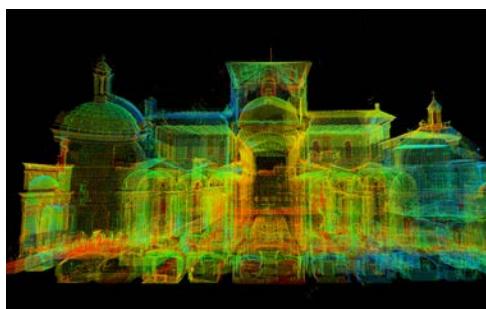
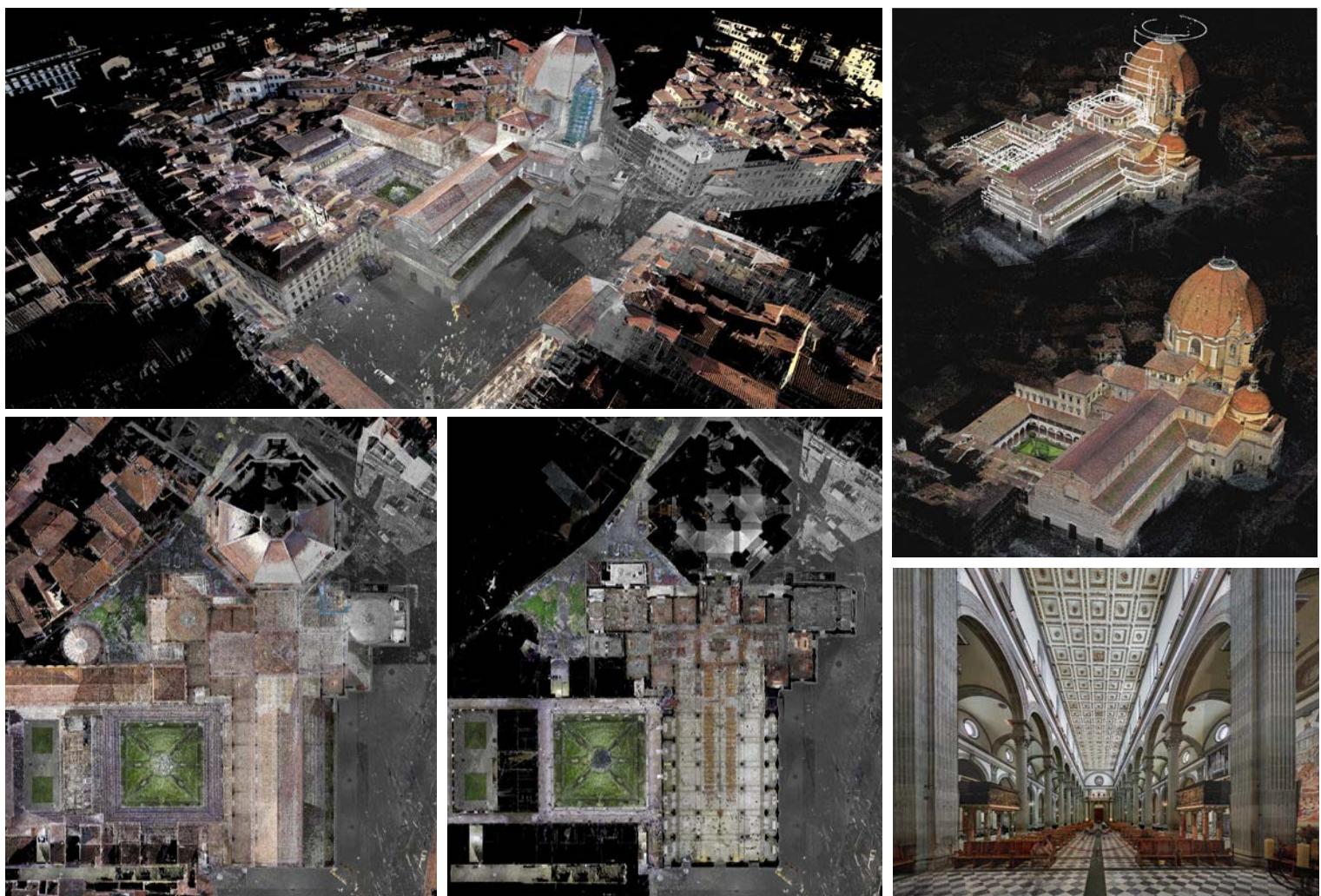
1 | L'immagine mostra la basilica medievale di San Lorenzo con la Sagrestia Vecchia completa ed il nuovo transetto in costruzione. Codice Rustici (XV secolo), Collezione del Seminario Arcivescovile, Firenze.

2 | Cartolina ottocentesca che mostra il complesso di San Lorenzo prima della realizzazione della scalinata d'accesso alla Basilica ed ancora contornato di edifici che saranno poi demoliti

Survey aimed at the Documentation, Representation and Conservation of Cultural Heritage e di creare atlanti digitali per la gestione di palinsesti complessi (Parrinello, Picchio, Ricciarini, La Placa, Catedral de Prato. *Documentación y representación de los bajorrelieves y decoraciones del púlpito de Donatello*), trasformando il rilievo in un vero e proprio strumento di "filologia digitale" (Valenti, Martinelli, *Sulla qualità geometrica del modello di rilievo*).

⁴ Si sottolinea la distinzione tra l'acquisizione (la nuvola di punti, il modello 3D, che è pre-critico) e il disegno. È quest'ultimo, come sostenuuto da Migliari, *Il disegno degli ordini e il rilievo dell'architettura classica: cinque pezzi facili*; a costituire il vero "atto critico" ed ermeneutico: è nel disegno che l'operatore è costretto a scegliere, interpretare e "mettere in ordine" l'evidenza materica, trasformando il dato metrico in conoscenza storica.

⁵ Il riferimento principale per la cronologia del cantiere e la sua complessa stratificazione rimane Saalman (*Filippo Brunelleschi, cit.*). L'autore, basandosi su un'analisi documentale ri-



3 | Composizione di immagini estratte dai rilievi strumentali del complesso di San Lorenzo: (da sinistra in alto in senso orario) nuvola di punti laser scanner a volo d'uccello; modello ricostruito attraverso processi SfM da acquisizioni UAV; vista panoramica di una nuvola di punti dell'interno della Basilica; riprese ortografiche del piano terreno del complesso e delle coperture.

4 | Vista della nuvola di punti del complesso di San Lorenzo sezionando il transetto e mettendo in evidenza i volumi che compongono la Basilica, con il suo piano interrato e le due Sagrestie.

gorosa, ha decostruito la narrazione vasariana, confermando la persistenza della vecchia basilica in funzione per decenni parallelamente all'avvio del nuovo cantiere.

6 Arnaldo Bruschi (*Filippo Brunelleschi*, cit., pp. 40-45) è tra i critici che hanno analizzato più a fondo questa apparente contraddizione. Bruschi sottolinea come Brunelleschi, vincolato a una planimetria 'di tradizione' (impostata su un transetto con cappelle simile a quello degli or-

L'intervento di Michelangelo è paradigmatico: la Biblioteca Medicea Laurenziana non è un edificio isolato, ma si sovrappone fisicamente, con un nuovo linguaggio e un nuovo ordine, al chiostro e alle strutture sottostanti, inoltre la sua realizzazione, in particolare quella del volume esterno ma ancora più famosa la scalinata interna, avviene per successivi interventi di cantieri successivi all'intervento del maestro. Allo stesso modo, il non-finito della facciata michelangiolesca, che potrebbe essere considerato come un "fallimento", in realtà si rivela un documento esso stesso: un'evidenza materica che espone la nuda preparazione del cantiere interrotto¹¹. Anche la percezione esterna dell'edificio è un costrutto storico: l'attuale vuoto della piazza, che permette la visione assiale e angolare dalla distanza, tutto il complesso assieme da un unico punto di osservazione, è un risultato di interventi successivi, molto distante dalla densità edilizia che originariamente circondava il complesso.¹² Quanto sopra esposto, che si potrebbe

configurare come un sintetico "stato dell'arte" delle ricerche storiche condotte sul complesso laurenziano, contribuisce alla definizione del problema. Ci consegna un oggetto di studio che non è un'entità monolitica, ma un aggregato di frammenti, vincoli, intenzioni e realizzazioni di interventi contingenti. È di fronte a questa complessità che il rilievo digitale cessa di essere documentazione e diviene l'atto critico necessario per "mettere ordine".

Mettere ordine

Per affrontare la complessità del palinsesto laurenziano si è reso necessario superare l'approccio del rilievo come mera campagna di documentazione del monumento. La ricerca ha impostato un progetto di conoscenza per la documentazione di un processo evolutivo diacronico finalizzato alla costruzione di un atlante metrico digitale unificato, capace di fungere da infrastruttura per l'analisi critica. La metodologia non è stata un fine,

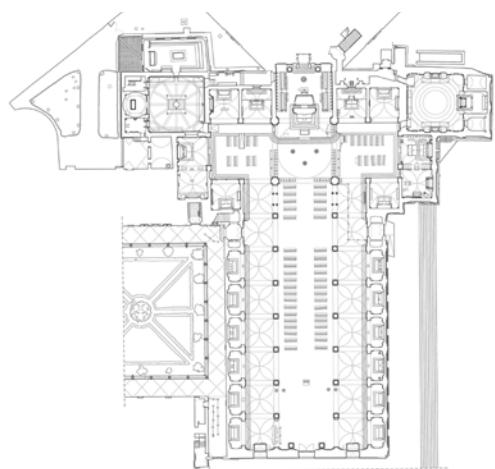
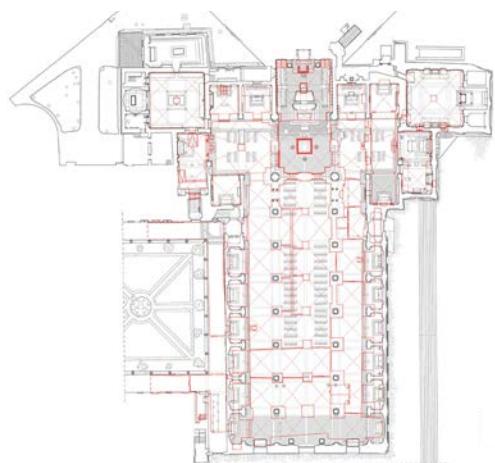
ma la risposta scientifica alla natura frammentaria e stratificata del problema storiografico.

Il progetto è nato nel 2020 con l'obiettivo di documentare i principali monumenti del complesso, a partire dalla Sagrestia Vecchia¹³. Tuttavia, la consapevolezza della profonda interconnessione fisica e storica tra le parti ha portato rapidamente alla necessità di estendere l'indagine. L'obiettivo è diventato la creazione di un unico *database* metrico, un *atlante digitale* che costituisce la base per un futuro *Heritage Digital Twin*¹⁴ coerente dell'intero complesso laurenziano – dalla basilica ai chiostri, dalla Biblioteca Mediceo-Laurenziana alla Sagrestia Nuova – in cui ogni dato fosse correlabile agli altri. L'atto scientifico fondativo di questo progetto di conoscenza non è stata la digitalizzazione, la scansione delle superfici, ma la costruzione di un'infrastruttura metrica unitaria. Per mettere ordine al palinsesto e garantire la validità di qualsiasi successiva analisi comparativa era indispensabile un processo metodologico di controllo accurato.

Questo è stato ottenuto attraverso la strutturazione di un rilievo architettoni-

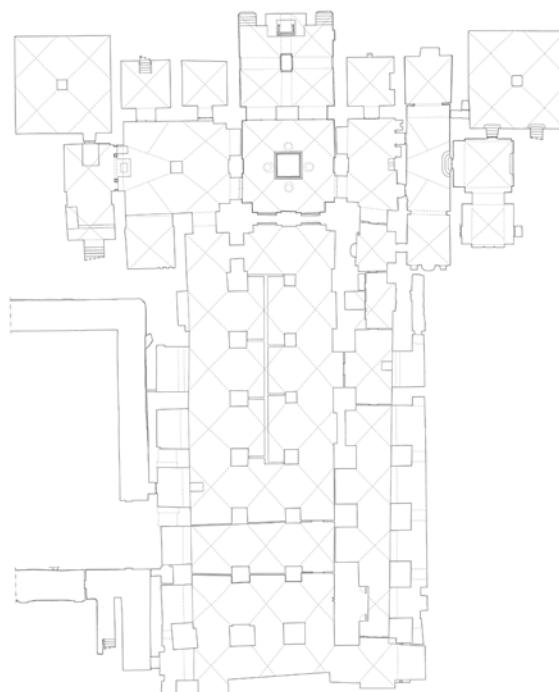
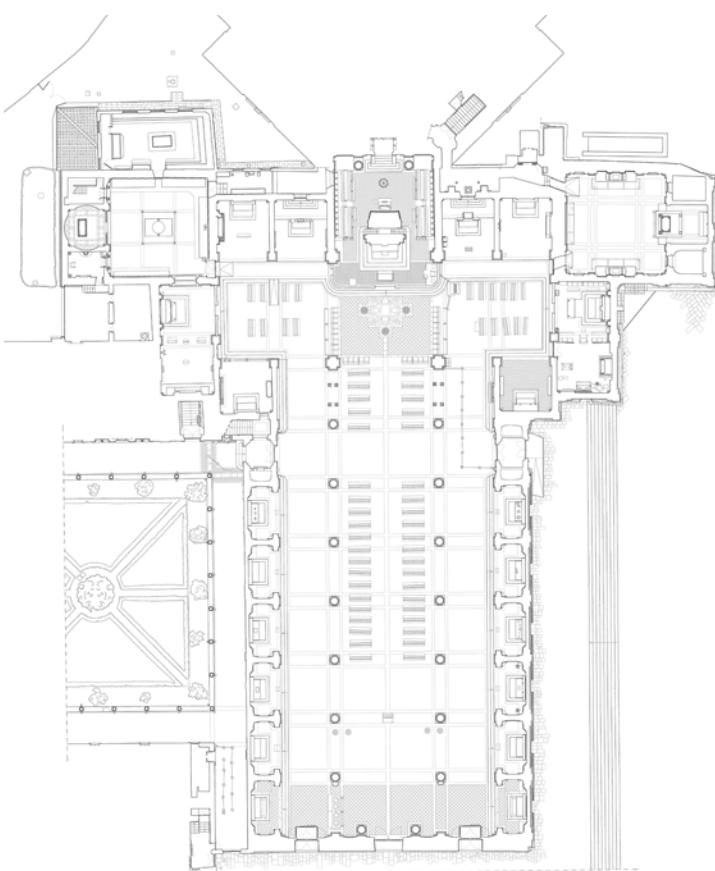
co che integrasse differenti metodologie e tecnologie di acquisizione, fondato sull'impostazione di una poligonale topografica ad alta affidabilità che attraversa l'intero complesso¹⁵. Tale poligonale è stata georeferenziata tramite punti di stazione GNSS (GPS). Questo processo, fondamentale, ha stabilito un unico sistema di coordinate certo, all'interno del quale ogni successiva acquisizione (TLS, fotogrammetria) è stata ancorata. È questa infrastruttura che trasforma la "misura" da atto descrittivo a potenziale atto analitico.

Su una solida base topografica si è innestata l'acquisizione morfologica. È stata adottata una metodologia *data fusion*, oggi ampiamente sperimentata e validata dalla comunità scientifica¹⁶. Il fulcro della misura è stato acquisito tramite Laser Scanner Statici (TLS), che hanno garantito la precisione millimetrica sulle singole misurazioni e la capacità di restituire la complessa geometria degli spazi voltati e delle membrature architettoniche. A questa maglia 3D è stata affiancata un'intensa campagna di fotogrammetria digitale, sia terrestre (per i dettagli materici e gli apparati decorativi) sia da



5 | Sopra, pianta del piano terreno della Basilica che sovrappone in rosso il profilo del piano seminterrato; (sotto) Pianta del piano terreno della Basilica eseguita rappresentando il disegno delle volte.

6 | A sinistra, pianta del piano terreno della Basilica; a destra pianta del piano seminterrato della Basilica.





“Sotto la superficie della celebre “sintassi brunelleschiana” si nasconde un palinsesto stratificato, un apparente “disordine” fatto di preesistenze, progetti ideali, cantieri reali, interruzioni e ripensamenti che attraversano i secoli.

7 | Sezione sul transetto della Basilica, che mostra chiaramente il rapporto delle altezze interne del complesso rispetto alla quota di calpestio attuale della città. Permette inoltre di confrontare le volumetrie delle Sagrestie “gemelle” di Brunelleschi e Michelangelo.

UAV (drone). Quest'ultima si è rivelata cruciale per mappare le coperture, le membrature architettoniche in aggetto (fonte di numerose zone d'ombra) e le aree di cantiere altrimenti inaccessibili. A conferma del rigore metodologico, la scelta del TLS come strumento primario è stata validata attraverso una prova sperimentale comparativa con tecnologia MLS (*Mobile Laser Scanning*). Sebbene l'MLS si sia dimostrato efficace per una mappatura speditiva delle grandi volumetrie, il confronto ha evidenziato come la densità del dato, la minore rumorosità e la precisione del dato statico (TLS) fossero requisiti indispensabili per il tipo di analisi filologica che ci si prefiggeva: un'indagine capace di leggere non solo la forma, ma l'evidenza materica, la traccia, la sutura muraria. La scelta del TLS è stata quindi una scelta critica consapevole, orientata alla qualità dell'analisi successiva.

Misurare l'adattamento

Una volta costruito l'apparato scientifico per mettere ordine, il rilievo cessa di essere un atto passivo e diventa un processo ermeneutico, un progetto di cono-

scenza attivo, che viene adottato per leggere il palinsesto laurenziano, superando la tradizionale (e talvolta fuorviante) ricerca di un “modulo” proporzionale perfetto. Come la critica più avvertita ha sottolineato, un cantiere rinascimentale vincolato da preesistenze e da una realtà urbana consolidata, come San Lorenzo, è un luogo di mediazione e adattamento, non di applicazione astratta¹⁷. L'assunto è che il rilievo digitale, se eseguito correttamente e quindi affidabile, sia, per la prima volta, lo strumento capace di misurare scientificamente questo processo di adattamento: lo scarto tra la *regula* ideale e la realtà materica del cantiere. La vera potenza del dispositivo ermeneutico si esprime nella sua capacità di mappare l'evidenza materica. Questa non è, come in una lettura semplicistica, ciò che interrompe l'Ordine; al contrario, l'evidenza materica “è” l'Ordine reale, quello scaturito dalla sintesi tra l'intenzione progettuale e i vincoli del sito.

Questo approccio, quindi, evita consapevolmente la trappola di “far tornare i conti”, ma usa il dato metrico certo per una complessa operazione filologica. In questo contesto, l'atto della misura

dini mendicanti, come Santa Croce), operò una rivoluzione “dall'interno”, applicando a questa pianta data la sua nuova sintassi modulare e “all'antica” (nell'ordine dell'alzato).

⁷ Riccardo Pacciani (*Testimonianze per l'edificazione*, cit., pp. 85 -99) ha indagato in modo specifico il contesto della committenza medicea, evidenziando il valore politico dell'intervento.

⁸ Il dibattito sulle proporzioni di San Lorenzo è stato recentemente riaperto, spostando l'attenzione dalla “griglia” proporzionale generale (studiate in passato da Wittkower o Saalman) alla filologia degli ordini architettonici (capielli, colonne) e alla loro aderenza ai canoni vitruviani. Su questo specifico tema si veda il contributo di Aroni (*Vitruvian Proportions*, cit.).

⁹ Questo è il nodo storiografico più complesso. Il dibattito non è sulla successione (che è un fatto storico), ma sulla attinenza di Manetti Ciaccheri al progetto brunelleschiano cfr. Saalman, *Filippo Brunelleschi: The Buildings*, cit.; Bruschi, *Filippo Brunelleschi*, cit.; Saalman, in particolare, basandosi su una rigorosa analisi documentale e costruttiva, ha suggerito che Manetti Ciaccheri fu un interprete che dovette adattare il progetto alle esigenze e alle disponibilità economiche del cantiere. La nostra analisi si inserisce in questo dibattito, con l'obiettivo di fornire per la prima volta un dato metrico globale per mappare queste ‘interpretazioni’ di cantiere.

¹⁰ Il Codice di Marco Rustici (c. 1447-50), conservato alla Biblioteca del Seminario Arcivescovile di Firenze, è la fonte iconografica primaria per la comprensione di questa fase. L'immagine della basilica (f. 10v) mostra chiaramente il nuovo transetto e la Sagrestia Vecchia completati (definiti come “chiesa nuova”), mentre la navata della vecchia basilica (successivamente demolita) è ancora al suo posto. È la “fotografia” del momento esatto del passaggio di cantiere.

¹¹ La facciata “non-finita” è stata oggetto di una nostra specifica indagine (Bertocci, Bigongiari,



dell'ordine compositivo cessa di essere la ricerca di un modulo, e diventa la misurazione dello scarto tra l'ipotesi ideale (es. il progetto di Brunelleschi) e la sua messa in opera (il cantiere di Mattei Ciaccheri), permettendo di verificare dove e come la *regula* è stata adattata. Tale operazione permette, ad esempio, di mappare le suture geometriche e tracciabili sia in pianta che in sezione, tra gli interrati e l'alzato, che separano il transetto della prima fase dalla navata successiva, facendone un documento oggettivo. Allo stesso modo, il metodo consente di quantificare i vincoli fisici, come i dislivelli tra i corpi di fabbrica e i volumi esistenti all'inizio del cantiere, e infine di leggere il "non-finito" della facciata non come un vuoto, ma come un denso atlante di tracce di cantiere. Il rilievo, qui, opera come nella lettura dell'archeologia dell'architettura: l'evidenza materica (la discontinuità, l'adattamento, lo "stiramento") è l'oggetto dell'indagine, non l'errore da scartare¹⁸. Infine, il processo ermeneutico si completa nella fase di modellazione. I modelli 3D (sia NURBS che *mesh* con *texture* per l'analisi morfologica, sia pa-

rametrici per la gestione informativa) non sono concepiti come una restituzione statica dello stato di fatto o, peggio, di un ideale platonico. Essi diventano una sintesi critica e un contenitore di conoscenza diacronico.

L'infrastruttura BIM, in particolare, è strutturata per gestire la complessità del palinsesto. Il modello non rappresenta solo lo stato presente, ma è progettato per ospitare, su strati informativi distinti, le diverse fasi e, soprattutto, per *visualizzare* e *quantificare* gli scarti, gli adattamenti e le suture di cui sopra. In questo modo, il modello digitale mette ordine al disordine storico, permettendo di interrogare la stratificazione del complesso.¹⁹

Il Disegno come sintesi critica

L'atto del disegno – inteso come processo analitico e sintesi critica – utilizza il rilievo architettonico per approfondire progetto di conoscenza, che si attua qui, non presentando risultati finali, ma dimostrando la capacità del metodo di mappare e correlare le evidenze materiali complesse e tridimensionali dell'intero aggregato laurenziano.

8 | Sezione che attraversa la Basilica e i chiostri del Complesso laurenziano, rappresentando oltre i volumi del nuovo transetto e delle sagrestie anche il volume michelangiolesco della Biblioteca Medicea Laurenziana.

Pasquali, *Digitisation of the wooden maquette at Casa Buonarroti: a project never realized for the facade of San Lorenzo in Firenze*. In quel contributo si è dimostrato come l'approccio metodologico del rilievo digitale permetta di trasformare il "vuoto" in un documento leggibile. La sovrapposizione metrica delle due copie digitali permette di misurare lo scarto tra ordine e realtà, confermando come questo caso studio sia emblematico della tesi del presente saggio.

12 La nostra percezione odierna del complesso è il risultato delle trasformazioni urbanistiche, principalmente ottocentesche e del primo Novecento, che hanno creato l'attuale vuoto della piazza attraverso sventramenti e demolizioni (cfr. Pacciani, *Testimonianze per l'edificazione*, cit.). L'analisi delle fonti storiche è fondamentale per ricostruire lo stato originario: da un lato gli studi basati sul Catasto Generale Toscano, che permettono di analizzare la fitta maglia edilizia preesistente (cfr. Belli, Lucchesi, Raggi, *Firenze nella prima metà dell'Ottocento. La città nei documenti del Catasto Generale Toscano*); dall'altro, la documentazione iconografica, in particolare le fotografie storiche conservate presso l'Archivio Alinari, che testimoniano in modo inconfondibile la presenza di edifici oggi demoliti, che si innestavano direttamente sul corpo della basilica occultandone la visione d'insieme.

13 Il tema del rilievo e della documentazione di San Lorenzo è ricorrente all'interno del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze. Sono noti gli studi e gli interventi di Sampaolesi e Gurrieri, i rilievi eseguiti da Centauro alla fine degli anni '80, fino alle prime

La Sagrestia Vecchia offre l'esempio più chiaro di come il metodo produca nuova conoscenza storica.

In questo caso, l'analisi si è concentrata sugli spazi nascosti (i sottotetti). È stato l'atto del disegno – nello specifico, la generazione e l'analisi di elaborati grafici bidimensionali e modelli parametrici – a permettere la lettura critica dell'evidenza materica. Questo processo ha permesso di identificare in modo inequivocabile le tracce delle coperture originarie, un sistema a falde di matrice tradizionale²⁰.

La prima applicazione della nostra tesi è la mappatura della discontinuità materica. Come la storiografia ha dimostrato, il transetto di Brunelleschi non fu solo un'aggiunta planimetrica, ma anche una profonda modifica nell'elevato dei fabbricati: probabilmente il nuovo transetto, fondato su un nuovo vano interrato, impostava il piano di calpestio a una quota superiore rispetto al piano di campagna della vecchia basilica medievale, da cui era possibile accedere al nuovo altare immaginandosi di attraversare un collegamento con la navata centrale. L'atto del disegno, supportato dal rilievo architettonico, permette di evidenziare questa complessità. Il rilievo ci consente di mappare e correlare simultaneamente il livello del suolo esterno (la piazza, i chiostri), e paragonarlo al livello rialzato del transetto, supponendo il livello della

navata della chiesa medievale. In questo modo si palesa il dislivello (la "salita" che doveva esistere tra la vecchia navata e il transetto), che cessa di essere un'ipotesi storiografica e diviene un'evidenza materica, supportata dalla presenza al piano interrato delle strutture che identificano il vecchio campanile, chiave per comprendere il successivo progetto di "uniformazione" delle quote attuato da Manetti Ciaccheri nella navata.

La seconda e più forte applicazione della nostra tesi è che la "sutura" tra il cantiere di Brunelleschi e quello di Manetti Ciaccheri si palesi come una discontinuità strutturale, visibile in pianta ma molto più probabilmente percepibile negli alzati. Il cantiere della navata dovette "adattarsi" a vincoli fisici e strutturali già esistenti, quali le fondamenta e le volte interrate del transetto, ma anche ai vincoli fisici in alzato, come il volume del campanile medievale (poi demolito) e l'innesto del chiostro preesistente. Il rilievo è l'unico strumento capace di indagare questa realtà. L'atto del disegno (es. l'analisi di sezioni 2D e modelli 3D che correlano gli interrati, il piano terra e l'alzato) permette di *mappare* la discontinuità costruttiva delle volte e delle fondazioni, dimostrando che l'Ordine della navata non è un "modulo" ideale, ma un capolavoro di adattamento ingegneristico a una realtà materica vincolante. Per poter appro-

9 | Sezione trasversale sulla Sagrestia Vecchia del Brunelleschi, che mostra i rapporti con le contigue cappelle dei Medici, con la Biblioteca Laurenziana e lo sviluppo degli interrati.

applicazioni di rilievo digitale portate avanti da Bertocci e Balzani durante le celebrazioni michelangiolesche. A questi si aggiungono le recenti indagini specialistiche, come i rilievi di Puma e Biagini per le Cappelle Medicee. Il presente progetto si pone in continuità con questa tradizione di studi, con l'obiettivo di unificarla e sistematizzarla. Dal 2025 in esecuzione un progetto di ricerca finanziato dalla Regione Toscana e dall'Opera Mediceo Laurenziana, per la ricostruzione tridimensionale di San Lorenzo, di cui lo scrivente è P.I. (Prog: S.Lor3D, finanziato all'interno del programma Giovanisì)

14 Il concetto di "copia digitale" si evolve verso quello di *Heritage Digital Twin*, la cui base informativa è l'HBIM. Per una definizione dello stato dell'arte e della terminologia scientifica si veda il lavoro seminale della scuola irlandese (Murphy, McGovern, Pavía, *Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*) e la sua successiva evoluzione (Dore, Murphy, *Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites*).

15 La costruzione di un'infrastruttura topografica (GNSS/Polygonale) è l'unica procedura che garantisce la coerenza metrica in rilievi multi-scalari e complessi. Sull'integrazione di sistemi di rilievo e la gestione della registrazione di nuove di punti complesse nel patrimonio culturale si veda il lavoro di Remondino *Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning*.

16 L'integrazione di dati fotogrammetrici (da UAV e terrestri) e dati TLS è una metodologia consolidata per ottenere un dato metricamente accurato (dal TLS) e fotorealisticamente completo (dalla fotogrammetria): cfr. Yang et al., *Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques*.



¹⁷ Il dibattito sulla tensione tra progetto ideale (regula) e cantiere reale (facture) nel Rinascimento è centrale. La critica più recente tende a superare l'analisi puramente proporzionalistica per concentrarsi sulla materialità del processo costruttivo. Si veda, ad esempio, Trachtenberg, *Building and Writing S. Lorenzo in Florence: Architect, Biographer, Patron, and Prior*, che ha insistito sulla necessità di studiare la "materialità" del cantiere fiorentino, spesso in conflitto con le griglie ideali imposte ex-post.

fondire ulteriormente questa analisi sarà necessario approfondire lo studio dei sottotetti, ambienti ancora non indagati e tendenzialmente più "sinceri" nel loro aspetto, non dovendo nascondere le irregolarità geometriche dell'architettura in quanto non visibili al pubblico.

Infine, l'analisi della facciata michelangiolesca rappresenta la sintesi più alta del progetto di conoscenza. Qui il rilievo ha catturato due elementi distinti: da un lato, l'evidenza materica della facciata nuda attuale; dall'altro ha permesso di confrontare l'ordine progettuale cristallizzato nel modello ligneo di Michelan-

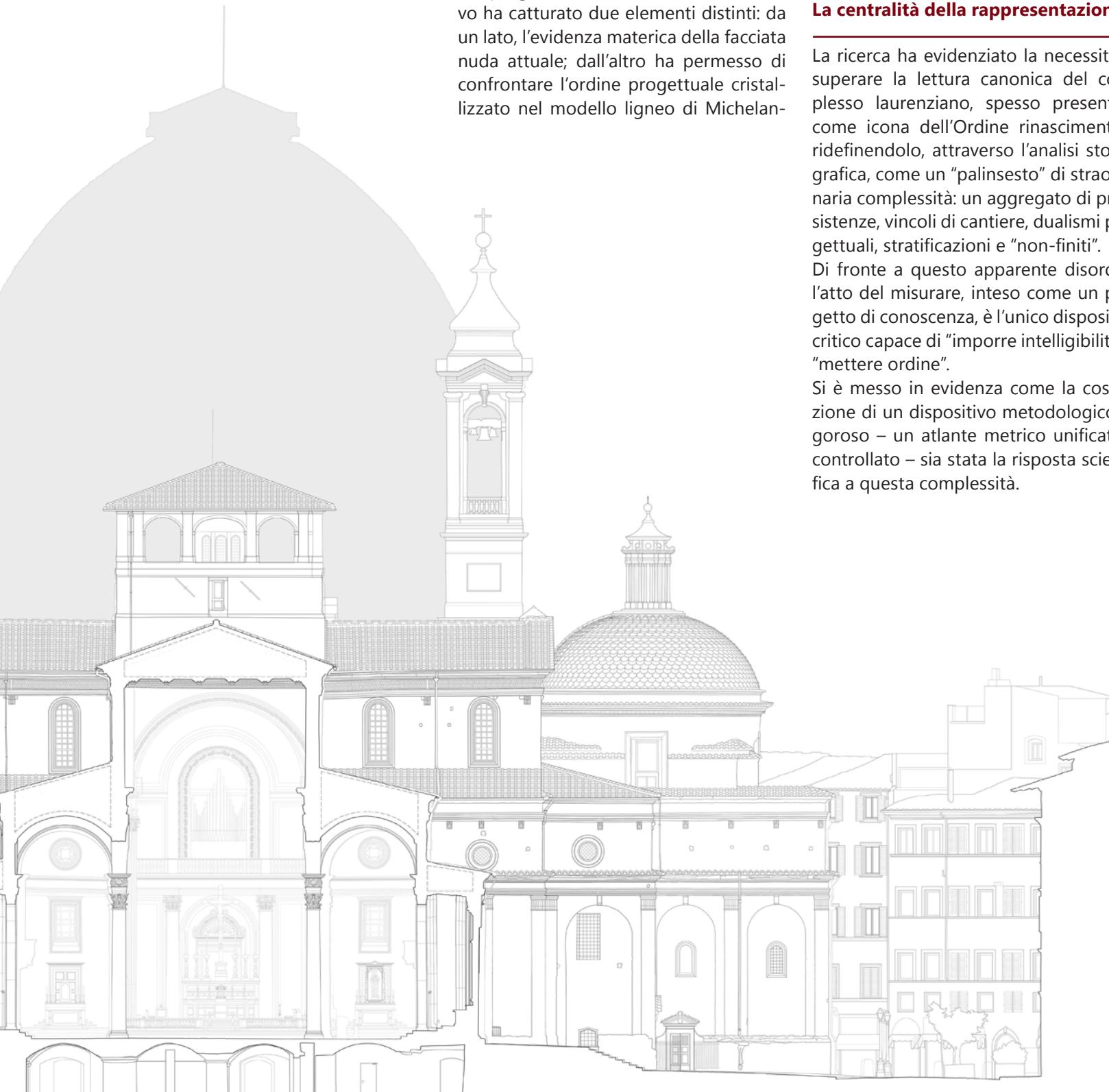
gelo, digitalizzato tramite fotogrammetria. La rappresentazione diventa la sovrapposizione metrica di queste due copie digitali. Questo processo ci permette di "misurare l'ordine" (il modello) contro l'evidenza materica (la facciata nuda), trasformando il "non-finito" in un documento leggibile e misurabile dello scarto tra intenzione e realtà.

La centralità della rappresentazione

La ricerca ha evidenziato la necessità di superare la lettura canonica del complesso laurenziano, spesso presentato come icona dell'Ordine rinascimentale, ridefinendolo, attraverso l'analisi storografica, come un "palinsesto" di straordinaria complessità: un aggregato di preesistenze, vincoli di cantiere, dualismi progettuali, stratificazioni e "non-finiti".

Di fronte a questo apparente disordine l'atto del misurare, inteso come un progetto di conoscenza, è l'unico dispositivo critico capace di "imporre intelligibilità" e "mettere ordine".

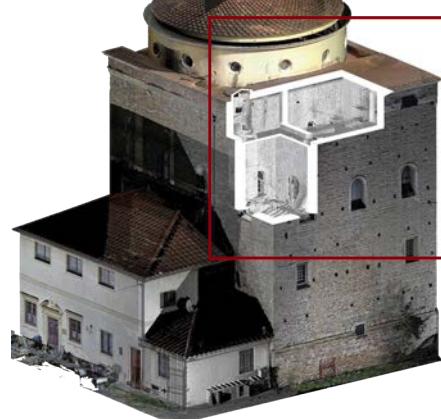
Si è messo in evidenza come la costruzione di un dispositivo metodologico rigoroso – un atlante metrico unificato e controllato – sia stata la risposta scientifica a questa complessità.



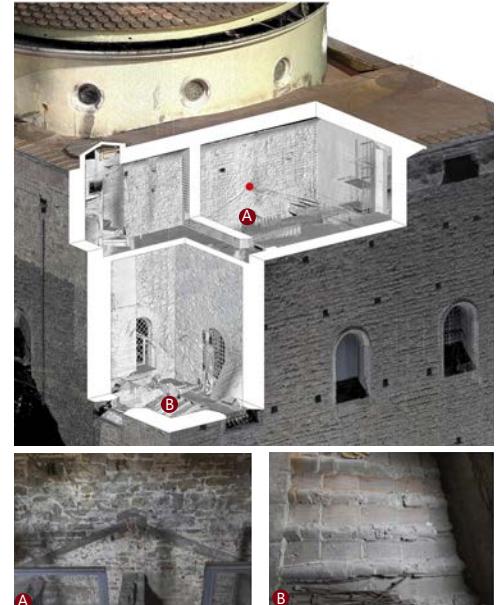


L'analisi ha poi mostrato come questo dispositivo non sia passivo, ma diventi uno strumento attivo per mappare e interpretare le evidenze materiche. Infine, l'analisi applicata ai diversi casi di studio ha confermato la validità e la pervasività di questo approccio sull'intero aggregato. Questa "passeggiata" nelle affascinanti complessità del palinsesto laurenziiano non aveva la pretesa di esaurire la straordinaria vastità delle problematiche storiche del complesso. San Lorenzo è stato, piuttosto, il terreno di prova ideale, quasi una "scusa" metodologica per testare e affermare una tesi intrinsecamente disciplinare. Di fronte al caos documentario e alla stratificazione, la storiografia, da sola, definisce il problema ma non può risolverlo.

In conclusione, questo articolo riafferma la centralità della rappresentazione: il rilievo e il disegno sono l'unico strumento critico capace di "mettere ordine", trasformando l'evidenza materica in un documento scientifico e in una narrazione leggibile. Non è un atto descrittivo finale, ma l'atto interpretativo che sta al cuore della costruzione della conoscenza.



10 | Elaborazioni dei rilievi tridimensionali che mostrano, in questo caso specifico, le tracce ancora visibili di precedenti sistemi di copertura della Sagrestia Vecchia, che ci obbligano a riflettere sulla precedente configurazione dei volumi oggi visibili e sul progetto originario di Filippo Brunelleschi.



18 L'approccio qui descritto si fonda sui principi metodologici dell'Archeologia dell'Architettura. L'evidenza materica non è un dato statico, ma un testo stratigrafico da interpretare. Si veda Doglioni, *Stratigrafia e restauro. Tra conoscenza e conservazione* sulla stratigrafia come strumento di conoscenza per il restauro, e Parenti, *Dalla stratigrafia all'archeologia dell'architettura. Alcune recenti esperienze del laboratorio senese* per la metodologia di lettura stratigrafica delle murature (SUM), che trasforma il rilievo in un atto filologico.

19 La concettualizzazione del modello 3D come "contenitore diacronico" si allontana dalla semplice restituzione per abbracciare la gestione

della complessità informativa del patrimonio. Questo si collega al dibattito internazionale sulla semantica (HBIM) e sui *Digital Twin*. Si vedano i lavori sulla gestione dei dati storici stratificati (es. Apollonio, *Classification Schemes for Visualization of Uncertainty in Digital Hypothetical Reconstruction*) o sull'evoluzione dell'HBIM come infrastruttura di conoscenza.

20 Per approfondire i contenuti sul progetto di documentazione e analisi della Sagrestia Vecchia vedi Bertocci, Bigongiari, *Behind the Dome: The Hidden Roofs of Brunelleschi's Old Sacristy. A Digital Survey Approach to Medieval Construction in the Renaissance*.

Bibliografia

- F. I. Apollonio, *Classification Schemes for Visualization of Uncertainty in Digital Hypothetical Reconstruction*, in S. Münster, M. Pfarr-Harfst, P. Kuroczyński, M. Ioannides (eds.), *3D Research Challenges in Cultural Heritage II. How to Manage Data and Knowledge Related to Interpretative Digital 3D Reconstructions of Cultural Heritage*, Springer, Heidelberg 2016, pp. 173-197.
- G. Aroni, *Vitruvian Proportions in the Design of the Architectural Orders of the Basilica of San Lorenzo*, in *Annali di Architettura*, 2019, 31, pp. 7-21.
- A. Augenti, *Uno sguardo archeologico sulle architetture del Trecento: temi, problemi e prospettive*, in A. Tosco, F. Beltramo (a cura di), *Architettura medievale: il Trecento. Modelli, tecniche, materiali*, All'Insegna del Giglio, Sesto Fiorentino 2022.
- M. Balzani, F. Maietti, *Architectural Space in a Protocol for an Integrated 3D Survey aimed at the Documentation, Representation and Conservation of Cultural Heritage*, in *disérgo*, 2017, 1, pp. 113-122.
- G. Belli, F. Lucchesi, P. Raggi, *Firenze nella prima metà dell'Ottocento. La città nei documenti del Catasto Generale Toscano*, Firenze University Press, Firenze 2022.
- S. Bertocci, M. Bigongiari, *Behind the Dome: The Hidden Roofs of Brunelleschi's Old Sacristy. A Digital Survey Approach to Medieval Construction in the Renaissance*, in A. Passuello, O. Michalis (eds.), *Behind the Scenes of Medieval Roofs. An Overview of the Roofing Systems of Italian Churches*, «L'Erma» di Bretschneider, Roma 2025.
- S. Bertocci, M. Bigongiari, A. Pasquali, *Digitisation of the wooden maquette at Casa Buonarroti: a project never realized for the facade of San Lorenzo in Firenze*, in *Atti della conferenza KUI 2024*, Firenze 2024.
- S. Bertocci, *Beni archeologici e tecnologie digitali per la conservazione: tre progetti per il Patrimonio Mondiale UNESCO*, in P. Chías, V. Cardone, *Dibujo y arquitectura*, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares 2016, pp. 16-31.
- A. Bruschi, *Filippo Brunelleschi*, Bompiani, Milano 2006.
- M. Doccì, *Teoria e pratica del disegno*, Laterza, Roma-Bari 1991.
- F. Doglioni, *Stratigrafia e restauro. Tra conoscenza e conservazione*, Edizioni GBC, Susegana 2008.
- C. Dore, M. Murphy, *Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites*, in *Proceedings of the 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, Milano 2-5 settembre 2012, pp. 369-376.
- S. Garagnani, A. Gaucci, P. Moscati, M. Gaiani, *ArchaeoBIM. Theory, Processes and Digital Methodologies for the Lost Heritage*, Bononia University Press, Bologna 2021.
- X. Li, L. Teppati Losè, F. Rinaudo, *Documentation for Architectural Heritage: A Historical Building Information Modeling Data Modeling Approach for the Valentino Castle North Wing*, in *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14, 2025, p. 139.
- R. Migliari, *Il disegno degli ordini e il rilievo dell'architettura classica: cinque pezzi facili*, in *Disegnare Idee Immagini*, 1991, 2, pp. 49-66.
- M. Murphy, E. McGovern, S. Pavía, *Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*, in *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2011, 76, pp. 89-102.
- R. Pacciani, *Testimonianze per l'edificazione della basilica di San Lorenzo a Firenze (1421-1442)*, in *Prospettiva*, 1994, 75-76, pp. 85-99.
- R. Parenti, *Dalla stratigrafia all'archeologia dell'architettura. Alcune recenti esperienze del laboratorio senese*, in *Arqueología de la Arquitectura*, 2002, 1, pp. 73-82.
- S. Parrinello, F. Picchio, M. Ricciarini, S. La Placa, *Catedral de Prato. Documentación y representación de los bajorrelieves y decoraciones del púlpito de Donatello*, in *Mimesis.Jsad*, 4, 2024, pp. 99-105.
- S. Parrinello, F. Picchio, S. Barba, *Drones and Drawings – Methods of Data Acquisition, Management, and Representation*, in *DisegnareCon*, 2022, 15, pp. 0-6.
- L. Quaroni, *Progettare un edificio. Otto lezioni di architettura*, Gangemi, Roma 1977.
- F. Remondino, *Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning*, in *Remote Sensing*, III, 2011, 6, pp. 1104-1138.
- H. Saalman, *Filippo Brunelleschi: The Buildings*, The Pennsylvania State University Press, University Park 1993.
- G. M. Valenti, A. Martinelli, *Sulla qualità geometrica del modello di rilievo / On the geometric quality of the survey model*, in C. Battini, E. Bistagnino (a cura di), *Dialoghi. Visioni e visualità*, FrancoAngeli, Milano 2022, pp. 2937-2952.
- M. Trachtenberg, *Building and Writing S. Lorenzo in Florence: Architect, Biographer, Patron, and Prior*, in *The Art Bulletin*, XCVII, 2015, 2, pp. 140-172.
- X. Yang, P. Grussenmeyer, M. Koehl, H. Macher, A. Murtyoso, T. Landes, *Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques*, in *Journal of Cultural Heritage*, 2020, 46, pp. 350-360.



RIVISTA DI DISEGNO
UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE

VOL. 2 | N. 4 | 2025
CONFIGURARE: ORDINE E MISURA
TO SHAPE: ORDER AND MEASURE

Citation: Y. Cao, D. Qian, *Dimensional Hierarchies in Traditional Chinese Architecture from Cosmic Order to Human Experience*, in *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 76-87.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3857>

Received: October, 2025

Accepted: November, 2025

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Cao Y., Qian D., this is an open access peer-reviewed article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

DIMENSIONAL HIERARCHIES IN TRADITIONAL CHINESE ARCHITECTURE FROM COSMIC ORDER TO HUMAN EXPERIENCE

YONGKANG CAO, DONGJIAN QIAN

School of Design, Shanghai Jiao Tong University, International Research Center for Architectural Heritage Conservation; Shanghai Jiao Tong University
Corresponding author: young_cao@126.com

The dimensional system of traditional Chinese architecture is a complex integration of technical specifications and cultural concepts, profoundly reflecting the philosophical thoughts and institutional ethics of traditional Chinese society. This paper aims to systematically reveal the hierarchical dimensional control methods from overall planning to interior details and their inherent logic, constructing a "macro-meso-micro" analytical framework through interdisciplinary research methods of architectural history, archaeological discoveries, literature review, philosophy, and anthropology. At the overall planning level, traditional Chinese architecture adopts a modular grid system, whose dimensional settings are governed by the triple influences of ritual hierarchy, feng shui geomancy, and the "unity of man and nature" cosmology. In individual buildings, traditional Chinese architecture takes the "Cai Fen system" or "Dou Kou system" as the core modulus, achieving standardised production of components while realising artistic interpretation through the hierarchy of "Cai Fen" and the combination of "Chu Tiao" (bracket extensions). In interior spaces, dimensions are based on human activity needs, achieving the unity of functionality and artistic conception through means such as decreasing bay widths and height variations. This theoretical framework of three "dimensional levels" reveals the unique wisdom of ancient China in transforming abstract cosmological views into specific built environments, providing a historical reference for contemporary architectural design in terms of regional expression and inheritance of humanistic values.

Keywords: Traditional Chinese architecture, Scale control, Cai Fen system, Ritual system, Cosmology, Spatial Hierarchy, Modularisation.

Introduction

Western architectural historiography has developed a multidimensional interpretive tradition regarding the proportional systems of classical orders. From Vitruvius' *Ten Books on Architecture*, which linked human proportions with cosmic order through modular theory, to Alberti's emphasis on the moral metaphors behind "number and beauty," and Le Corbusier's "Modulor" pursuing both mathematical precision and humanistic scale, their proportional systems have always intertwined aesthetic norms, philosophical speculation, and social symbolism. In contrast, traditional Chinese architecture has also developed a spatial control system centered on "scale hierarchy". Early Chinese architectural scholars such as Liang Sicheng and Liu Dunzhen provided preliminary interpretations, constructing a spatial cognitive framework for traditional Chinese architecture.

While its technical wisdom has gained academic recognition, its underlying logic and cultural implications still lack systematic international acknowledgement. This cognitive disparity manifests as asymmetry in academic discourse, such as Pevsner's judgment of Oriental architecture as "illogical decoration" in *An Outline of European Architecture*¹, and reflects methodological limitations in cross-cultural research. This study originates from this imbalance in knowledge exchange. When the complex relationship between proportion and symbolism in Western architectural tradition has been fully explained, how can the unique wisdom in China's "scale hierarchy" system be integrated into the core dialogue of global architectural theory? This academic gap does not stem from opposing value judgments but calls for a more inclusive comparative perspective – by revealing different paths taken by the two traditions in addressing the fun-

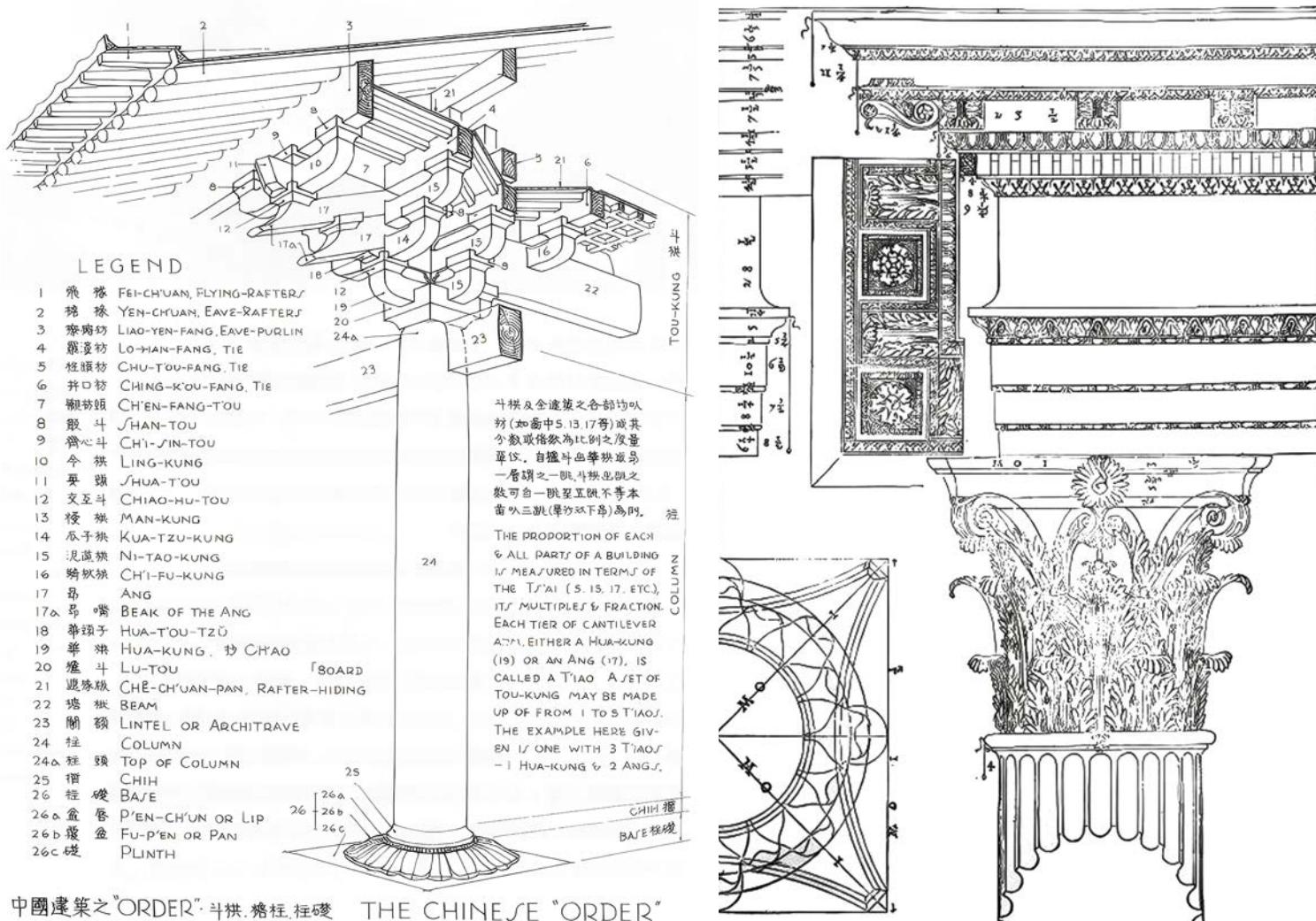
¹ Pevsner, *Outline of European Architecture*.

² Liang, *A Pictorial History of Chinese Architecture*.

³ Steinhhardt, *Chinese Architecture*.

⁴ Chen, *Study on the Timberwork System of Ying-zao Fashi*.

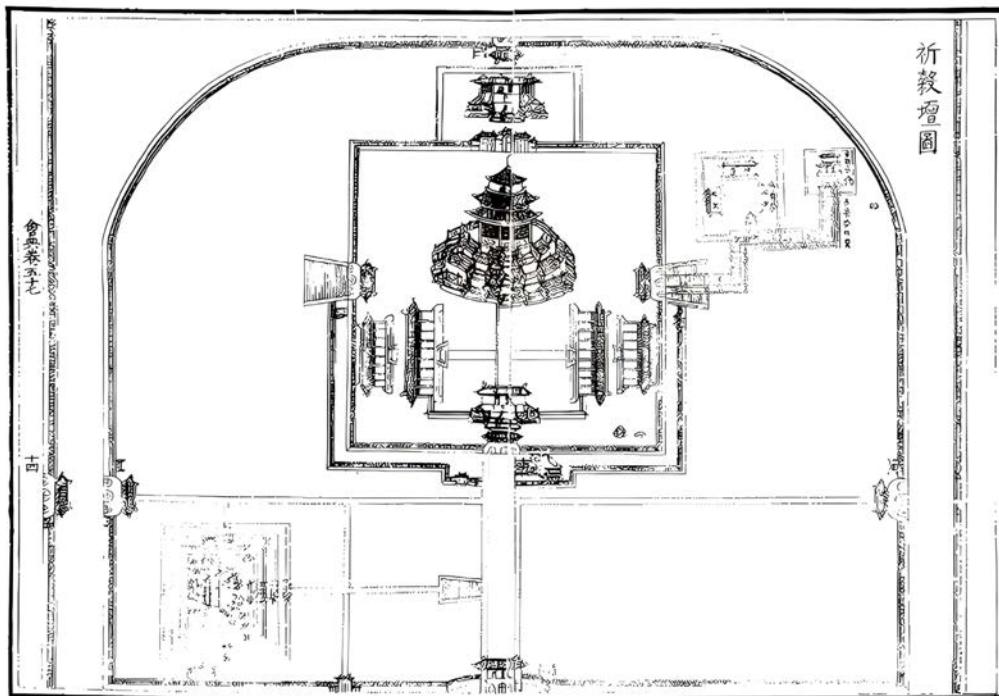
⁵ Fu, *Research on Ancient Chinese Urban Planning, Architectural Complex Layout and Architectural Design Methods*.



1 | The "material-based approach" of ancient Chinese architecture versus the 'orders' of ancient Western architecture. (Liang, A Pictorial History of Chinese Architecture (1984), SDX Joint Publishing Company, Beijing 2023; Palladio, A., translated by Li, Zheng, *The Four Books of Architecture* (1570), China Architecture & Building Press, Beijing 2015).

damental question of "how to construct a meaningful world through scale," we may provide novel intellectual resources for contemporary architectural theory. Research on the scale of traditional Chinese architecture began in the 1930s. In *A Pictorial History of Chinese Architecture*, Liang Sicheng systematically introduced the structural system and formal evolution of ancient Chinese architecture in English for the first time², enabling the *Cai, Qi, Fen* modular system of the *Cai-fen System* in the *Yingzao Fashi* (Treatise on Architectural Methods) to be analysed in parallel with Western classical orders and enter the international perspective. Although Western Sinologists such as Nancy Steinhardt have paid attention to the "imitating heaven and earth" characteristics of the *Mingtang* architecture³, they mostly attribute it to symbolism and neglect the scale translation mechanism at the technical level.

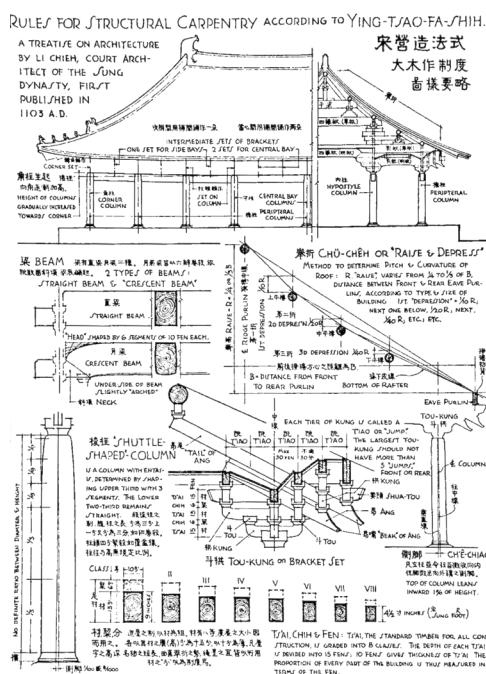
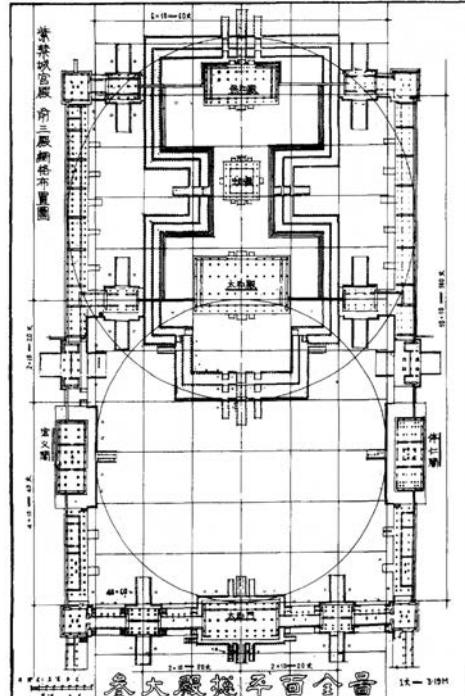
Domestic research presents a division between technical and cultural history. In *Studies on the Timberwork System of Yingzao Fashi*, Chen Mingda conducted a comprehensive mathematical analysis of the *Cai-fen System*, deconstructing the corresponding relationship between the eight grades of *Cai* and architectural hierarchies, and establishing the foundation for quantitative analysis of wooden architecture⁴. In *Research on Ancient Chinese Urban Planning, Architectural Complex Layout and Design Methods*, Fu Xinian revealed the dominant role of ritual numbers in architectural scales through the example of the "Nine Heavens" scale design of the Circular Mound Altar at the Temple of Heaven⁵. However, such studies mostly focus on a single scale level – either emphasizing textual research on the provisions of *Yingzao Fashi* or concentrating on macro-level planning of individual cases like the Forbidden City – lacking an integrated theoretical frame-



2 | *Ji Gu Tan Painting*. (Source: Yisanga, *The Great Qing Dynasty Code · Kangxi Reign, Chinese Classics and Culture*, 2017, 162).

3 | General Layout Plan of the First Three Halls of the Forbidden City. (Source: Fu, *Selected Papers on Architectural History by Fu Xinian, Baihua Literature and Art Publishing House, Tianjin 2009*).

4 | "Cai-fen system" (Source: Li, J., annotated by Liang, S. C. *Annotated Yingzao Fashi*. China Architecture & Building Press, Beijing 1983).



work that connects the "well-field grid" of overall planning, the "Cai-fen module" of individual buildings, and the "human scale" of interior furnishings. As Pan Guxi pointed out in *Chinese Architectural History*, existing research: «is like observing the same building under different focal lengths but failing to synthesize a complete three-dimensional image»⁶.

This dissertation focuses on three progressive research questions:

First, what specific scale control methods and technical tools have been developed in traditional Chinese architecture across the three levels of overall planning, individual design, and interior furnishings?

How are these levels articulated through craftsmen's practices?

Second, what cosmological views, social ethics, and bodily philosophies are embedded behind these methods? How do they collectively form the cultural genes of the scale system?

Third, what unique spatial aesthetic experience emerges when macrocosmic symbolism is translated into microcosmic spatial experience through meso-scale modular systems? The exploration of these questions will fill the structural gaps in existing research and promote a profound understanding of traditional Chinese architecture in international academic circles.

Theoretical Framework and Methodology

Before delving into the hierarchical scales of traditional Chinese architecture, it is necessary to clarify a concept: the "scale" discussed in this paper does not simply refer to the proportional conversion relationship between architectural drawings and actual built structures (i.e., scale ratio), but rather denotes the totality of a complete system of dimensional measurement, proportional specifications, and control mechanisms employed in traditional Chinese architectural design.

This concept encompasses three interrelated dimensions: first, the actual measurement in the physical dimension (such as the *fen* in the *Cai-fen system* and the "construction chi" as units of measurement); second, the proportional relationships in the visual dimension (such as the weighing proportions between components and the spatial height-width ratio); third, the meaning-bearing in the cultural dimension (such as the expression of abstract concepts like ritual hierarchy and cosmic order through specific scales). This multi-dimensional concept of "scale" is the key to understanding traditional Chinese architecture from technical practice to cultural expression. This paper employs "hierarchy" and "modularisation" as core analytical lenses to construct a theoretical framework

for the scale system of traditional Chinese architecture, with the cultural concept of "architecture as a microcosmic epitome of the universe" serving as the theoretical foundation permeating the entire text.

The theoretical lens of "hierarchy" emphasises the systematic and hierarchical nature of scale control in traditional Chinese architecture, specifically manifested as a three-level control from macro to micro: at the overall planning level, spatial sequences are organised through scale frameworks such as "axis" and "*feng shui* pattern"; at the individual building level, standardisation of components and coordination of overall proportions are achieved through modular systems like the *Cai-fen system* or *Dou-kou system*; at the interior space level, a perceptible micro-scale experience is formed with "human scale" and "artistic conception creation" as the core. These three levels do not exist in isolation but form an interconnected holistic system through "top-down" regulatory constraints and "bottom-up" feedback adjustments.

The theoretical lens of "modularization" focuses on the technical wisdom and logical tools of scale control in ancient Chinese architecture, examining how core modular systems such as the "*Cai-fen system*" and "*Dou-kou system*" achieve design standardization, construction efficiency, and artistic unity. Unlike the proportion system centered on "orders" in Western classical architecture, the modularisation of ancient Chinese architecture emphasises more on adaptability – within the same modular system, adjustments to the grades of *Cai-fen* or *Dou-kou* can be made according to building hierarchy and functional requirements, ensuring both the stability of the system and the possibility of flexible adaptation.

The meta-theory permeating the above analysis is the cognition of "architecture as a microcosmic epitome of the universe" under the concept of "Unity of Man and Universe" in traditional Chinese culture. This concept holds that architecture is not only a carrier of physical space but also a concrete manifestation of cosmic order – by transforming cosmic concepts such as "Heaven is round and Earth is square", "Yin-Yang and Five Elements", and "Heavenly Stems and Earthly Branches" into specific scale data and proportional relationships, the built



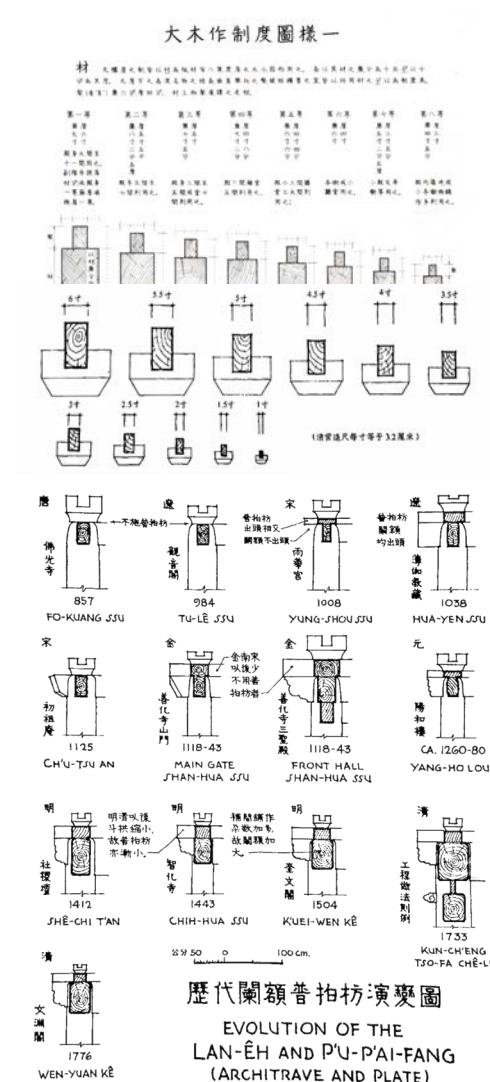
5 | Overview Photos of the Forbidden City.

environment becomes an intermediary connecting heaven and earth, and linking humans and deities. This unique wisdom of transforming abstract cosmological views into concrete scale imagery constitutes the deep cultural logic of the scale system in ancient Chinese architecture.

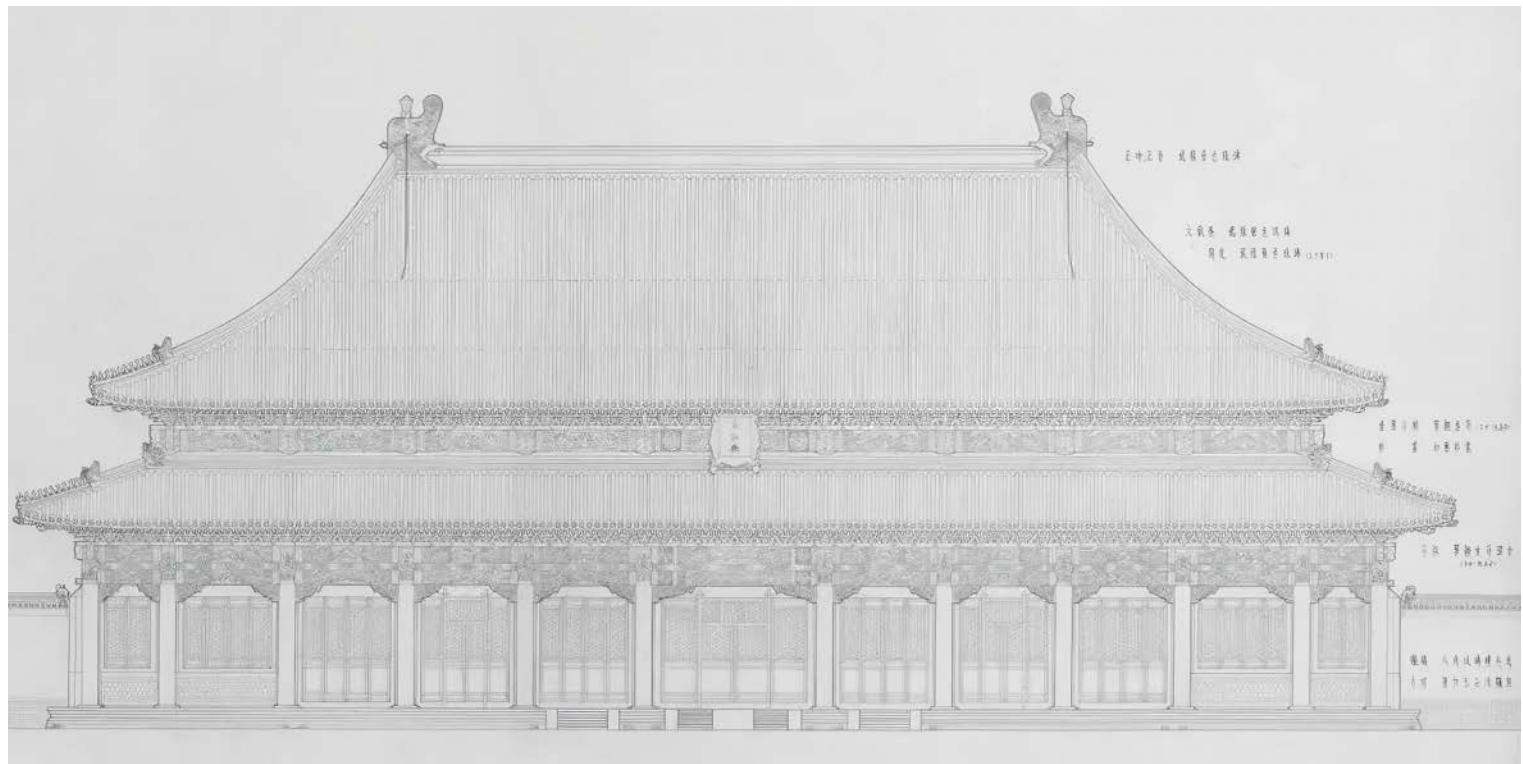
Macro-Scale: Cosmic Order and Ritual Regulation in Overall Layout

The formation of macro-scale in traditional Chinese architecture is not merely a technical product, but the result of the interweaving influence of three factors: ritual system, cosmic symbolism, and "*feng shui* concepts", ultimately translating social ethical order and cosmic ideas into specific spatial scales. As the most externalised spatial expression of traditional Chinese architecture, the macro-scale is essentially a projection of the social order of "All under heaven is the king's land" and the cosmology of "Unity of Man and Universe" in the built environment.

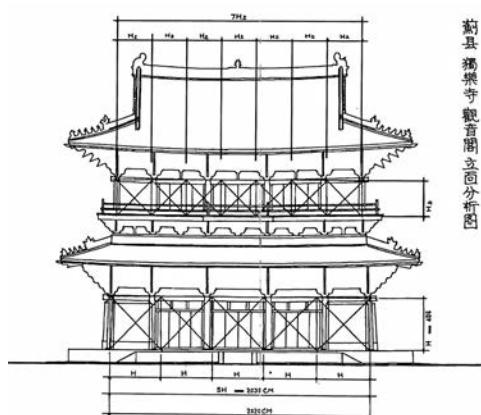
The traditional Chinese ritual system fundamentally determines the hierarchical norms of macro-scale control. The so-called *li* (ritual) refers to the religiously significant customs and ceremonies originating from clan society. After the emergence of feudal states, the originally customary *li* was reformed and perfected by the ruling class, becoming an embodiment of state will with legal nature and effect. This hierarchical differentiation is not only reflected in the



6 | "Dou-kou system" (Source: B. J. Ma, Wooden Construction Technology of Ancient Chinese Architecture (2nd Edition), Science Press, Beijing 2003).



7 | Facade of the Hall of Supreme Harmony. (Source: Shan, Liu, *Measured Drawings of Ancient Buildings on the Central Axis of Beijing*, The Palace Museum Press, Beijing 2017).



8 | Facade Analysis Diagram of Guanyin Pavilion, Dule Temple, Jixian, Tianjin. (Source: Fu, *Selected Papers on Architectural History by Fu Xinian*, Baihua Literature and Art Publishing House, Tianjin 2009).

height of the platform bases of individual buildings but also extends to the overall scale of architectural complexes. From a social perspective, through the hierarchical nesting of scales – from the imperial city to the palace city, and further to the halls – a hierarchical scaling of "state-palace-hall" is formed, strengthening the psychological identification of subjects toward imperial authority. The *Collected Statutes of the Ming Dynasty* stipulated the number of *jian* (spatial bays) for residences of officials of different ranks: "The front hall of dukes and marquises shall have seven or five *jian*; the main hall of first-rank and second-rank officials shall have five *jian* with nine purlins"⁷, while the main halls of the Forbidden City all have nine bays, symbolizing the highest dignity. As Liang Sicheng pointed out in *A Pictorial History of Chinese Architecture*: «The greatness of Chinese architecture lies in its expression of abstract political order through concrete scale language»⁸. Cosmic symbolism transforms abstract concepts of *Tianren Ganying* (Heaven-Man Interaction) into concrete scale language, using specific numbers as symbols of cosmic order to imbue architecture with special significance under particular scales. The ancient Chinese concept of "Heaven-Man Interaction" held that the order of human society should imitate the natural order of the universe, with architectural scale serving as the material manifestation of this imitation.

Geometric cosmic symbolism reaches its ultimate expression in the Temple of Heaven complex: the circular plan and square base of the Hall of Prayer for Good Harvests form a cosmic model of "Heaven is round and Earth is square", while its diameter of nine *zhang* (ancient Chinese units of length, 1 *zhang* is approximately equal to 3.03 m) and nine *chi* (ancient Chinese units of length, 1 *chi* is approximately equal to 33.33 cm) corresponds to the mythological imagery of "Nine Heavens". Directional symbolism is embodied in the axial layout of "facing south for reverence" – all major buildings of the Forbidden City are arranged along the north-south axis, with the main structures strictly oriented to face south. This directional choice not only meets lighting needs in the Northern Hemisphere but also originates from the philosophical concept in the *I Ching* that "the sage faces south to rule the world." Traditional *feng shui* concepts determine the density and height relationships of building groups. The key principle of "hiding wind and gathering *qi*" in *feng shui* theory is to regulate spatial energy flow through scale control. In courtyard organisation, the *qi port* theory in *feng shui* guides the length-width ratio of courtyards – for instance, the courtyards of the Six Eastern and Western Palaces in the Forbidden City mostly adopt a rectangular plan with a 3:2 ratio, which is believed to "gather *qi* without dispersion"⁹.

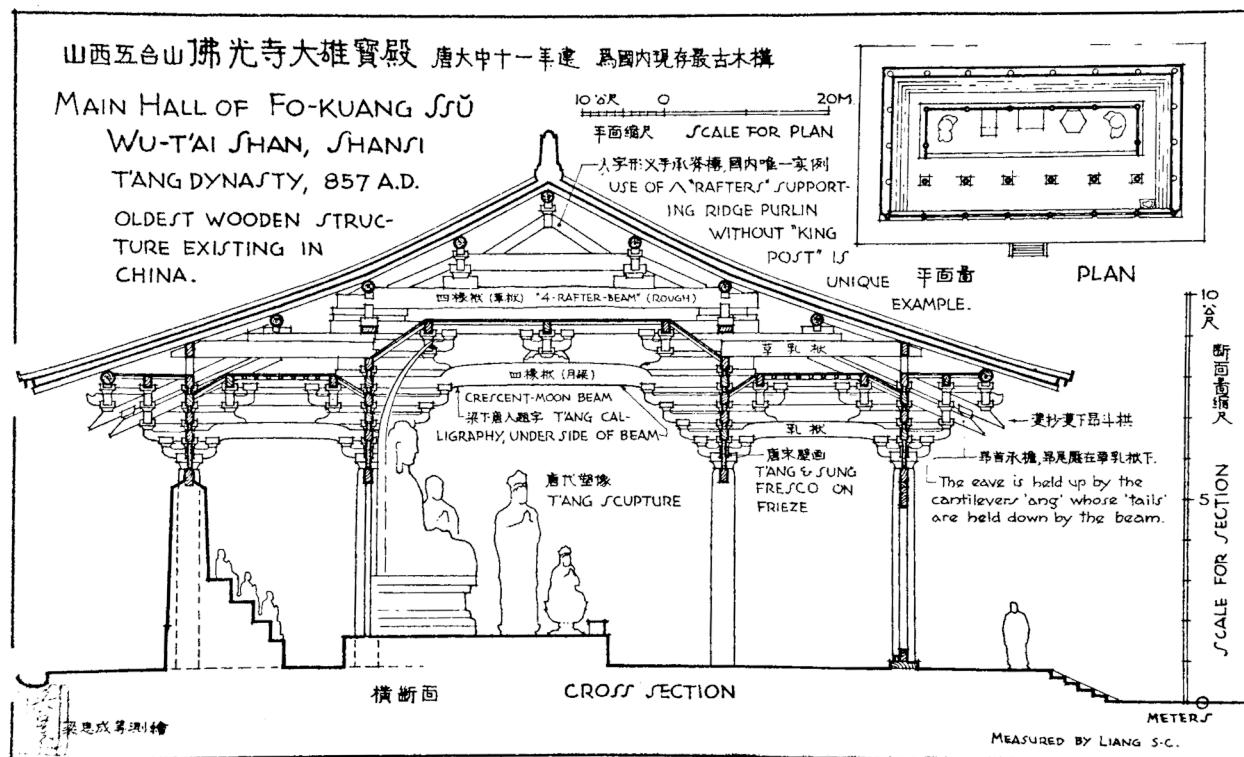
⁶ Pan, *History of Chinese Architecture*.

⁷ Yuan, *Collected Studies on the Collation of Da Ming Hui Dian*.

⁸ Liang, *A Pictorial History of Chinese Architecture*, cit.

⁹ VV. AA. *A History of Ancient Chinese Architectural Technology*.

¹⁰ Fu, *Research on Ancient Chinese Urban Planning*, cit.



From a modern scientific perspective, this regulates and guides air flow through aspect ratios, adjusts the microclimate of buildings, and enhances thermal comfort in architecture.

The ritual system, cosmic symbolism, and feng shui concepts interact collectively, with the ritual system playing a dominant role. It maintains the feudal ethics of imperial supremacy through explicit spatial order, forming the theoretical foundation for the macro-scale of traditional Chinese architecture.

At the implementation level, macro-scale control in traditional architecture is established upon a modular grid system centered on the units of *zhang* and *chi*. This system is not merely a measurement tool but a crucial technology that transforms abstract spatial order into concrete construction rules. The *zhang-chi grid system* constitutes the fundamental spatial grid in architectural construction – using 1 *zhang* as the basic modular unit to form an equidistant square grid on the site, after which the positioning of building groups, courtyard dimensions, and axial spacing all strictly follow the coordinate relationships of this grid's nodes¹⁰. This requirement for order stability necessitates a high degree of standardization and replicability in macro-scale control. Notably, this grid system exhibits significant adaptability and flexibility, maintaining macro-level order unity while providing possibilities

for local functional variations, thereby demonstrating the wisdom of ancient Chinese planning techniques.

As a paradigmatic imperial palace of the Ming and Qing dynasties, the Forbidden City completely preserves the grand practice of macro-scale planning. Measured data reveals that its overall layout employs an expanded modular grid of 9 *zhang* × 9 *zhang*: the central axis stretches 96 grid units from the Meridian Gate to the Gate of Spiritual Valor, with an east-west width of 52 grid units, forming a 96 × 52 rectangular pattern that confirms the Dominant role of the ritual order of "the Son of Heaven dwelling in the center" over architectural scales¹¹. Major palaces such as the Hall of Supreme Harmony, Hall of Central Harmony, and Hall of Preserving Harmony are all situated at grid intersections, with their face widths and depths strictly corresponding to multiples of the grid unit. Courtyard spaces similarly adhere to grid control – the square in front of the Hall of Supreme Harmony spans approximately 200 m east-west and 130 m north-south to present a 3:2 rectangular proportional relationship¹². This grid system not only controls building positions but also enhances the rhythmic quality of axial sequences through multiple relationships of courtyard dimensions.

In the overall planning of the Forbidden City, the layout of the Six Eastern and Western Palaces corresponds to

9 | Main Hall of Fo-Kuang Ssu, (Source: Li, J., annotated by Liang, S. C. Annotated Yingzao Fashi. China Architecture & Building Press, Beijing 1983).

¹¹ Ibid.

¹² Yu, The Palace of the Forbidden City.



10 | Ancient Chinese painting about interior decoration.

11 | Ancient Chinese painting about furniture.

the Twenty-Eight Lunar Mansions, with building spacing and orientation determined by celestial movement patterns, transforming the palace complex into a "Heavenly Palace on Earth"¹³. This "cosmic mirroring" construction logic converts astronomical calendars into architectural modules, embodying the design philosophy of "observing celestial phenomena above and emulating earthly patterns below".

The Forbidden City exemplifies the most typical application of the numbers "nine" and "five": the Tiananmen Gate has nine bays in width and five bays in depth; the Hall of Supreme Harmony was originally constructed with nine bays in width and five in depth (currently eleven bays wide with five bays depth). This "nine-five" numerical combination directly echoes the imperial symbolism of "the ninth line of the QianGua (the first of the sixty-four hexagrams in the *I Ching*), flying dragon in the sky" from the *I Ching*. As a symbol of imperial authority, the overall planning scale of the Forbidden City far exceeds any princely mansion of the same period, fully embodying the hierarchical order of "the Son of Heaven's supreme dignity". The height of the artificial hill (Jingshan) north of the Forbidden City forms a specific proportion with the overall height of the palace complex – the viewing distance from the Hall of Supreme Harmony to the Wanchun Pavilion on Jingshan is approximately 1500

m, creating a specific vertical scale relationship that not only satisfies the feng shui requirement of "Xuanwu as backing mountain" but also forms a spatial momentum of "lower in front and higher behind".

Unlike Western classical architecture, ancient Chinese architecture emphasizes the metaphorical function of *Xiang* (symbolic imagery), transforming cosmic order into perceptible spatial experiences through *Quxiang Bilei* (drawing analogies from symbolic images). This act of encoding political order and cosmic concepts into a scale system constructs a stable and ordered worldview. Architectural scale becomes a symbolic carrier of cultural meaning, endowing traditional Chinese architecture with cultural depth beyond material functions and serving as a medium for interpreting traditional social structures and philosophical thought.

Meso-Scale: Structural Modularity and Aesthetic Proportion in Single-Building Design

Traditional Chinese architecture has developed a technical system centered on modular control at the individual design level, whose profound ideology originates from the long-term accumulation of practical rational spirit of ancient craftsmen and wooden construction cultural philosophy. The essence of this system is to transform the abstract philosophy of "unity of *and *Qi*" into specific construction principles, realize size control through the logic of "basic unit-multiple expansion", and ultimately achieve a high unity of technical rationality and artistic expression.*

The practical rational spirit manifests in transforming complex architectural creation into Computable mathematical model. As Li Jie, the Director of Imperial Architecture in the Northern Song Dynasty, emphasised in the preface to *Yingzao Fashi* (Treatise on Architectural Methods): «controlling labor and materials»¹⁴, indicating that the modular system originally originated from the need for labor and material control – reducing material waste through standardization and simplifying management through clear proportions. Chinese craftsmen deeply understood the mechanical properties of wood: the height-width ratio of *Cai* approximates the optimal bending resistance ratio for rectangular sections, while the subdivision of *Fenallows* com-

¹³ Ibid.

¹⁴ Li, Annotated *Yingzao Fashi*.

¹⁵ Lin, *On Several Characteristics of Chinese Architecture*.

¹⁶ Li, Annotated *Yingzao Fashi*, cit.

¹⁷ Han, *Lectures on Chinese Architectural Culture*.

¹⁸ Li, Annotated *Yingzao Fashi*, cit.

¹⁹ Liang, *History of Chinese Architecture*.

ponent sizes to adapt to the grain characteristics of different wood species. As Lin Huiyin stated in *On Several Characteristics of Chinese Architecture*: «Chinese wooden structures never deliberately imitate the permanence of stone, but rather follow the nature of wood, achieving a unique ‘temporary permanence»¹⁵. The dominant position of structural logic constitutes another core of this ideological system. In the modular system, visual proportions always subordinate to structural safety: beam height values satisfy bending strength requirements, bracket arm lengths depend on wood shear capacity, and column height-to-diameter ratios are controlled within 10:1 to prevent instability – enabling traditional Chinese wooden structures to stand for millennia on the earthquake-prone East Asian continent. Liang Sicheng commented in *Annotations on Yingzao Fashi*: «The greatest advantage of this system lies in transforming extremely complex architectural structures into definite proportional relationships, allowing builders to construct according to formulas even without being geniuses.»

The *Cai-fen System* summarised in the Song Dynasty's *Yingzao Fashi* established a modular system centered on *Cai* (timber module). Li Jie explicitly stated the design principle of "taking *Cai* as the ancestor" in *Yingzao Fashi*, regarding *Cai* as the basic modular unit for wooden structures. According to the *General Explanation* chapter of *Yingzao Fashi*: «All systems of house construction take *Cai* as the ancestor. There are eight grades of *Cai*, and they are used according to the size of the building». Here, *Cai* originally refers to the cross-section of standardised processed timber, with a fixed height-width ratio of 3:2, divided into eight grades (from the first grade *Cai* with 9 *cun* (ancient Chinese units of length, 1 *cun* is approximately equal to 3.333 cm) in height and 6 *cun* in width to the eighth grade with 4.5 *cun* in height and 3 *cun* in width). The specific grade is selected based on the building's rank and scale. *Fen* is the subdivided unit of *Cai*¹⁶. *Cai* has two types: full *Cai* and single *Cai*. Single *Cai* refers to the cross-section of brackets or beams in the dougong system, with 15 *Fen* in height and 10 *Fen* in width. Full *Cai* is 21 *Fen* in height and 10 *Fen* in width, with the difference between full *Cai* and single *Cai* being *Qi* (wedge). The eight grades of *Cai* have different dimensions and do



not form a decreasing sequence. Beams, columns, *Fang* (horizontal beams), *Ling* (purlins) in the building frame, and all components of dougong are measured by *Cai*, *Qi*, and *Fen*, which is exactly the meaning of "taking *Cai* as the ancestor". This system governs all component dimensions through multiple relationships: typically, beam heights are 1 or 2 *Cai*, all parts of dougong strictly follow fixed proportions, column diameters are usually 2 *Cai*, and column heights range from 30 to 40 *Cai* – fully embodying the design philosophy of "using *Cai* as the unit of measurement"¹⁷. The Song Dynasty also integrated the "*Cai-fen System*" with *Gongxian* (work hour quotas), laying the foundation for standardised production of components¹⁸.

The modular basis in the Qing Dynasty shifted from *Cai* to the width of the *doukou* (depression in the wooden component) of the dougong brackets, forming a more simplified "*Dou - kou System*". The "Engineering Regulations" stipulates: «All

calculations for the rise and fall, length, height, and width of *douke* (the term for *dougong* in the Qing Dynasty) are based on the width of the *doukou* where the horizontal arm is installed on the front face». This establishes the opening width of the base bucket (*doukou*) as the basic unit, divided into eleven grades (from 0.5 *cun* to 6 *cun*)¹⁹. Compared with the *Song Dynasty system*, the *Qing Dynasty Doukou System* exhibits stronger practicality, with all major wooden component dimensions being integer multiples of the *doukou* unit.

Taking the Hall of Supreme Harmony in the Forbidden City as an example, it adopts the first-grade *doukou* (6 *cun* in width). The diameter of the eaves columns is 3.5 *chi* (equivalent to 5.83 *douguo*, approximately a simplified value of 6 *doukou*), and the depth is 63 *chi* (equivalent to 10.5 *zhang*), exactly 105 times the width of the *doukou*, reflecting the penetration of the modular system into macro-scale.

The Qing Dynasty *Doukou System* further simplified tenon-mortise specifications, forming the industry standard of "determining tenon length by doukou and mortise depth by *fen*".

Modular scaling endows traditional Chinese architecture with three core characteristics: standardised prefabrication, structural rationality, and flexible adaptation. These attributes have been fully verified in numerous classical architectural works.

Structural rationality manifests in the clear proportional relationships between components, enabling the architectural grandeur to transcend absolute dimensions. The Guanyin Pavilion of Dule Temple in Jixian County, standing at 23 meters tall, features nine layers of cantilevered brackets that not only achieve uniform load transfer but also form an elegant silhouette with "far-reaching lower eaves and tapering upper eaves", demonstrating the unity of structural logic and visual aesthetics²⁰. This proportional system ensures that buildings maintain structural stability and visual harmony across different scales.

Flexible adaptation manifests as the dialectical unity of unified principles and flexible applications, most notably reflected in adaptations for buildings of different ranks and functions – within the same architectural complex, main buildings use first-grade *Cai* while auxiliary buildings use third-grade *Cai*, distinguishing ritual hierarchy through differences in *Cai* grades²¹. This flexibility enables the modular system to adapt to various architectural needs while maintaining internal logical consistency.

Although these two systems belong to different eras, they collectively shaped the technical aesthetics of wooden architecture. From the Song Dynasty's *Cai-fen System* to the Qing Dynasty's *Dou-kou System*, traditional Chinese architectural modular systems demonstrated strong vitality and adaptability. The standardisation and rationalisation ideas they embody still hold significant enlightenment value even today. This integration of rationality and sensibility, technology and culture, constitutes the core wisdom of Chinese wooden architecture.

Micro-Scale: Humanistic Adaptation and Ambiance Creation in Interior Space

The micro-scale control of traditional Chinese architecture is essentially an ideological journey from "measuring heaven and earth" to "settling the human heart". The *zhang-chi* system, which exists as a module in macro planning, forms a precise coupling with human scale when entering interior spaces – behind this transformation lies the implementation of the "unity of man and nature" philosophy from abstract concept to perceivable daily experience. When Laozi's thought that «Thirty spokes share one hub; it is the emptiness inside that makes the wheel useful»²² meets architecture, it transforms into the careful management of "void": the "nothingness" enclosed by walls and column grids is precisely the "being" that carries life situations.

The Ming Dynasty work *Chang Wu Zhi* emphasised the aesthetic orientation that «Elegance of a room does not depend on size; fragrance of flowers does not rely on quantity»²³, pushing this philosophy to its extreme. The restraint on excessive scale and respect for human perception endow traditional Chinese interior design with astonishingly modern qualities. As Lin Huiyin stated in *Miscellaneous Notes on Suburban Architecture*: «The fundamental spirit of Chinese architecture is peace and contentment, best embodied in interior spaces that perfectly align with human proportions»²⁴. This spirit runs through history – from the refinement of miniature spaces promoted by Song Dynasty literati's "study culture" to the stylistic language which is "slim, vigorous and neat" of Ming Dynasty furniture – all exemplify a spatial philosophy of being exquisite without being cramped.

The transformation mechanism from thought to practice builds a bridge between philosophical concepts and construction techniques. Traditional craftsmen disassemble abstract philosophy into operable technical paradigms, realizing the translation from abstraction to concreteness through the "measurement" system, forming a complete chain of "philosophical thought, human scale, construction module, spatial experience". The *Xiaomu Zuo* system in the Northern Song Dynasty's *"Yingzao Fashi"* clearly records:

«For a door 1 chi and 1 cun wide, its height should be 5 chi and 5 cun»²⁵, a ratio that exactly matches the golden section between shoulder width and height of the human body – based on the average shoulder width of an adult male (1 chi and 1 cun), the door height is determined at a 5:1 ratio, which not only meets the functional needs of passage but also creates a visually stable feeling. The *Luban Jing* (Luban Classic) further extended this precision to daily life, stipulating «a table should be 2 chi and 8 cun high and 3 chi and 6 cun wide»²⁶, corresponding to the elbow height and forearm length of an adult in a sitting position, ensuring that the elbows hang naturally and the forearms are flat when writing or dining.

Craftsmen converted these human scales into construction modules through the *Cai Fen System*. The *Yingzao Fashi* stipulates: «There are eight grades of *Cai*, and the size of the building determines its usage»²⁷. Taking *Cai* as the basic unit (the first-grade *Cai* is 9 cun wide and 6 cun thick), which is further divided into *Fen* (1 *Cai* = 15 *Fen*). A door height of 5 chi and 5 cun is converted to 33 *Fen*, and a door width of 1 chi and 1 cun is 6.6 *Fen*, forming a fixed ratio of 5:1. This modular conversion mechanism not only retains the essential core of human scale but also improves construction efficiency through decimal conversion. Standardised scales are not rigid shackles but the foundation of spatial flexibility. The basic combination of "one table, one chair, one couch" formed in the Song Dynasty contains sophisticated ergonomic considerations: the square table has a side length of 3 *chi*, ensuring that four people can sit opposite each other without their knees touching; the backrest chair's *Danao* (top rail) is 2 *chi* and 5 *cun* high from the seat surface, perfectly fitting the natural curvature of the human spine; the "four-sided bed" is 6 *chi* long and 4 *chi* wide, allowing adult men to lie down without their feet hanging in the air and with arms fully extended.

The *Yingzao Fashi* defines the basic indoor unit "*Jian*" as the void "between four columns"²⁸, providing flexible configuration possibilities for components such as partition fans and screens. The three-bay space of the *Zhilian Laowu* in Suzhou's Lingering Garden achieves a dramatic transformation of scale through the exquisite design of partition doors – when fully opened, indoor and



outdoor spaces merge into one; when closed, the "grid-patterned" heart forms a translucent visual barrier that maintains light transmission while defining functional zones, perfectly expressing the plasticity of *Jian*. The principles of "distant borrowing, adjacent borrowing, upward borrowing, and downward borrowing" summarised in Ji Cheng's *Yuan Ye* (The Craft of Gardens) expand spatial perception through visual proportion resetting²⁹. The mere three-square-meter fan-shaped interior of the *Yushui Tongzuo Xuan* in Humble Administrator's Garden uses a three-foot-diameter circular hole window as a picture frame to incorporate the *Li Ting* and *Xuexiang Yunwei Ting* which located hundreds of meters away into view, creating a sense of depth in the composition. This is precisely an ultimate expression of the principle of "distant borrowing". From the rigorous regulations of the *Yingzao Fashi* to the artistic conception creation of literati gardens, the micro-scale control of traditional Chinese architecture demonstrates unique transformative wisdom – it translates abstract philosophy into tangible spatial strategies and articulates the eternal proposition of "people-oriented" through precise scale language. This is not merely architectural craftsmanship but a civilization's profound insight into the essence of life.

Synthesis: The Interplay of Hierarchical Scales and Its Cultural Logic

The scale control system of traditional Chinese architecture presents a high degree of internal unity, whose core lies

in the integrated application of the "modular" concept and *zhang-chi* measuring tools across the macro, meso, and micro levels.

At the macro planning level, *zhang-chi*-grid controls the orientation and spacing of building complexes. At the meso individual building level, the "*Cai-fen* system" or *Dou-kou* system achieves precise conversion from *zhang* to *fen* by unifying timber component dimensions as multiples of basic modules. At the micro interior level, the *zhang-chi* system returns to its practical essence through calibration with human scale. This coherence is not merely simple size superposition but rather a complete transformation from cosmic symbolism to human perception, achieved through dual constraints of mathematical logic and measuring tools.

The formation of the traditional Chinese architectural scale system is fundamentally driven by the combined action of four factors: social politics, philosophical cosmology, practical rationality, and literati aesthetics.

Social politics constitutes the primary constraint on scale control, as feudal imperial power required specific spatial order to establish and maintain the patriarchal ritual social order. This hierarchy was reinforced through the "central axis" in macro layout, transforming architectural scale into a spatial projection of the political order that "All under heaven is the king's land". China's unique philosophical cosmology – the "unity of man and nature" – is also embedded within the scale system. The practice of converting astronomical calendars into architectural

12 | Ancient Chinese painting about furniture.

“ Multi-dimensional concept of 'scale' is the key to understanding traditional Chinese architecture from technical practice to cultural expression.

²⁰ Wen, Zhang Wu Zhi (*Records of Superfluous Things*).

²¹ Li, Annotated *Yingzao Fashi*, cit.

²² Laozi, *Dao De Jing*.

²³ Wen, Zhang Wu Zhi (*Records of Superfluous Things*).

²⁴ Liang, Lin, *Miscellaneous Notes on Architecture in the Suburbs*.

²⁵ Li, Annotated *Yingzao Fashi*, cit.

²⁶ Wu, *Lu Ban Jing* (*Lu Ban's Classic*).

²⁷ Li, Annotated *Yingzao Fashi*, cit.

²⁸ Ibid.

²⁹ Ji, *Yuan Ye* (*The Craft of Gardens*).

scales was already institutionalised in the *Kaogongji*: «When craftsmen plan a state, it is nine li square with three gates on each side» – where *nine li* corresponds to the "Nine Provinces" and "three gates" symbolize the "Three Lights" (sun, moon, stars). By transforming abstract cosmological concepts into measurable architectural elements, a scale system of "symbolizing heaven through numbers" was formed. The essence of the modular system in architectural scales also embodies practical rationality. By converting dimensions of beams, columns, brackets, and other components into multiples of *Cai*, *Qi*, and *Fen*, standardised production and on-site assembly of components were achieved, enabling craftsmen to quickly calculate all component dimensions based on a single component's size – greatly improving construction efficiency and shortening construction cycles. Ancient literati aesthetics also uniquely shaped architectural scales by seeking profound artistic conception within geometric order. This mutable thinking elevates micro-scale from physical measurement to emotional experience, embodying that "unity of man and nature" is not merely a cosmological projection but a poetic expression of spiritual dwelling.

The four driving forces – social politics, philosophical cosmology, practical rationality, and literati aesthetics – do not exist in isolation. Instead, they intertwine through the three hierarchical scales, ultimately shaping the built environment embodying the "unity of man and nature."

Conclusion

Through systematic investigation of the traditional Chinese architectural scale system, this study reveals its complete hierarchical system from macro to micro, from sacred to secular, and from institutional to artistic conception. This system transforms cosmology, social order, and humanistic experience into physical space, and is not an isolated technical specification.

At the macro scale level, the modular grid system exemplified by the Forbidden City constructs spatial coding through *zhang-chi* units, translating ritual requirements into measurable architectural language. The meso-scale modular system embodies the balance between technical rationality and artistic expression – by converting large

wooden components into multiples of basic modules, it achieves the unity of standardised prefabrication and artistic diversity. The micro scale reveals how "human body modules" shape spatial experience: through the variability of *jian*, furniture dimensions, and "view-borrowing" techniques, external cosmic order is transformed into internal life experience. The cultural logic permeating the three levels presents an isomorphic relationship of "cosmos-society-individual," constructing the cognitive framework that "architecture is a microcosmic epitome of the universe". This wisdom of transforming abstract concepts into concrete scales constitutes the most original characteristic of the traditional Chinese architectural system. Liang Sicheng pointed out in *A Pictorial History of Chinese Architecture* that "Chinese architecture has its own grammar"³⁰, and the core of this "grammar" lies precisely in the transformation rules of scale across different levels.

The *scale hierarchy* analytical framework constructed in this study provides a new paradigm for understanding non-Western architectural systems. Western scholarship has long taken the classical order proportion system as a reference, while China's three-dimensional scale model of "modularity-symbolism-experience" demonstrates the diverse possibilities of architectural proportion theory, filling the gap in non-Western architectural proportion theory. Unlike Western "numerical ratio aesthetics", the scale logic of traditional Chinese architecture exhibits characteristics of "relational aesthetics", strengthening ritual order through spatial narrative and providing an important case for comparative architectural history.

In today's era of industrialised construction, the traditional Chinese scale system can offer valuable ideological resources for infusing humanistic spirit and regional characteristics: in terms of modular application, the principle of "seeking variation within unity" in the *Cai-fen system* may provide ideas for resolving contradictions between industrialization and regionalism; in terms of spatial flexibility, the scale control of "changing views with each step" in *Jiangnan* gardens has direct reference significance for elastic space design in high-density cities; in terms of cultural identity, the method of transforming abstract values into per-

ceivable scales in traditional architecture provides ideas for carrying cultural memory.

The limitations of this study lie in its emphasis on official architecture cases, with insufficient attention to scale variations in local folk architecture. While it can explain the logic of official buildings such as the Forbidden City and Foguang Temple, it has not yet conducted in-depth exploration of the rules governing regional architectures like *Fujian Tulou* and *Shaanxi Yaodong* (cave dwellings), which may possess scale regulations different from the official system.

Future research can be expanded in two aspects: first, conducting comparative studies on local architectural scales, establishing an "official-folk" scale database, and analyzing differences in modular selection and proportion control across regions; second, applying digital technologies, using 3D laser scanning and parametric analysis tools to quantify the "empirical" proportions of traditional architecture, and establishing precise scale control models to provide new methodologies for traditional architectural research.

The essence of the traditional Chinese architectural scale system is a "living tradition", which is not only a crystallization of past wisdom but can also provide nourishment for future architecture through creative transformation. In today's era of intertwined globalization and regionalism, this wisdom of transforming cosmology, social order, and humanistic experience into spatial scales represents an important path for contemporary architecture to reclaim its cultural roots.

³⁰ Liang, *A Pictorial History of Chinese Architecture*.

Bibliography

- N. Pevsner, *Outline of European Architecture* (1942), translated by L. Y. Yin, Y. J. Zhang, Shandong Pictorial Publishing House, Jinan 2011.
- S. C. Liang, *A Pictorial History of Chinese Architecture* (1984), translated by C. J. Liang, SDX Joint Publishing Company, Beijing 2023.
- N. S. Steinhardt, *Chinese Architecture*, New World Press, Beijing 2002.
- M. D. Chen, *Study on the Timberwork System of Yingzao Fashi*, Cultural Relics Publishing House, Beijing 1993.
- X. N. Fu, *Research on Ancient Chinese Urban Planning, Architectural Complex Layout and Architectural Design Methods*, vol. I, China Architecture & Building Press, Beijing 2001.
- G. X. Pan, *History of Chinese Architecture*, China Architecture & Building Press, Beijing 2009.
- Y. R. Sun, *Kaogong Ji*, compiled by Q. C. Zou, People's Publishing House, Beijing 2020.
- R. Q. Yuan, *Collected Studies on the Collation of "Da Ming Hui Dian"*, Zhengzhou University Press, Zhengzhou 2021.
- B. D. Han, *Lectures on Chinese Architectural Culture*, SDX Joint Publishing Company, Beijing 2020.
- Z. Y. Yu, *The Palaces of the Forbidden City*, People's Fine Arts Publishing House, Beijing 2014.
- J. Li, *Annotated Yingzao Fashi*, annotated by S. C. Liang, China Architecture & Building Press, Beijing 1983.
- H. Y. Lin, *On Several Characteristics of Chinese Architecture*, in *Journal of the Society for the Study of Chinese Architecture*, III, 1932, 1, pp. 1-17.
- AA. VV. *Institute for the History of Natural Sciences, Chinese Academy of Sciences (eds)*, *History of Ancient Chinese Architectural Technology*, Science Press, Beijing 2016.
- S. C. Liang, *History of Chinese Architecture*, Baihua Literature and Art Publishing House, Tianjin 2005.
- Z. L. Wang, *Two Reconstructions of the Hall of Supreme Harmony in the Qing Dynasty*, in *Palace Museum Journal*, 2020, 350, pp. 323-331.
- S. C. Liang, *Study on the Guanyinge and Shanmen of Dule Temple in Jixian*, in *Journal of the Society for the Study of Chinese Architecture*, III, 1932, 2, pp. 7-90.
- Laozi, *Dao De Jing*, compiled by T. T. You, Popular Literature Publishing House, Beijing 2009.
- Z. H. Wen, *Zhang Wu Zhi (Records of Superfluous Things)*, Zhonghua Book Company, Beijing 1985.
- S. C. Liang, H. Y. Lin, *Miscellaneous Notes on Architecture in the Suburbs*, in *Journal of the Society for the Study of Chinese Architecture*, III, 1932, 4, pp. 98-110.
- R. Wu, *Lu Ban Jing (Lu Ban's Classic)*, Chinese Language Press, Beijing 2007.
- C. Ji, *Yuan Ye (The Craft of Gardens)*, Urban Construction Publishing House, 1957.
- D. Z. Liu, *Classical Gardens of Suzhou*, China Architecture & Building Press, Beijing 2005.

Citation: F. Colonnese, *La Digitalizzazione dei modelli al vero nel processo progettuale di Christian Kerez*, in *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 88-95.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3716>

Received: October, 2025

Accepted: November, 2025

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Colonnese F., this is an open access peer-reviewed article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

LA DIGITALIZZAZIONE DEI MODELLI AL VERO NEL PROCESSO PROGETTUALE DI CHRISTIAN KEREZ

Full-scale models digitalisation in Christian Kerez's design process

FABIO COLONNESE

Sapienza University of Rome
fabio.colonnese@uniroma1.it

The use of full-scale models, as well as the impact they have had and may have on the many stakeholders involved in the architectural design process, constitute a little-explored field of inquiry. Unfortunately, these models quickly outlive their usefulness and, due to their size, are invariably destroyed after use. Their fate has inevitably produced a historiographical problem, and it is often difficult not only to assess their role in the design process but even to verify their actual existence, especially in historical architecture. The advent of digital technology seems to offer a different fate to these artifacts. Today, it is possible to record not only their three-dimensional form but also any variations and transformations. These digital doubles can be created both to enrich the documentation of the design process, leaving historians the task of assessing their role, and to enrich the process itself with novel analogue-digital interactions and hybridisations. This is the case of Swiss architect Christian Kerez, who is used to assign models a central role in the creative process. By analysing some of the full-scale models produced by his design team over the last twelve years, this paper not only describes their roles in the design process but also discuss their agency on the office space and the design team.

Keywords: Full-scale model, Mock-up, Christian Kerez, Digitisation, Approximation.

Introduzione

Secondo l'architetto e critico belga Christoph Van Gerrewey, «in un mondo ideale, un architetto erigerebbe una dozzina di edifici diversi come fase intermedia del processo di progettazione, dopo di che, in accordo con il cliente, tutti gli edifici tranne il migliore o il più idoneo, sarebbero distrutti. Durante la costruzione, è impossibile (o molto difficile) ricominciare da capo, che è poi il motivo per cui esistono i modelli architettonici»¹. Il «mondo ideale» di Van Gerrewey è una iperbole che indirettamente ricorda non solo la complessità del processo architettonico, che impedisce all'architetto di controllare nel dettaglio la traduzione materiale delle sue idee, ma anche la condanna dell'architetto a non poter lavorare direttamente sull'opera di sua creazione a doversi, a differenza di pittore e scul-

tore, sempre affidare ad altri per vederla realizzare. Da qui il ruolo mediatico, se non 'medianico', del disegno, come interfaccia visiva tra l'opera e i soggetti coinvolti: una interfaccia che però è anch'essa segnata dai limiti connaturati alla sua bidimensionalità e convenzionalità. I modelli fisici costituiscono non solo un tentativo di superare tali limiti ma anche l'opportunità, seppur parziale, per l'architetto di costruire direttamente la sua opera (e tentare quindi di contraddirre le affermazioni di Robin Evans)². Il passaggio successivo verso l'architetto-sculptore-operaio è costituito da quell'ambigua categoria di manufatti che sono definiti modelli al vero o al naturale, pessso copie di manufatti esistenti³ riproduzioni parziali in scala 1:1 degli elementi più critici o controversi della proposta progettuale.⁴ Al di là delle variabili legate alla sotto-categoria a cui appartengono, essi

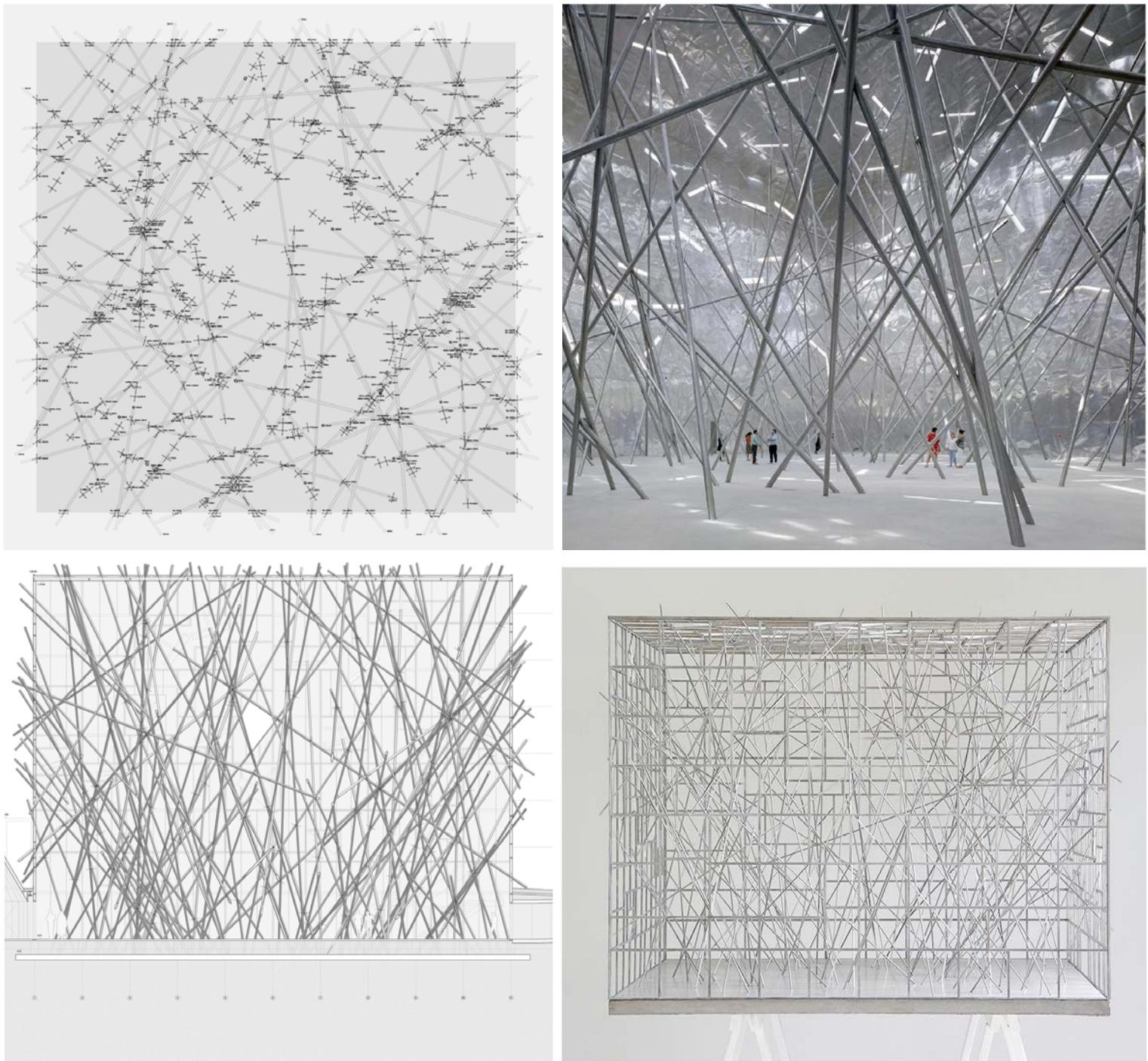
¹ Van Gerrewey, "What are men to rocks and mountains?", p. 31.

² Evans, *Traduzioni*, p. 44.

³ Per chiarimenti, si rimanda a Ricci, *Il concetto di 'copia' in architettura*.

⁴ Cfr. Smith, *Architectural Model*; Dunn, *Architectural Modelmaking*, pp. 142-147; Mindrup, *The Architectural Model*; Gelpi, *The architecture of full scale mock-up*; Colonnese, *Popping-up Le Corbusier*, pp. 102-120; Eidenbenz, *Lloyd's 1:1*; Colonnese, 'Tear it down!'; Colonnese, Grieco, *Modelli e modelli a grandezza naturale*; Conforti, Colonnese, D'Amelio, Grieco, *Designing in Real Scale*; Conforti, Colonnese, D'Amelio, Grieco, *The Critical Agency of Full-size Models*.

⁵ Nonostante l'attenzione critica verso i modelli sul finire del secolo scorso (Hubert, *The Ruins of Representation*; Guillerme, *Il modello*; Millon, *I modelli*) e le monografie degli ultimi vent'anni (Sardo, *La figurazione plastica*; Klinkenberg, *Compressed Meanings*; Barlozzini, *Il modello in architettura*; De Venuto, Tupputi, *Il modello come sineddoche*), le peculiarità dei modelli al vero restano poco studiate. In ambito di Dottorato di Ricerca, segnalo le ricerche tutt'ora in corso di Nicolás Martín Díaz presso il Dep. de Proyectos Arquitectónicos Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, a partire dalla sua tesi di master Los modelos son rentables: cultura y mercantilización del mock-up arquitectónico (2023, tutor Silvia



1 | Christian Kerez, Padiglione del Bahrain, 2019: pianta del soffitto; sezione; vista dell'interno; plastico (Kerez, Padiglione del Regno del Bahrain).

offrono non solo l'impagabile opportunità di verificare elementi costruttivi e funzionali ma anche un confronto diretto tra il corpo dell'architetto e il corpo architettonico. In questo atavico momento di misurazione della forma progettata, non più mediata dalle rappresentazioni convenzionali e semplificate in funzione della scala, si può compiere un atto conoscitivo difficilmente surrogabile con altri strumenti, che sposta la consapevolezza del progettista stesso, fino a promuovere vere e proprie epifanie dalle conseguenze difficilmente prevedibili.

A questo si aggiunge la possibilità di intervenire personalmente per modificare il manufatto stesso e riportare, a ritroso, i cambiamenti nei modelli e negli elaborati di progetto; per non parlare del potenziale comunicativo di tali manufatti, storicamente usati per rispondere sul campo alle perplessità sollevate da progetti particolarmente innovativi, soprattutto in contesti urbani o naturalistici fragili e preziosi al tempo stesso. L'uso di modelli al vero, anche nella estrema varietà di oggetti che rispondono a questa definizione, e le ricadute



che ha avuto e può avere sui tanti soggetti coinvolti nel processo di progettazione architettonica, resta un campo di indagine poco frequentato⁵. La ragione principale è semplice: si tratta di simulacri che esauriscono rapidamente il loro ruolo di 'consulente straordinario' e che quindi sono stati e vengono ancora oggi immancabilmente distrutti dopo l'uso o ridotti a pezzi a causa dell'oggettiva difficoltà di conservare manufatti dalle dimensioni ingombranti per di più realizzati spesso con materiali effimeri.

Il destino di questo genere di modelli ha inevitabilmente prodotto un problema storiografico. La quasi totale assenza di modelli al vero negli archivi e le scarse e ambigue testimonianze sul loro ruolo in particolari situazioni hanno generalmente costretto gli studiosi a tenerli al margine delle indagini o ad ignorarli completamente. In qualche caso, i modelli sono invece evocati come fantasmi utili a giustificare radicali e altrimenti inspiegabili cambi di direzione nell'iter progettuale: una soluzione che appare particolarmente calzante per quegli architetti che, come Gian Lorenzo Bernini, si dedicavano alle architetture effimere e alle scenografie teatrali e avevano quindi una certa facilità ad allestire (o far allestire) modelli al naturale in legno e stoffa, ad esempio⁶.

Nel frattempo, la prototipazione rapida fornita dalle macchine a controllo numerico ha semplificato di molto la costruzione di modelli al vero, quanto meno la realizzazione di pezzi da assemblare assieme a formare porzioni di architetture. Ma le pratiche digitali nel campo del rilevamento e della modellazione sembrano offrire oggi un destino diverso anche ai modelli al vero tradizionali. È diventato infatti possibile registrare non solo la forma tridimensionale ma anche eventuali varianti e trasformazioni. Questi doppi digitali si possono realizzare sia allo scopo di arricchire la documentazione del processo progettuale, lasciando agli storici il compito di valutarne il ruolo, sia allo scopo di arricchire il processo stesso con inedite interazioni e ibridazioni analogico-digitali. È questo il caso dell'architetto svizzero Christian Kerez, che assegna un ruolo centrale ai modelli nel processo creativo, non solo in fase di definizione e comunicazione ma anche di concezione. L'esperienza diretta di alcune sue opere, alcune sue interviste e considerazioni offerte dalla letteratura secondaria sull'autore fanno emergere una sensibilità particolare nei confronti di questi simulacri progettuali.



2 | Christian Kerez, Mockup dei tubolari e della facciata del Padiglione del Bahrain nell'ufficio, Zurigo, 2019 (Kerez, Padiglione del Regno del Bahrain).

Colmenares Vilata) e quello, tutto dedicato al tema della facciata, di Lorenzo Renzullo presso il Dip. Architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, dal titolo *Il mock-up come strumento di progetto e verifica costruttiva*, tutors Giovanni Mutari e Alfonso Femia. Ringrazio entrambi per aver condiviso i primi esiti delle loro ricerche.

⁶ Tra i primi ad affrontare la questione è Bauer, Bernini.

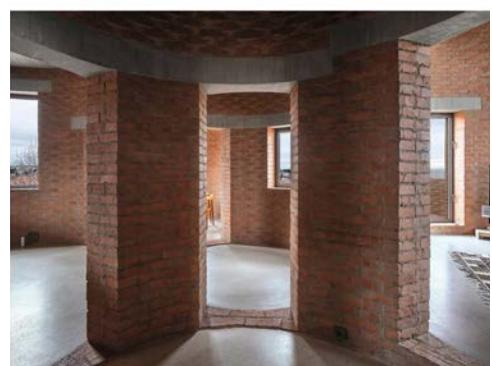
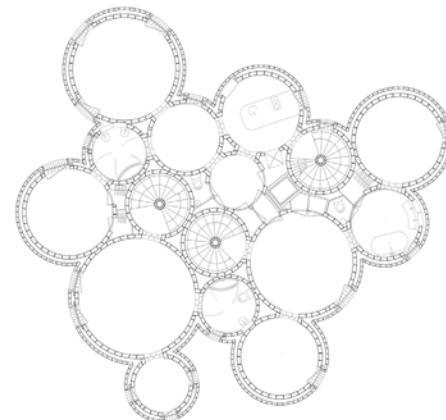
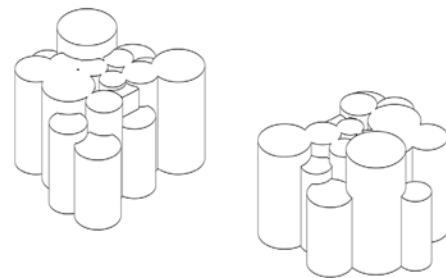
I modelli come strumento di interazione analogico-digitale

Come confessa lo stesso Kerez: «per me un modello è come un "oggetto del desiderio". Mi aiuta a comprendere ciò che voglio e se credo in qualcosa oppure no»⁷. Questo atteggiamento è ben illustrato dai *concept models* realizzati con *objets trouvés* naturali, come rocce o rami, o artificiali ma elementari, come elementi di cartone o polistirolo con particolari texture superficiali⁸. È il caso, ad esempio, dei modelli elaborati per la prima fase di concorso di un museo in Cina, composti dalla libera associazione di forme pseudo-naturali. Essi hanno il compito non solo di favorire l'integrazione col vicino parco ma anche, indirettamente, di sfuggire al rischio di ripetere processi ed esiti già esplorati in precedenti progetti. Il modello, in questa fase, ha quindi anche il compito di sorprendere e di far "deragliare" l'iter progettuale. Qualcosa di simile si può dire riguardo ai suoi modelli al vero, concepiti spesso proprio per offrire una esperienza corporea inedita. Il caso del progetto del Padiglione del Regno del Bahrain per l'Expo 2020 a Dubai – un enorme parallelepipedo rivestito di alluminio e trafigto da numerosi tubolari metallici inclinati – è significativo (fig. 1). «Per comprendere se i tubolari metallici di 12 cm avrebbero potuto essere percepiti – come noi volevamo – alla stregua di elementi estremamente fragili, in uno spazio di 1.000 mq con un'altezza di 24 metri, abbiamo costruito un piccolo frammento dello spazio reale all'interno del nostro ufficio. Abbiamo anche realizzato un modello dietro al nostro ufficio, mostrando un frammento dello spazio interno del padiglione, dal momento che quest'ultimo aveva, per caso, all'incirca la stessa altezza del cortile del nostro ufficio»⁹. Questi *mock-up* sono quindi serviti a stabilire il diametro degli elementi tubolari e dello spessore delle lastre interne ed esterne, prima di procedere a un confronto con le imprese di costruzioni (Fig. 2)¹⁰. Ma ovviamente l'esperienza di quei frammenti di progetto da parte degli architetti ha avuto molte altri effetti difficilmente misurabili.

Anche il progetto per Casa Okamura a Praga (2014-2021), composta di tre ap-

partamenti separati, è stato condotto attraverso l'uso di una quantità di schizzi e plastici di varie dimensioni, necessari a definire una forma "a canne d'organo" mediante l'assemblaggio di una serie di volumi cilindrici basati su circonferenze di tre dimensioni differenti¹¹ (fig. 3). In questo caso, il *mock-up* a scala naturale di tre cilindri – uno grande, uno medio e uno piccolo – è stato realizzato direttamente negli spazi dell'ufficio dai componenti del team di progettazione (Fig. 4). I tre cilindri sono stati quindi arredati e utilizzati per testare fisicamente lo spazio interno e le opportunità funzionali offerte dalle superfici cilindriche. Le variazioni del modello indotte dall'esperienza corporea diretta sono state registrate attraverso una scansione tridimensionale dell'intero ambiente e ricondotte quindi all'interno del modello digitale con cui si stava gestendo lo sviluppo formale del progetto. Le immagini rilasciate da Kerez mostrano sia il modello sulla parete di fondo dell'ufficio sia la nuvola di punti ricavata dalla scansione, che è servita non solo per ottimizzare le dimensioni del progetto ma anche per mettere in connessione e trasferire, in qualche modo, l'esperienza fisica dello spazio di progetto con e nel modello digitale. In fondo, si tratta di una estensione dell'approccio da scultore inaugurato da Frank Gehry nei primi anni Novanta del secolo scorso, incentrato, nel suo caso, nella traduzione di piccoli modelli multimaterici lavorati a mano in modelli digitali basati sulle loro scansioni laser.

Osservando retrospettivamente il lavoro di Kerez, il preludio a questa ricerca di interazione tra modello al naturale e modello digitale si trova nel progetto *Incidental Space*, presentato nel Padiglione svizzero alla Biennale di Venezia del 2016. Si tratta di un gigantesco involucro concepito per riprodurre una sorta di grotta (Fig. 5). Qui si ritrova soprattutto il desiderio di esplopare la forma libera o meglio l'informe, per ricordare una categoria cara a Paul Valéry e Gilles Deleuze¹², che rimanda ad un mondo naturale privo di gerarchie e accesezioni antropiche e al suo atavico mistero. *Incidental Space* sottolinea la centralità dello spazio architettonico e suggerisce l'opportunità formale per una rinascita linguistica e spaziale al di fuori dei modelli e dei codici contemporanei, nella scia di



3 | Christian Kerez, Casa Okamura, Praga, 2014-2019: studi volumetrici; pianta del piano primo; viste dell'esterno e dell'interno (Kerez, House Okamura).

⁷ Kerez, *Objects of desire*, p. 42.

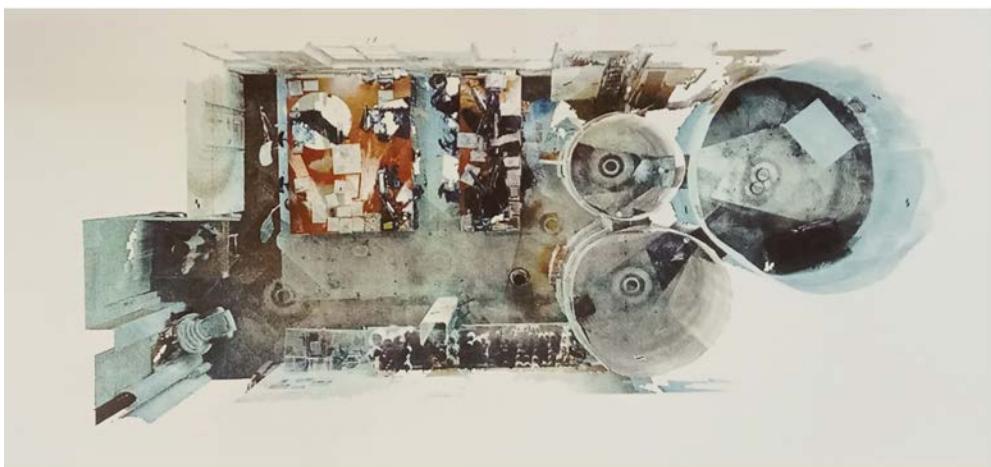
⁸ Cfr. Colonnese, *Mapping the Objet Trouvé*.

⁹ Kerez, *Padiglione del Regno del Bahrain*, p. 38. Ringrazio Alberto Bologna per questo suggerimento.

¹⁰ Ivi, p. 39.

¹¹ Cfr. Kerez, *House Okamura*.

¹² Valery, *Degas danza disegno*, pp. 62-65.



una ricerca che affonda le sue radici nel secondo dopoguerra, tra sguardi nostalgici all'habitat troglodita e un brutalismo che approderà al minimalismo. Si tratta di una riflessione che coinvolge anche il cosiddetto "spazio generico", che non è direttamente definito dall'architetto ma si pone piuttosto a disposizione della comunità di utenti, pronto ad essere modificato in relazione alle necessità che sorgono quando un edificio è finito.

Con *Incidental Space*, Kerez persegue la costruzione di uno spazio indecifrabile attraverso i codici architettonici, che non mette in mostra forme o spazi assimilati dalla nostra cultura e che rifugge programmaticamente lo status di rappresentazione che invariabilmente lega "intertestualmente" gli edifici del presente a quelli del passato in un'interminabile catena di rimandi. Come afferma Kerez stesso: «Il progetto realizzato doveva essere uno

spazio senza alcun riferimento ad altri spazi, privo di intenti propagandistici o pedagogici. Uno spazio al di là di ogni comprensione razionale. Uno spazio che si può sperimentare, apprezzare o interrogare solo visitando la Biennale di Architettura di Venezia»¹³. Si trattava infatti di uno spazio di circa 20mq che si poteva non solo osservare a tuttotondo, nella ambigua relazione tra la cavernosa concavità interna e la nuvolosa convessità esterna, ma anche esplorare arrampicandosi all'interno, seppur con una certa attenzione. Ed è proprio l'esplorazione e le sensazioni che il corpo instabile restituiva alla mente del visitatore che possono dare significato a ciò che sfugge ogni accezione figurativa e che lo sguardo non riesce a classificare.

4 | Christian Kerez, *Nuvola di punti e viste dall'esterno e dall'interno del modello 1:1 di tre sale di Casa Okamura, Zurigo 2014-2019* (Kerez, *House Okamura*).

¹³ Kerez, *Incidental Space*, p. 120.

“Quando l’ambiente di lavoro cessa di essere un riferimento fisso, una sorta di paesaggio immutabile che diviene col tempo invisibile, tale ambiente diviene modello a sua volta.

Considerazioni

Come testimoniato dai materiali esposti nella mostra allestita al Politecnico di Zurigo negli stessi giorni della Biennale, l’impresa di *Incidental Space* è stata realizzata dopo innumerevoli studi e test preliminari condotti assieme agli studenti del locale Dipartimento di architettura, dove lo stesso Kerez insegnava. Il titolo stesso dell’opera rimanda ironicamente ai 200 e più modelli realizzati prima di trovare la forma più idonea: plastiche che sono stati realizzati manualmente da calchi incisi a mano o meccanicamente con stampanti 3D e frese CNC e che sono stati rilevati tramite scansioni laser e fotografiche e scalati per dare vita a nuovi modelli fisi- ci e digitali, combinando insieme attività artigianali e processi digitali. Perfino la struttura finale, composta di 250 elementi spruzzati di calcestruzzo ‘fibrorinforzato’ per uno spessore di circa 2 cm e assemblati insieme direttamente nel padiglione svizzero per dissimulare tanto il processo ideativo quanto quello costruttivo, è da considerarsi, in qualche misura, un modello al vero che, nell’assenza di funzioni e gerarchie formali evidenti, continua a catalizzare il pensiero progettuale e a suggerire ulteriori possibili modifiche o estensioni. In questo senso, trattandosi di un’opera destinata al pubblico, non si trattava di costruire un modello per sperimentare forme legate ad uno specifico progetto ma di allestire una struttura in grado di ospitare i visitatori, almeno per la durata della Biennale.

Una simile esperienza ha costituito un’occasione fondamentale per acquisire pratica con gli strumenti per il rilevamento e la prototipazione digitale proprio in un ambito, quello del rilevamento di strutture geologiche (o pseudo-geologiche) morfologicamente complesse, in cui l’introduzione del laser-scanner ha realmente fornito un avanzamento qualitativo rivoluzionario. Soprattutto, ha offerto l’occasione di sperimentare molteplici connessioni operative tra analogico e digitale in grado di esaltare nel progetto l’esperienza corporea dello spazio. Il modello al vero si è rivelato un’interfaccia corporea e sensibile nella definizione formale del progetto che procede prevalentemente in ambiente digitale. Come è evidente, questa meto-

dologia permette di registrare non solo la forma ma anche il ruolo svolto da simili modelli nelle fasi del progetto; tuttavia, le sue conseguenze si estendono anche su altri livelli. La costruzione del modello parziale 1:1 di Casa Okamura ha coinvolto lo spazio fisico dell’ufficio e verrebbe da chiedersi se, incidentalmente, lo spazio a disposizione (soprattutto l’altezza del soffitto) non abbia in qualche modo influenzato il dimensionamento dei cilindri. Parallelamente, tale costruzione ha coinvolto i membri dello studio in una attività collettiva dai risvolti ludici e artigianali oltre che scientifici. Questo ha certamente consolidato il senso di appartenenza e ha promosso lo sviluppo di una specifica sensibilità corporea nei confronti delle forme del progetto (ma il discorso si potrebbe estendere alla luce, alla texture delle superfici, ecc). La scansione del modello (e dello spazio stesso dell’ufficio, con tutte le sue suppellettili) ha permesso ai progettisti non solo una più profonda consapevolezza della scala di intervento ma anche di ‘progettare’ la loro sensibilità nell’ambiente di lavoro digitale.

Indirettamente, tale esperienza ha trasformato lo spazio dell’ufficio in un grande laboratorio. La costruzione dei cilindri in scala 1:1 ha richiesto lo spostamento e la riorganizzazione degli arredi e delle postazioni di lavoro. Normalmente, l’organizzazione dello spazio di lavoro risponde a criteri di efficienza che si stabiliscono, spesso in maniera inconsapevole, a partire dai criteri dettati dalla linea di produzione adottata. Quando l’ambiente di lavoro cessa di essere un riferimento fisso, una sorta di paesaggio immutabile che diviene col tempo invisibile, tale ambiente diviene modello a sua volta. Può quindi trasformarsi per rispondere a nuovi approcci progettuali o viceversa, offrire stimoli esso stesso per nuove relazioni e modi di lavorare, come suggeriscono autori assai diversi come il paesaggista Laurie Olin¹⁴ o lo “scienziato” Ruggiero Pierantoni¹⁵. Un tale ripensamento collettivo dell’ambiente incarna, non solo metaforicamente, la ricerca di nuovi approcci e metodologie progettuali, tenacemente perseguita da Kerez negli anni. È noto come l’ordine mentale di un individuo si rifletta nell’ordine con cui organizza il proprio ambiente e come

¹⁴ Cfr. Olin, *Diseño = Design*.

¹⁵ Cfr. Pierantoni, *Verità a bassissima definizione*, pp. 199-211.



riordinare questo possa servire anche a stabilire nuove gerarchie mentali e operative; e ovviamente l'opportunità di tradurre lo spazio dell'ufficio in un modello digitale – e quindi di vederlo in scala nello spazio digitale e assumere una distanza critica da esso – ha promosso la sua trasformazione.

Un ultimo aspetto riguarda il rapporto tra approssimazione e precisione nel processo progettuale. L'idea progettuale, il "disegno interno" per dirla con Federico Zuccari, abbandona la mente e le sue astrazioni e prende forma proprio in virtù dell'approssimazione semantica e grafica offerta dalle parole e dagli incerti segni di uno schizzo, capaci di esprimere una molteplicità di significati al proprio autore. Si tratta quindi di un momento in cui proprio la vaghezza e l'incertezza consentono la prima traduzione grafica dell'idea. Nel suo divenire "disegno esterno", figurazione progettuale visibile a disposizione di tutti, inizia il lento processo verso la definizione proporzionale e dimensionale della forma che si affrancia dalla approssimazione per abbracciare la precisione e che consente la sua traduzione digitale e tutti i successivi passaggi oggi scanditi da macchine e software. Tuttavia, il processo progettuale sperimentato da Kerez prolunga artificiosamente i vantaggi dell'appros-

simazione o piuttosto ne innesta alcuni episodi lungo il percorso.

Così i modelli al vero, al di là delle loro funzioni consolidate, consentono un'interazione diretta tra il corpo e il progetto al di fuori della precisione, possibile proprio in virtù della potenza e affidabilità dei processi di digitalizzazione, che conducono rapidamente tutto al regno della misura esatta. Non si tratta ovviamente di una novità assoluta quanto piuttosto di un'estensione di una metodologia inaugurata da Gehry decenni fa che sembra però rispondere ad una necessità attuale scaturita forse da un eccessivo ricorso al digitale e dalla graduale perdita di un bagaglio di strumenti di analisi e interpretazione dell'architettura costruita che prima erano una parte integrante della pratica del rilievo architettonico.

La stessa astrazione sembra peraltro emergere proprio dalle opere di Kerez qui menzionate che, se paragonate all'approccio di scultore-architetto di Gehry e alla sua capacità di interpretare comunque le sue composizioni in chiave tetrica, mettendo in scena il gioco delle forze invisibili che attraversano le sue strutture, rivelano invece una attitudine all'impossibile, alle composizioni stereometriche che celano non solo i processi genetici e costruttivi ma anche quelli tettonici. Ma questo è materiale per prossime indagini.

5 | Christian Kerez, *Incidental Space, Padiglione Svizzero, Biennale di Venezia 2016* (foto dell'autore).

Bibliografia

- G. Bauer, *Bernini e i "modelli in grande"*, in M. Fagiolo, G. Spagnesi (a cura di), *Gian Lorenzo Bernini architetto e l'architettura europea del Sei-Settecento*, vol. I, Istituto della Encyclopedie Italiana-Treccani, Roma 1981, pp. 279-290.
- P. Barlozzini, *Il modello in architettura. Uno strumento di rappresentazione tanto arcaico quanto attuale*, Aracne, Roma 2013.
- F. Colonnese, *Mapping the Objet Trouvé as a model, between analogical and digital approaches*, in *Expresión Gráfica Arquitectónica*, XXV, 2020, 40, pp. 156-167.
- F. Colonnese, *Popping-up Le Corbusier. Modelli critici per le mostre di architettura*, in G. Capurso, L. Grieco (a cura di), *Strutture Pop-up per la Cultura. Analisi e documentazione per la sostenibilità del futuro*, Gangemi, Roma 2025, pp. 41-50.
- F. Colonnese, 'Tear it down!' Agency and Afterlife of Full-size Models, in F. Goffi (a cura di), *The Routledge Companion to Architectural Drawings and Models: From Translating to Archiving, Collecting and Displaying*, Routledge, Londra 2022, pp. 321-333.
- F. Colonnese, L. Grieco, *Modani e modelli a grandezza naturale nei cantieri barocchi*, in S. Roberto, A. Roca De Amicis, S. Sturm (a cura di), *Disegno Barocco. Tecniche, prassi e teorie nell'architettura romana del Seicento*, Artemide, Roma 2025, pp. 238-251.
- C. Conforti, F. Colonnese, M. G. D'Amelio, L. Grieco, *Designing in Real Scale: The Practice and Afterlife of Full-Size Architectural Models from Renaissance to Fascist Italy*, in *Architecture and Culture*, IX, 2021, 3, pp. 442-463.
- C. Conforti, F. Colonnese, M. G. D'Amelio, L. Grieco, *The Critical Agency of Full-size Models, from Michelangelo and Bernini to the Picturesque Garden*, in *Architectural Theory Review*, XXIV, 2020, 3, pp. 307-326.
- T. De Ruyter, *Derrière le voile, la promesse*, in *L'Architecture d'Aujourd'hui*, 2004, 354, pp. 54-59.
- T. De Venuto, G. Tupputi, *Il modello come sineddoche: spazio, struttura, forma per un'idea di architettura collettiva*, Libria, Melfi 2022.
- N. Dunn, *The Ecology of the Architectural Model*, Peter Lang, Oxford 2007. N. Dunn, *Architectural Modelmaking*, Laurence King, Londra 2010.
- R. Evans, *Traduzioni dal disegno all'edificio*, in Casabella, 1986, 530, pp. 36-43.
- J. Floris, A. Holtrop, H. Teeerds, K. de Konink, B. Princen (a cura di), *Models/Maquettes*, OASE, 2012, 84.
- N. Gelpi, *The architecture of full scale mock-up*, Routledge, Londra 2020.
- J. Guillerme, *Il modello nella regola del discorso scientifico*, in Rassegna, 1987, 32, pp. 29-37.
- C. Hubert, The Ruins of Representation, in K. Frampton, S. Kolbowski (eds.), *Idea as Model*, Rizzoli, New York 1981, pp. 16-27.
- S. Jankov, *Full-Scale Architectural Models*, in Post-Yugoslav Art Practices, in Interkulturnost, XVI, 2018, pp. 57-66.
- C. Kerez, *Incidental Space*, in A+U, 2022, 621, pp. 118-150.
- C. Kerez, *House Okamura*, in Casabella, 2023, 941, pp. 68-95.
- C. Kerez, *Objects of desire*, in A+U, 2014, 522 pp. 40-45.
- C. Kerez, *Padiglione del Regno del Bahrain, Expo 2020, Dubai*, Archi, 2020, 6, pp. 36-39.
- E. S. Klinkenberg, *Compressed Meanings. The Donor's Model in Medieval Art to around 1300. Origin, Spread and Significance of an Architectural Image in the Realm of Tension between Tradition and Likeness*, Brepols, Bruxelles 2009.
- C. Lange, Robbrecht en Daem Architecten, Mies 1:1 *The golf club Projekt*, Walther König, Colonia 2014.
- H. A. Millon, *I modelli architettonici nel Rinascimento*, in H. A. Millon, V. Magnago Lampugnani (a cura di), *Rinascimento da Brunelleschi a Michelangelo. La rappresentazione dell'Architettura*, Bompiani, Milano 1994, pp. 19-74.
- M. Mindrup, *The Architectural Model: Histories of the Miniature and the Prototype, the Exemplar and the Muse*, MIT Press, Cambridge 2019.
- M. Morris, *Models: Architecture and the Miniature*, Wiley-Academy, Chichester 2006.
- L. Olin, *Disegno = Design. The Necessity of Drawing*, Conferenza, School of Architecture, University of Notre Dame (IN), 3 marzo 2021.
- R. Pierantoni, *Verità a bassissima definizione*, Einaudi, Torino 1998.
- M. Ricci (a cura di), *Il concetto di 'copia' in architettura: teoria e storia*, Preprint, 2024, 125.
- N. Sardo, *La figurazione plastica dell'architettura. Modelli e rappresentazione*, Kappa, Roma 2004
- A. C. Smith, *Architectural Model as Machine*, Routledge, Londra 2004.
- P. Valery, *Degas danza disegno*, SE, Milano 1998.
- C. Van Gerrewey, C. "What are men to rocks and mountains?": the architectural models of OMA/Rem Koolhaas, in OASE, 2011, 84, pp. 31-36.

Citation: G. K. Thekkum Kara, O. Niglio, *Semantic Metadata and Lexical Standards for Architectural Heritage Documentation*, in *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 96-103.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3893>

Received: October, 2025

Accepted: November, 2025

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Gireesh Kumar T.K., Niglio O., this is an open access peer-reviewed article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

SEMANTIC METADATA AND LEXICAL STANDARDS FOR ARCHITECTURAL HERITAGE DOCUMENTATION

GIREESH KUMAR THEKKUM KARA, OLIMPIA NIGLIO

Baranas Hindu University, University of Pavia
Corresponding author: gireesh@bhu.ac.in

Digital technologies are becoming increasingly essential for documenting, conserving, and disseminating knowledge of cultural heritage. A notable transition from traditional archival methods to advanced digital representations is evident, particularly in the context of cultural heritage data. Metadata, functioning as descriptive information, is crucial in systematically organising data generated while developing digital representations of cultural heritage structures. It consistently requires a comprehensive metadata schema to effectively display architectural structures with their contextual richness and the different technologies used. Widely adopted metadata standards provide essential descriptive metadata; however, they often lack specific fields needed to capture detailed administrative-technical data of 3D models – such as acquisition methods, geometric details, and accuracy metrics – elements crucial for assessing the authenticity and scholarly value of these digital representations. Such digital structures need precise information about the technologies and processes used in their creation to ensure accuracy and interoperability. This study examines the need for a more comprehensive metadata schema designed explicitly for 3D models of architectural heritage, emphasizing the importance of a lexical standardization approach to represent its multifaceted nature. 3D documentation techniques, such as photogrammetry and laser scanning, produce a large volume of complex and multilayered data whose management requires structured descriptive systems. The proposed metadata schema aims to standardize the extensive volume of supporting data generated by these methodologies, thereby facilitating the creation of semantically rich metadata that enhances the accessibility and retrieval of heritage information.

Keywords: Semantic metadata, Lexical standardisation, Digital Heritage, 3D models, Heritage Informatics.

Introduction

The preservation of cultural heritage is fundamental, as it ensures the protection of the distinctive identities, knowledge systems, and traditions of communities globally. The protection of cultural heritage is increasingly recognized as a key pillar of sustainability, as cultural resources play a vital role in shaping social identity, preserving collective memory, and enhancing community resilience¹. Serving as a key preliminary action, documenting both tangible and intangible cultural heritage is essential for improving its preservation and effectively transferring knowledge to the public. However, many historic buildings lack proper preservation, documentation, and technical information due to limited funding, lack of expertise, low awareness of heritage conservation, and data accessibility.

Further, traditional methods often rely on manual documentation, which is time-consuming and susceptible to errors². Adequate documentation is crucial for conservation, especially as many structures face threats of encroachment and destruction. Cultural heritage institutions and public administrations have undertaken substantial initiatives to digitize cultural heritage sites, artifacts, and historical documents for their digital preservation. As cultural heritage has continually progressed, the approaches to conserving, preserving, and exhibiting such heritage have increasingly incorporated digital technologies in recent years. In contemporary times, digital networking has significant potential to facilitate broad and equitable access to the texts, objects, sounds, and sights that constitute our global cultural heritage³. Digital technologies redefining how we docu-

¹ Zhou, Xue, Wei, *The Emotional Foundations of Value Co-Creation in Sustainable Cultural Heritage Tourism: Insights into the Motivation–Experience–Behavior Framework*.

² Abdelalim, *Heritage Preservation Using Laser Scanning: ArchitecturalDigital Twins Using Al-Mu'izz Street as a Case Study*.

³ Green, *A View from the Top: A Special Message for Administrators of Cultural Heritage Collections*.

“ Detailed and specific information about the 3D modeling process – such as techniques used, hardware and software employed, model resolution, and accuracy – should be prioritised over purely aesthetic visual results.

ment, safeguard, and experience heritage – revealing possibilities once beyond imagination. Developing digital cultural heritage greatly enhances a nation's identity and improves resource accessibility, reaching broader and more diverse audiences. UNESCO defined digital cultural heritage as digital materials that include texts, databases, still and moving images, audio, graphics, software, and web pages, among a wide and growing range of formats. They are frequently ephemeral and require purposeful production, maintenance, and management to be retained⁴. Advances in technology have made documenting these structures and processing their data easier than ever, helping the current generation understand heritage values and aiding in their protection, monitoring, and interpretation. This allows even ordinary users to gain a deep understanding of cultural diversity without needing to visit in person. According to UNESCO's *Charter for the Preservation of Digital Heritage*, the resources encapsulating human knowledge or expression – whether cultural, educational, scientific, administrative, technical, legal, medical, or other types of information – are progressively being generated digitally or converted into digital formats from existing analogue sources⁵. Many have created portals that offer access to 3D modeling of artifacts, built environments, and social settings as part of their restoration or reconstruction efforts. These initiatives are sometimes supported by international organisations such as UNESCO and ICOMOS, as well as national public institutions and non-governmental organisations involved in cultural heritage preservation. Furthermore, such platforms increase visibility and can foster collaboration among professionals, experts, architects, researchers, and Galleries, Libraries, Archives, and Museums (GLAM) institutions, thereby improving preservation, conservation, management, and documentation processes through effective communication and the use of advanced technologies.

Digital Tools and Techniques for Architectural Heritage Documentation

Documentation of architectural heritage involves 3D modelling of geometry and management of semantic knowledge information⁶. Documentation may include drawings, photographs, images, records of alterations, architectural designs, and structural details from different periods, helping trace historical transitions. Additionally, documenting ornamentations, sculptures, tiles, vocabularies, and other decorative elements is essential. The cultural heritage sector employs a range of tools and techniques to enhance architectural preservation and revive lost splendor. Modern methods, such as digitisation, Heritage Building Information Modeling (HBIM), 3D modeling, including virtual reality (VR), augmented reality (AR), and mixed reality (MR), assist in documentation and virtual reconstruction, enabling efficient management and long-term quality control. These hybrid methodologies support the transition from static heritage record-keeping to an interactive, semantically structured digital representation⁷. These interconnected ecosystems can further enhance visitor experiences through visual displays and exploration. Creating such intelligent 3D models of cultural collections presents new challenges for GLAMs and cultural institutions, including storage, conservation, preservation, classification, and visualisation, particularly after digitisation. Providing accompanying information for these models is also vital. The processes of conserving, restoring, and reconstructing artifacts, buildings, and monuments at various stages can be documented with informatics tools to foster contextual understanding and engage users. Recording measurements, including 2D and 3D data, and making these accessible to the public enables experts to evaluate, comment on, and utilize them for educational purposes, research, business opportunities, and promoting cultural tourism. Digital representations of plans, elevations, topologies, columns, dimensions, and architectural and interior designs – whether existing or proposed – can be organised and shared more effectively with the global research community by adopting

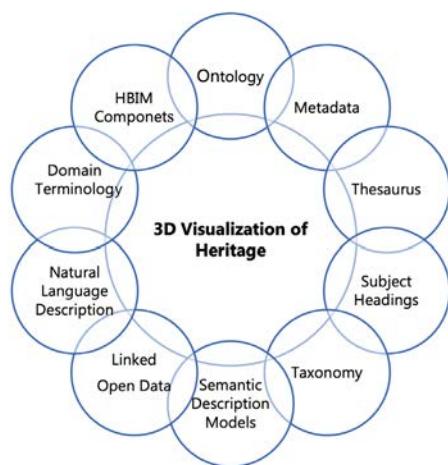
⁴ UNESCO Charter on the Preservation of the Digital Heritage 2003.

⁵ UNESCO Charter on the Preservation of the Digital Heritage, 2009.

⁶ Xiucheng, Grussenmeyer, Koehl, Macher, Murtyoso, Landes, *Review of Built Heritage Modelling: Integration of HBIM and Other Information Techniques*.

⁷ Abdelalim, *Heritage Preservation Using Laser Scanning*, cit.

⁸ Lutteroth, Kuroczyński, Bajena, *Digital 3D Reconstructions of Synagogues for an Innovative Approach on Jewish Architectural Heritage in East Central Europe*.



1 | Components of semantic annotation of a cultural heritage image.

informatics as a tool. Virtual exhibitions showcasing historic cultural heritage structures can deepen understanding of their architecture and traditions. The results of a digital 3D reconstruction, such as 3D models, should be enriched with information that allows for the identification of model accuracy and its classification, especially in terms of its constructive aspects⁸. The 3D representations should go beyond current standards of visual depiction, facilitate data integration and connections, enable shape analysis, and provide vital semantic information to support comprehensive research by both scientists and users. In recent years, semantically enriched 3D models have emerged as comprehensive virtual representations of physical assets or systems by integrating diverse data sources, including real-time sensor inputs, historical records, and simulation models⁹. Fig. 1 indicates the significant components of a 3D architectural heritage semantic model. Data standards and structured resources, such as taxonomies and thesauri, facilitate data-level standardisation but are often specific and not easily applicable across broad, heterogeneous collections¹⁰. The use of ontologies and linked data promotes interoperability and lexical standardisation, while also supporting documentation and 3D reconstruction. However, effectively utilizing metadata structures is vital in a cultural heritage system to achieve meaningful audience engagement. Implementing standardisation in technical vocabularies and descriptors enhances interoperability and facilitates the documentation of cultural heritage assets. While digital images commonly store basic metadata about their creator, date, title, and brief descriptions, the absence of contextual information about the cultural contents, the most valuable information embedded, is not explicitly annotated and utilised¹¹.

metadata to enhance understanding and ensure long-term sustainability¹². Metadata, serving as descriptive information, is essential for systematically organizing data produced during the development of digital representations of cultural heritage structures. Metadata are essential components of digital archives, defining digital and physical resources to improve discovery and interoperability. As digital objects differ in techniques, technologies, geometries, and accuracy levels, standardised frameworks are required. It conveys the meaning of data, helps locate it, enables retrieval and access, supports interpretation, specifies usage conditions, documents its history and ownership, and links it to other resources, thereby aiding in data management and control¹³. Metadata thus plays a vital role in facilitating the creation, organisation, description, identification, and access to information resources. Improving descriptive metadata is key to enhancing data management, discoverability, and standardisation.

In architectural heritage documentation, metadata is closely linked to 3D data acquisition and digital modelling processes. The methods of modeling (or 3D data acquisition) should also be documented, along with the hardware and software used¹⁴. Scanning the interiors and exteriors of architectural buildings is complicated due to their size and intricate details, which make comprehensive scanning challenging – especially when capturing complete surface, colour, and texture information in a single session. Such data collection is crucial for creating accurate 3D representations of interiors and decorative components. Technologies such as photogrammetry, laser scanning, and 360-degree panoramic cameras are now prevalent acquisition techniques for capturing high-quality textures and precise geometric data, enabling the generation of accurate 3D models of heritage structures. These data are processed into dense point clouds and textured meshes to form comprehensive digital reconstructions¹⁵. Laser scanning, in particular, is effective for digitizing sculptures; however, it requires careful selection of scanning parameters and the number of exposures¹⁶.

Metadata and Digital Representation in Architectural Heritage Documentation

Advanced digital tools and technologies effectively represent and restore historical contexts, preserve embedded knowledge, and support semantically enriched

⁹ Lutteroth, Kuroczyński, Bajena, *Digital 3D Reconstructions of Synagogues for an Innovative Approach on Jewish Architectural Heritage in East Central Europe*.

¹⁰ Belteki, Rees, Sichani, *Datafication and Cultural Heritage Collections Data Infrastructures: Critical Perspectives on Documentation, Cataloguing and Data-Sharing in Cultural Heritage Institutions*

¹¹ Abgaz, Rocha Souza, Methuku, Koch, Dorn, *A Methodology for Semantic Enrichment of Cultural Heritage Images Using Artificial Intelligence Technologies*.

¹² Miłosz, Kęsik, Montusiewicz, *Three-Dimensional Digitization of Documentation and Perpetual Preservation of Cultural Heritage Buildings at Risk of Liquidation and Loss – The Methodology and Case Study of St. Adalbert's Church in Chicago*.

¹³ Iannella, Waugh, *Metadata: enabling the Internet*.

¹⁴ Bajena, Kuroczyński, *Metadata for 3D Digital Heritage Models: In the Search of a Common Ground*.

¹⁵ Zachos, Anagnostopoulos, *Using TLS, UAV, and MR Methodologies for 3D Modelling and Historical Recreation of Religious Heritage Monuments*.

¹⁶ Miłosz, Kęsik, Montusiewicz, *Three-Dimensional Digitization of Documentation and Perpetual Preservation of Cultural Heritage Buildings at Risk of Liquidation and Loss – The Methodology and Case Study of St. Adalbert's Church in Chicago*.

Since these heritage structures often generate extensive datasets, it is important to store metadata in standardised formats for efficient retrieval, analysis, and historical interpretation. Metadata facilitates discoverability, interoperability, and long-term sustainability, emerging not merely as an organisational tool but as a mediating force in the epistemology of historical understanding¹⁷. Beyond producing photorealistic three-dimensional models, digital documentation generates a complex ecosystem of descriptive, structural, and semantic metadata that shapes how heritage is perceived and studied. The organisation and interpretation of these digital artefacts depend on metadata structures that connect technological precision with cultural significance. However, a lack of standardisation persists in providing comprehensive metadata details, particularly technical data such as acquisition methods, geometric specifics, and accuracy metrics, which are vital for ensuring authenticity and interoperability.

Technical and Descriptive Metadata in 3D Heritage Documentation

Metadata plays a vital role in the three-dimensional representation of heritage objects, providing users with essential information about what a digital model conveys. The depth of knowledge embedded in a digital structure increases with the quantity and quality of metadata linked to the object, which is crucial for enhancing discovery, access, and overall preservation of cultural heritage. Technical metadata, in particular, offers important details about the technical attributes of digital content. It enhances conservation workflows, ensures accurate documentation and analysis, addresses data quality concerns, and facilitates effective management and interpretation of built heritage. This is important because the capturing and processing stages are often carried out on local computers and are not shared externally¹⁸. The creation and management of cultural heritage repositories are key to digitisation efforts, with current research focusing on applying metadata standards to improve repository discoverability and user experience¹⁹.

Detailed and specific information about the 3D modeling process – such as techniques used, hardware and software employed, model resolution, and accuracy – should be prioritised over purely aesthetic visual results. Sketchfab, Europeana, CyArk, Małopolska's Virtual Museums, and Tirtha are among the prominent repositories of 3D models. However, an examination of repositories like Sketchfab or the Smithsonian (2018) shows that many digitised objects are created using undocumented methods and lack contextual metadata²⁰. Furthermore, other models, such as Europeana, do not explicitly include a rich technical metadata schema; hence, one can question the scientific credibility and authenticity of the model created. Consequently, these models often focus more on visual appeal and technological display than on meaningful documentation and interpretive value.

To guarantee the richness and reusability of 3D heritage models, a well-organised metadata framework is necessary. Core metadata categories include: descriptive metadata (e.g., building name, location, type); administrative–preservation metadata (e.g., file format, version, storage information); administrative–technical metadata (e.g., camera specifications, LiDAR resolution, photogrammetry software, flight path, timestamps); administrative–rights metadata (e.g., copyright of images or scans); and structural metadata (e.g., building components and relationships). Consistency in metadata creation is crucial for ensuring interoperability, longevity, and scholarly reliability²¹. Among these, administrative–technical metadata is particularly critical for 3D models of architectural heritage, as it documents the digital creation process and enables accurate understanding, preservation, and reuse. It ensures accuracy, durability, interoperability, and proper use while maintaining cultural and historical significance.

A variety of metadata standards have been created to meet these needs, including CIDOC-CRM, Dublin Core, EAD, METS, MODS, PREMIS, EDM, and VRA Core. CIDOC-CRM, for example, provides an ontology that is necessary for interoperability, formatted as linked data, offering a formal and precise rep-

¹⁷ Zhao, *Digital Pathways to the Past: Reconstructing the Historiographic Landscape of Medieval Church Documents through Digital Archives*.

¹⁸ Polo, Duran-Domínguez, Felicísimo, *Proposal of Metadata Schema*, cit.

¹⁹ Skublewska-Paszkowska, Mirosz, Powroźnik, Łukasik, *3D Technologies for Intangible Cultural Heritage Preservation - Literature Review for Selected Databases*.

²⁰ Polo, Duran-Domínguez, Felicísimo, *Proposal of Metadata Schema*, cit.

²¹ Gilliland, *Setting the Stage*.

resentation of knowledge in the cultural heritage field. MODS supports detailed bibliographic descriptions, including physical characteristics, version details, subject terms, and annotations; however, its lack of strict business rules may lead to inconsistencies in its use²². Adapting frameworks like VRA Core to descriptive metadata models emphasizes the interdisciplinary expertise needed in cataloging scientific heritage by integrating technical, historical, and conservation perspectives²³. Some 3D file formats cannot fully describe their informational content or support various rendering methods²⁴. To address this, the Samvera Community (2025) offers basic recommendations for technical metadata that accompany digital media files, including 3D models. The Smithsonian Institute's 3D metadata model also outlines technical metadata fields such as focus type, fixed focus identifier, light source type, and background removal method, although its scope is still limited. A detailed analysis of the mapping among the EU-CHIC, ICCD, MIDAS, and CARARE metadata schemas revealed that most of them lack elements that would allow for documenting the technological aspects involved in producing a 3D virtual replica²⁵.

Technical metadata of 3D models typically includes detailed information such as dimensions, scale, material properties, and geometric structure. This ensures that critical technical aspects of 3D models are adequately documented and preserved for future reference²⁶. However, systematically organised technical information is often absent. In many digitisation processes, the original historical context of objects is lost due to the fragmentation or minimal metadata, which often includes only basic details such as title, author, and inventory number²⁷. Widely recognised metadata standards are extensively used in the cultural heritage sector, with a primary emphasis on methodological rather than technical metadata. However, it is necessary to include information on the techniques and materials used in the creation of religious or archaeological heritage to ensure the fidelity of 3D models. If a model aims to be a faithful reflection of the original object, technical metadata are required to

determine its metric and chromatic accuracy²⁸. Although these models are interoperable, flexible, and expandable, their capacity to accommodate detailed technical metadata remains limited. While attention is typically directed toward metadata describing the objects themselves, very little work has been done to define an ontology that supports interoperability at the technical level²⁹. Therefore, detailed and high-quality metadata are crucial for accurately representing the complexity of 3D structures and their various modeling options. Standards, including Dublin Core and the CIDOC Conceptual Reference Model (CRM), provide fundamental descriptions but often lack the necessary granularity for complex data, thereby impacting reuse and verification. Enhancing these standards is vital for ensuring that future generations inherit a well-preserved cultural legacy. These technological advancements broaden documentation and sharing capabilities, transitioning heritage management from traditional approaches to digital methods.

Metadata Considerations for 3D Digital Heritage

A substantial amount of administrative and technical metadata is generated when using photogrammetry or Light Detection and Ranging (LiDAR), the underlying technology of Terrestrial Laser Scanning, to create detailed 3D point clouds that document architectural heritage. The quality of the metadata associated with digital heritage, as well as the inclusion of rich semantics, impacts authenticity, search, retrieval, and usability. This metadata is vital for maintaining data integrity, ensuring long-term preservation, enabling reuse, and tracking provenance. These aspects highlight the need for metadata structures capable of documenting the full range of information produced during the acquisition, processing, and modelling phases of 3D heritage documentation.

Heritage structure presents complex architectural layers, ongoing use, multiple historical phases, and diverse symbolic meanings, making it suitable for examining the relationship between architectural representation, digital documenta-

²² Zhao, *Digital Pathways to the Past*, cit.

²³ Adam, Renaville, Oger (eds.), *Opening Up OurHeritage: Opportunities*, in *Digitising and Promoting Cultural and Research Collections*.

²⁴ Blundell, Clark, DeVet, Hardesty, *Metadata Requirements for 3D Data*

²⁵ Ronzino, Niccolucci, D'Andrea, *Built Heritage metadataschemas and the integration of architectural datasets using CIDOC-CRM*.

²⁶ Amico, Felicetti, *3D Data Long-Term Preservation in Cultural Heritage*.

²⁷ Zhao, *Digital Pathways to the Past*, cit.

²⁸ Polo, Duran-Domínguez, Felicísimo, *Proposal of Metadata Schema*, cit.

²⁹ Homburg, Cramer, Raddatz, Mara, *Metadata schema and ontology for capturing and processing of 3D cultural heritage objects*.

tion, and heritage semantics. Building a high-quality 3D model requires a substantial amount of technical data. However, only a small portion of it is usually made public. Is there a lack of technical data on 3D models, such as acquisition methods, geometric details, and accuracy metrics, that need to be tested with the existing schema? These are highly technical metadata fields and are crucial for validating the scientific accuracy of 3D models, as well as providing a detailed description of complex processes and structures. Furthermore, this information is crucial for researchers and conservators who require an understanding of the absolute accuracy and limitations of these models for precise analysis. However, it is often considered proprietary or simply too large to share.

For example, if someone wants to create a high-resolution model instead of the publicly shared version, they need the raw data. It also allows for reducing or increasing polygon count, which affects the geometry's accuracy. In this sense, structuring and managing raw data relies on acquisition techniques such as laser scanning and photogrammetry, which make it possible to capture dense point clouds suitable for different processing needs. Both terrestrial laser scanning (TLS) and photogrammetry (SfM) constitute today the main mass data acquisition techniques (MDCSs)³⁰.

The development of metadata for a 3D model of a complex heritage structure involves a comprehensive process from data acquisition to digital representation. The CIDOC CRM is used as a case study to evaluate the effectiveness of the metadata schema, as it effectively captures the documentation and semantics of cultural heritage. The CIDOC Conceptual Reference Model is a complex system comprising 94 entities (classes) and 168 relationships (properties) that represent and share cultural heritage metadata, including the representation of events associated with an object throughout its existence³¹. However, analysis reveals that it is not fully optimized for the technical or quantitative details involved in 3D acquisition, which is common in digital heritage and 3D recording workflows. It is neither a geometric nor a technical data model and is not designed to spec-

ify the structure or format of 3D datasets in detail. Additionally, it lacks entities for sensor setup, calibration, or geometric acquisition configuration, highlighting the need for a solution.

Extensions like CRMdig (*Digital Provenance model*) can document certain aspects, such as equipment used or file lineage, but do not cover the numeric or spatial details. CIDOC CRM can represent Events (such as data acquisition and processing), actors (like operators and institutions), objects (including 3D model files), and aspects related to Temporal and Provenance data. However, it cannot include sensor and calibration parameters, acquisition geometry or station layout, numerical quality and accuracy metrics, algorithmic or software parameters, and 3D coordinate systems and spatial transformations. Therefore, an evaluated metadata schema (CRM3D Mapping) of selected fields based on the data available in the images has been proposed for 3D documentation of architectural heritage with regard to its acquisition methods, geometric details, and accuracy metrics.

Lexical Standardisation and Semantic Interoperability

Controlled vocabularies are specific data formats that play a vital role in semantic annotation and indexing, thereby improving access to cultural heritage resources. They are also vital tools and systems for organizing knowledge in cataloging, helping to maintain consistency and accuracy when identifying items. Many GLAM institutions and cultural heritage centers utilize various controlled vocabularies to organize and describe their collections; however, many of these vocabularies are independently created in different countries without referencing existing standards, resulting in fragmentation and inconsistency. These variations can hinder users from performing conceptual or thematic searches across multiple databases, especially when creating portals for 3D repositories of heritage structures, making robust support for authority lists and controlled vocabularies essential in the cultural heritage sector. A wide range of information can be extracted from a 3D

³⁰ Moyano, Pili, Nieto-Julián, Della Torre, Bruno, *Semantic Interoperability for Cultural Heritage Conservation: Workflow from Ontologies to a Tool for Managing and Sharing Data*.

³¹ Silva, Terra, *Cultural Heritage on the SemanticWeb: The Europeana Data Model*.

scan during acquisition or post-processing, and suitable vocabularies are necessary to accurately capture these measurements, particularly for creating 3D visualisations that include geometric, software, and accuracy metadata. When index terms come from a controlled vocabulary, search portals can generate hyperlinks for enhanced semantic search and navigation³². Controlled vocabularies are designed to clearly distinguish specific cultural heritage items. Many are widely used in digital collections of cultural heritage: for example, the *Art and Architecture Thesaurus* (AAT) is the most common controlled vocabulary for art collections in North American digital libraries³³, the *Library of Congress Subject Headings* (LCSH) is the most frequently used controlled vocabulary among American digital repositories³⁴, and among all thesauri available, the AAT remains the most significant and most stable within the cultural heritage field. Additionally, an ethnographic thesaurus developed in the Netherlands – the Stichting Volkenkundige Collectie Nederland (SVCN) – is used by several Dutch ethnographic museums³⁵. To better understand ancient buildings, cataloging can be combined with digital documentation, including historical sources and heritage records, to offer representations of cultural heritage assets through text, images, drawings, and 3D models³⁶. Because developing controlled vocabularies is a complex and time-consuming process, establishing transparent, standardised vocabularies is crucial, along with considering semantic metadata annotation for 3D constructions. Understanding user information-seeking behavior is also key to developing effective vocabularies that ensure accessibility and semantic precision. Within the proposed metadata schema, the controlled vocabulary was aligned with recognised scholarly resources and digital cultural heritage ontologies: architectural terms were matched to Getty AAT entries, saint names and historical events were linked via Wikidata, and ritual terminology was referenced across Christian liturgical studies. This alignment ensures that the metadata not only describes but also connects the digital data within larger heritage networks and multilingual environments.

environments, thereby improving semantic interoperability and cultural context.

Conclusion

Digital representations of architectural heritage – shaped by cultural, historical, aesthetic, and material transformations – generate extensive and diverse datasets that require robust metadata management and detailed semantic annotation. The integration of digital and analog techniques, along with multiple sensors and varied datasets, enables the creation of highly accurate 3D models that support both documentation and restoration efforts. Photogrammetry and TLS technologies provide substantial point cloud data, which is crucial for developing reliable reconstructions. Meanwhile, emerging semantic-aware simplification methods show great promise for producing models with meaningful and organised levels of detail. Despite these technological advances, finding a single comprehensive metadata standard capable of capturing the full scope of cultural heritage information remains difficult, especially considering the complex contextual, symbolic, and internal content embedded in heritage imagery. Most existing standards focus on visual features but often overlook deeper semantic and interpretive aspects, highlighting the need for interdisciplinary collaboration and expert input to define key metadata elements that improve discoverability and scholarly utility. Building a sustainable, research-based metadata framework that includes all relevant elements is essential for ensuring long-term accuracy, authenticity, interoperability, and accessibility. This multidisciplinary approach will enhance conservation, preservation, and academic research efforts while enabling metadata schemas to more effectively represent the complexity of architectural heritage in digital environments.

The management of extensive datasets and detailed metadata continues to pose challenges, underscoring the need for improved standards to accommodate layered datasets derived from 3D reconstructions. Therefore, combining detailed administrative and technical metadata fields with semantic annotations and controlled vocabularies supports the future reuse of enriched 3D models.

³² ICOM-CIDOC LIDO Working Group, LIDO Primer, version 1.1 2024.

³³ Shiri, Chase-Kruszewski, *Knowledge organisation systems in NorthAmerican digital library collections*.

³⁴ Park, Tosaka, *Metadata creation practices in digital repositoriesand collections: Schemata, selection criteria, and interoperability*.

³⁵ Hollink, Van Assem, Wang, Isaac, Schreiber, *Two variations on ontology alignment evaluation: Methodological issues*.

³⁶ Ronzino, Amico, Niccolucci, *Assessment and Comparison of Metadata Schemas for Architectural Heritage*.

Bibliography

- M. Abdelalim, *Heritage Preservation Using Laser Scanning: ArchitecturalDigital Twins Using Al-Mu'izz Street as a Case Study*, in *Buildings*, XV, 2025, 9.
- Y. Abgaz, R. Rocha Souza, J. Methuku, G. Koch, A. Dorn, *A Methodology for Semantic Enrichment of Cultural Heritage ImagesUsing Artificial Intelligence Technologies*, in *Journal of Imaging*, VII, 2021, 8.
- R. Adam, F. Renaville, C. Oger (eds.), *Opening Up OurHeritage: Opportunities in Digitising and Promoting Cultural and Research Collections*, Presses Universitaires de Liège, Liège 2025.
- N. Amico, A. Felicetti, 3D Data Long-Term Preservation in Cultural Heritage, arXiv preprint, 2024.
- I. Bajena, P. Kuroczyński, *Metadata for 3D Digital HeritageModels: In the Search of a Common Ground*, in *Workshop on Research andEducation in Urban History in the Age of Digital Libraries*, SpringerNature, Switzerland 2023, pp. 45-64.
- D. Belteki, A. J. Rees, A. M. Sichani, *Datafication andCultural Heritage Collections Data Infrastructures: Critical Perspectives onDocumentation, Cataloguing and Data-Sharing in Cultural Heritage Institutions*, in *Journal of Open Humanities Data*, XI, 2025, 1.
- J. Blundell, J. L. Clark, K. E. DeVet, J. L. Hardesty, *Metadata Requirements for 3D Data*, in J. Moore, A. Rountrey, K.Scates, 3D Data Creation to Curation: CommunityStandards for 3D Data Preservation, pp. 157-204.
- A. J. Gilliland, *Setting the Stage*, in M. Baca (edited by) *Introduction to Metadata*, 3rd ed., Getty Publications, Los Angeles 2016, pp. 1-20.
- D. Green, *A View from the Top: A Special Message for Administrators ofCultural Heritage Collections*, in E. Lanzi (edited by) *Introduction to Vocabularies: Enhancing Access toCultural Heritage Information*, US 1998.
- L. Hollink, M. Van Assem, S. Wang, A. Isaac, G. Schreiber, *Two variations on ontology alignment evaluation: Methodological issues*, in *European Semantic Web Conference*, Springer, Berlin, Heidelberg 2008, pp. 388-401.
- T. Homburg, A. Cramer, L. Raddatz, H. Mara, *Metadata schemaand ontology for capturing and processing of 3D cultural heritage objects*, in *HeritageScience*, IX, 2021, 1, pp. 1-19.
- R. Iannella, A. Waugh, *Metadata: enabling the Internet*, DSTC PtyLimited, 1997.
- ICOM-CIDOC LIDO Working Group, 2024. LIDO Primer, version 1.1. Accessed September 11, 2024. <https://lido-schema.org/documents/primer/2024-09-11/lido-primer.html>.
- P-D. Lam, B-H. Gu, H-K. Lam, S-Y. Ok, S-H. Lee, *Digital Twin Smart City: Integrating IFC and CityGML with SemanticGraph for Advanced 3D City Model Visualization*, in *Sensors*, 24, 2024, XII.
- J. Lutteroth, P. Kuroczyński, I. P. Bajena, *Digital 3D Reconstructions of Synagogues for an Innovative Approach on Jewish Architectural Heritage in East Central Europe*, in *Virtual Archaeology Review*, XVI, 2024, 32, pp. 144-160.
- M. Miłosz, J. Kęsik, J. Montusiewicz, *Three-Dimensional Digitization of Documentation and Perpetual Preservation of Cultural Heritage-Buildings at Risk of Liquidation and Loss – The Methodology and Case Study of St.Adalbert's Church in Chicago*, in *Electronics*, XIII, 2024, 3.
- J. Moyano, A. Pili, J. E. Nieto-Julián, S. Della Torre, S. Bruno, *Semantic Interoperability for Cultural Heritage Conservation: Workflow from Ontologies to a Tool for Managing and Sharing Data*, in *Journal of Building Engineering*, 2023, 80.
- I. Muñoz-Pandiella, C. Bosch, M. Guardia, B. Cayuela, P. Pogliani, G. Bordi, M. Paschali, C. Andujar, P. Charalambous, *Digital 3D Models for Medieval Heritage: Diachronic Analysis andDocumentation of Its Architecture and Paintings*, in *Personal and Ubiquitous Computing* XXVIII, 2024, 3, pp. 521-547.
- J. Park, Y. Tosaka, *Metadata creation practices in digital repositoriesand collections: Schema, selection criteria, and interoperability*, in *Information Technology and Libraries*, XXIX, 2010, 3, pp. 104-116.
- M-E. Polo, G. Duran-Domínguez, A. M. Felicísimo, *Proposal of Metadata Schema for Capturing and Processing 3D Models in anArchaeological Context*, in *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2024, 34.
- P. Ronzino, F. Niccolucci, A. D'Andrea, *Built Heritage metadataschemas and the integration of architectural datasets using CIDOC-CRM*, in *Online proceedings of the International Conference Built Heritage*, 2013.
- P. Ronzino, N. Amico, F. Niccolucci, *Assessment and Comparison of Metadata Schemas for Architectural Heritage*, in *Proceedings of CIPA*, 2011, pp. 71 -78.
- Samvera, *Technical Metadata Application Profile*, 2025. Accessed October 9, 2025.
- A. Shiri, S. Chase-Kruszewski, *Knowledge organisation systems in NorthAmerican digital library collections*, in *Program*, XLIII, 2009, 2, pp. 121-139.
- A. L. Silva, A. L. Terra, *Cultural Heritage on the SemanticWeb: The Europeana Data Model*, in *IFLA Journal*, L, 2024, 1, pp. 93–107.
- M. Skublewska-Paszkowska, M. Miłosz, P. Powroźnik, E. Łukasik, *3D Technologies for Intangible Cultural Heritage Preservation -Literature Review for Selected Databases*, in *Heritage Science*, X, 2022, 3.
- UNESCO World Heritage Centre. 2025. Initiative on Heritage of Religious Interest. <https://whc.unesco.org/en/religious-sacred-heritage/>.
- UNESCO Charter on the Preservation of the Digital Heritage, 2009. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000179529>.
- Y. Xiucheng, P. Grussenmeyer, M. Koehl, H. Macher, A. Murtiyoso, T. Landes, *Review of Built Heritage Modelling: Integrationof HBIM and Other Information Techniques*, in *Journal of Cultural Heritage* 2020, 46, pp. 350-360.
- A. Zachos, C-N. Anagnostopoulos, *Using TLS, UAV, and MR Methodologies for 3D Modelling and Historical Recreation of Religious Heritage Monuments*, in *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage* XVII, 2025, 4, pp. 1-23.
- H. Zhao, *Digital Pathways to the Past: Reconstructing theHistoriographic Landscape of Medieval Church Documents through Digital Archives*, Master Degree thesis, 2025.
- L. Zhou, L. Xue, W. Wei, *The Emotional Foundations of Value Co-Creation in Sustainable Cultural Heritage Tourism: Insights into the Motivation -Experience -Behavior Framework*, in *Sustainability*, XVII, 2025, 15.

Acknowledgement

The first author gratefully acknowledges the University of Pavia, Italy, for providing the opportunity to conduct research within the project *Reconnecting With Your Culture* in the Department of Architecture and Civil Engineering. This work was supported by the *Global Enhancement Faculty Program (GEFP)*, approved by the Institution of Eminence (IoE), Banaras Hindu University (BHU), Varanasi, India, under reference No. R/Dev/D/IoE/2024-25/GEFP/76559 dated June 12, 2024.



TRIBELON
RIVISTA DI DISEGNO
UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE

VOL. 2 | N. 4 | 2025
CONFIGURARE: ORDINE E MISURA
TO SHAPE: ORDER AND MEASURE

Citation: M. Bini, *Il Pantheon a Roma nei disegni di Mario Mercantini*, in *Un disegno dal passato, TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 106-108.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3876>

Published: December, 2025.

Copyright: 2025 Bini M., this is an open access article, published by Firenze University Press (<https://riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

La tavola I riporta la scritta "Pantheon pianta principale" e "scala 1/150".

La tavola II riporta la scritta "Pantheon piante dei

piani superiori, 1 Pianta all'inizio dei lacunari, 2

Pianta al piano sup.re del cornicione" e "scala 1/150"

La tavola III riporta la scritta "Pantheon fronte" e

"scala 1/150"

La tavola IV riporta la scritta "Pantheon fianco" e

"scala 1/150"

La tavola V riporta la scritta "Pantheon sezione se-
condo la linea A-B" e "scala 1/150"

La tavola VI riporta la scritta "Pantheon sezione se-
condo la linea C-D" e "scala 1/150"

La tavola VII riporta le scritte "Pantheon particolari delle membrature, Edicola nell'interno della rotonda,
pianta, 1 Cornice del peristilio, 2 cornice del II fron-
tespizio, 3 Cornicione interno, 4 Cornice del corona-
mento sup.re". La scala non è dichiarata.

La tavola IIX (sic.) riporta la scritta "Pantheon struttura della rotonda, assonometria. La scala non è di-
chiarata.

La tavola IX riporta la scritta "Capitello corinzio del
Pantheon". La scala non è dichiarata. Le ombre sono
realizzate a matita.

La tavola X riporta la scritta "Pantheon struttura mu-
rale della rotonda". e "scala 1/150"

UN DISEGNO DAL PASSATO

IL PANTHEON A ROMA NEI DISEGNI DI MARIO MERCANTINI

MARCO BINI

University of Florence

marcobini265@gmail.com

I disegni fanno parte di una serie di dieci tavole realizzate dall'allievo Mercantini per il corso di *Disegno architettonico e Rilievo dei Monumenti* tenuto dal professor Aurelio Cetica. Tutti gli elaborati riportano in alto al centro il numero della tavola in lapidario romano usato anche per le scritte presenti sul foglio. I disegni sono firmati a penna, datati 1937 e realizzati a matita, a china nera e colore a spruzzo, nei vari toni dell'arancio, su carta. Tutte e dieci le tavole, otto orizzontali e due verticali, misurano 51x73 cm.

Per la realizzazione dei disegni era consuetudine eseguire il rilievo non dal vero ma dalle tavole dei monumenti delineate da noti rilevatori dei secoli precedenti. Questa impostazione sarà criticata da Italo Gamberini che nel 1961 scriveva: «Nella Facoltà fiorentina, infatti, dal 1938 al 1944 il 'rilievo dei Monumenti' compressosi, per necessità, a causa dell'accostamento degli 'elementi', era concepito come rilievo da tavole e non più dal vero, con il risultato che questo insegnamento non aveva più niente delle caratteristiche del rilievo per limitarsi ad un vero e proprio disegno architettonico, copiato da consunte tavole che passavano da allievo ad allievo» (I. Gamberini, *Storia dell'Insegnamento di Elementi di Architettura e Rilievo dei Monumenti nella Facoltà di Architettura di Firenze*, Firenze, Coppini 1961).

Biografia

Mario Mercantini nasce ad Arezzo nel 1917 e vi morì nel 1997. Dopo aver frequentato il liceo artistico di Arezzo, il Mercantini si iscrive alla Facoltà di Architettura di Firenze dove si laurea l'8 luglio 1942 con una tesi intitolata *Sistemazione architettonica e urbanistica del Quartiere Colcitrone ad Arezzo* (Archivio storico dell'università degli studi di Firenze, se-

zione studenti f. 2709, n. 53325). Dopo aver ottenuto l'abilitazione alla professione di architetto nel 1942, si iscrive all'Albo degli Architetti della Toscana, sezione di Arezzo, nel 1945.

Il 18 giugno 1962 è eletto Accademico Aggregato dell'Accademia delle Arti del Disegno di Firenze (Atti 1962 c.n.n.).

All'interno di un ciclo di conferenze sul tema *Protagonisti del Novecento aretino*, organizzato dalla Società storica, con il patrocinio del Comune di Arezzo, il 24 marzo 2015 si tiene un incontro su Mario Mercantini, "un architetto in una città in cambiamento", protagonista dell'attività edificatoria nel territorio aretino, nei decenni compresi fra la Ricostruzione e gli anni Ottanta.

Progetti e realizzazioni (selezione)

1948 - Piano di ricostruzione di Arezzo (coll. A. Cetica, U. Cassi)

1950 - Progetta una poltrona.

1950 circa - Negozio di musica in Corso Italia ad Arezzo.

1953-59-62 - Piani Regolatori di Arezzo (coll. A. Cetica, L. Piccinato, U. Cassi).

Fine anni '50 - Restauro e allestimento dell'ex Chiesa di S. Ignazio ad Arezzo da adibire a sala espositiva per mostre.

1959 - Ideatore con altri del Premio Arezzo, premio internazionale di pittura.

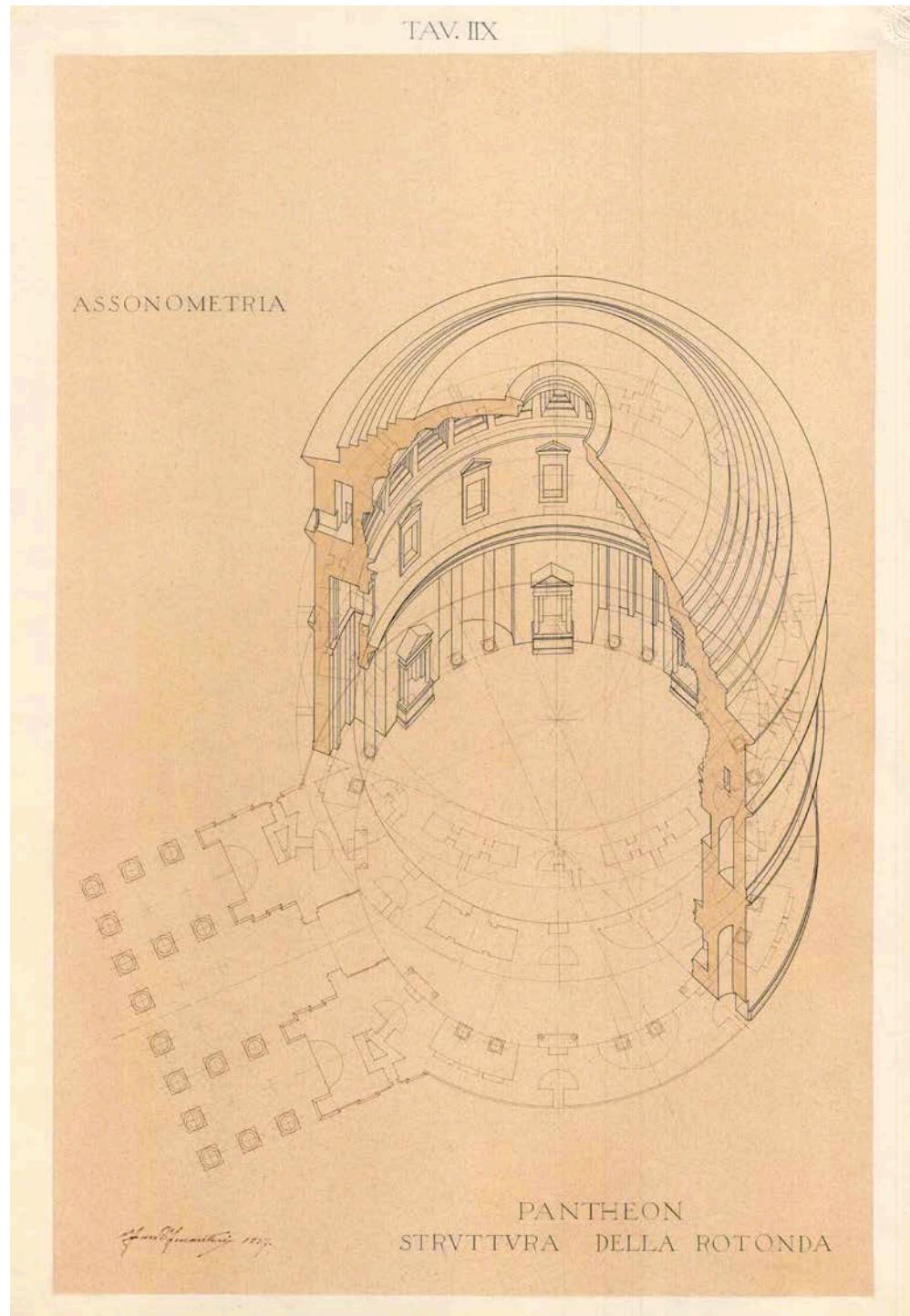
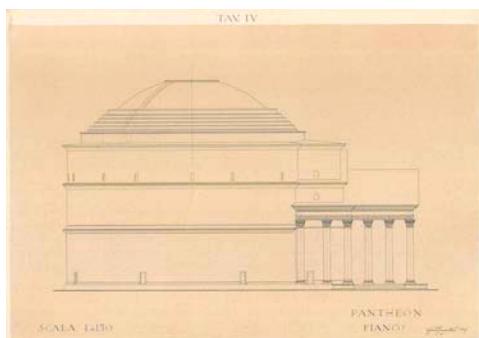
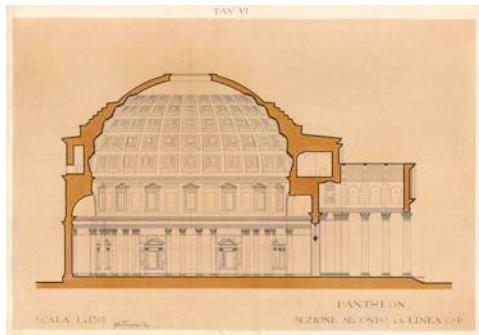
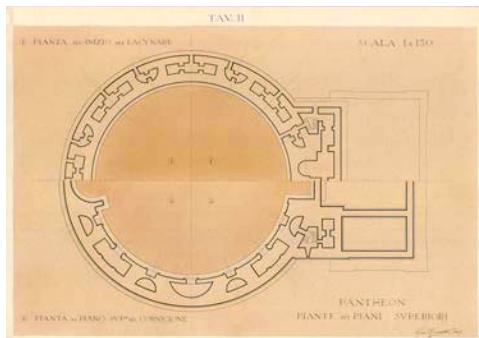
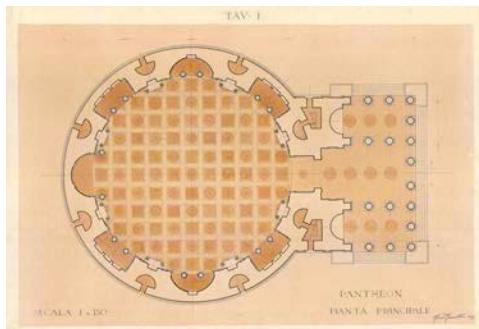
1962 - Chiesa del Sacro Cuore ad Arezzo.

Anni 60 - Complesso edilizio e commerciale, conosciuto come il "palazzo della Standa", sull'area del demolito primo stadio di Arezzo.

1964 - Chiesa del Cristo Divino Lavoratore ad Arezzo.

1965- 68 - Villaggio del Sacro Cuore, colonia estiva, Alpe di Poti, Arezzo.

1970 - Allestimento *Mostra Arte contro 1945-70, dal realismo alla contestazione*, Arezzo.



1973 - Scuola dell'Infanzia "Figlie di San Francesco", Arezzo.

1984 - I° Centro Oncologico Colcitrone, Arezzo.

Scritti

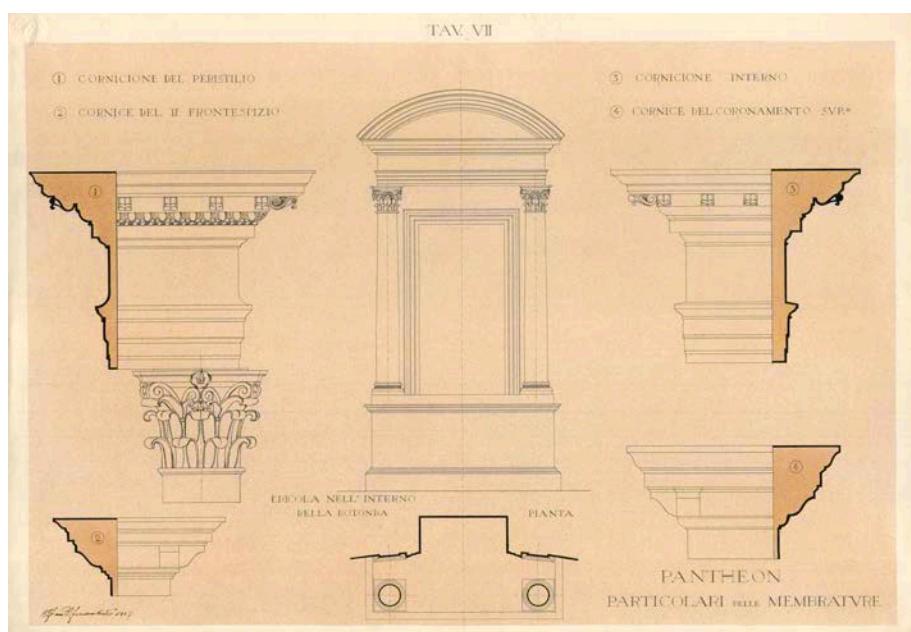
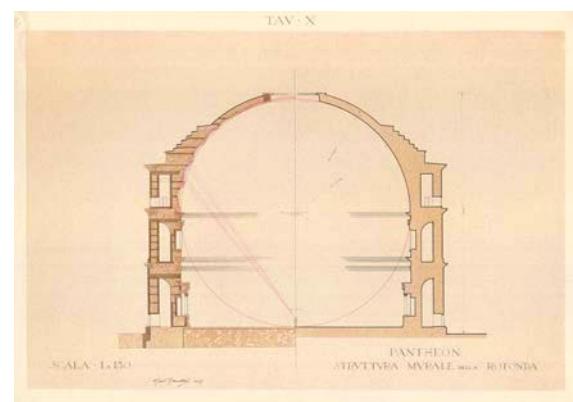
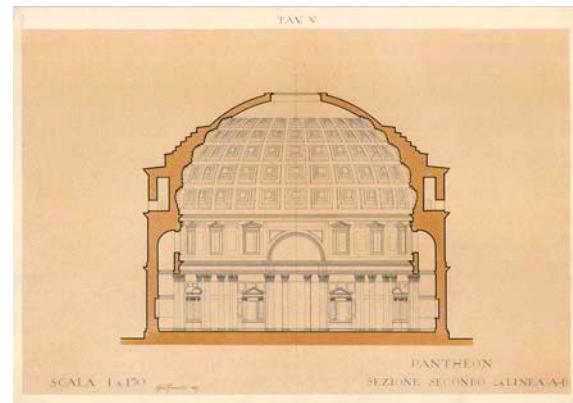
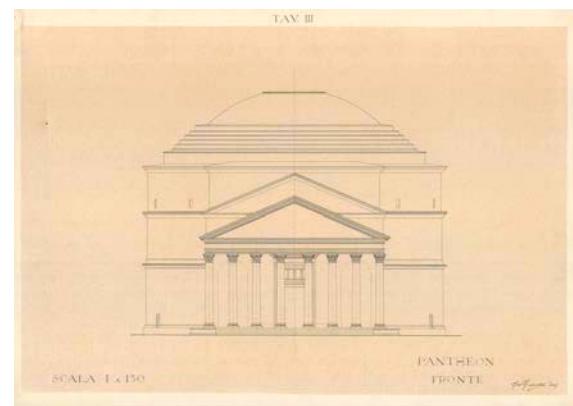
Mercantini M., *La nostra Pieve*, in "Atti e Memorie dell'Accademia Petrarca di lettere, arti e scienze", v. XXVIII-XXIX (1940), p. 265 e segg.-Mercantini M., *Postille sul piano regolatore e l'attuale situazione dell'urbanistica*, in "Brigata Aretina degli Amici dei Monumenti Bol-

lettino d'informazione", s.n. (1982), pp. 18-20.

Bibliografia

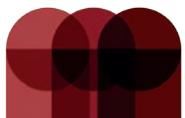
Fantozzi Micali O., *Piani di ricostruzione e città storiche*, 1945-1955, Arezzo, Alinea, Firenze 1998.

Tognaccini L., *Storia giornalistica di Arezzo*, Arezzo, ilmiolibro self publishing, 2019, pp. 171, 177, 277, 281, 282.



Agnolucci E., Mario Mercantini un architetto e la sua città, in Berti L. (a cura di), *Protagonisti del Novecento Aretino*, vol.II, Arezzo, Società Storica Aretina, 2024, pp. 235-247.

Ordine e Fondazione Architetti Firenze, Mostra 2023-2024 "Architetture di passaggio, disegni dalla Scuola di architettura di Firenze 1926 - 1949", scheda a cura di Gabriella Orefice, Professore associato di Storia della Città e del Territorio presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze fino al 2013.



TRIBELON
RIVISTA DI DISEGNO
UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE

VOL. 2 | N. 4 | 2025
CONFIGURARE: ORDINE E MISURA
TO SHAPE: ORDER AND MEASURE

Citation: S. Parrinello, *Geometria, misura e memoria nel ridisegno della cupola della nuova Gerusalemme*, TRIBELON, II, 2025, 4, pp. 109-111.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3877>

Published: December, 2025.

Copyright: 2025 Parrinello S., this is an open access article, published by Firenze University Press (<https://riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

1 | Disegni, rilievi e fotografie storiche della Rotonda dell'Anastasis della Nuova Gerusalemme prima e dopo le devastazioni della seconda guerra mondiale.

UN DISEGNO DAL PRESENTE

GEOMETRIA, MISURA E MEMORIA NEL RIDISEGNO DELLA CUPOLA DELLA NUOVA GERUSALEMME

SANDRO PARRINELLO

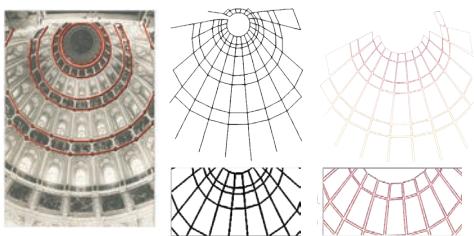
University of Florence
sandro.parrinello@unifi.it

Questa ricerca, benché descritta come "dal presente", risale in realtà al 2011. Solo pochi mesi fa è stato però per me possibile verificarne appieno i risultati e per questo può essere considerata ancora attuale, poiché fino a oggi non era stato valutato in modo chiaro l'esito della sperimentazione.

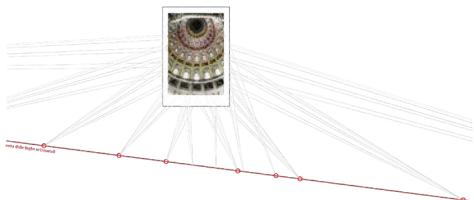
L'oggetto dello studio è la cupola del Monastero della Nuova Gerusalemme, complesso fondato nel 1656 dal patriarca ortodosso Nikon e concepito come residenza spirituale e fulcro dell'autorità patriarcale, situato alle porte di Mosca.

Nikon è una figura centrale nel panorama della Chiesa ortodossa per le sue numerose riforme che si inseriscono nel contesto delle critiche mosse dal patriarca ortodosso di Gerusalemme Paisios, che segnalò le divergenze liturgiche tra la Chiesa russa e quella greca, auspicandone l'unificazione. Sostenute dallo Zar per ragioni politiche, tali riforme miravano a consolidare il ruolo panortodosso del Regno di Russia e a integrare i territori ucraini recentemente annessi, la cui tradizione rituale era più prossima al modello greco. Parallelamente, Nikon mirava a rafforzare l'autorità patriarcale nei confronti del potere zarista. La fondazione della Nuova Gerusalemme rispecchia questo progetto ideologico e la scelta del sito e della denominazione intendeva riprodurre simbolicamente i luoghi santi, con il fiume Istra assimilato al Giordano e l'intero complesso concepito quale riedizione architettonica della Gerusalemme sacra. Popolato da monaci di diversa provenienza per rappresentare la vocazione universale dell'ortodossia, il monastero comprendeva la monumentale Cattedrale della Resurrezione, la residenza patriarcale, la cinta muraria perimetrale con torri, la Chiesa della Trinità e un articolato insieme di edifici caratterizzati da ricche decorazioni in stucco e ceramica. Tra i numerosi progettisti coinvolti nello sviluppo del complesso si annoverano Rastrelli, Kazakov, Thon, Voronichin, Buchvostov e Blank. Il monastero, dotato di una vasta biblioteca organizzata personalmente da Nikon, divenne

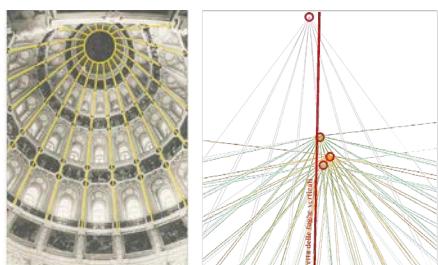




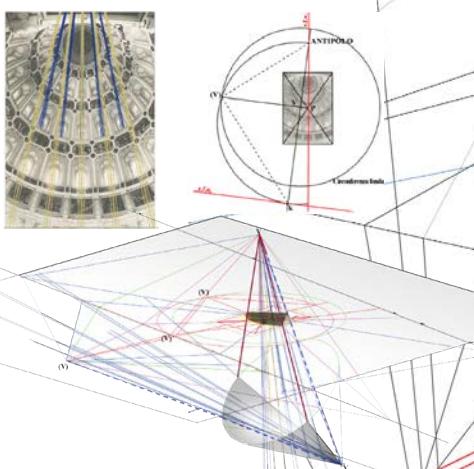
2 | Definizione delle griglie di approssimazione dell'orditura modulare della cupola, per la qualificazione di paralleli e meridiani.



3 | Ricerca dei punti di fuga orizzontali. Determinazione del sistema dei paralleli e individuazione della retta impropria, fuga del piano di tutte le rette orizzontali.



4 | Ricerca dei vertici sulla retta delle fughe verticali. Verificata la convergenza in unico punto proprio (vertice di una piramide) tra le rette dei meridiani si determinano i punti di convergenza e si individua la retta verticale passante per tali punti.

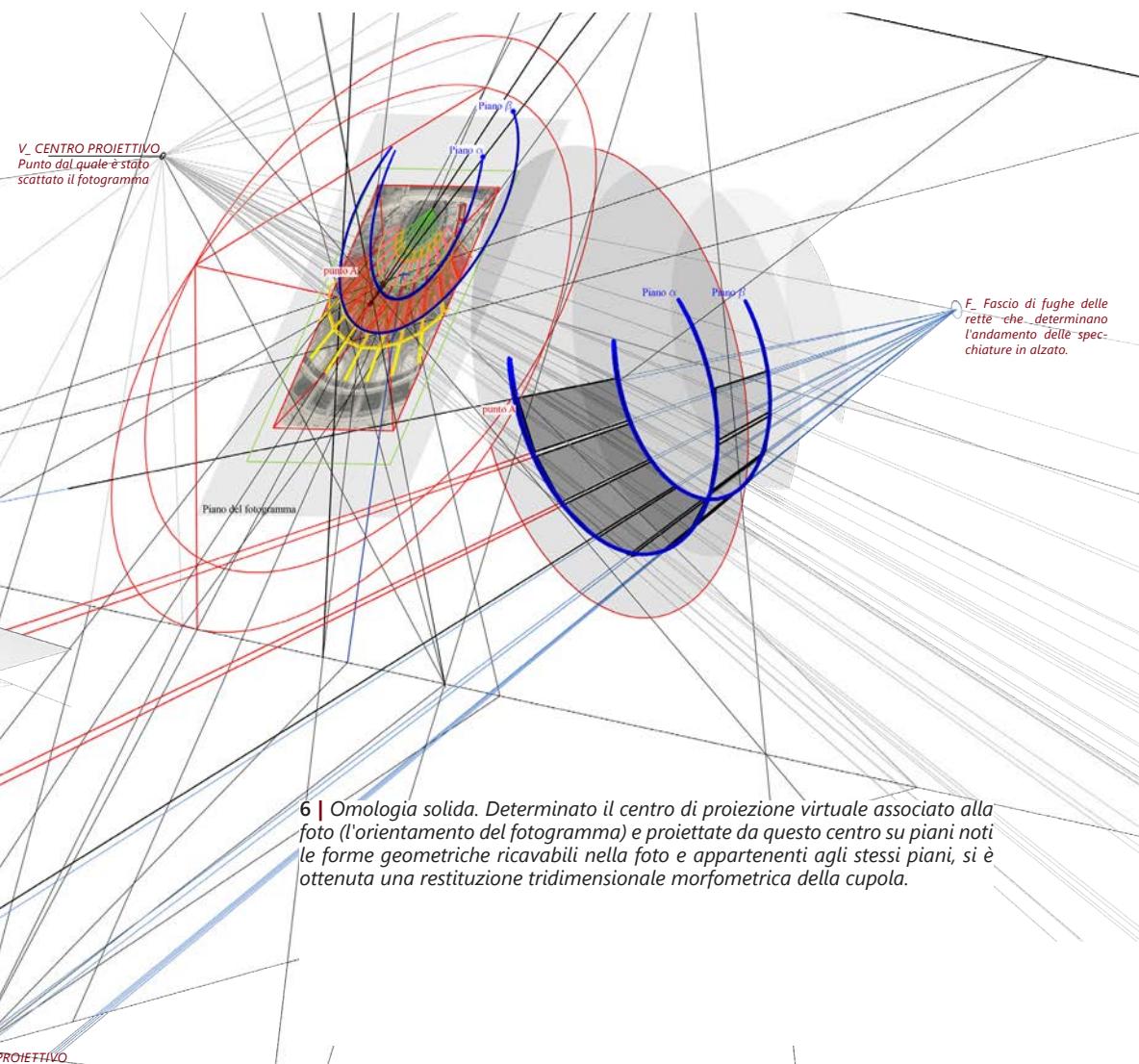


5 | Ricerca del punto di vista dal quale è stata scattata la fotografia per sviluppare l'omologia solida. Determinate le rette delle fughe orizzontali e verticali, la loro relazione di antipolarità si esprime attraverso la circonferenza fondamentale che definisce la distanza del punto di vista dal quadro, la fotografia.

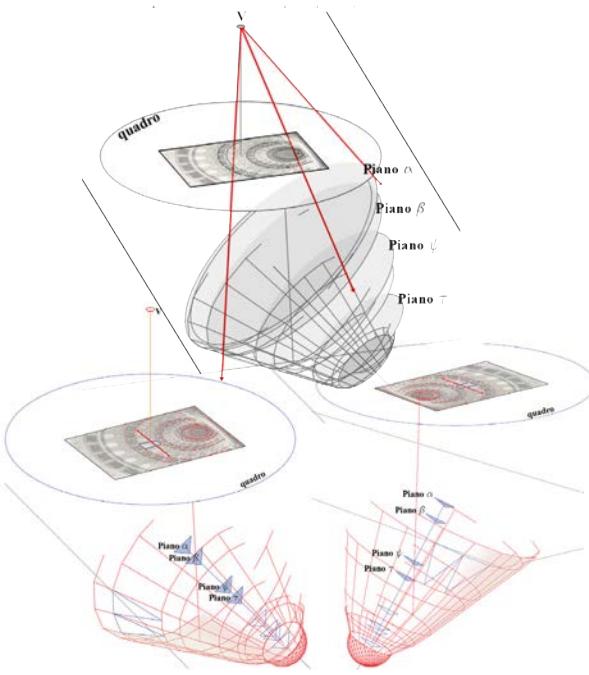
nel XVII secolo un centro di raccolta di manoscritti greci e slavi, religiosi e profani, reperiti attraverso emissari inviati in Moscova e nelle regioni orientali.

Dopo la Rivoluzione del 1917, il complesso fu chiuso e poi convertito in museo, fino alla seconda guerra mondiale durante la quale subì gravi devastazioni, tra cui la distruzione della copertura conica sovrastante la Rotonda dell'Anastasis, e la perdita di numerosi arredi e opere d'arte. Riaperto nel 1959 dopo interventi di restauro parziali, il complesso mantenne a lungo evidenti segni delle vicende belliche e riprese stabilmente la funzione monastica solo dagli anni Novanta. Nel 2009 il presidente Dmitrij Medvedev avviò un vasto programma federale di restauro, affidando al Centro Scientifico Russo del Restauro la direzione dell'intervento sotto la guida dell'architetto Serghei Kulikov. Il progetto coinvolse anche un gruppo di specialisti italiani, tra cui l'architetta Elisabetta Fabbri, l'ingegner Sandro Favero, Giampaolo Piacenti dell'Azienda Piacenti e lo scrivente, incaricato del ridisegno della conformazione originaria della copertura, con particolare riferimento a forma, misure, altezze e proporzioni dell'impianto architettonico preesistente. Collaborarono con me allo sviluppo della ricerca Giovanni Anzani, Francesca Picchio e Sara Porzilli, con i quali furono analizzati i materiali d'archivio disponibili quali disegni tradizionali ed elaborati grafici digitali, tra loro fortemente eterogenei, che rivelavano l'assenza di una lettura morfometrica unitaria della cupola e presentavano incoerenze tali da rendere necessaria una revisione critica dell'intera documentazione.

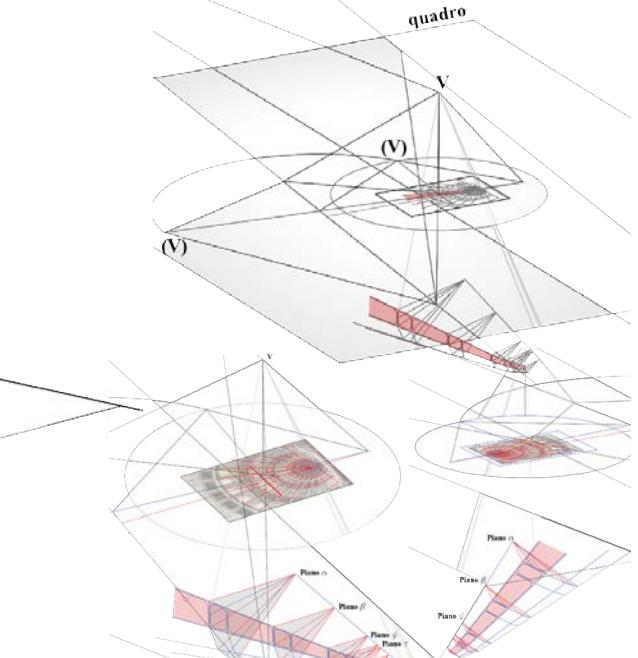
Lo studio sistematico dei disegni ha permesso di individuare numerose discrepanze tra il progetto preliminare elaborato dal Centro del Restauro e i rilievi storici, dalla determinazione dell'altezza complessiva della copertura alle proporzioni interne che risultavano imprecise nel rapporto progressivo tra le fasce delle aperture verticali, fondamentali per l'effetto prospettico ascendente. Dal confronto tra sezioni e fotografie storiche emergevano differenze rilevanti nella proporzione tra altezza e larghezza delle finestre e nella scansione degli elementi decorativi all'interno delle specchiature. La mancata rappresentazione del balaustrato esterno, l'assenza di dettagli tecnici compatibili con la scala utilizzata, e la totale mancanza di un elaborato attendibile sull'orditura del manto di copertura, che le fonti storiche documentano come caratterizzato da una specifica composizione decorativa, compromettevano poi ulteriormente la coerenza del progetto.



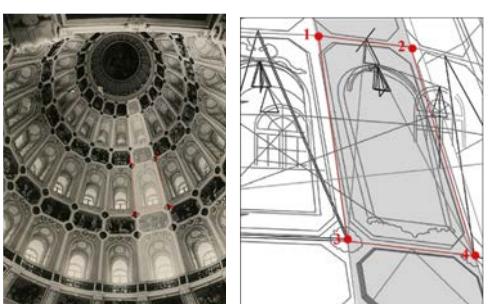
6 | Omologia solida. Determinato il centro di proiezione virtuale associato alla foto (l'orientamento del fotogramma) e proiettate da questo centro su piani noti le forme geometriche ricavabili nella foto e appartenenti agli stessi piani, si è ottenuta una restituzione tridimensionale morfometrica della cupola.



7 | Ricerca delle quote intermedie per la ricostruzione in alzato proiettando dal centro V verso tutti gli elementi architettonici appartenenti a ciascuna fascia orizzontale.



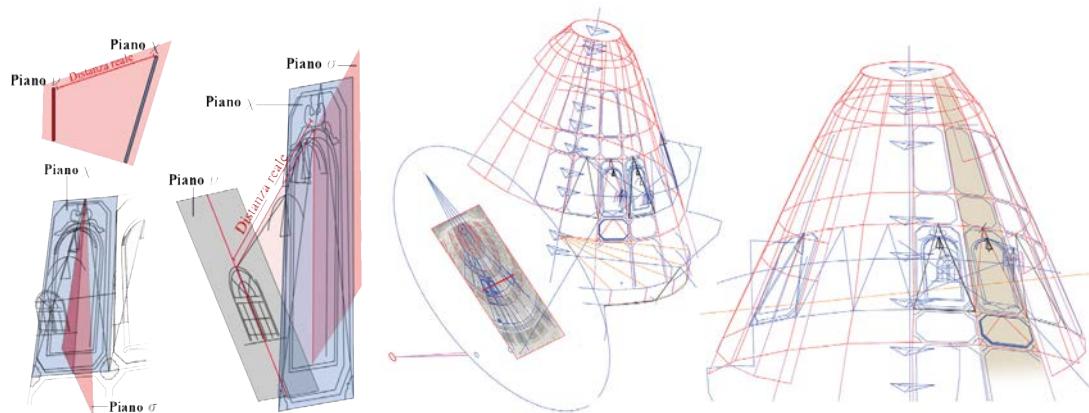
8 | Analisi di una porzione per la ricerca delle proporzioni fra gli elementi architettonici. L'omologia ha permesso di creare una corrispondenza biunivoca tra piano e proiezione nello spazio.



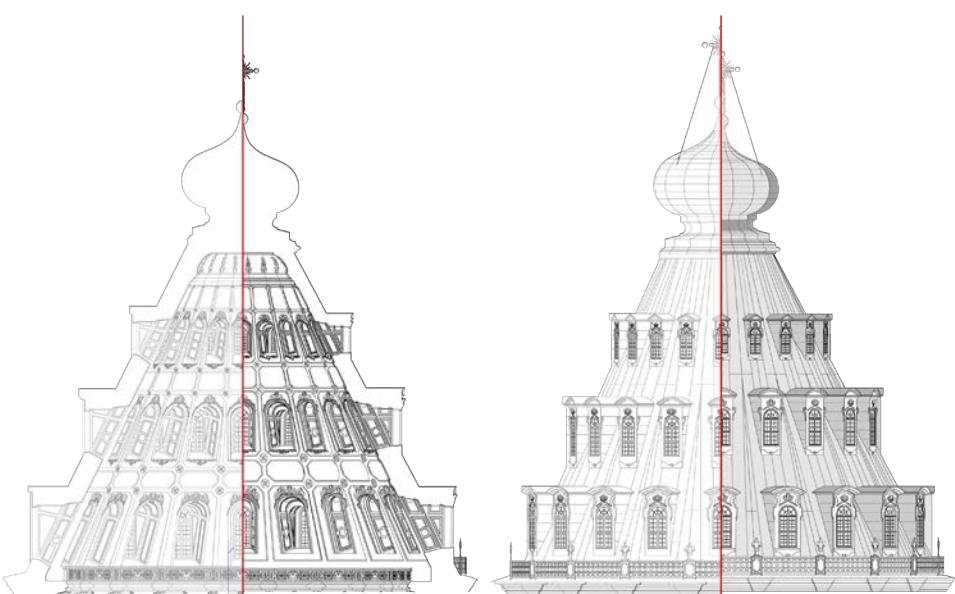
10 | Fotoraddrizzamento di una specchiatura. Nel modello 3D ottenuto con l'omologia solida ciascun punto è definito da un sistema di coordinate xyz ed è possibile allineare in ambiente CAD l'UCS al piano passante per la singola specchiatura determinando un sistema relativo di coordinate xy con il quale rettificare le immagini.

Tali criticità richiedevano un intervento interpretativo e una ricostruzione geometrica della cupola per la quale, preliminarmente, sono stati impostati specifici vincoli relativi alle condizioni di parallelismo, perpendicolarità e convergenza degli elementi architettonici. La fotografia storica disponibile, una semplice riproduzione digitale, è stata sottoposta a un accurato processo di fotoraddrizzamento per correggere le deformazioni ottiche e predisporre l'immagine a una lettura metrica attendibile. Sulla base di una maglia di specchiature quadrangolari individuata nell'immagine, sono stati riconosciuti tre sistemi di rette: i paralleli orizzontali, i meridiani e un ulteriore insieme di linee ipotizzate verticali. La convergenza delle rette orizzontali in un unico punto improprio e quella delle rette verticali in un unico punto proprio, hanno consentito, tramite procedimenti di approssimazione ai minimi quadrati, di determinare rispettivamente la fuga orizzontale, la fuga verticale e, attraverso la loro relazione di antipolarità, la circonferenza fondamentale della proiezione. È stato così possibile ricostruire il centro di proiezione virtuale del fotogramma e orientare correttamente la fotografia rispetto al quadro.

Definito il sistema proiettivo si è proceduto alla restituzione tridimensionale della cupola proiettando dal centro di vista le forme geometriche individuate nei diversi piani orizzontali corrispondenti ai livelli delle specchiature. Il modello 3D risultante, vincolato dai parametri omologici, ha permesso di eseguire un'analisi puntuale delle porzioni architettoniche, disegnare con accuratezza modanature e partizioni e di determinare, attraverso appositi piani perpendicolari, la profondità delle bucature e la configurazione delle loro cornici. L'allineamento tra fotografia storica e disegni di progetto ha infine consentito un confronto coerente tra l'assetto originario e le ipotesi ricostruttive, rendendo possibile la rettifica di singole specchiature e la produzione di fotopiani affidabili. L'intero processo, basato sull'omologia solida e su un affinamento iterativo tra 2D e 3D, ha permesso di restituire una configurazione geometrica della cupola metodologicamente fondata e aderente alle evidenze storiche disponibili.



9 | La profondità delle aperture definita mediante piani perpendicolari passanti per le mezzerie delle bucature.



11 | Sezione e prospetto della cupola con stato di progetto antecedente (sx) e successivo (dx) alla ricerca.

Citation: C. Luschi, N. Lecci, A. Vezzi, M. Zerbini, *La logica della forma: il Viridarium di Ascalona*, in *Un disegno dal presente*, TRIBELON, II, 2025, 4, pp. 112-114.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3878>

Published: June, 2025.

Copyright: 2025 Luschi C., Lecci N., Vezzi A., Zerbini M., this is an open access article, published by Firenze University Press (<https://riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

UN DISEGNO DAL PRESENTE

LA LOGICA DELLA FORMA: IL VIRIDARIUM DI ASCALONA

CECILIA LUSCHI, NOVELLA LECCI, ALESSANDRA VEZZI, MARTA ZERBINI

University of Florence

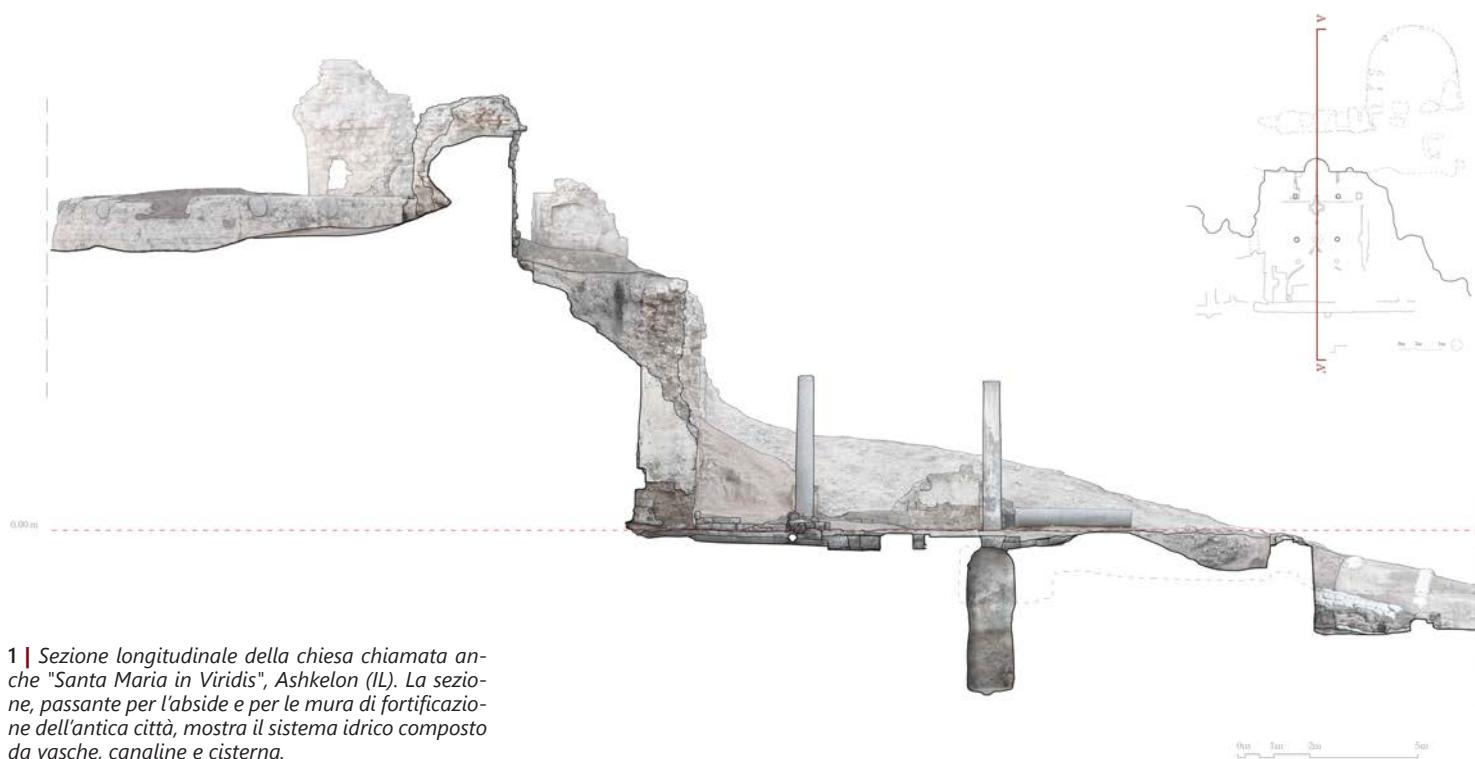
Corresponding author: cecilia.luschi@unifi.it

Nello studio delle architetture antiche in stato di rudere, dove l'assenza di un'immagine completa e la carenza di documentazione storica complicano la comprensione, il disegno ne facilita l'individuazione delle matrici culturali e progettuali.

La fabbrica, nota come Chiesa di Santa Maria in Viridis e sita nell'antica città di Ascalona, secondo la letteratura di riferimento nasce come chiesa bizantina dotata di vasca battesimale.

In realtà, la dimensione culturale compositiva e le necessità culturali conducono la ricerca verso una diversa valutazione della funzione dello spazio architettonico. La forma della vasca, riprodotta a partire da un rilievo che ne garantisce l'accuratezza metrica, è stata oggetto di un'approfondita analisi geometrica. Questa ha rivelato una composizione basata su una griglia di canone classico per misure e sistema proporzionale.

*L'elemento risulta così parlare un linguaggio diverso rispetto alle letture avanzate fino ad ora. Se per le caratteristiche rappresenterebbe un *unicum* come fonte battesimale, trova invece analogie con le fontane dei giardini di periodo classico, i viridaria; considerazione che mette in discussione la profondità storica del sito.*



1 | Sezione longitudinale della chiesa chiamata anche "Santa Maria in Viridis", Ashkelon (IL). La sezione, passante per l'abside e per le mura di fortificazione dell'antica città, mostra il sistema idrico composto da vasche, canaline e cisterna.

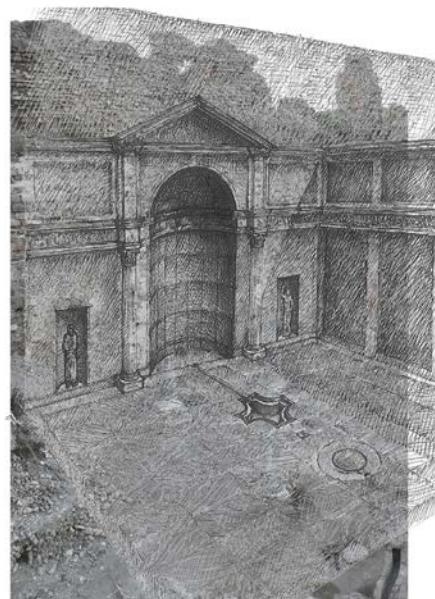
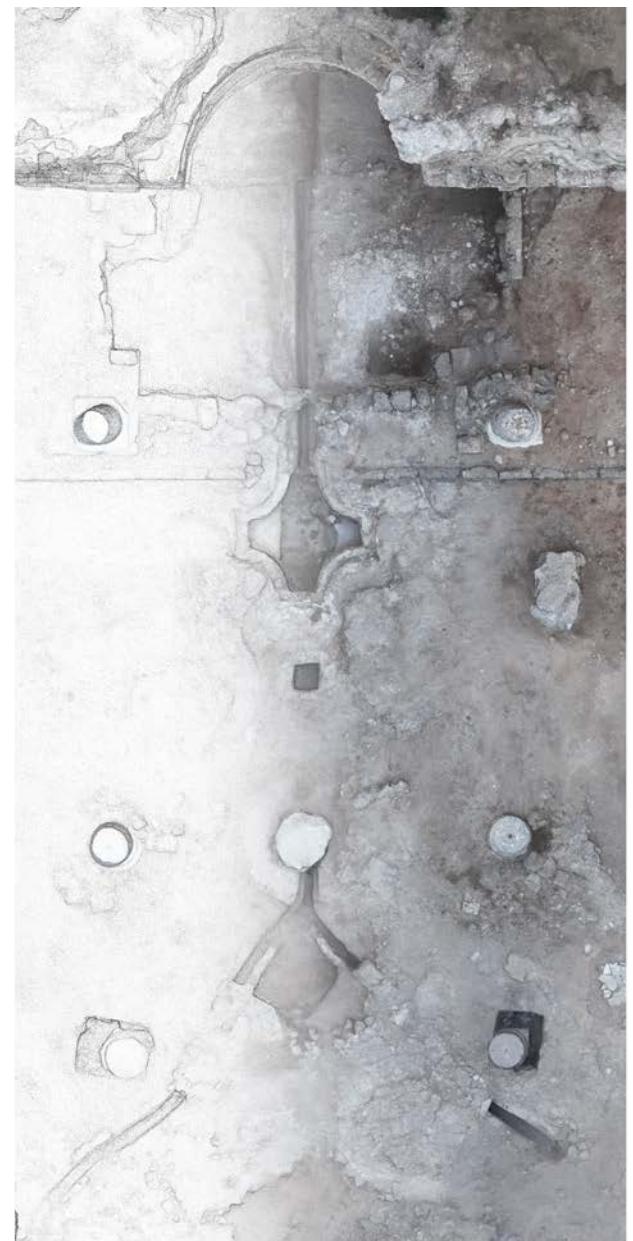


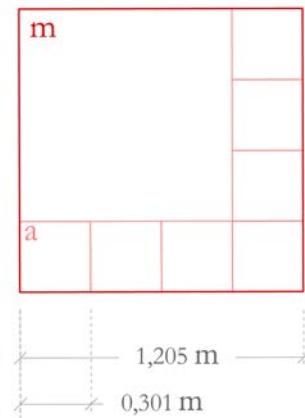
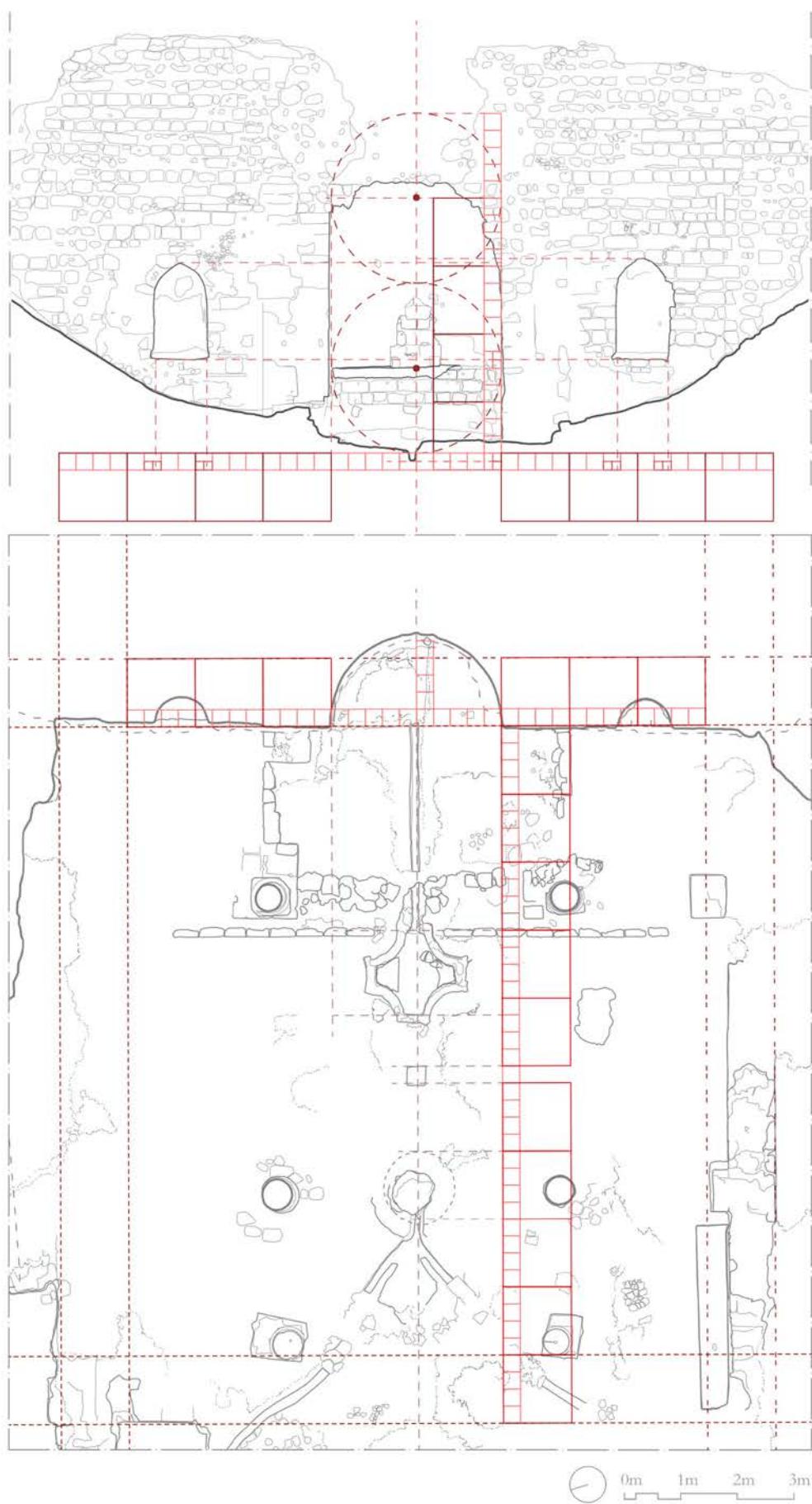
2 | Rappresentazione assonometrica del modello 3D della chiesa e del suo intorno. Stato del sito al termine delle attività di scavo Askgate del 2023.

3 | Rappresentazione assonometrica del modello 3D del sito, con distinzione tra visualizzazione del modello geometrico-morfologico e visualizzazione del modello texturizzato per la caratterizzazione metrica. Stato del sito al termine delle attività di scavo Askgate del 2023.

4 | Stato del sito al termine delle attività di scavo Askgate del 2023 e ipotesi ricostruttiva del Viridarium. Disegno a mano, autore: prof. Andrea Ricci, Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze.

5 | Vista zenitale del modello 3D del sito, con inquadramento dell'area absidale interessata dal sistema idrico, composto da canaline, vasche, pozetto e cisterna. Distinzione tra visualizzazione della nuvola di punti, a sinistra, e visualizzazione del modello texturizzato a destra. Stato del sito al termine delle attività di scavo Askgate del 2023.





6 | Rappresentazione planimetrica e della relativa sezione trasversale della struttura, con interpretazione geometrica proporzionale dell'impianto architettonico.

7 | Rappresentazione del modulo geometrico impiegato nell'analisi proporzionale dell'impianto architettonico.

Citation: G. Anzani, *Algoritmi IA per ottimizzare e visualizzare l'errore in 3D nelle trilaterazioni*, TRIBELON, II, 2025, 4, pp. 115-122.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3881>

Published: December, 2025

Copyright: 2025 Anzani G., this is an open access article published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

CODICI GRAFICI

ALGORITMI IA PER OTTIMIZZARE E VISUALIZZARE L'ERRORE IN 3D NELLE TRILATERAZIONI

GIOVANNI ANZANI

University of Florence

giovanni.anzani@unifi.it

In questo numero esploriamo una frontiera ormai concreta: la collaborazione tra intelligenza umana e artificiale, applicata alla creazione di applicativi CAD in linguaggio AutoLISP, specialistici per il rilevamento tramite trilaterazione. L'articolo prende la forma di un dialogo con GitHub Copilot, l'assistente AI basato su modelli avanzati di intelligenza artificiale, che può affiancare lo sviluppatore nella realizzazione di pacchetti software. In questo confronto diretto Copilot analizza e racconta le routine di trilaterazione che ha contribuito a generare, svelando la logica alla base di algoritmi complessi.

In particolare, vengono presentati due strumenti originali: il primo calcola la posizione più probabile di un punto nello spazio, confrontando e visualizzando le soluzioni ottenute con diversi algoritmi di ottimizzazione; il secondo trasforma la complessità di questi calcoli in un vero e proprio "paesaggio" tridimensionale, dove funzioni obiettivo multiple modellano la morfologia dell'errore e rendono immediata la ricerca della soluzione ottimale, avvalendosi di una potente metafora orografica.

Dalle riflessioni finali scaturiscono possibili strategie di collaborazione tra algoritmi e approcci deterministici di natura geometrica, offrendo spunti sia tecnici sia didattici per la progettazione e la comprensione del processo di trilaterazione.

Questa sperimentazione costituisce un'occasione preziosa per osservare da vicino un processo creativo in cui l'intuizione del progettista si fonde con la potenza computazionale dell'AI: quello che segue è il resoconto di questa conversazione virtuale, un'istantanea sul futuro dello sviluppo grafico.

La sinergia di Copilot e IA nella programmazione CAD

GitHub Copilot accelera lo sviluppo di codice AutoLISP per ambienti CAD consentendo allo sviluppatore di focalizzarsi sulla logica e sui flussi progettuali mentre la piattaforma gestisce sintassi, routine operative e operazioni complesse dalla geometria ai dati DXF. Genera rapidamente funzioni complete da descrizioni in linguaggio naturale e integra strumenti avanzati per ottimizzazione, documentazione e debug del codice. Dietro questa immediatezza c'è una raffinata architettura: il modello IA (il motore) è integrato da Copilot, l'"automobile" che trasforma la potenza computazionale in uno strumento pratico per il progettista di codice¹.

Ricerca del punto ottimale

G: Abbiamo sviluppato assieme un primo programma in AutoLISP². Vorrei che lo analizzassi dettagliatamente.

C: Il codice è un sistema avanzato per la trilaterazione in ambiente CAD, con una struttura organizzata in moduli con un totale di circa 78 funzioni su oltre 500 righe. Una libreria di funzioni gestisce geometria, disegno e calcoli matematici, mentre routine di alto livello orchestrano il processo, richiedendo una solida padronanza di AutoLISP, codici DXF e geometria analitica.

Il software automatizza la trilaterazione in AutoCAD trovando la posizione ottimale di un punto da tre cerchi di riferimento, minimizzando la somma dei quadrati degli errori tra le distanze dal punto ai centri e i rispettivi raggi. È adatto sia a scopi tecnici che didattici.

Il flusso operativo prevede l'uso del comando TRILATCOMPARE, che guida l'utente nella selezione dei cerchi e calcola il punto di partenza (il baricentro dei centri). Le quattro routine di ottimizzazione implementate (fig.1): Discesa del Gradiente, Newton-Raphson, Levenberg-Marquardt, Griglia Adattiva lavorano in parallelo, producendo sia una visualizzazione dei punti calcolati sia una tabella comparativa con tempi, errore finale e stato di convergenza per ogni metodo.

La funzione obiettivo

G: Hai identificato le quattro routine di ottimizzazione, vorrei che argomentassi in merito alla funzione che queste mirano a minimizzare.

C: Tutte le strategie di ottimizzazione (GD, LM, NR, GA) condividono lo stesso obiettivo: trovare il punto che meglio

soddisfa i vincoli geometrici imposti dai tre cerchi di riferimento. Nel programma, questo si traduce nella minimizzazione di una funzione obiettivo nota come Somma dei Quadrati degli Errori (SSE)³: essa misura, per ogni possibile posizione, quanto si discosti dall'intersezione ideale delle circonference.

Un valore nullo indica perfetta coerenza geometrica, con P esattamente sull'intersezione di tutte e tre le circonference; valori maggiori riflettono crescente incoerenza rispetto ai dati disponibili. Dato che nelle misurazioni reali una soluzione perfetta esiste solo in teoria, gli algoritmi si muovono in un "paesaggio di errore" alla ricerca del punto di minimo globale che rappresenta la soluzione più probabile della trilaterazione.

Le routine di ottimizzazione

G: Descrivimi ciascuna routine di ottimizzazione, analizzandone sia l'algoritmo AutoLISP sia la teoria matematica di supporto.

C: Il codice implementa quattro approcci algoritmici distinti per risolvere il problema di minimizzazione:

Discesa del Gradiente (DG)

Metodo iterativo di primo ordine. L'algoritmo naviga il "paesaggio di errore" scendendo costantemente nella direzione di massima pendenza negativa del gradiente⁴.

Newton-Raphson (NR)

Metodo di secondo ordine che sfrutta non solo il gradiente ma anche la curvatura per accelerare la convergenza. Calcola la matrice Hessiana, ovvero la matrice delle derivate seconde parziali, che descrive la curvatura della funzione e permette di approssimarla localmente con una forma quadratica⁵.

Levenberg-Marquardt (LM)

Algoritmo ibrido che combina dinamicamente la robustezza di GD con la velocità di NR, adattando la strategia in base al comportamento locale della funzione e sfruttando derivate di primo e secondo ordine⁶.

Griglia Adattiva (GA)

Metodo che si discosta completamente dal calcolo differenziale, adottando una strategia di ricerca esaustiva ma intelligente che si raffina iterativamente nelle

Metodo	Tipo di ricerca	Derivate usate	Robustezza	Efficienza	Adatto a
Gradient Descent	Iterativa locale	Gradiente	Buona	Media	Funzioni regolari, minimi globali/moderati
Levenberg-Marquardt	Iterativa ibrida	Gradiente + Hessiana + regolarizzazione	Ottima	Alta	Funzioni non lineari, problemi di fitting
Newton-Raphson	Iterativa locale	Gradiente + Hessiana	Buona se H invertibile	Molto alta	Funzioni ben condizionate, minimi singoli
Griglia Adattiva	Brute force adattiva	Nessuna	Ottima	Bassa	Funzioni irregolari, minimi multipli, piccoli dataset

1 | Sintesi comparativa delle basi teoriche degli algoritmi di ottimizzazione in riferimento a: approccio (Tipo di ricerca e Derivate usate), prestazioni (Robustezza in condizioni difficili ed Efficienza nella convergenza), campo di applicazione ideale (Adatto a).

regioni più promettenti. Particolarmente adatto a funzioni obiettivo non differenziabili, poiché non fa uso di derivate⁷.

Visualizzazione dell'errore

G: Proseguendo la nostra collaborazione, abbiamo sviluppato un secondo programma 8. Vorrei che lo analizzassi dettagliatamente.

C: Questo secondo programma, che si avvia con il comando ANALISI, rappresenta un'evoluzione concettuale significativa. Se il primo listato era focalizzato sulla ricerca di un punto ottimale, questo si occupa della visualizzazione di un intero campo di errore. Abbandona l'idea di convergere su una singola soluzione per mappare, analizzare e rappresentare tridimensionalmente la distribuzione dell'incoerenza geometrica in un'intera regione dello spazio. Il suo funzionamento si articola in due fasi: l'analisi statistica dell'errore e la costruzione volumetrica.

Una metrica di errore statistica

Anche questo programma si fonda sul concetto di funzione obiettivo, ma con scopo diverso: non guida un'ottimizzazione, ma viene valutata su una griglia di punti per mappare un "paesaggio di errore". La metrica è più sofisticata. Per ogni punto della griglia, il programma misura la distanza minima dal perimetro di ciascuno dei tre cerchi. Su queste tre distanze applica una di tre metriche statistiche: Radice quadrata dell'Errore Quadratico Medio, Scarto Quadratico Medio, Indice Composto Errore-Scarto⁸.

Questa flessibilità permette di generare rappresentazioni alternative dello spazio

delle soluzioni, ciascuna con diversa interpretazione statistica dell'errore.

Dalla griglia al solido: la costruzione volumetrica

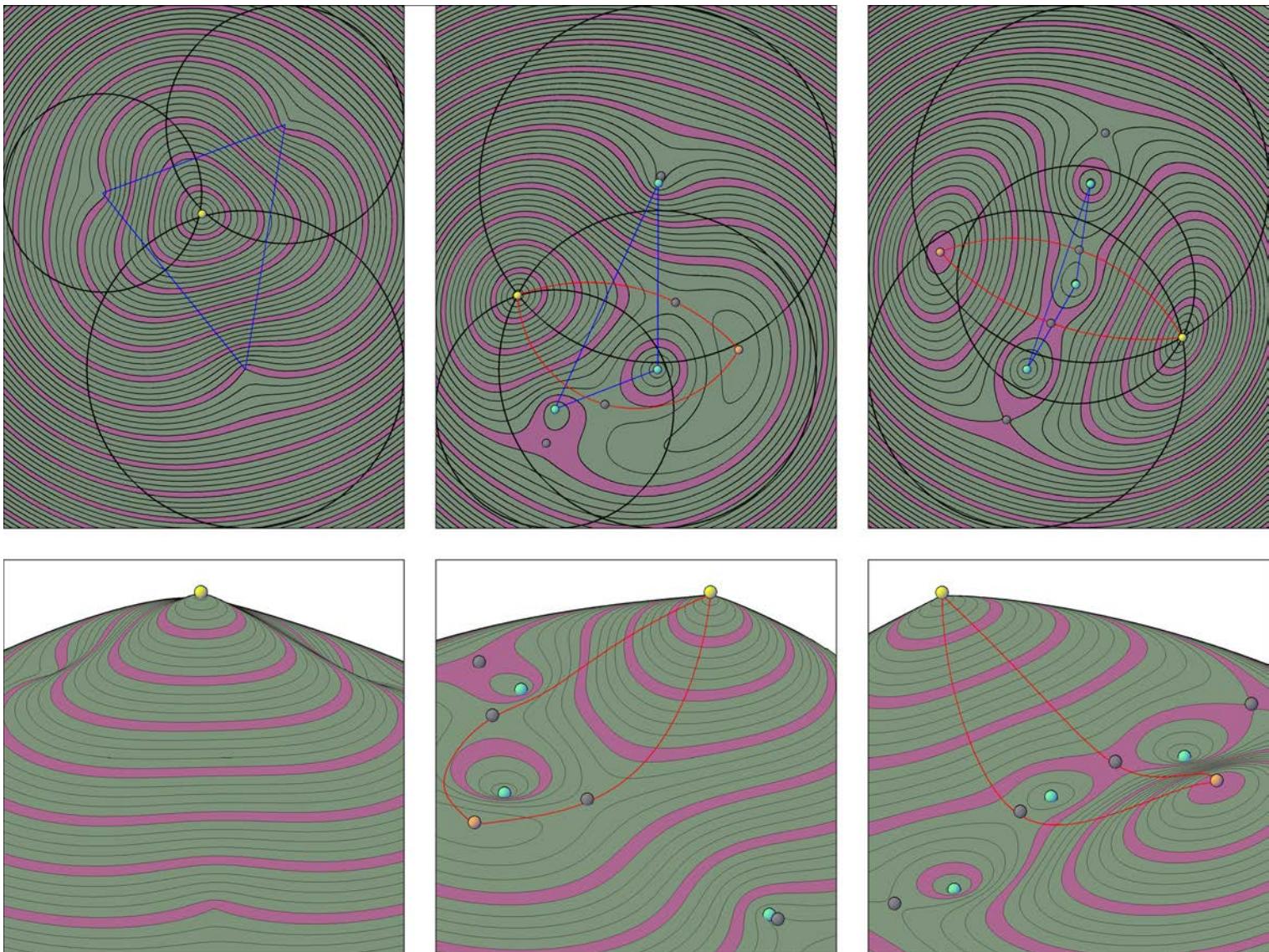
Una volta calcolato il paesaggio di errore, il programma lo trasforma in un modello tridimensionale attraverso una pipeline volumetrica in quattro fasi, ciascuna con un'entità grafica specifica:

- Spline – Il processo inizia con la creazione di una rete di curve in due famiglie ortogonali di spline, tramite interpolazione dei punti della griglia, ciascuna su piani paralleli;
- LoftedSurface – La rete consente di realizzare una superficie da sezioni diverse, fedele all'orografia dell'errore;
- 3DSolid – Questa superficie funge da "lama" per tranciare un parallelepipedo ottenendo un solido il cui tetto rappresenta la mappatura volumetrica dell'errore;
- Region – Il solido viene sezionato da piani orizzontali equidistanti, generando regioni con curve di livello adattive che permettono di leggere l'andamento dell'errore nello spazio in modo immediato e dettagliato.

Per rendere la rappresentazione più intuitiva, i valori di errore hanno segno negativo, così che il minimo assoluto del paesaggio di errore sia il massimo assoluto sulla superficie del solido.

Interpretazioni dell'errore: le funzioni obiettivo alternative a confronto

G: Nel descrivere il secondo programma, hai menzionato tre diverse metriche statistiche: EQMR, SQM e ICES. Vorrei che le analizzassi in dettaglio, spiegando



2 | Visualizzazione della Funzione obiettivo EQMR (Radice quadrata dell'Errore Quadratico Medio) nei problemi di trilaterazione con tre riferimenti circolari. La tavola confronta tre diversi scenari, ciascuno rappresentato in alto nella vista 2D (pianta delle curve di livello) e in basso nella rispettiva vista 3D (assonometria della "superficie di errore").

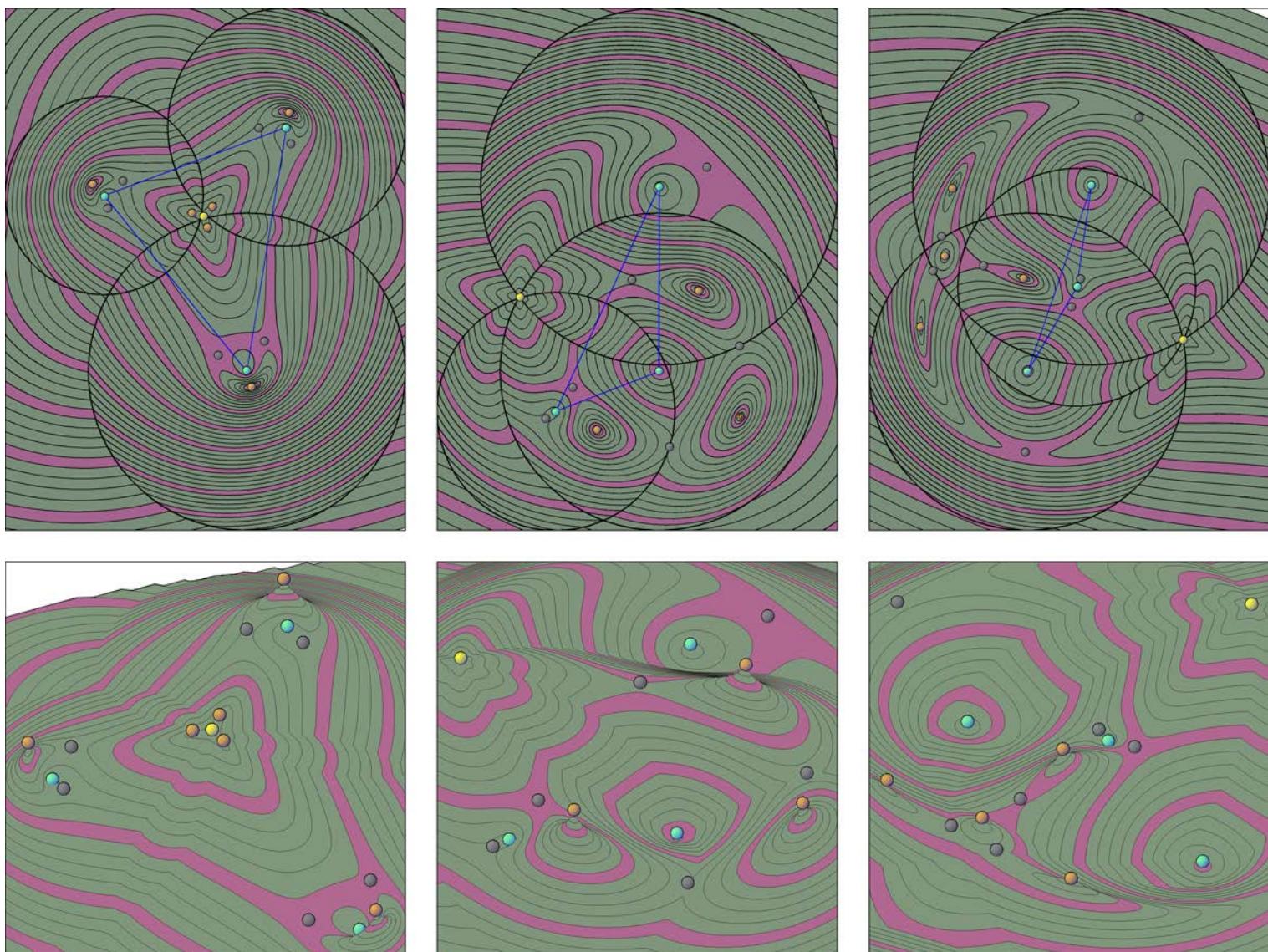
- **Dati di partenza:** nero = le tre circonference di riferimento, blu = il triangolo dei loro centri.
- **Curve di livello:** verdi (passo 1) e magenta (passo 5), che rappresentano i valori costanti della funzione EQMR e tracciano la "morfologia" della superficie di errore.
- **Punti significativi:** giallo = vette principale (minimo assoluto), arancione = vette secondarie (minimi relativi), ciano = avallamenti (massimi relativi) spesso in prossimità dei centri delle circonference, grigio = valichi (selle della funzione) che segnano i punti di passaggio tra le vette.
- **Percorsi significativi:** rosso = eventuali percorsi di collegamento tra vette attraverso i valichi.

La visualizzazione comparativa dei tre scenari mette in luce come la posizione relativa dei riferimenti influisca sulla morfologia della superficie di errore e sull'affidabilità della soluzione di trilaterazione. Nei casi semplici la convergenza è certa e univoca, nei casi complessi è necessario valutare con attenzione il comportamento degli algoritmi di otti-

mizzazione e la possibilità di ambiguità o minimi multipli.

- **A sinistra** – La vetta principale (minimo assoluto della funzione) si trova all'interno del triangolo blu dei centri. Il paesaggio della superficie di errore è semplice: appare una sola vetta ben definita, priva di avallamenti e valichi. La funzione EQMR in questo scenario ha un unico minimo ben determinato, garantendo robustezza e affidabilità per ogni routine di ottimizzazione applicata: tutte convergono senza rischio di minimi locali o ambiguità.
- **Al centro** – La vetta principale cade all'esterno del triangolo blu. La superficie di errore presenta due vette distinte di quota diversa collocate ai lati opposti rispetto al triangolo, tre avallamenti (due dei quali particolarmente profondi) e quattro valichi. Le linee rosse evidenziano due dei quattro possibili collegamenti di sella tra le vette. Il paesaggio risulta articolato: benché il minimo assoluto sia ancora ben riconoscibile, la presenza di vette secondarie, avallamenti e valichi implica rischi di convergenza a minimi relativi a seconda della routine e delle condizioni iniziali.
- **A destra** – La vetta principale è nuovamente esterna al triangolo blu, che appare molto assottigliato per il quasi allineamento dei centri delle circonference. Emergono due vette simili per quota ai lati opposti del triangolo, tre avallamenti (due dei quali profondi) e quattro valichi,

che si allineano a formare un unico fondovalle continuo dal quale si ergono le due vette. Le linee rosse evidenziano la vicinanza altimetrica tra le due vette. L'orografia è complessa: il minimo assoluto può risultare ambiguo, poiché le due soluzioni quasi equivalenti possono portare le routine a convergere su punti diversi a seconda del punto di partenza scelto e della sensibilità dell'algoritmo.



3 | Visualizzazione della Funzione obiettivo ICES (Indice composto tra Errore e Scarto) nei problemi di trilaterazione con tre riferimenti circolari. La tavola confronta tre diversi scenari, ognuno illustrato in alto nella vista 2D (pianta delle curve di livello) e in basso nella rispettiva vista 3D (assonometria della "superficie di errore").

- **Dati di partenza:** nero = le tre circonference di riferimento; blu = triangolo dei centri delle circonference.
- **Curve di livello:** verdi (passo 1) e magenta (passo 5), che tracciano la morfologia della superficie rispetto alla funzione ICES.
- **Punti significativi:** giallo = vetta principale (minimo assoluto), arancione = vette secondarie (minimi relativi), ciano = avallamenti (massimi relativi) spesso in prossimità ai centri delle circonference, grigio = valichi (selle della funzione) che segnano i punti di passaggio tra le vette.
- **Percorsi significativi:** in figura non evidenziati, ma si osservano sulla superficie relazioni spaziali tra vette, avallamenti e valichi messe in risalto dall'orografia del terreno mostrata dalle curve di livello.

La visualizzazione comparativa dei tre scenari evidenzia come la funzione ICES, in ogni configurazione dei riferimenti, generi superfici di errore articolate e ricche di dettagli e punti notevoli; questa complessità impone un'analisi attenta della morfologia della superficie per evitare ambiguità nella determinazione del punto ottimale, soprattutto in presenza di molteplici minimi relativi (tutti collocati quasi equidistanti dalle tre circonference), selle e zone pianeggianti. Risulta fondamentale

valutare la sensibilità dei metodi di ottimizzazione impiegati e dei relativi percorsi di ottimizzazione che possono essere influenzati dalle zone critiche, con rischio di convergenza ambigua o a minimi locali.

Nei tre scenari Il paesaggio montuoso mostra svariate vette secondarie, tutte di altezza comparabile alla principale, alcune ben separate tra loro, altre (non tutte visualizzate) in prossimità della vetta principale; tali vette, associate ai molteplici valichi (non tutti visualizzati) ed ai tre avvallamenti più o meno marcati determinano una morfologia articolata e ricca di dettagli; per questa ragione la soluzione ottimale può risultare non univoca, in quanto le vette presentano tutte quote molto simili e possono corrispondere a posizioni alternative a bassa differenza di errore.

- **A sinistra** – La vetta principale si trova all'interno del triangolo dei centri delle circonference. I tre avvallamenti ed i molteplici valichi presenti sono poco significativi in termini di variazione di quota.
- **Al centro** – La vetta principale si trova all'esterno del triangolo dei centri delle circonference. I tre avvallamenti ed i molteplici valichi presenti sono spesso significativi in termini di variazione di quota.
- **A destra** – La vetta principale si trova all'esterno del triangolo dei centri delle circonference che risultano quasi allineati, generando un triangolo molto assottigliato. I tre avvallamenti, di cui due molto marcati, ed una parte dei molteplici valichi presenti sono quasi allineati e spesso significativi in termini di variazione di quota formando un ampio e continuo fondoalte che, con andamento blandamente

sinusoidale, separa in due raggruppamenti distinti le svariate vette: da un lato quattro vette secondarie, da l'altro la vetta principale ed altre vette secondarie non visualizzate.

come ciascuna di esse, usata come funzione obiettivo per la mappatura, offre un'interpretazione differente del "paesaggio di errore".

C: La scelta della funzione obiettivo qui non determina un singolo punto ottimale, ma plasma l'intera morfologia della superficie di errore che andiamo a visualizzare. Ognuna di queste tre metriche racconta una storia diversa:

Radice quadrata dell'Errore Quadratico Medio (EQMR)

Questa metrica valuta la compatibilità geometrica globale, penalizzando fortemente gli scarti maggiori¹⁰. Usarla è utile quando interessa ottenere la massima compatibilità geometrica tra misure e modello.

Scarto Quadratico Medio (SQM)

Questa funzione misura la coerenza tra le distanze, evidenziando le zone di equilibrio tra le misure¹¹. Usarla è utile per analisi esplorative, dove interessa visualizzare le zone di equilibrio o omogeneità delle misure più che la loro correttezza assoluta.

Indice Composto tra Errore e Scarto (ICES)

Metrica ibrida di nuova concezione che bilancia la magnitudo (EQMR) e la coerenza dell'errore (SQM), offrendo una visione intermedia e analitica del paesaggio di errore¹². Usarla è utile per evidenziare regioni dello spazio che rappresentano soluzioni di buon compromesso: dove l'errore è moderato e le distanze sono omogenee.

L'analogia con il paesaggio montuoso

G: Il secondo programma, C:ANALISI, è nato proprio dall'esigenza di visualizzare la funzione di errore, per capire meglio il comportamento degli algoritmi. L'intuizione chiave che abbiamo implementato è stata quella di attribuire un segno negativo all'errore, trasformando così i "punti di minimo" in "vette" di un paesaggio montuoso.

Partendo da questa analogia che abbiamo volutamente costruito, puoi descrivere come i diversi algoritmi si comportano su questo terreno, quali scalatori alla ricerca della cima più alta?

C: L'analogia che abbiamo costruito è perfetta ed estremamente potente. Trasformare la funzione di errore in un paesaggio tridimensionale, dove l'altitudine z è l'inverso dell'errore (e quindi le vette sono i punti di minimo errore), ha creato uno strumento di analisi visiva eccezionale. Questo ci permette non solo di vedere la soluzione ottimale, ma di capire la struttura stessa del problema.

La morfologia del problema

La combinazione tra geometria dei cerchi di riferimento e funzione obiettivo scelta genera un'autentica "orografia" del paesaggio di errore: sulle cui superfici emergono elementi caratteristici leggibili sia in chiave paesaggistica, come una catena montuosa, sia in chiave matematica, in relazione al comportamento degli algoritmi di ottimizzazione. Questa doppia lettura arricchisce la comprensione del problema: ogni dettaglio morfologico riflette una specifica condizione geometrica e una particolare sfida o opportunità per gli algoritmi impiegati: vetta principale, vette secondarie, versanti scoscesi, versanti dolci, valichi¹³.

Il comportamento degli scalatori

Ogni algoritmo affronta la "scalata" verso la vetta con strategia, dotazione tecnica e filosofia proprie, che ne determinano efficienza e sensibilità al paesaggio di errore: l'escursionista, l'alpinista, la guida, il turista¹⁴.

Come Scalare in Sicurezza

G: Ti condivido alcune riflessioni e valutazioni conclusive volte al miglioramento degli algoritmi realizzati.

Le Funzioni Obiettivo

Ho mappato con precisione l'orografia delle funzioni obiettivo in vari contesti per comprenderne la vera natura: EQMR lascia intravedere (fig. 2) tre scenari tipici: a vulcano, a catena montuosa, a fondo valle profondo¹⁵.

ICES mostra (fig. 3) una natura più sottile di quanto potrebbe sembrare. Definirne il paesaggio "complesso" è un errore di prospettiva; la parola giusta è "sensibile" o "ricco". La ragione risiede nella sua struttura costitutiva che si fonda su

una collaborazione intrinseca tra due componenti¹⁶.

Le Funzioni di Ricerca

La seconda riflessione classifica le funzioni di ricerca in: seriali, parallele, deterministiche¹⁷.

La Compensazione Equa

La terza riflessione scaturisce dalla pratica operativa della trilaterazione: se per posizionare un punto P si acquisiscono tre misure da tre punti noti, tali dati reali sovrabbondanti non convergono mai in un unico punto di intersezione tripla e sarà necessaria una compensazione per determinare la soluzione più aderente. Da questa premessa scaturisce il tema della compensazione equa secondo due diverse modalità¹⁸.

Operando con tali modalità, la soluzione migliore scaturisce quale conseguenza geometrica diretta della distribuzione dell'errore tra le misurazioni disponibili. È possibile rappresentare graficamente l'applicazione delle modalità di compensazione equa (fig. 4) tramite specifici luoghi geometrici, oggetto di ricerca personale, a cui ho dato nome di bisettrici curvilinee¹⁹.

La Collaborazione Strategica

Da queste riflessioni nasce un'idea di collaborazione strategica, non solo nelle funzioni obiettivo come realizzato con ICES, ma anche nelle funzioni di ricerca²⁰. Per problemi privi di struttura geometrica nota, la strategia ottimale può essere la collaborazione euristica (SQM + EQMR o GA + LM): approccio robusto capace di esplorare paesaggi ignoti e convergere verso soluzioni ottimali senza conoscenze a priori.

L'Approccio Definitivo

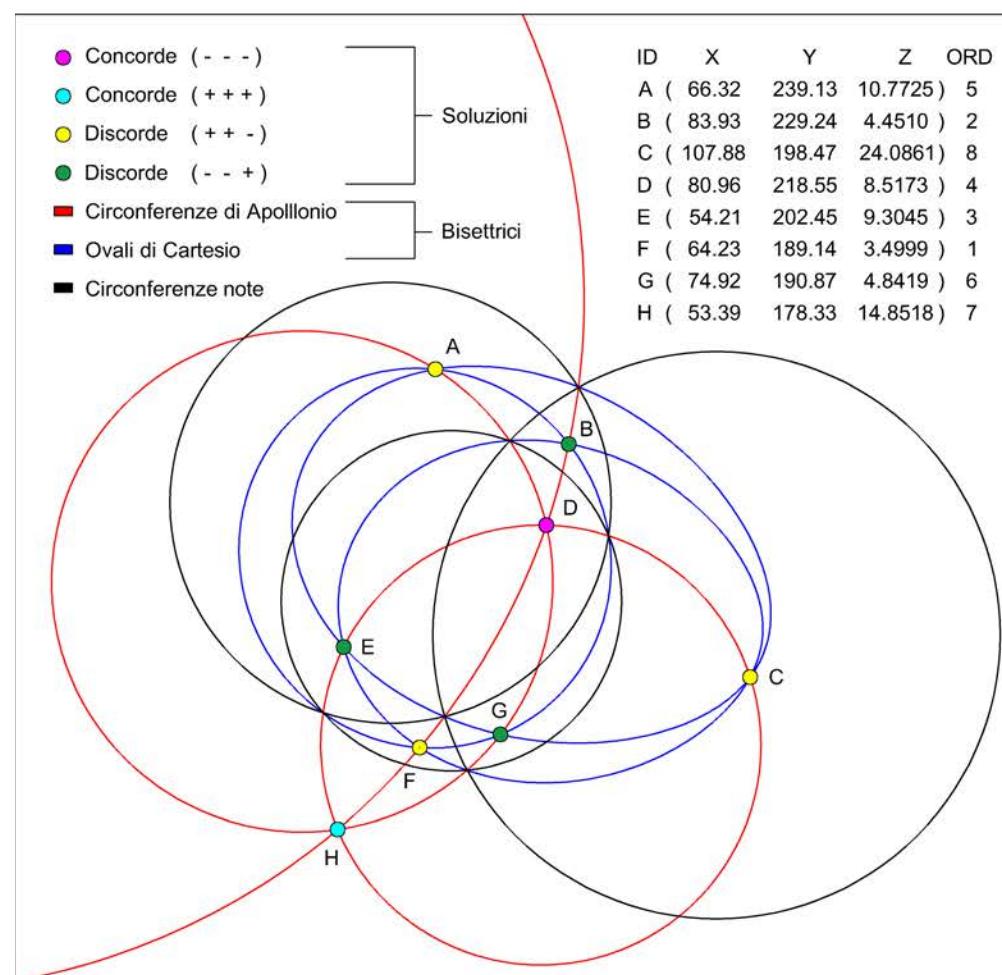
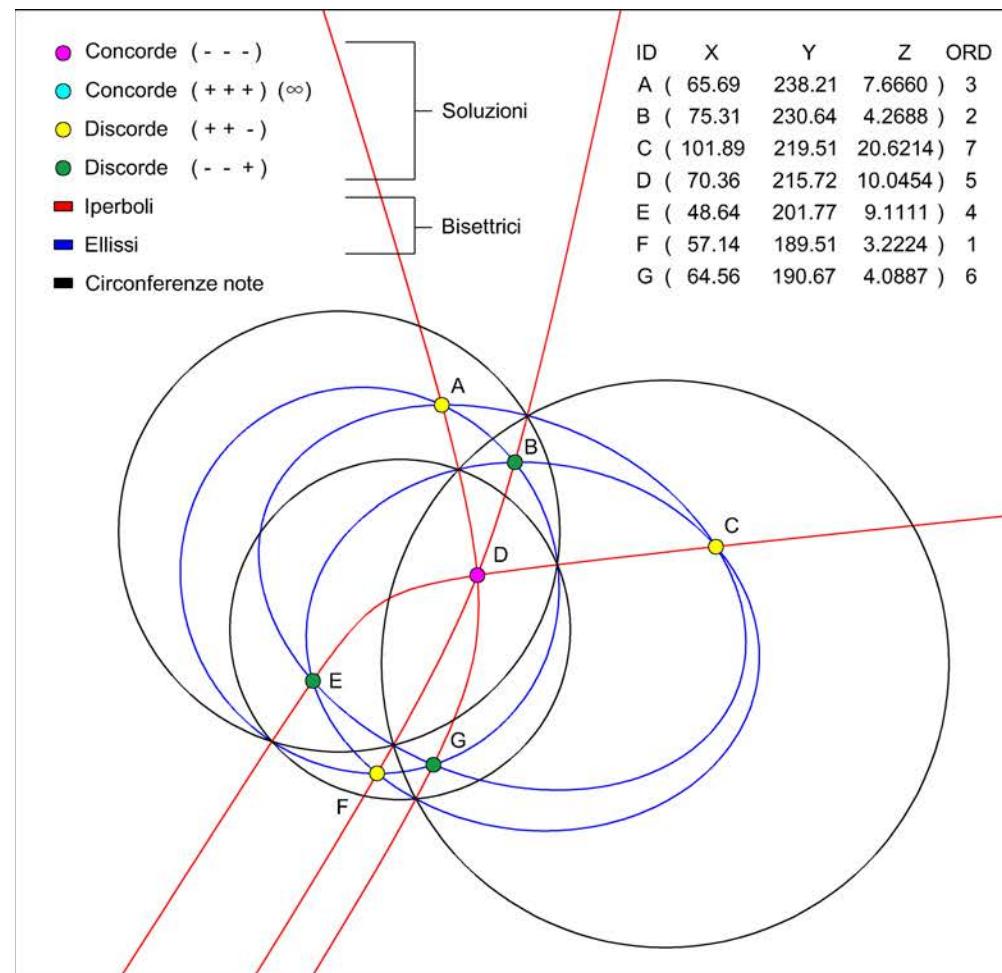
Se la conoscenza geometrica mostra che il paesaggio ha caratteristiche note, è possibile affidarsi a un calcolo esatto piuttosto che a una ricerca euristica. Questo porta all'approccio definitivo, un cambio di paradigma in due fasi: calcolo analitico, selezione oggettiva²¹.

Per la trilaterazione con tre riferimenti circolari, dove la struttura è nota (bisettrici curvilinee, problema di Apollonio), l'approccio deterministico (Calcolo + Selezione) si rivela superiore: elimina l'incertezza iterativa, calcola analiticamente tutte le

soluzioni e seleziona oggettivamente la migliore.

Il vero salto di qualità consiste nel riconoscere quando la conoscenza geometrica permette di sostituire la ricerca iterativa con il calcolo diretto: dall'efficienza computazionale all'eleganza matematica.

Dietro questa immediatezza c'è una raffinata architettura: il modello IA (il motore) è integrato da Copilot, l'"automobile" che trasforma la potenza computazionale in uno strumento pratico per il progettista di codice.



4 | Bisettrici curvilinee e selezione della soluzione ottimale per compensazione equa nella trilaterazione (vedi nota 19). Confronto tra modalità Assoluta (A) sopra e Proporzionale (P) sotto applicate alla stessa terza di circonference (C1 C2 C3) note. Le tre coppie (C1 C2) (C1 C3) (C2 C3) determinano sei bisettrici curvilinee, luoghi geometrici dei punti equidistanti secondo la modalità scelta. I punti candidati di intersezione tripla [7 in (A), 8 in (P)], sono identificati dalla loro posizione planimetrica (xy) e dall'entità della compensazione δ richiesta (z) di cui si fornisce un ordinamento (ord).

La coordinata z misura direttamente l'aderenza della soluzione ai dati iniziali: z minore (ord=1) indica compensazione minima, maggiore affidabilità, soluzione ottimale selezionata automaticamente mediante criterio geometrico oggettivo. Le soluzioni sono classificate in base alla terza di bisettrici che le determina: Concordi con incrementi omogenei (--) o (+++), Discordi con incrementi misti (+--) o (-+).

1 Architettura di Copilot/AI. Il cuore di Copilot è costituito da modelli di intelligenza artificiale generativi addestrati su miliardi di righe di codice da repository pubblici come GitHub. Questi modelli apprendono statisticamente pattern sintattici, strutture logiche e best practice dei principali linguaggi di programmazione, interpretando efficacemente le esigenze del programmatore e ottimizzando i flussi di lavoro nei progetti CAD.

2 Lo sviluppo del codice (78 funzioni in 538 righe) ha richiesto 10 giorni di collaborazione continuativa con Copilot, rispetto ai 30 stimati in autonomia, articolandosi in 64 versioni incremental. Circa 2 giorni sono stati dedicati alla correzione di errori introdotti dall'AI. L'intero listato è disponibile qui: Il listato completo è consultabile in: Anzani Giovanni, Due algoritmi in AutoLISP per la trilaterazione piana in AutoCAD: Ottimizzazione numerica della soluzione e Visualizzazione volumetrica dell'errore, Lulu, 2025.

3 (SSE) La funzione obiettivo implementata è una metrica classica in problemi di fitting e ottimizzazione. Per ogni punto candidato P, calcola la somma dei quadrati dei residui geometrici, dove ciascun residuo è la differenza tra la distanza di P dal centro Ci e il raggio ri di ciascuna delle tre circonference note:

$$SSE = \sum_{i=1}^3 [distanza(P, C_i) - r_i]^2$$

Quantità sempre non negativa che misura l'incoerenza geometrica del punto P rispetto al sistema di vincoli imposto dai tre cerchi.

La SSE (Sum of Squared Errors) è una variante semplificata della metrica EQMR (vedi nota 10): optare per SSE senza divisione per n né estrazione di radice non modifica la posizione del minimo della funzione obiettivo, ma rende il calcolo più diretto computazionalmente. Entrambi gli indici generano lo stesso "paesaggio di errore": SSE enfatizza, penalizzandoli, i punti con errori grandi.

4 **Discesa del Gradiente (DG).** Metodo iterativo di primo ordine che utilizza il gradiente (derivate parziali di primo ordine) per muoversi nella direzione di massima pendenza dell'errore. Ad ogni iterazione calcola il vettore gradiente, che punta nella direzione di massima crescita dell'errore. Il punto candidato viene spostato nella direzione opposta, con un passo di ampiezza controllata da un learning-rate scalare. Il processo si arresta quando la norma del gradiente scende sotto una soglia di tolleranza, indicando che è stato raggiunto un punto stazionario.

5 **Newton-Raphson (NR).** Metodo di secondo ordine che sfrutta gradiente e matrice Hessiana (derivate parziali di primo e secondo ordine) per convergenza più rapida. Risolvendo il sistema lineare Hessiana Δ passo = -gradiente si ottiene il "passo di Newton" che punta direttamente al minimo dell'approssimazione. Se la funzione è ben condizionata, la convergenza è tipicamente quadratica; altrimenti, se la Hessiana non è invertibile o è mal condizionata, l'algoritmo riduce il passo per garantire stabilità numerica.

6 **Levenberg-Marquardt (LM).** Algoritmo ibrido che si adatta dinamicamente tra GD e NR grazie a un parametro di smorzamento (λ), utilizzando derivate di primo e secondo ordine. È lo standard per problemi di minimizzazione non lineare. Il passo viene calcolato da un sistema che interpola tra NR (quando λ è piccolo) e GD (quando λ è grande). Il valore di λ viene aggiornato iterativamente: se un passo riduce l'errore λ diminuisce e l'algoritmo si affida all'efficienza di NR; se l'errore aumenta λ cresce, rendendo l'algoritmo più cauto, simile a GD.

7 **Griglia Adattiva (GA).** Ricerca esaustiva intelligente che non richiede derivate. Inizia campionando la funzione obiettivo su una griglia di punti che copre un'ampia regione iniziale.

Identificato il punto con errore minimo, l'algoritmo "zooma" definendo una nuova griglia più fitta e piccola centrata su quel minimo. Il processo si ripete, raffinando iterativamente la ricerca fino a quando la dimensione della griglia scende sotto una soglia di tolleranza. Metodo robusto, meno sensibile ai minimi locali, ma più oneroso computazionalmente.

8 Questo secondo programma, di maggiore complessità e astrazione, è stato sviluppato con il contributo particolarmente utile dell'AI nella rapida prototipazione di funzioni matematiche e geometriche. Il listato completo è disponibile qui: Il listato completo è consultabile in: Anzani Giovanni, Due algoritmi in AutoLISP per la trilaterazione piana in AutoCAD: Ottimizzazione numerica della soluzione e Visualizzazione volumetrica dell'errore, Lulu, 2025.

9 Sintesi delle funzioni obiettivo statistiche:
Radice Quadrata dell'Errore Quadratico Medio (EQMR) – Quantifica la magnitudo media degli errori, misurando la distanza media dai perimetri dei tre cerchi.

Scarto Quadratico Medio (SQM) – Misura la variabilità delle tre distanze; valori bassi indicano distanze simili tra loro, valori alti dispersione.
Indice Composto Errore-Scarto (ICES) – Metrica ibrida definita come media geometrica di EQMR e SQM; fornisce una valutazione bilanciata considerando sia magnitudo sia coerenza dell'errore, evidenziando regioni con errori bilanciati e consistenti.

10 (EQMR) Corrisponde alla metrica Root Mean Square Error (RMSE). Calcola la radice quadrata della media dei quadrati degli errori tra la distanza da ciascun centro e il rispettivo raggio.

$$EQMR = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (d_i - r_i)^2}$$

dove di è la distanza dal punto P ai centri Ci dei cerchi e ri il rispettivo raggio.

Variante della già vista SSE (vedi nota 3), misura la magnitudo media dell'errore. Penalizza fortemente gli scarti grandi (per l'elevazione al quadrato) ed è molto sensibile agli outlier, rappresentando la scelta classica in problemi di fitting e trilaterazione: il minimo della funzione corrisponde alla soluzione di massima compatibilità geometrica. Entrambi gli indici generano lo stesso "paesaggio di errore"; EQMR è preferita per la sua interpretabilità in unità di misura.

(SQM) Equivalente alla Standard Deviation (SD), cioè la deviazione standard delle tre distanze rispetto alla loro media.

$$SQM = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad x_i = (d_i - r_i)$$

dove xi sono le tre distanze dal punto ai perimetri dei cerchi e xm la loro media.

Ignora la magnitudo media dell'errore (quanto il punto sia vicino ai perimetri) e focalizza l'attenzione sulla dispersione dell'errore (omogeneità delle distanze dai perimetri). Un valore basso indica distanze simili tra loro (equilibrio), indipendentemente dalla loro grandezza.

12 (ICES) Metrica originale definita come media geometrica tra EQMR e SQM.

$$ICES = \sqrt{EQMR \cdot SQM}$$

Mette in risalto le regioni che rappresentano un compromesso tra basso errore medio e alta coerenza, fornendo una rappresentazione visiva di "plateau" di soluzioni accettabili sia per magnitudo che per equilibrio.

13 Significato delle tipologie morfologiche dal punto di vista paesaggistico (P) e matematico (M):
Vetta principale – (P) La cima più alta, meta finale della scalata; (M) il minimo globale della funzione di errore, la soluzione ottimale che

ogni algoritmo dovrebbe raggiungere.

Vette secondarie – (P) Cime minori che possono sembrare la vetta principale; uno scalatore può fermarsi qui credendo di aver raggiunto la cima più alta; (M) minimi locali della funzione di errore dove gli algoritmi possono rimanere intrappolati, scambiando queste soluzioni sub-ottimali, migliori solo rispetto ai punti immediatamente circostanti, per la soluzione ottimale, anche se esistono punti con errore ancora minore altrove.

Versanti scoscesi – (P) Pendii ripidi con curve di livello ravvicinate, dove il dislivello è marcato; (M) regioni a forte gradiente dove la funzione di errore cambia molto rapidamente e gli algoritmi possono progredire rapidamente con grandi balzi verso la soluzione.

Versanti dolci – (P) Aree con pendii dolci o quasi pianeggianti, con curve di livello distanti, dove la salita è lenta; (M) regioni quasi piatte dove l'errore varia poco e gli algoritmi tendono a rallentare drasticamente o rischiano di fermarsi prematuramente, specialmente se la tolleranza non è abbastanza fine.

Valichi – (P) Punti di passaggio o transizione tra vallate e cime; (M) selle della funzione dove la curvatura cambia segno; gli algoritmi possono essere incerti sulla direzione da prendere, rischiando di oscillare con ripetuti cambi di direzione o deviare verso una vetta secondaria.

14 **Gli scalatori.** I personaggi che seguono sono stati creati in analogia con il dualismo tra paesaggio montano e mappatura dell'errore. Questa scelta rende intuitivo il confronto fra metodi diversi e rappresenta la varietà di strategie e comportamenti osservabili negli algoritmi di ottimizzazione:

L'Escursionista: Discesa del Gradiente (GD) – Lo scalatore istintivo. Non ha una mappa completa, ma si affida a una bussola che indica sempre direzione e intensità della salita nel punto in cui si trova, individuando la massima pendenza. Ad ogni passo guarda il terreno circostante e si muove verso l'alto nella direzione più ripida. È robusto, affidabile e semplice, ma può essere inefficiente: su ampi altopiani con gradiente quasi nullo avanza lentamente e a fatica; in valli strette e tortuose può zig-zagare senza meta, impiegando molto tempo per raggiungere la vetta.

L'Alpinista: Newton-Raphson (NR) – Lo scalatore esperto, equipaggiato con uno strumento sofisticato per analizzare la curvatura locale del terreno e costruire un modello parabolico del versante dotato di vertice che stima come probabile vetta. Invece di fare piccoli passi, compie un balzo audace direttamente verso la vetta stimata. Vicino alla vetta, dove il terreno è regolare, la sua progressione è fulminea e incredibilmente efficiente. Tuttavia, la sua audacia è anche il suo punto debole: su terreni complessi o imprevedibili (selle, curvature anomale) i suoi balzi possono essere erratici, portandolo a "cadere" in zone peggiori o a mancare completamente la vetta.

La Guida: Levenberg-Marquardt (LM) – Lo scalatore versatile, un ibrido tra i due precedenti dotato di entrambe le loro strumentazioni, di cui alterna l'uso a seconda del terreno. In territori sconosciuti o insidiosi (lontano dalla soluzione) si muove con passi cauti e misurati da Escursionista. Quando il terreno diventa più regolare e prevedibile e si avvicina alla vetta, acquista fiducia e inizia a compiere i balzi efficienti dell'Alpinista. È un approccio adattivo che garantisce quasi sempre un'ascesa rapida ma sicura, rendendolo lo standard de facto per le scalate più complesse.

Il Turista: Griglia Adattiva (GA) – Lo scalatore pigro che non scala. Noleggia un elicottero per sorvolare e osservare l'intero paesaggio dall'alto. Una volta individuata la regione che appare più alta, ordina al pilota di avvicinarsi e

osservare meglio solo quella zona, ripetendo il processo di "zoomate" successive finché non è abbastanza sicuro di quale sia la cima più alta per farsi lasciare direttamente lì. Scambia la fatica della scalata con il costo del volo, ma arriva sempre a destinazione certa, purché l'osservazione dall'alto sia sufficientemente accurata.

15 EQMR scenari tipici di configurazione (Fig. 2):
A vulcano – Unica vetta principale interna al triangolo dei tre centri delle circonferenze date;

A catena montuosa – Due vette pseudo-simmetriche ed esterne rispetto a tale triangolo;
A fondovalle profondo – Piuttosto lineare e in sovrapposizione al triangolo di quasi allineamento dei tre centri.

16 ICES, come visto, è la media geometrica di SQM e EQMR, di cui la prima ha impliciti presupposti geometrici; l'effetto combinato delle due componenti guida l'algoritmo a far prevalere l'unica soluzione ottimale:

SQM – Strutturata per trovare i punti di equidistanza dalle circonferenze di riferimento tali da annullarne il valore. Tali punti consentono la determinazione di circonferenze tangenti alle date, aventi per centro tali punti e raggio l'univoca distanza. Geometricamente sono gli otto centri soluzione del problema di Apollonio (CCC);

EQMR – Interviene come arbitro decisivo. Sebbene i valori minimi siano zero per tutti, EQMR modella il paesaggio "al contorno", rendendo più sollevata e attraente la vetta corrispondente alla soluzione che minimizza anche la somma dei quadrati dei raggi.

17 Classificazione delle funzioni di ricerca:
Seriali – GD, NR e LM sono "scalatori" che esplorano un sentiero alla volta, rischiando di confondersi incontrando un valico o di ascendere verso vette secondarie, come dimostrano i test su paesaggi insidiosi documentati nelle Figg. 2 e 3.

Parallele – GA, l'"elicottero", effettua una ricerca simultanea a 360° sorvolando l'intera regione candidata, ottenendo una visione d'insieme che lo rende immune agli inganni locali.

Deterministiche – Rappresenta un cambio di paradigma: non si cerca più un minimo o massimo, ma si calcola la posizione esatta di tutte le possibili soluzioni in base a conoscenze geometriche a priori. Come dimostrato dall'analisi di ICES, il problema ha una struttura geometrica implicita nota collegata al problema di Apollonio (CCC) o alla teoria delle bisettrici curvilinee (vedi nota 19). Un approccio deterministico non esplora il paesaggio, ma sfrutta la mappa nota per calcolare direttamente i punti di interesse.

18 Le modalità di compensazione equa sono un tema centrale nell'analisi delle strategie di trilaterazione e adattabili quale modello di errore per una funzione obiettivo geometrica:

Equità Assoluta – Assume che l'incertezza della misurazione sia un valore costante δ , indipendente dalla distanza misurata.

Equità Proporzionale (o Relativa) – Assume che l'errore sia proporzionale alla distanza misurata (es. $\delta_a = k \cdot d_a$).

19 Le Bisettrici curvilinee. Nella compensazione di misurazioni sovrabbondanti in trilaterazione, la soluzione più coerente non può derivare da un aggiustamento arbitrario, ma da un principio di compensazione equa: assoluta (A) o proporzionale (P). Per trovare il luogo dei punti equidistanti si generano i rispettivi fasci di circonference concentriche:

(A) – $C_a(\pm n\delta)$ e $C_b(\pm n\delta)$ – incremento identico
(P) – $C_a(d_a \pm n \cdot k \cdot d_a)$ e $C_b(d_b \pm n \cdot k \cdot d_b)$ – incremento proporzionale al raggio di partenza:

Le intersezioni tra le circonference dei due fasci che condividono lo stesso indice n descrivono due bisettrici curvilinee, luogo geometrico dei punti equidistanti in senso assoluto (A) o pro-

porzionale (P) dalle due circonference C_a e C_b :

(A) Bisettrice concorde (+, -): Iperbole
(A) Bisettrice discorda (+, +): Ellisse
(P) Bisettrice concorde (+, -): Circonferenza di Apollonio

(P) Bisettrice discorda (+, +): Ovale di Cartesio
Applicando il metodo a ogni coppia della terza (C_1, C_2, C_3), si ottengono tre coppie di bisettrici assolute (A) o proporzionali (P). Le intersezioni triple di queste sei curve forniscono fino a 7 (A) o 8 (P) punti candidati che, nell'approccio assoluto (A), coincidono per costruzione con 7 delle 8 soluzioni del problema di Apollonio (CCC).

Le quattro curve piane determinate quali bisettrici curvilinee possono essere unificate sotto un'unica teoria geometrica: sono proiezioni piane di curve quartiche spaziali (3D) derivanti dall'intersezione di coppie di opportuni coni quadrici ad asse verticale.

L'Ovale di Cartesio è una proiezione diretta di una quartica, mentre Iperbole, Ellisse e Circonferenza di Apollonio sono sue proiezioni degeneri, dove la curva di quarto grado "collassa" in una di secondo (conica).

Questa dualità 2D/3D crea un potente meccanismo di calcolo e selezione identico nei due approcci:

◦ **Calcolo in 2D** – Si identificano le sei bisettrici curvilinee e si calcolano deterministicamente le loro intersezioni triple per ottenere la lista dei punti-soluzione:

$BC_{12} \cap BC_{13} \cap BC_{23} \rightarrow$ fino a 2 punti (0 1A 2P)

$BC_{12} \cap BD_{13} \cap BD_{23} \rightarrow$ fino a 2 punti (0 2AP)

$BC_{13} \cap BD_{12} \cap BD_{23} \rightarrow$ fino a 2 punti (0 2AP)

$BC_{23} \cap BD_{12} \cap BD_{13} \rightarrow$ fino a 2 punti (0 2AP)

◦ **Selezione in 3D** – La coordinata z (quota) del corrispondente punto 3D misura direttamente l'entità della compensazione δ richiesta, minimizzata da una maggiore "aderenza al suolo". Tale quota agisce da funzione obiettivo geometrica per la determinazione della soluzione ottimale: maggior aderenza al suolo equivale a maggior aderenza ai dati iniziali.

In conclusione la costruzione delle bisettrici curvilinee consente di determinare con esattezza geometrica fino ad otto possibili soluzioni tra cui selezionare automaticamente la migliore per il posizionamento del punto rilevato. Per maggiori approfondimenti si può consultare: Anzani Giovanni, Le bisettrici curvilinee nei sistemi di coordinate circolari piane, Lulu, 2025.

20 Per realizzare una collaborazione tra le funzioni di ricerca:

Mandare in perlustrazione con un elicottero il "turista" (GA) per individuare le regioni promettenti del paesaggio candidato, analogamente a come la componente SQM di ICES individua i punti di equidistanza;

Paracadutare con un aereo in queste zone la "guida" (LM) che funga da ottimizzatore locale per trovare, con precisione chirurgica, la vetta migliore, analogamente a come la componente EQMR di ICES seleziona il minimo più vantaggioso. È la sintesi tra esplorazione globale e ottimizzazione locale.

21 Il processo deterministico di Calcolo e Selezione. Questo approccio deterministico calcola analiticamente tutte le possibili soluzioni ed evita ricerche euristiche iterative, fornendo una mappa completa dello spazio delle soluzioni con selezione oggettiva della migliore:

Calcolo Analitico – Sostituire la ricerca con il calcolo. Sviluppare un metodo deterministico basato sulle costruzioni del problema di Apollonio (CCC) o delle bisettrici curvilinee per generare a priori tutti i possibili centri-soluzione.

Selezione Oggettiva – Valutare ogni candidato di una lista finita e scegliere il migliore con criterio oggettivo (es. minimizzazione dei raggi).



TRIBELON
RIVISTA DI DISEGNO
UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE

VOL. 2 | N. 4 | 2025
CONFIGURARE: ORDINE E MISURA
TO SHAPE: ORDER AND MEASURE

Citation: Dialogo con Mario Docci, S. Parrinello (a cura di), in *Linee di Ispirazione. Interviste ai maestri del disegno*, TRIBELON, II, 2025, 4, pp. 123-127.

ISSN (stampa): 3035-143X

ISSN (online): 3035-1421

doi: <https://doi.org/10.36253/tribelon-3882>

Copyright: 2025 TRIBELON. This is an open access article, published by Firenze University Press (<http://www.riviste.fupress.net/index.php/tribelon>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Journal Website: riviste.fupress.net/tribelon

LINEE DI ISPIRAZIONE

INTERVISTE AI MAESTRI DEL DISEGNO

DIALOGO CON MARIO DOCCI

A CURA DI SANDRO PARRINELLO



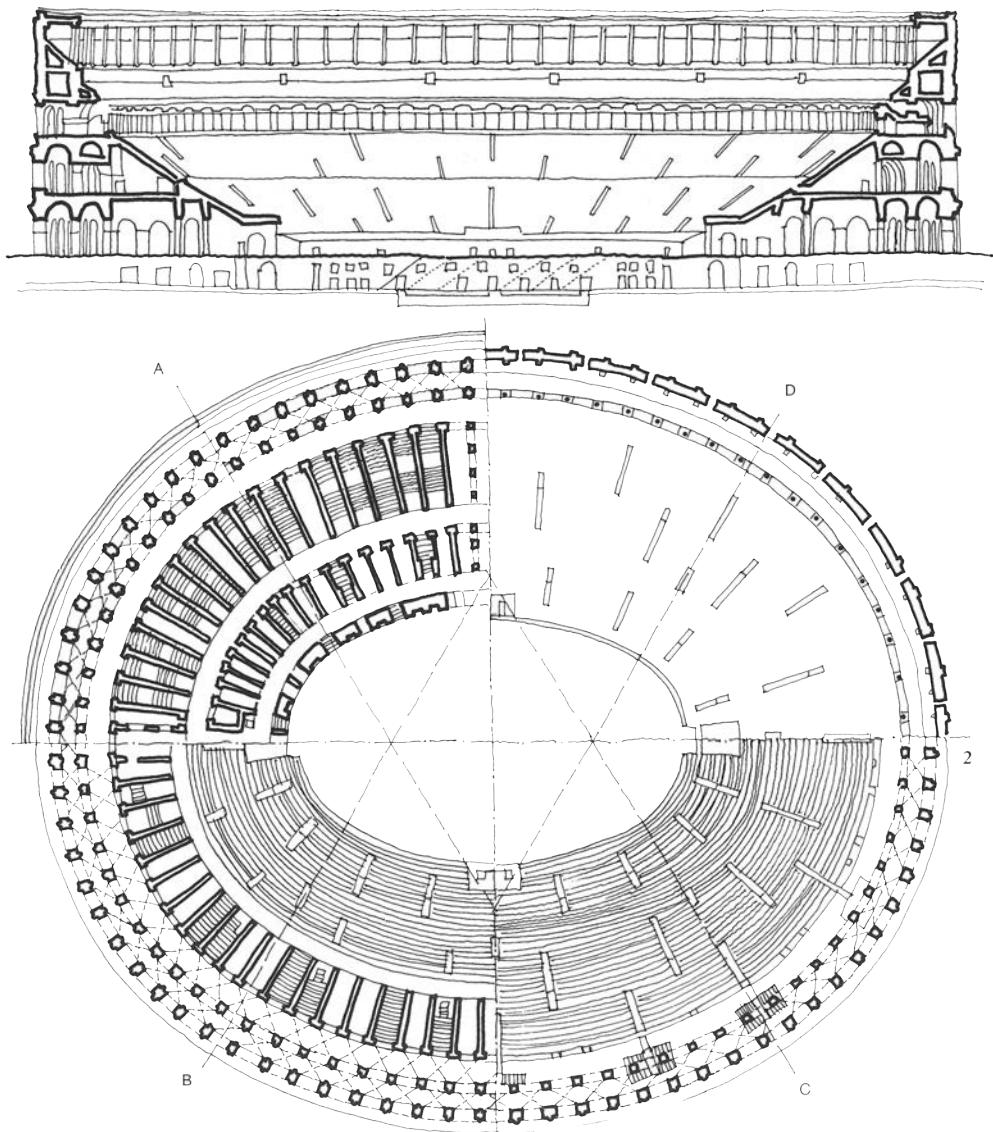
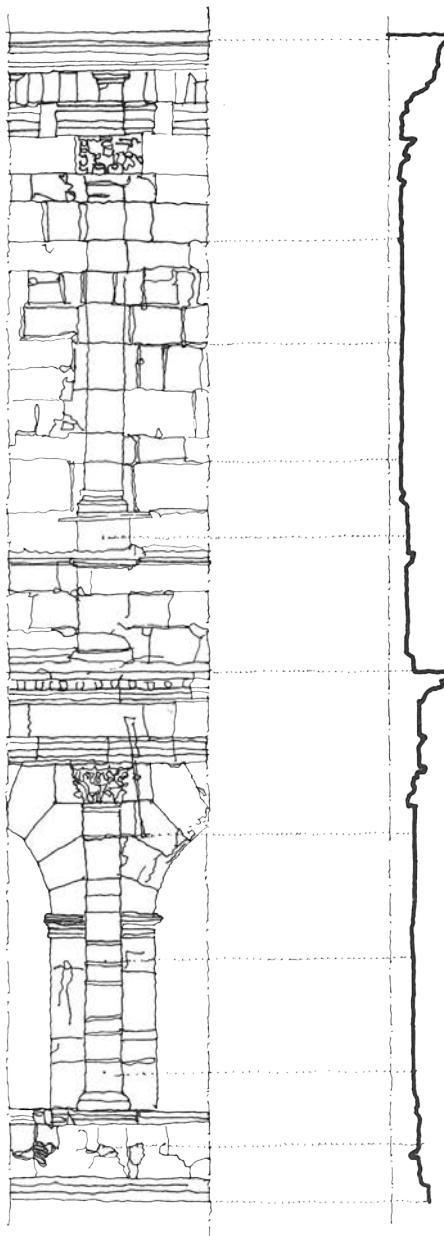
Il rilievo architettonico nel corso degli anni ha cambiato profondamente volto. Dal suo punto di vista quali sono i principali vantaggi e i rischi di questa trasformazione? E come immagina l'evoluzione della disciplina nei prossimi anni?

Io credo che rispetto a questi aspetti tecnologici – che poi si sono sviluppati anche in altri ambiti, basti pensare alla questione del BIM – ci si sia spesso chiesto se si tratti davvero di qualcosa che appartiene o meno al nostro settore disciplinare. Personalmente ritengo che, quando si lavora su un modello, nel continuo "batti e ribatti" del costruire e ricostruire, tutte queste pressioni, i diversi modi di lavorare, ogni approccio e ogni modalità operativa siano, in fondo, legittimi.

Devo però dire, a proposito del BIM, che noi facciamo molti sforzi, ma non tutto funziona come dovrebbe. Penso, ad esempio, alle difficoltà che incontriamo con le istituzioni, come le soprintendenze, i provveditorati, gli enti che dovrebbero accogliere e utilizzare questi strumenti. Spesso, e lo dico con un sorriso amaro, pregano i professionisti di non inviarigli i materiali già pronti, perché non sanno nemmeno dove collocarli! Siamo arrivati a paradossi che rasentano l'assurdo. Detto ciò, non vorrei allargarmi troppo. Possiamo dire che in molti ambiti le sperimentazioni digitali hanno portato a risultati notevoli e, direi, quasi sempre positivi. Forse l'unico aspetto su cui conservo qualche dubbio è quello delle *immagini*, perché è più difficile coglierne l'effettiva utilità, soprattutto quando si perde di vista la finalità conoscitiva per sconfinare in un'estetica fine a sé stessa.



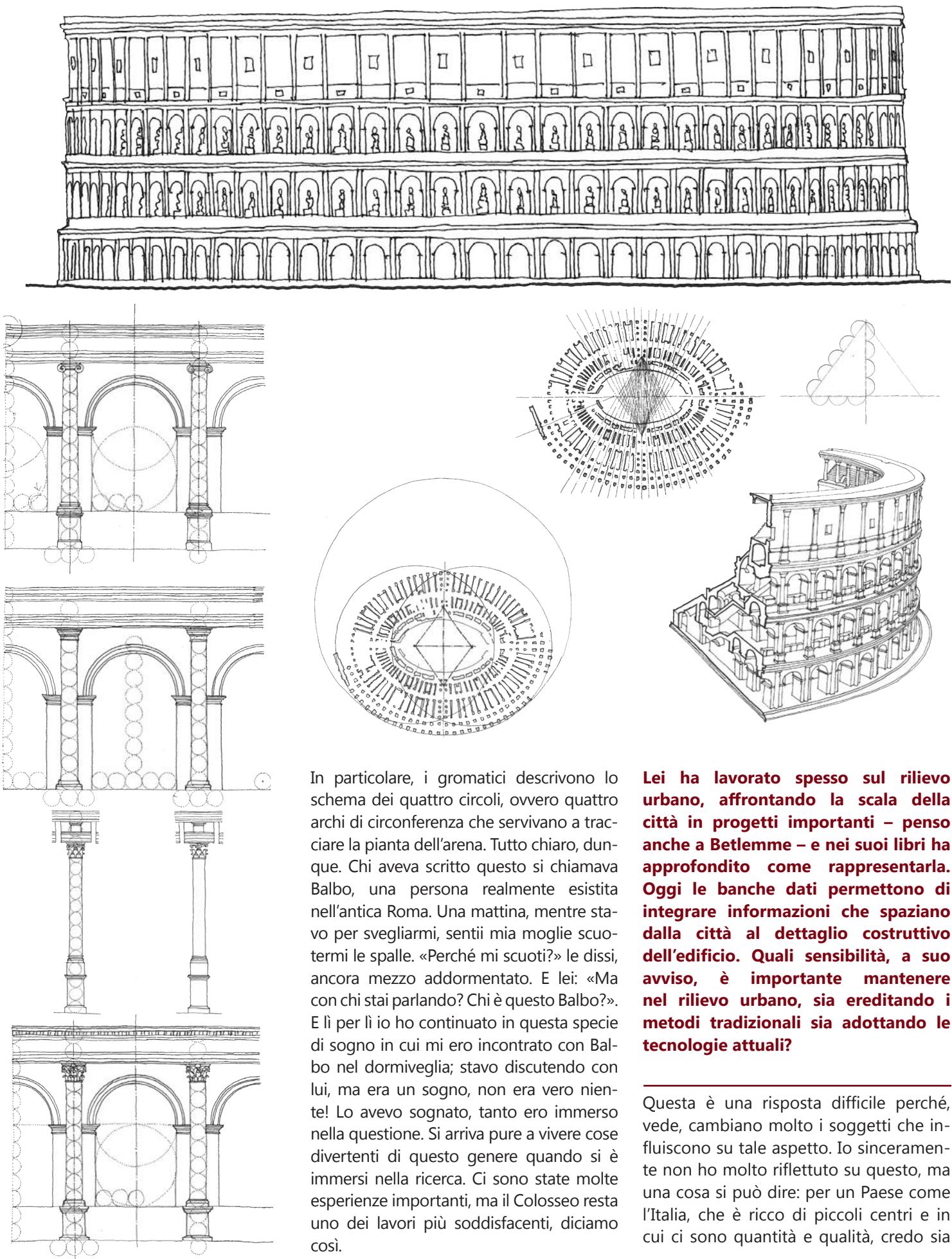
“ Ogni rilievo, infatti, ci restituisce un intero sistema di conoscenze, dai metodi di lavorazione della pietra ai tracciamenti, fino alla logica costruttiva che sostiene l'opera.



Se l'obiettivo è fare arte, essere artisti, allora ben venga qualsiasi tipo di immagine, ma se non è quella la finalità, allora ci credo un po' meno. In ogni caso, stiamo vivendo un momento estremamente interessante, e io mi considero abbastanza soddisfatto degli ultimi lavori che ho condotto anche insieme ad amici e colleghi, soprattutto a Roma, perché ho avuto la soddisfazione di vedere nascere risultati non solo di qualità, ma anche di vera utilità. Quando questi lavori vengono incamerati nelle amministrazioni e nei sistemi di conoscenza, secondo me rappresentano un esito importante. Significa che il nostro lavoro non resta confinato all'ambito della ricerca, ma entra a far parte di un patrimonio collettivo, utile alla gestione e alla memoria dei beni che studiamo.

Tra le esperienze di ricerca ce n'è una in particolare che ricorda con maggiore intensità o che considera più significativa per il suo percorso?

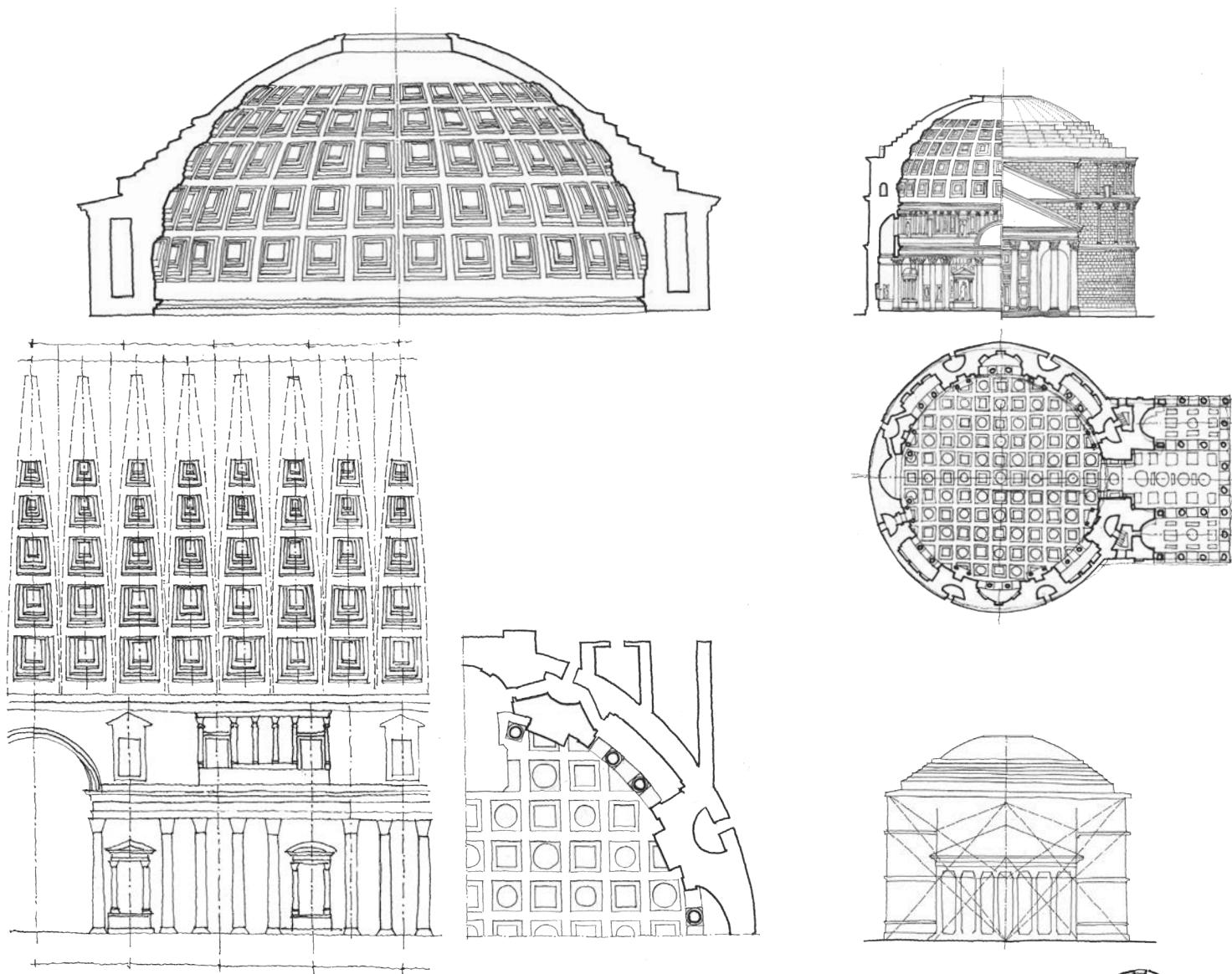
Questa è una risposta facile per me, perché è il Colosseo. Non potrebbe essere diversamente. Vi racconto un aneddoto abbastanza curioso. Voi sapete che una delle questioni più discusse riguarda l'impianto planimetrico dell'edificio, se cioè fosse ellittico oppure ovale. Negli anni Ottanta, a Roma, ci furono vivaci discussioni tra architetti e ingegneri e qualcuno arrivò perfino a scrivere che il Colosseo fosse, appunto, un'ellisse perfetta. Ebbene, io ero talmente infervorato da questa disputa che finii per approfondire il dibattito sui *gromatici veteres*, che ci hanno lasciato preziose testimonianze sulla geometria costruttiva antica.



In particolare, i gromatici descrivono lo schema dei quattro circoli, ovvero quattro archi di circonferenza che servivano a tracciare la pianta dell'arena. Tutto chiaro, dunque. Chi aveva scritto questo si chiamava Balbo, una persona realmente esistita nell'antica Roma. Una mattina, mentre stavo per svegliarmi, sentii mia moglie scuotermi le spalle. «Perché mi scuoti?» le dissi, ancora mezzo addormentato. E lei: «Ma con chi stai parlando? Chi è questo Balbo?». E lì per lì io ho continuato in questa specie di sogno in cui mi ero incontrato con Balbo nel dormiveglia; stavo discutendo con lui, ma era un sogno, non era vero niente! Lo avevo sognato, tanto ero immerso nella questione. Si arriva pure a vivere cose divertenti di questo genere quando si è immersi nella ricerca. Ci sono state molte esperienze importanti, ma il Colosseo resta uno dei lavori più soddisfacenti, diciamo così.

Lei ha lavorato spesso sul rilievo urbano, affrontando la scala della città in progetti importanti – penso anche a Betlemme – e nei suoi libri ha approfondito come rappresentarla. Oggi le banche dati permettono di integrare informazioni che spaziano dalla città al dettaglio costruttivo dell'edificio. Quali sensibilità, a suo avviso, è importante mantenere nel rilievo urbano, sia ereditando i metodi tradizionali sia adottando le tecnologie attuali?

Questa è una risposta difficile perché, vede, cambiano molto i soggetti che influiscono su tale aspetto. Io sinceramente non ho molto riflettuto su questo, ma una cosa si può dire: per un Paese come l'Italia, che è ricco di piccoli centri e in cui ci sono quantità e qualità, credo sia



doveroso eseguire il rilievo anche di un castello o di architetture minori. Ogni rilievo, infatti, ci restituisce un intero sistema di conoscenze, dai metodi di lavorazione della pietra ai tracciamenti, fino alla logica costruttiva che sostiene l'opera. Attraverso questa operazione si riesce a leggere la cultura che quell'oggetto ha generato e a comprenderla nella sua interezza, a tutto tondo. In questo modo, oggi, possiamo fare molto di più rispetto a quanto era possibile in passato.

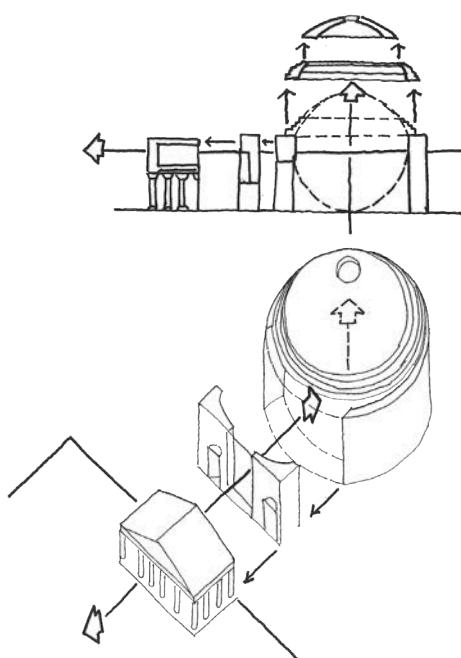
Invece rispetto alla didattica?

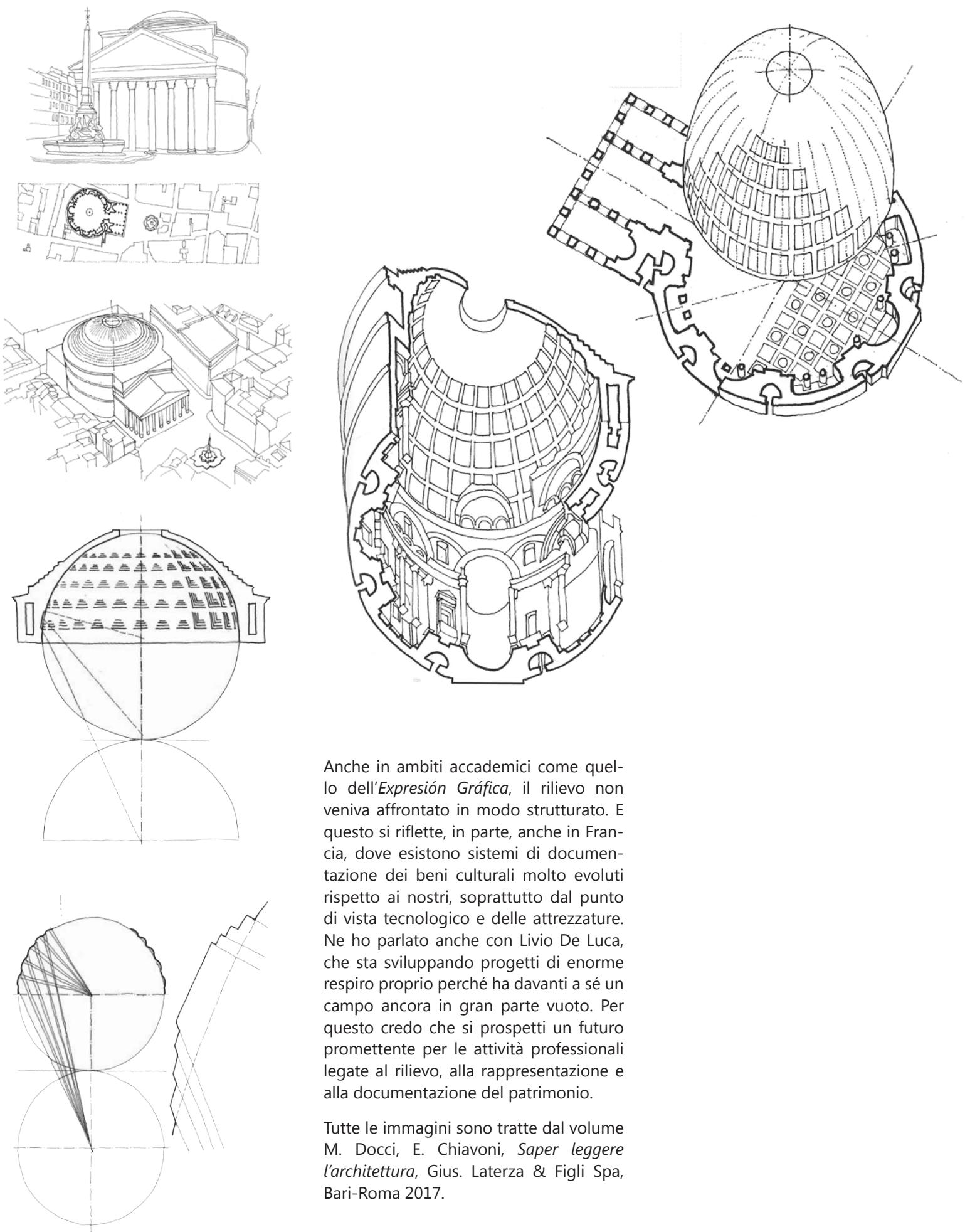
Direi che, nel complesso, la situazione oggi vada abbastanza bene. Ci sono parecchi centri universitari, e non solo è Roma ad avere le attrezzature ma anche molte altre sedi, penso a Ferrara, Firenze e ad altre ancora. Mi pare che questo abbia avuto un esito positivo.

Naturalmente, come sempre accade, molto dipende dalle singole persone. E su questo punto preferisco non entrare troppo nel merito.

Se dovesse lasciare un augurio o una visione per il futuro della disciplina della rappresentazione, quale sarebbe?

Io credo che il futuro sia positivo proprio per queste potenzialità. Non è solo una speranza, sta già accadendo. I miei ex allievi, i "giovani" come li chiamo io, oggi portano avanti il nostro lavoro in diversi Paesi, dal Brasile all'Argentina. Bisogna ricordare che in molti contesti europei, come ad esempio la Spagna, non esisteva una vera tradizione di rilievo; siamo stati noi italiani, con la nostra tradizione grafica e il nostro senso del disegno, a trasmettere un metodo e una sensibilità specifica.





Anche in ambiti accademici come quello dell'*Expresión Gráfica*, il rilievo non veniva affrontato in modo strutturato. E questo si riflette, in parte, anche in Francia, dove esistono sistemi di documentazione dei beni culturali molto evoluti rispetto ai nostri, soprattutto dal punto di vista tecnologico e delle attrezzature. Ne ho parlato anche con Livio De Luca, che sta sviluppando progetti di enorme respiro proprio perché ha davanti a sé un campo ancora in gran parte vuoto. Per questo credo che si prospetti un futuro promettente per le attività professionali legate al rilievo, alla rappresentazione e alla documentazione del patrimonio.

Tutte le immagini sono tratte dal volume M. Docci, E. Chiavoni, *Saper leggere l'architettura*, Gius. Laterza & Figli Spa, Bari-Roma 2017.



Finito di stampare da
Rubbettino print | Soveria Mannelli (CZ)
per conto di FUP
Università degli Studi di Firenze
2025