

a cura di
Laura De Carlo, Leonardo Paris

Le linee curve

per l'architettura e il design

FORME DEL DISEGNO
FrancoAngeli

FORME DEL DISEGNO

Collana diretta da Elena Ippoliti, Michela Rossi, Edoardo Dotto

La collana FORME DEL DISEGNO si propone come occasione per la condivisione di riflessioni sul disegno quale linguaggio antropologicamente naturale, al tempo stesso culturale e universale, e che indica contemporaneamente la concezione e l'esecuzione dei suoi oggetti.

In particolare raccoglie opere e saggi sul disegno e sulla rappresentazione nell'ambito dell'architettura, dell'ingegneria e del design in un'ottica sia di approfondimento sia di divulgazione scientifica.

La collana si articola in tre sezioni: PUNTO, che raccoglie contributi più prettamente teorici su tematiche puntuali, LINEA, che ospita contributi tesi alla sistematizzazione delle conoscenze intorno ad argomenti specifici, SUPERFICIE, che presenta pratiche ed attività sperimentali su casi studio o argomenti peculiari.

Comitato editoriale - indirizzo scientifico

Carlo Bianchini, Pedro Manuel Cabezas Bernal, Andrea Casale, Alessandra Cirafici, Paolo Clini, Edoardo Dotto, Pablo Lorenzo Eiroa, Fabrizio Gay, Elena Ippoliti, Leonardo Paris, Sandro Parrinello, Fabio Quici, Michela Rossi, Andrew Saunders, Graziano Mario Valenti

Comitato editoriale - coordinamento

Andrea Casale, Elena Ippoliti, Leonardo Paris, Fabio Quici, Graziano Mario Valenti

Progetto grafico

Andrea Casale



Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

FrancoAngeli Open Access è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli massimizza la visibilità, favorisce facilità di ricerca per l'utente e possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più:

http://www.francoangeli.it/come_pubblicare/pubblicare_19.asp

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio "Informatemi" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

a cura di
Laura De Carlo, Leonardo Paris

Le linee curve

per l'architettura e il design

FORME DEL DISEGNO
Sezione
PUNTO

FrancoAngeli

Università Sapienza di Roma, dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

In copertina: immagine di Leonardo Paris

Copyright © 2019 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore ed è pubblicata in versione digitale con licenza *Creative Commons Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate 4.0 Internazionale* (CC-BY-NC-ND 4.0)

L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Indice

Presentazione Andrea Giordano	7
Introduzione Laura De Carlo, Leonardo Paris	11
Parte prima	
<i>Alle origini delle teorie geometriche</i>	
Le linee curve nell'evoluzione del pensiero geometrico nel periodo classico <i>Leonardo Paris</i>	19
Le linee curve tra geometria e analisi nel Rinascimento matematico <i>Laura De Carlo</i>	45
<i>Le linee curve nella progettazione della forma</i>	
Geometria delle linee curve per la genesi della forma <i>Marta Salvatore</i>	73
La rappresentazione digitale delle linee curve <i>Matteo Flavio Mancini</i>	109

Le linee curve per l'architettura e il design

Parte seconda

La spirale cilindrica nelle scale rinascimentali e barocche <i>Leonardo Paris</i>	145
Lo spazio della linea. Il tiburio di Sant'Andrea delle Fratte <i>Giovanna Spadafora</i>	171
Le generatrici tecnologiche <i>Maria Laura Rossi</i>	183
Il ruolo delle curve generative nel design nautico <i>Michele Russo</i>	197
Le linee coniugate <i>Leonardo Paris</i>	211
Dalle linee curve alle superfici libere e viceversa nei modelli digitali dell'architettura <i>Matteo Flavio Mancini</i>	227
Traiettorie curvilinee tra architettura, teatro, cinema e design <i>Massimo Zammerini</i>	237
Linea, curva, taglio, cartamodello. Il disegno nel progetto anti-effimero della moda <i>Massimiliano Ciammaichella</i>	253
English abstracts	267
Bibliografia	275
Gli autori	285

Presentazione di Andrea Giordano

Questo volume si configura come un apparato critico/esegetico di una tematica che mi è particolarmente cara, la Geometria. Pienamente d'accordo con quanto asseriscono Laura De Carlo e Leonardo Paris nell'introduzione, questa disciplina, infatti, va intesa come centrale sia nello sviluppo progettuale dal punto di vista creativo che nella possibilità di rendere concreta una forma attraverso la sua effettiva costruzione. Concordo, inoltre, con loro nel ribadire l'importanza della Geometria solida come settore di ricerca, direi "ri-emergente", in grado di connettere e combinare geometria, architettura e design. Tutto questo è ampiamente e profondamente spiegato, provato ed illustrato dagli autori, anche grazie ad un eccezionale apparato grafico-documentale, in grado di comunicare sia il tema delle curve nella loro prospettiva storica (parte prima) che – attraverso alcuni casi studio esemplificativi – di affrontare l'utilizzo delle linee curve in diversi ambiti di applicazione (parte seconda). Lo scopo – effettivamente raggiunto – è quindi quello di ampliare il ventaglio degli strumenti critici da porre a disposizione del lettore: proponendo quindi molteplici punti di vista. Gli autori forniscono gli strumenti per raggiungere una completa consapevolezza nell'ambito dello studio delle linee curve attraverso le azioni del vedere, del pensare e del giudicare criticamente, un'architettura o un qualsiasi oggetto di design. L'utilizzo dei suddetti tre verbi – vedere, pensare e giudicare criticamente – mi

Le linee curve per l'architettura e il design

consente di evidenziare che le linee e le superfici di un oggetto, anche nel caso dell'architettura, necessitano dello spazio per rendersi evidenti, spazio che viene sperimentato come il dato che precede gli oggetti in esso contenuti, un ambito nel quale ogni "cosa" prende il suo posto. D'altronde, proprio l'architettura può essere considerata come una disposizione di costruzioni entro uno spazio determinato, omogeneo e continuo. In termini fisici, così, lo spazio è definito dall'estensione delle superfici dei corpi, confinanti gli uni con gli altri. Il ruolo delle linee e delle superfici, quindi, risulta essere fondamentale, proprio perché agevola la percezione dello spazio che, sotto il profilo psicologico, avviene grazie all'involuppo di esse nell'atto di costituire le superfici delle "cose". Quantunque lo spazio, una volta stabilito, venga sperimentato come un dato sempre presente ed autosufficiente, la sua esperienza sensoriale nasce solo attraverso l'interrelazione degli oggetti. La percezione dello spazio si verifica, così, soltanto in presenza di cose percepibili: ed esse, non solo nel caso dell'architettura o degli oggetti di design, saranno costituite da linee e superfici, reali o virtuali. Sotto il profilo psicologico, inoltre, la nozione di spazio inteso come contenitore, che esiste cioè anche in assenza di oggetti, deve sempre far fede su di un sistema di riferimento, che potrà essere, nel caso dello spazio in cui viviamo, la semplice superficie calpestabile, nel caso dello spazio geometrico – "rappresentante" astratto della realtà –, i piani coordinati o il quadro, a secondo del metodo di rappresentazione.

Se rimaniamo ancora nel campo dell'esperienza dello spazio, bisogna fare riferimento ad un interessante "meccanismo" percettivo tra osservatore e realtà osservata, evidenziato da Arnheim¹ ne' La dinamica della forma architettonica. Il critico tedesco ipotizza che agli astronauti venga cancellato dalla mente il ricordo di tutti i corpi pesanti: in questa maniera, nell'osservare la Terra una volta ritornati, costoro istituiranno una connessione lineare che costituirà l'asse di un mondo unidimensionale. Il rapporto percettivo con l'oggetto sarà così "lineare". Anzi, come osserva Arnheim: «[...] la connessione stabilita dall'osservatore fra sé e la sua meta viene sperimentata come una retta. In linea di principio essa potrebbe assumere qualsiasi configurazione scelta fra un numero infinito di curve, cerchi o linee spezzate dei tipi più irrazionali. La scelta economica della connessione più breve costituisce un'elementare applicazione del principio di semplicità della psicologia della Gestalt: ogni pattern creato, adottato o selezionato dal sistema nervoso sarà quello più semplice consentito dalle condizioni date»². Dopo di che, facendo un ulteriore passo in avanti, si ipotizza una condizione per così dire superficiale, quando Arnheim prende in considerazione, assieme al sistema astronauta-Terra, il Sole, come terzo punto di riferimento: per

il principio della semplicità, tale situazione creerà nella mente degli astronauti una struttura triangolare, essendo il triangolo la struttura più semplice compatibile con i tre punti. Si passerebbe, così, da un mondo unidimensionale, lineare, ad uno che esiste su una superficie, bidimensionale. Ed in questo sistema la terza dimensione non esiste, né interessa in che maniera quel piano triangolare sia orientato nello spazio. Arnheim infatti avverte il lettore: «Dal momento che abbiamo a che fare con l'esperienza psicologica dello spazio, molto dipende dal modo in cui l'osservatore concepisce, e quindi struttura, la situazione. Se per esempio altri oggetti si inserissero nella gamma dei tre già presenti e agissero in accordo con essi, ciò influirebbe sulla risultante costellazione. In questo caso, tutto dipenderebbe dalla forza relativa delle parti contendenti»³. Perciò la piattezza della situazione triangolare risulterebbe compromessa solo se il quarto oggetto fosse forte, determinando una disposizione tridimensionale, e il piano triangolare potrebbe essere sostituito da un poliedro, nel nostro caso con quattro spigoli e quattro facce.

Se, quindi, la conquista percettiva dello spazio avviene gradualmente, passando da una fase unidimensionale a quelle più complesse, bi- e tridimensionali, ci si rende conto che, prendendo in considerazione l'architettura – o qualsiasi altro lavoro umano che abbia a che fare con lo spazio –, il più semplice atto architettonico comporta un'operazione tridimensionale, dal momento che detto atto esiste grazie a un mattone (o qualsiasi altro materiale da costruzione) che è un oggetto a tre dimensioni, a sua volta costituito da linee e facce/superfici; tuttavia, anche dopo aver raggiunto la fase di percezione tridimensionale, ciò che un osservatore coglie, come configurative di quello spazio, saranno, nuovamente, linee e superfici, che conformano quell'architettura o l'ambiente circostante, con il loro sempre più vertiginoso intrico dinamico⁴.

1 Arnheim 1977.

2 *Ivi*, p. 21.

3 *Ivi*, p. 23.

4 Cfr. Giordano 1999, p. 21.

Introduzione

di Laura De Carlo, Leonardo Paris

Considerando la geometria al centro sia del processo creativo della progettazione che della concretizzazione della forma nella costruzione vera e propria, lo studio della geometria solida delinea un settore di ricerca attualmente emergente al confine tra geometria applicata e architettura, specie in un momento in cui l'analisi e la produzione si manifestano attraverso forme sempre più complesse. La geometria costruttiva contemporanea trova nella *architectural geometry* un grande potenziale che dimostra come le conoscenze geometriche possano essere alla base di un uso creativo del digitale.

La geometria descrittiva, nei suoi più recenti sviluppi, consente il controllo delle forme tridimensionali in uno spazio virtuale all'interno del quale le operazioni di costruzione e rappresentazione, anche dinamica, della forma si avvicinano al processo progettuale in architettura come nel design.

Gli attuali strumenti informatici, assai più potenti di quelli tradizionali, costituiscono da una parte il mezzo per semplificare e realizzare procedure semplici di problemi classici che, per la loro complessità, era prima impensabile affrontare in forma sintetica; dall'altra innesca un processo generativo della forma che va ben oltre il repertorio classico. Ciò grazie anche ai potenti strumenti parametrici per la generazione ed il controllo di forme complesse, sistemi dinamici modificabili in tempo reale che permettono di creare legami concettuali ed effettivi tra i diversi livelli di approfondimento progettuale.

Le linee curve per l'architettura e il design

Gli studi che formano questa pubblicazione vogliono indagare, da ottiche diverse, il ruolo delle linee, in particolare le linee curve, intese come matrici formali di ogni processo creativo volto alla costruzione della forma in diversi campi di applicazione.

D'altronde le linee sono le figure geometriche che più frequentemente si incontrano nella teoria e nella pratica e lo studio delle teorie ad esse associate risultano indispensabili dal momento che la soluzione di un problema relativo alla costruzione della forma si riduce sempre al tracciamento di una o più linee e alla ricerca degli elementi ad esse comuni.

Lo studio delle proprietà e della delineazione di queste figure geometriche risulta fondamentale in tutto lo sviluppo storico della geometria a partire dall'antichità, basti pensare alla teoria delle coniche di Apollonio di Perga. Nonostante il notevole livello di conoscenza sulla geometria raggiunto nel mondo antico, soprattutto nel periodo ellenistico, anche in questo campo del sapere seguirà un lungo periodo di letargo cosicché è solo nel Seicento che si può parlare di una vera e propria teoria delle linee e delle superfici curve. Partendo dalla rivisitazione dell'eredità greca la scuola francese ed europea sviluppa le nuove teorie della geometria analitica e dell'analisi moderna in un arco temporale limitato che a ragione è stato chiamato il «Rinascimento matematico». Il contributo dell'analisi alla teoria delle curve porterà a descriverle secondo i principi cartesiani e sarà solo nella prima metà del Settecento che tali principi saranno estesi allo spazio per rappresentare quelle curve che nel sistema cartesiano a tre dimensioni saranno riferite a due piani di proiezione di un diedro solido e saranno perciò dette curve a doppia curvatura.

La corrispondenza tra le operazioni della geometria descrittiva e quelle dell'analisi informa lo studio di questi enti geometrici in ambito matematico, in un'altalenante ricerca tra geometria sintetica e geometria analitica che porterà Gino Loria a scrivere agli inizi del Novecento: «Pretendere che tutte le costruzioni di geometria descrittiva si riducano al tracciamento di rette e circonferenze e alla ricerca dei punti o delle tangenti a esso comuni, sarebbe certamente troppo; ma lo scopo a cui si deve tendere è questo che, senza introdurre ipotesi troppo restrittive alla esposizione dei dati, nelle costruzioni non entrino, all'infuori delle linee date (immaginate già completamente tracciate ovvero costruibili per punti e per tangenti) altre linee all'infuori di quelle il cui uso fu concesso ai geometri da Euclide il grande legislatore della scienza dell'estensione. Ora da quanto esponiamo emerge che tale intento si può spesso conseguire apportando lievi ritocchi alle costruzioni classiche».

Un primo ambito di interesse riguarda quindi i metodi di analisi delle curve, pia-

ne e gobbe, articolato in funzione delle loro proprietà analitiche, differenziali e geometriche e alla traduzione in forma sintetica di tali proprietà, nonché alla esposizione di alcune famiglie di curve. Un secondo ambito di approfondimento storico è stato quello dell'applicazione delle linee in alcuni specifici ambiti di costruzione di forme per l'architettura e per l'ingegneria. Si sono infine indagati gli aspetti più innovativi di costruzione della forma nel campo dell'architettura e anche in particolar modo nel campo del design in relazione alle specificità e alle potenzialità offerte dai più moderni sistemi tecnico-costruttivi.

Si è voluto inoltre indagare sulle possibili ripercussioni della conoscenza degli aspetti geometrici di questi elementi in ambito pratico nei campi dell'architettura e del design, accomunati da una stessa formazione culturale ma che si distinguono soprattutto nel ruolo che può assumere una specifica configurazione formale nella sua traduzione in un elemento architettonico e in un oggetto di design dove minori sono i vincoli tecnologici e funzionali.

La modellazione informatica, intesa come un vero e proprio laboratorio virtuale, permette di sperimentare e verificare le possibili e pressoché infinite configurazioni formali in grado di costituire la matrice progettuale della forma architettonica e dell'oggetto di design.

La costruzione di modelli digitali di rappresentazione permette di rivisitare le teorie classiche nella loro evoluzione storica esplicitando, attraverso idonee visualizzazioni, moltissime proprietà geometriche spesso relegate nell'alveo dell'analisi matematica e delle sue espressioni astratte.

Il volume è strutturato in due parti: la prima raccoglie quattro saggi teorici che affrontano il tema delle curve nella loro prospettiva storica. La seconda propone, in alcune esemplificazioni, l'uso delle linee curve in diversi ambiti di applicazione.

Nella prima parte si è voluto delineare un quadro teorico sulle origini delle teorie matematiche alla base della conoscenza delle proprietà di questi enti geometrici e sulla loro ricaduta nella progettazione della forma, sia in chiave storica che analizzando i più recenti strumenti digitali oggi a disposizione.

Si è voluto considerare un lungo arco temporale che va dal mondo classico alla rivoluzione cartesiana che irrompe nella matematica all'inizio del Seicento, ancora largamente dominata dal paradigma della matematica classica, fino all'invenzione del calcolo differenziale alla fine del secolo per poi esplorare le nuove vie della geometria sintetica tra Settecento e Ottocento e per verificare infine come questo lungo processo abbia avuto una ricaduta sui più recenti metodi di modellazione digitale.

Le linee curve per l'architettura e il design

La seconda parte del volume raccoglie alcuni saggi dai quali emerge l'ampio spettro di possibili applicazioni sull'uso della linea curva nel processo progettuale: dall'architettura, al design, dalla nautica, al mondo della moda, dalle teorie geometriche degli ingranaggi, alle *freeform* dell'architettura contemporanea. Saggi che testimoniano l'importanza della conoscenza delle proprietà delle curve per la genesi e il controllo della forma.

La spirale cilindrica nelle scale rinascimentali e barocche

di Leonardo Paris

Una particolare famiglia di linee curve è quella delle spirali, piane o sghembe. Tra quelle sghembe la più nota, spesso usata in architettura, è l'elica cilindrica generata dal movimento di un punto P che si muove di moto uniforme lungo una generatrice g mentre questa ruota intorno al suo asse. Questa definizione può essere estesa a tutte le superfici di rotazione, come il cono, la sfera ed anche a superfici con generatrici curve generiche NURBS¹, ma può riguardare anche, per estensione, le superfici cilindriche con direttrici policentriche tra le quali, per esempio, l'ovale. Un'elica cilindrica è caratterizzata da un passo, cioè la distanza tra i due punti consecutivi sulla stessa generatrice. Il tratto di curva tra questi due punti è una "spira" dell'elica (fig. 1). In ogni punto dell'elica la tangente ha un angolo costante rispetto all'asse del cilindro; è cioè una "lossodromia", ed è anche una "geodetica", poiché sviluppando su un piano la superficie cilindrica la curva si trasforma in una linea retta. A parità di passo due eliche concentriche

1 Per maggiori approfondimenti cfr. De Carlo, Baglioni 2009, pp. 129-143. Nel paragrafo *Il contributo della rappresentazione matematica nello studio di lossodromie, eliche e spirali* viene illustrata la generalizzazione in termini di modellazione matematica per la costruzione di eliche e lossodromie in superfici di generiche di rotazione.

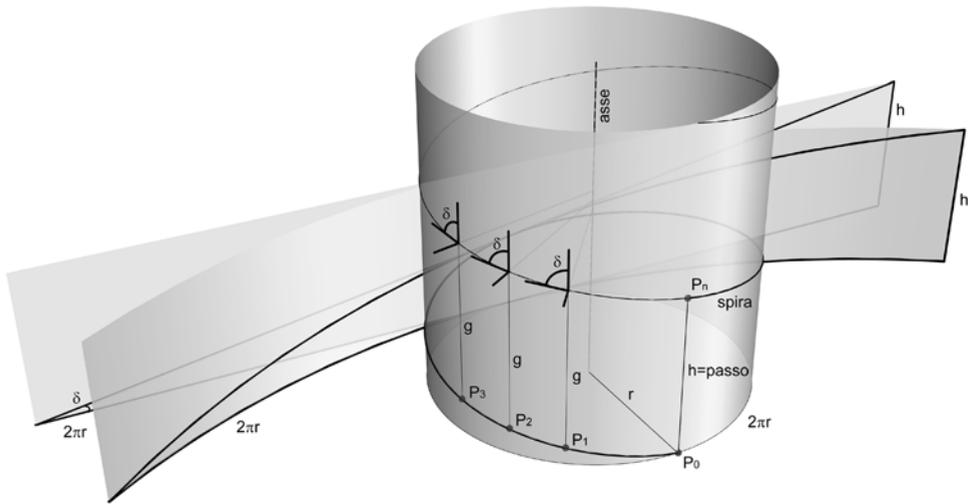


Fig. 1/ Costruzione geometrica di un'elica cilindrica.

2 Matematico e astronomo, famoso per i suoi studi sulle coniche, attivo tra la fine del III e l'inizio del II secolo a.C. Per approfondimenti cfr. Loria 1914, p. 308.

3 Nel *De Architectura*, nel libro IX, Vitruvio parla di scale essenzialmente come applicazione di un problema geometrico, in particolare come applicazione del teorema di Pitagora, per calcolare rapidamente l'altezza dei gradini in rapporto alla pendenza della scala.

hanno pendenze diverse in rapporto proporzionale al raggio della direttrice del cilindro.

L'elica cilindrica, i cui primi studi sulle sue proprietà geometriche si devono ad Apollonio di Perga², è da sempre associata in architettura alla costruzione delle scale elicoidali. Il tema delle scale in architettura è stato, e lo è ancora oggi, motivo di grande attenzione progettuale per le sue diverse implicazioni, geometriche, costruttive e formali. La storia dell'architettura è costellata di realizzazioni, alcune ancora perfettamente funzionanti, che ne testimoniano l'evoluzione tipologica.

Una scala va pensata planimetricamente, occorre dargli un ruolo in funzione della distribuzione architettonica degli spazi, renderla funzionale, calcolarla dal punto di vista strutturale e costruttivo, arrivare ad immaginarla come un vero e proprio pezzo di architettura dotata di autonomia formale, a volte anche con un alto valore simbolico.

Vitruvio ha disegnato scale, anche se, come è noto, non ci sono pervenuti i disegni che corredevano il suo trattato³. Numerosi sono gli esempi di scale eli-

coidali risalenti al periodo medievale, spesso legate alla costruzione di torri, fortificazioni, campanili e quindi con un valore prevalentemente funzionale. Alcune di queste realizzazioni medievali presentano anche un elevato grado di innovazione e sperimentazione tecnico-costruttiva basata su elementi lapidei opportunamente sagomati, con soluzioni formali che in qualche modo anticipano di molti secoli alcuni dei temi propri della stereotomia.

Ma è a partire dal Rinascimento che la scala elicoidale assume anche un ruolo con una forte connotazione estetico-architettonica. In questo periodo vengono realizzate alcune scale diventate dei capisaldi nella storia dell'architettura, come la rampa di Bramante nel Belvedere in Vaticano (1507), la scala di Vignola a Caprarola (1559), la scala di Mascarino al Palazzo del Quirinale (1585) e la scala, attribuita a Borromini, a Palazzo Barberini (1633).

La trattatistica rinascimentale.

I Quattro libri di Andrea Palladio

La realizzazione di queste scale si lega anche alla diffusione della trattatistica rinascimentale di architettura⁴. Ne *I Quattro Libri* di Palladio (1570) per esempio c'è un intero capitolo, il XXVIII del Libro primo, dedicato a questo tema, «Delle scale, e varie maniere di quelle, e del numero, e grandezze de' gradi». La breve trattazione è accompagnata da una serie di figure che descrivono otto differenti tipi di scale e si conclude con il riferimento, anche illustrato, ad un esempio reale, la doppia scala elicoidale nel castello di Chambord in Francia. Le varianti introdotte da Palladio per le scale elicoidali, definite a «Lumaca» o anche a «Chiocciola», dipendono dalla forma della pianta, «ritonde» o «ovate», con la colonna nel mezzo oppure «vacue», con gradini retti o curvi. Nel testo, contrariamente a quanto riportato nel titolo, non si parla espressamente di numero e gran-

4 Alcune parti di questo paragrafo, come alcune parti del successivo riguardanti la scala di Mascarino nel palazzo del Quirinale, sono tratte da Paris, Ricci, Roca De Amicis 2016. Si ringrazia l'editore Campisano per l'autorizzazione concessa.

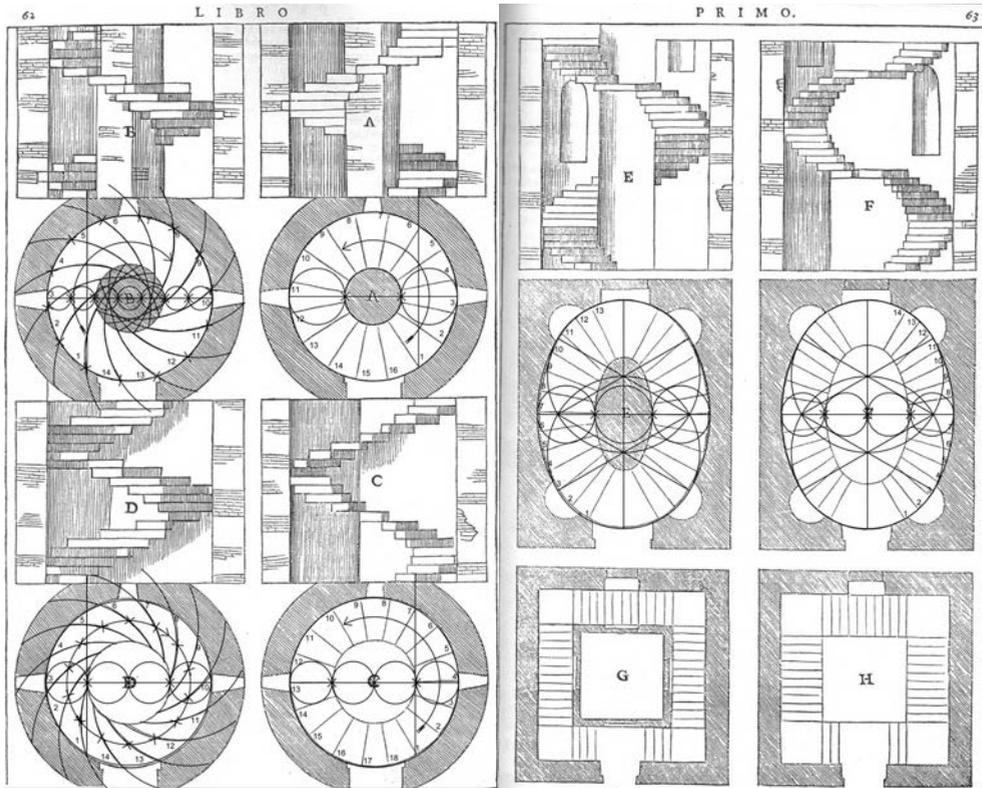


Fig. 2/ Andrea Palladio, scale a lumaca. Tavola del trattato con elaborazioni grafiche dell'autore (da *I quattro libri*, Venezia 1570, I, p. 62).

Fig. 3/ Andrea Palladio, scala "ovata" e "diritta". Tavola del trattato con elaborazioni grafiche dell'autore (da *I quattro libri*, Venezia 1570, I, p. 63).

dezza dei gradini, né si fa riferimento alle costruzioni dell'ovale, come invece aveva fatto Serlio nel suo Libro Primo (pubblicato in Francia nel 1545) descrivendone «quattro maniere».

Analizzando nel dettaglio i differenti modelli proposti da Palladio si nota che, per quelle a pianta circolare ed ovale, l'autore associa a ciascuna planimetria anche la rappresentazione in alzato, in una forma ibrida prospetto-sezione; i gradini sono blocchi monolitici leggermente sovrapposti mentre i muri sezionati in alzato sono contrassegnati da alcuni ricorsi di mattoni. Nelle scale a pianta circolare è ben individuato l'accesso e le finestre strombate (non riportate però in alzato) (fig. 2). Nelle due scale a pianta ovale, oltre all'apertura di accesso alla scala, sono presenti anche quattro nicchie absidali disegnate sia

in pianta che in alzato (fig. 3). Nelle scale circolari non sono presenti pianerottoli che molto spesso identificano, anche dal punto di vista funzionale, il collegamento con i livelli di distribuzione orizzontali. In questo caso Palladio ripropone una soluzione come quella realizzata da Vignola a Caprarola.

Palladio, nel trattato, propone dei rapporti proporzionali per la costruzione della pianta tra la parte dedicata ai gradini e la restante parte, sia essa piena o vuota; queste proporzioni descritte nel testo corrispondono perfettamente nei disegni. Il numero di gradini utilizzati per compiere un giro completo dell'elica è sempre variabile, così come le pendenze. Nella soluzione A il diametro è suddiviso in tre parti uguali (di cui una per la colonna centrale), con 16 gradini per ogni giro. Nella soluzione B la colonna centrale è pari a $\frac{3}{7}$ del diametro ed i gradini necessari per compiere un giro completo sono 14 ed hanno una conformazione curva. Nelle due soluzioni C e D lo spazio centrale è vuoto e di ampiezza pari alla metà del diametro, quindi molto più ampio che nelle soluzioni con pilastro centrale, con 18 gradini rettilinei nella soluzione C e sempre 14 gradini curvi nella soluzione D⁵.

Lo studio dell'elica cilindrica applicata alla realizzazione di scale elicoidali deve prima di tutto prendere in considerazione la sua pendenza, perché questa, evidentemente, ha delle inevitabili conseguenze funzionali nel determinare il rapporto tra l'alzata e la pedata dei gradini.

La pendenza può essere espressa con il valore di un angolo ma più comunemente viene espressa con un valore percentuale dato dal rapporto tra le due misure, dell'alzata e della pedata⁶. La differenza fondamentale tra scale dritte e scale rotonde o ovali è che nelle prime la pendenza è costante su tutta la larghezza della scala, nelle altre varia aumentando di valore avvicinandosi verso il centro (fig. 4).

5 La costruzione geometrica degli archi curvilinei delimitanti i gradini nelle due soluzioni B e D è diversa; nel primo caso gli archi hanno i centri sul perimetro esterno della scala, nel secondo caso lungo la circonferenza mediana rispetto alla larghezza dei gradini stessi.

Le soluzioni con gradini rettilinei, A e C, hanno come verso di salita quello antiorario; le soluzioni con gradini curvi salgono invece in senso orario.

6 Con una pendenza per esempio del 30%, ad una pedata di 30 cm corrisponde un'alzata di 9 cm. Con una pendenza del 100% l'alzata e la pedata hanno la stessa misura.

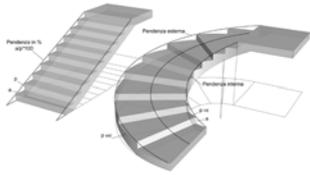
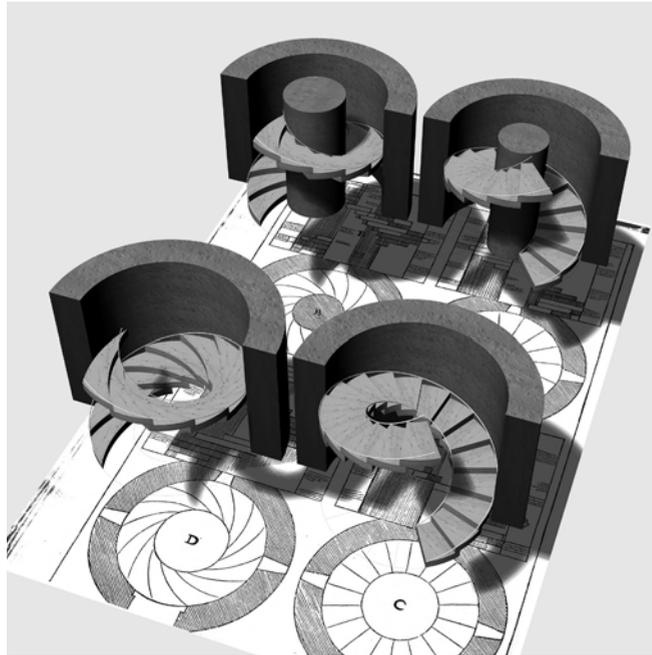


Fig. 4/ Confronto tra la pendenza di una rampa rettilinea e di una curva.

Fig. 5/ Elaborazione tridimensionale della tavola di Palladio. Cfr. fig. 2.



Nelle due soluzioni proposte da Palladio (fig. 5), per esempio nei due casi con gradini a pedata rettilinea, le pendenze calcolate in base al rapporto tra raggio della scala e altezza di una spira variano nel caso A da un valore del 27% all'esterno ad un valore dell'80% nel punto più interno; nel caso C la circonferenza esterna è uguale al caso A ma poiché il passo della spira è maggiore la pendenza aumenta al 31%; sulla circonferenza interna, che è di dimensioni maggiori rispetto al caso A, la pendenza è del 61%. Simili valori di pendenza sono evidentemente in contrasto con la comodità d'uso che, come sapevano anche gli antichi, è uno dei requisiti fondamentali di una scala.

Il problema della pendenza della scala curva si complica notevolmente quando si passa ad una soluzione a pianta ovale con la necessità di inserire almeno due pianerottoli ed eventualmente anche altri intermedi (fig. 6).

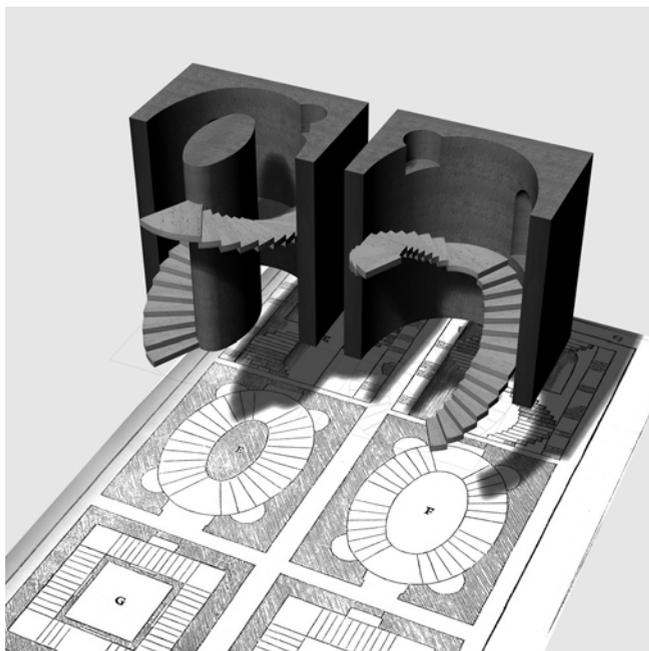


Fig. 6/ Elaborazione tridimensionale della tavola di Palladio. Cfr. fig. 3.

Evoluzione di un'idea. Il ruolo della linea curva tra configurazione formale e percezione spaziale

Come abbiamo visto, l'elica cilindrica rappresenta la matrice formale di una scala elicoidale ed il suo sviluppo geometrico può essere condizionato dalla necessità funzionale di inserire dei pianerottoli che, inevitabilmente, interrompono la continuità della linea. Nei primi due casi tra quelli citati in precedenza questo problema non si pone. Bramante infatti non realizza una scala ma una rampa continua, senza interruzioni. Vignola realizza una scala continua di tre spire e mezza, senza pianerottoli, basandosi, com'è nel suo stile, sulla ripetizione di elementi modulari su una matrice esagonale.

Diverso, e indubbiamente più complesso, il caso della scala «ovata» di Mascarino al Quirinale con l'inserimento di soluzioni tecnico-formali molto sofisticate che in parte verranno poi riprese anche nella scala di Palazzo Barberini.

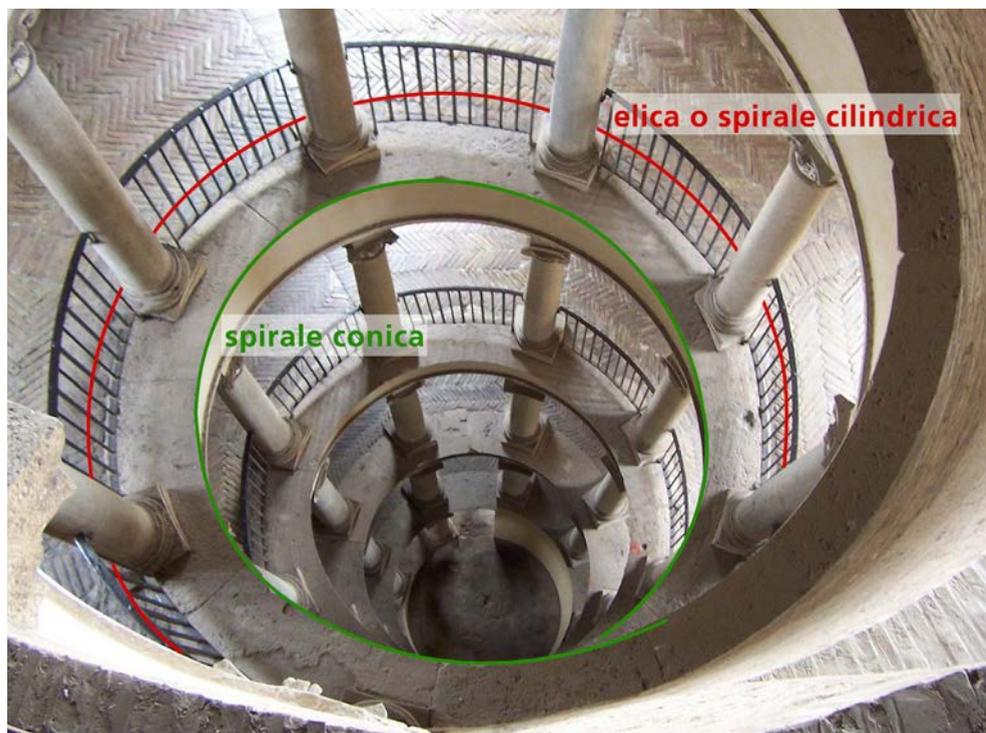
L'elemento che più di altri simboleggia, in tutta la sua forza dinamica, l'essenza geometrica dell'elica cilindrica è la trabeazione che corre internamente ai nuclei di queste scale, trabeazione sorretta strutturalmente, ma anche percettivamente, da una sequenza ritmata di colonne e basamenti⁷ che con grande maestria vengono adattati al doppio movimento di rotazione e traslazione.

Le scale cosiddette *vacue* rappresentano, in questo periodo, una mirabile sintesi della triade vitruviana anche per quanto riguarda una rinnovata *utilitas*. Palladio ne esalta l'uso sia per quanto riguarda l'illuminazione sia per la visibilità cosicché «quelli, che sono al sommo della Scala, veggono tutti quelli, che saliscono, o cominciano a salire: e similmente sono da questi veduti».

La relazione geometrica che intercorre tra rampa/gradini e ordine architettonico non è univoca ma dipende dalla combinazione degli altri due fattori principali, quello costruttivo (*firmitas*) e quello formale (*venustas*). Ciò emerge chiaramente analizzando in dettaglio i quattro esempi citati nei quali ciascun progettista inventa e realizza una sua specifica soluzione. Un elemento le accomuna tutte: l'eleganza formale di queste scale architettoniche riesce sempre a nascondere la complessità geometrica.

Bramante, al quale va attribuito il ruolo di inventore di questa particolare soluzione architettonica, optando per una rampa non ha la necessità di risolvere gli aspetti funzionali di una scala. Di contro adotta, dal punto di vista architettonico, una soluzione molto complessa con una sequenza di 36 colonne di quattro ordini differenti (toscano, dorico, ionico e composito) su ogni spira formata da otto colonne (con l'aggiunta finale di un'altra mezza spira sempre di ordine composito). Le colonne hanno tutte la stessa altezza ma diametri differenti con l'utilizzo di un artificio al tempo stesso metrico e percettivo che

⁷ La rampa di Bramante non presenta basamenti. Le colonne poggiano direttamente sul piano della rampa.



nasconde visivamente la discontinuità tra un ordine e quello successivo. L'allineamento all'elica cilindrica avviene nella sola parte interna dei piedritti delle colonne. In questo modo la rampa mantiene inalterata la sua larghezza di 10 palmi romani. Questa scelta architettonica fa sì che l'elica di collegamento degli elementi esterni delle colonne (quelli che prospettano su vuoto centrale) sulla quale si sviluppa la trabeazione non fa parte di una superficie cilindrica bensì di una superficie conica (fig. 7). Un cono che si allarga verso l'alto con un angolo di pendenza della generatrice di poco inferiore ad 1° . Quindi la direttrice della trabeazione interna alla rampa elicoidale di Bramante è una spirale conica.

L'effetto percettivo di chi si affaccia nel vuoto centrale e che, inevitabilmente, è portato ad alzare lo sguardo verso l'alto è pertanto quello di una prospettiva rallentata.

Fig. 77 Roma. Cortile del Belvedere in Vaticano, scala elicoidale di Bramante. Individuazione delle due differenti direttrici: eliche o spirale cilindrica e spirale conica. Si ricorda che nel caso di un cilindro l'elica e la spirale coincidono mentre nel cono sono diverse. L'elica conica è infatti una curva con pendenza costante, mentre la spirale è definita dal movimento costante di un punto lungo una generatrice e dalla rotazione attorno al proprio asse. Nella rampa del Bramante la linea interna, essendo determinata dall'intersezione di un cono con un elicoide cilindro, ha una pendenza variabile. Per ulteriori approfondimenti su eliche e spirali si rimanda al capitolo curato da Marta Salvatore, pp. 96-97.

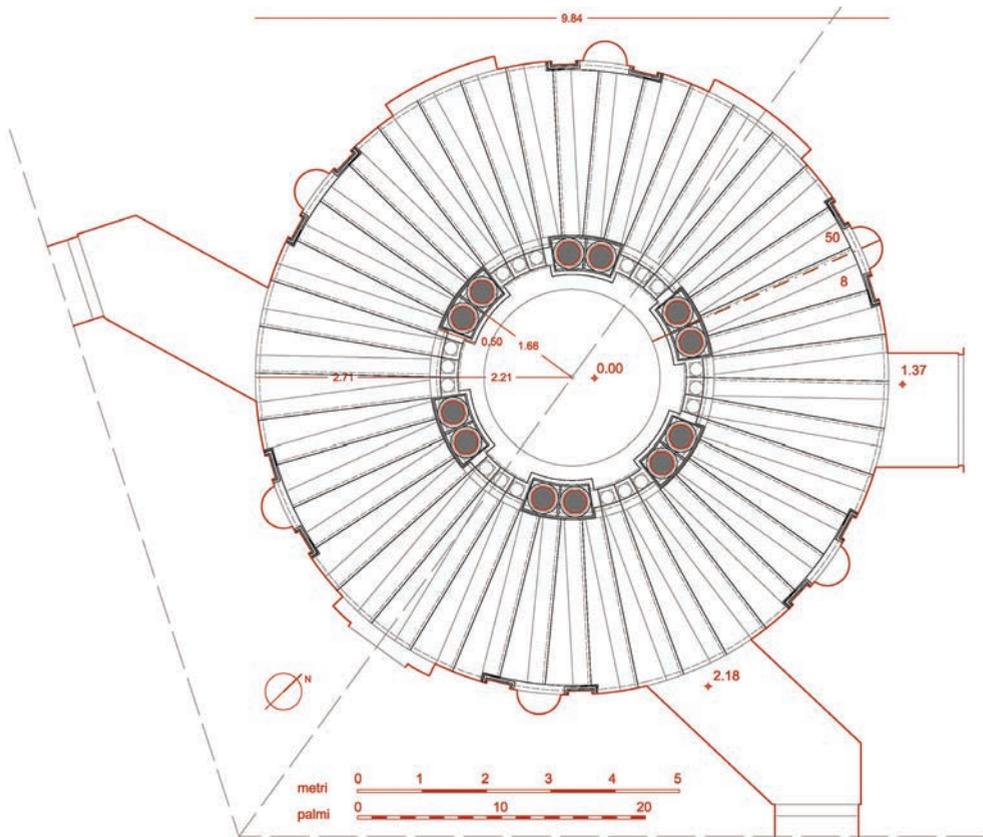
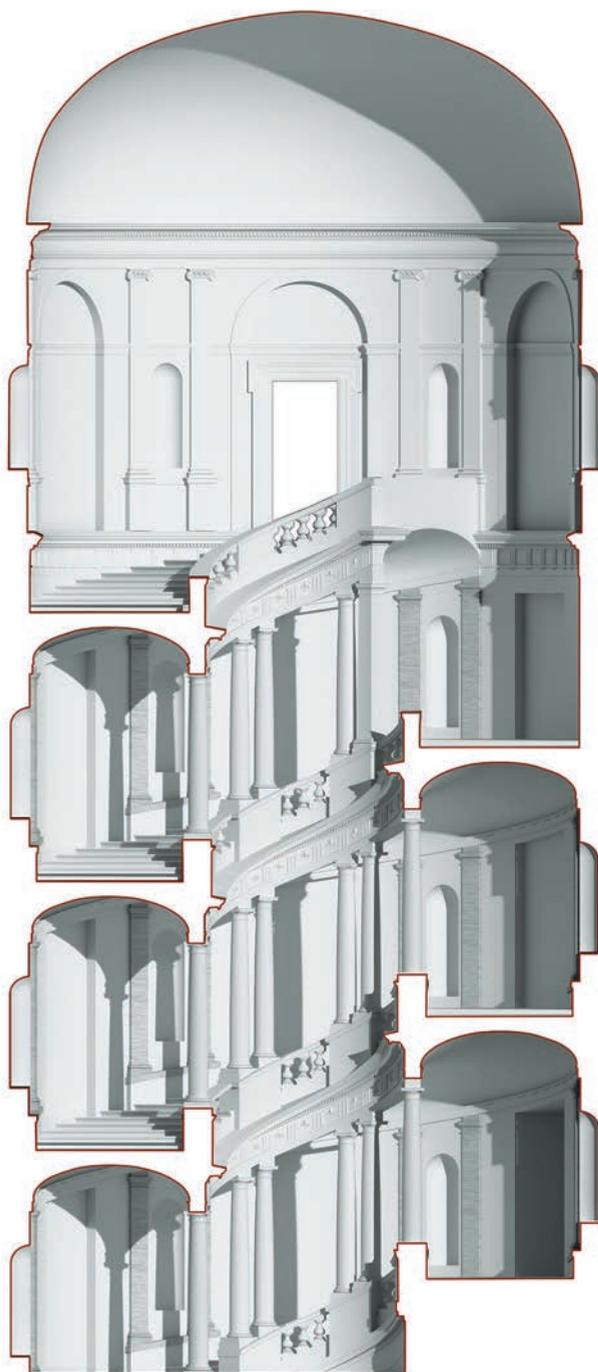


Fig. 8/ Palazzo Farnese a Caprarola. Scala elicoidale di Vignola. Pianta. Rilievo di Leonardo Paris.

A Caprarola Jacopo Barozzi da Vignola riprende l'invenzione formale del Bramante realizzando una scala vera e propria con gradini radiali, senza pianerottoli, con un ritmo architettonico centrale di sei colonne binate in ordine dorico per ogni spira; ritmo che viene proiettato su paraste anche sulla superficie cilindrica esterna (fig. 8). I gradini della scala si sviluppano su tre spire complete più un sesto, con 13 coppie di colonne binate più due moduli (all'inizio ed alla fine della scala) formati da una colonna circolare uguale alle altre e da pilastri quadrati adattati nella forma e nella proporzione. La scala culmina con un grande spazio circolare coperto da una cupola a sezione semiovale (fig. 9). L'elemento più caratterizzante della scala è indub-

La spirale cilindrica nelle scale rinascimentali e barocche

Fig. 9/ Palazzo Farnese a
Caprarola. Scala elicoidale di
Vignola. Sezione del modello 3D.
Rilievo di Leonardo Paris.



biamente il suo nucleo, con la ricca trabeazione dorica che si avvolge al di sopra delle colonne lungo la direttrice elicoidale, e con il fregio ritmato dalla perfetta alternanza di triglifi e metope con i gigli, simbolo dei Farnese. La scala ha una suggestiva progressione luminosa dal basso verso l'alto determinata dalla particolare collocazione delle finestre che diffondono una luce mai diretta ma sempre laterale. Il fascino della "lumaca" di Caprarola deriva dalla grande abilità progettuale di un Vignola pienamente maturo e dal rigore nel controllo dell'esecuzione dell'opera. Qui Vignola si misura nell'ardua impresa di piegare l'ordine architettonico secondo una direttrice geometrica a sviluppo tridimensionale qual è l'elica cilindrica e teorizza il valore della geometria come elemento di controllo dell'articolazione dello spazio architettonico anche nelle forme più complesse⁸.

Gli esempi scelti per questo breve saggio sono tutti fortemente emblematici di un progressivo cambiamento culturale che contraddistingue il passaggio dal Rinascimento al Barocco.

La misura di un nuovo significativo cambiamento del pensiero architettonico si riesce a cogliere proprio nell'opera di Ottaviano Mascarino quando, ormai architetto affermato e maturo, si trova nella condizione progettuale simile a quella del suo maestro; trasformare una preesistenza in un palazzo, inserendo anche qui una scala monumentale curva (fig. 10). Mascarino ama l'ovale, così come Vignola, ma si rende subito conto del diverso livello di difficoltà nel trasformare questa figura geometrica, apparentemente semplice, in uno sviluppo tridimensionale elicoidale. Tra le possibili soluzioni geometriche dell'ovale teorizzate da Serlio Mascarino sceglie la quarta, l'ultima, quella cosiddetta equilatera che in qualche modo rimanda all'esagono vigolesco con angoli di 60° e suoi sottomultipli. Adatta le dimensioni della linea al progetto. Una lettura attenta del disegno

8 Negli stessi anni di costruzione di Palazzo Farnese Vignola manda alle stampe nel 1562 il suo trattato *Regola delli Cinque Ordini d'Architettura*.

La spirale cilindrica nelle scale rinascimentali e barocche

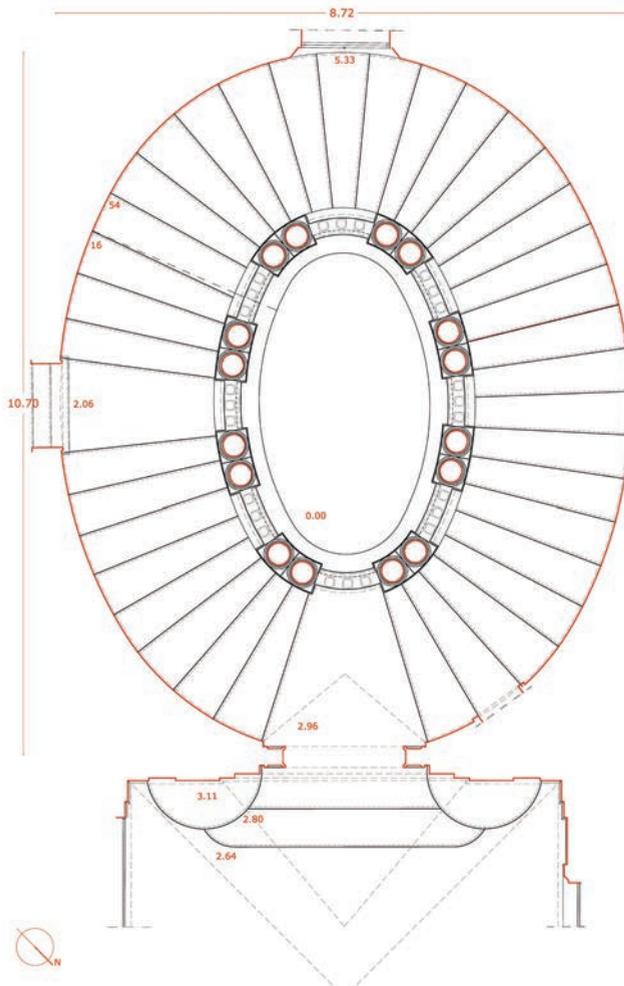
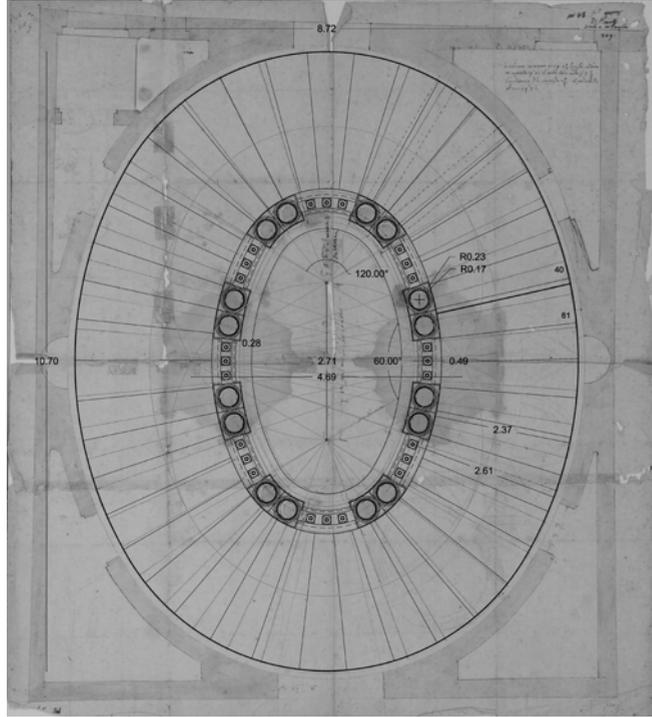


Fig. 10/ Roma. Palazzo del Quirinale. Scala elicoidale di Mascarino. Pianta. Rilievo di Leonardo Paris.

conservato all'Accademia di San Luca consente di comprendere bene la matrice geometrica usata dal progettista, matrice che si è potuto riscontrare dal rilievo essere molto fedele a quanto poi effettivamente realizzato (fig. 11). Il disegno risulta altresì incompleto di alcuni elementi architettonici di dettaglio e, per altri aspetti, in contrasto con quanto effettivamente realizzato e rilevato. Lo spartito architettonico del nucleo centrale, che deriva dai prototipi di Bramante e di Vignola, è una vera e propria innovazione tipologica perché basata su una pianta

Le linee curve per l'architettura e il design

Fig. 11/ Roma. Palazzo del Quirinale. Scala elicoidale di Mascarino. Sovrapposizione del rilievo sul disegno di Ottaviano Mascarino (ANSL, *Fondo Mascarino*, n. 2463r).



ovale e non più circolare con l'utilizzo di un sistema a colonne binate in ordine dorico. Lo spazio centrale è scandito da un ritmo di otto colonne binate e da altrettanti spazi vuoti, disposti planimetricamente in modo che quattro di questi ultimi siano centrati sui due assi dell'ovale.

Il diametro delle colonne che scandiscono il ritmo dell'ordine architettonico è di un palmo e mezzo, con le basi delle colonne binate tangenti nella proiezione dei rispettivi tori.

La posizione delle colonne binate lungo l'ovale è uno dei primi problemi geometrici di non immediata risoluzione che Mascarino ha dovuto affrontare nel momento in cui decide di utilizzare la pianta ovale. Se infatti la divisione della circonferenza in parti uguali è facilmente risolvibile utilizzando poligoni regolari inscritti o circoscritti, nel caso della policentrica chiusa non era nota in quel periodo storico al-

La spirale cilindrica nelle scale rinascimentali e barocche

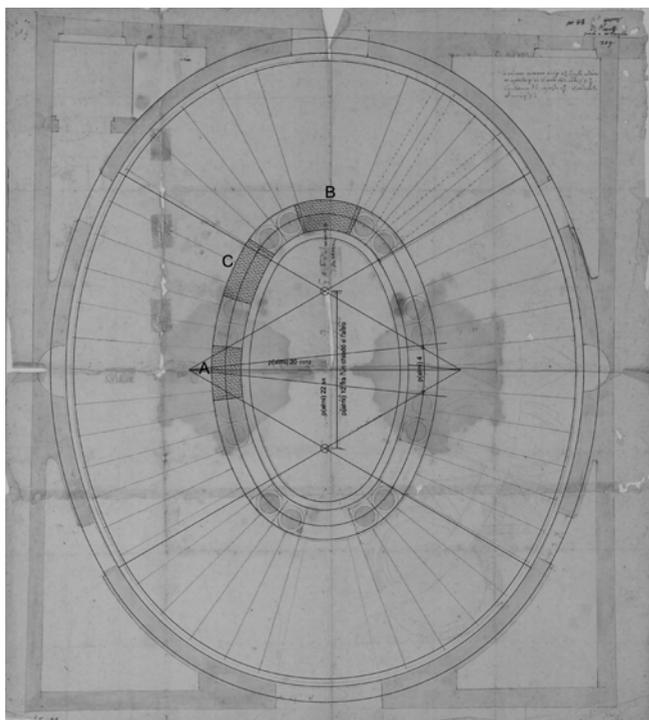


Fig. 12/ Roma. Palazzo del Quirinale. Scala elicoidale di Mascarino. Annotazioni grafiche sul disegno di Ottaviano Mascarino (ANSL, Fondo Mascarino, n. 2463r) con evidenziate le differenti dimensioni degli spazi vuoti tra blocchi di colonne binate.

cuna costruzione grafica esatta ma solo soluzioni approssimate.

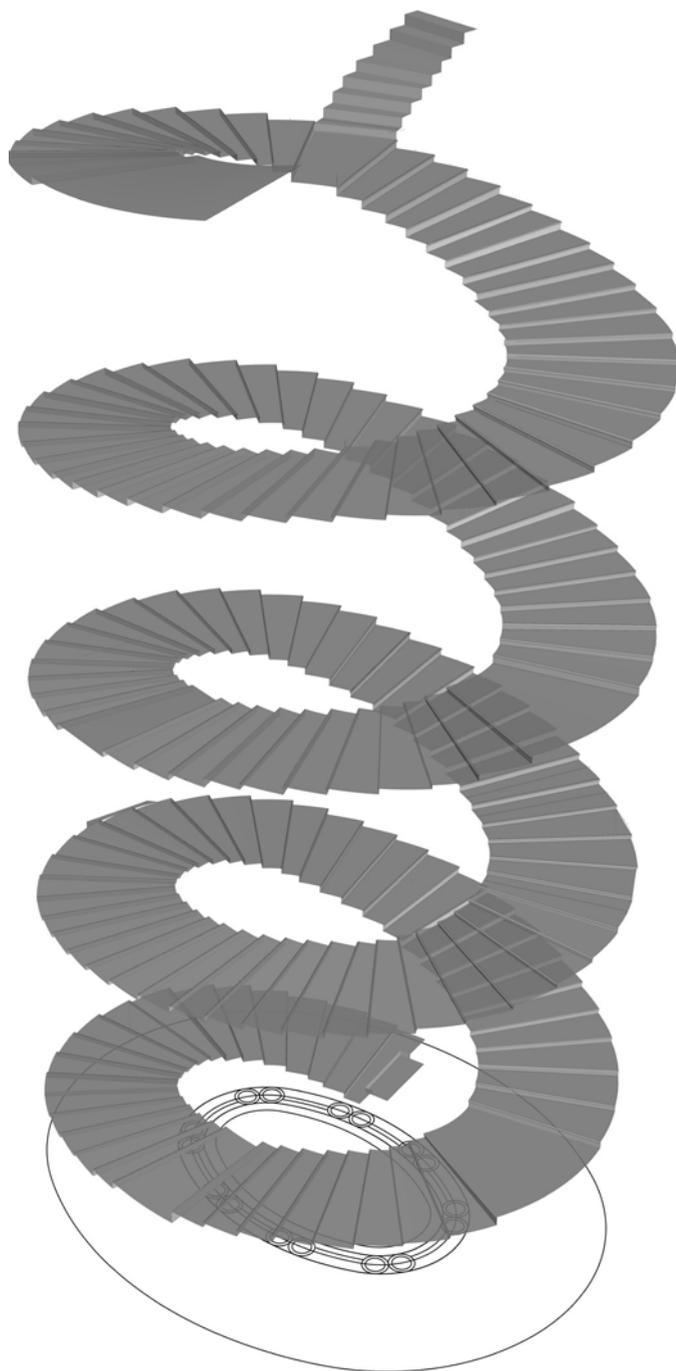
Osservando il disegno (fig. 12) si notano tre distinti tipi di spazi vuoti: i due simmetrici lungo l'asse minore (tipo A), corrispondenti alla curvatura di raggio maggiore, i due simmetrici lungo l'asse maggiore (tipo B), corrispondenti alla curvatura di raggio minore, e i quattro spazi intermedi (tipo C) sui quali insistono entrambe le curvature. Gli spazi tra le coppie di colonne nel disegno di Mascarino (così come poi verificato nel rilievo) sono diversi per ognuno dei tre tipi sopradescritti, in maniera anche significativa. Si può pertanto affermare che non c'è stata da parte del progettista la volontà di suddividere i pieni ed i vuoti in parti uguali, proponendo invece, volutamente, una soluzione che tenesse conto dei diversi aspetti percettivi dello spazio e della luce che un utente poteva avere percorrendo la scala.

⁹ Cfr. Paris 2016.

¹⁰ Cfr. Paris, Ricci 2014 e Ricci 2016.

Le linee curve per l'architettura e il design

Fig. 13/ Roma. Palazzo del Quirinale. Scala elicoidale di Mascarino. Modello 3D dei gradini.



Tralasciando al momento molte altre considerazioni di dettaglio che si possono fare confrontando il disegno di progetto con la sua realizzazione⁹, si vuole rimarcare qui un punto fondamentale, e cioè quanto questo progetto sia il paradigma di un cambiamento culturale già pienamente maturo che porterà dopo qualche anno alla nascita del barocco. La geometria rigorosa del progetto di Vignola lascia spazio ad una idea di spazio che muta e si adatta al movimento percettivo dell'osservatore. Questa idea, che ritroviamo ancora ben evidente nello sviluppo tridimensionale dell'elicoide, deriva evidentemente anche dalla notevole capacità di Mascarino di essere, prima ancora che architetto, un raffinato prospettico in grado, quindi, di sapere controllare le variazioni percettive di uno spazio architettonico¹⁰.

Ritornando per un momento all'analisi planimetrica, un altro degli elementi caratteristici di una scala a pianta ovale è la conformazione dei gradini che non sono ortogonali alle tangenti della policentrica. Mascarino disegna una sequenza che, viste le risultanze del rilievo, sarà ampiamente disattesa in fase di realizzazione (fig. 13). La soluzione con due pianerottoli grandi lungo l'asse maggiore e due mini-pianerottoli lungo l'asse minore pone un problema geometrico-costruttivo nel momento in cui si vuole adottare una soluzione con una partitura architettonica centrale alla quale è associata una trabeazione che, per avvolgersi nello spazio in maniera continuativa, deve appoggiarsi ad una direttrice parallela all'andamento dei gradini. Questa partitura in una scala a pianta circolare senza pianerottoli corrisponde all'elica cilindrica; in una scala a pianta ovale, ricordiamo, ci sono quattro archi di circonferenza a due a due uguali e simmetrici, e con due distinti valori della curvatura. Per cui occorre prima di tutto riuscire a garantire la continuità della geodetica lungo uno spira, ma ancora più difficile è riuscire a dare

Le linee curve per l'architettura e il design

Fig. 14/ Roma. Palazzo del Quirinale. Scala elicoidale di Mascarino. Individuazione delle due eliche.



continuità alla direttrice introducendo dei pianerottoli. Nella scala del Quirinale, a differenza del disegno di progetto, sono stati realizzati solo due veri e propri pianerottoli, in corrispondenza dei due accessi dalla loggia d'onore e dalla sala ad essa sottostante, con una soluzione di attacco particolare che, come è emerso dal rilievo, non altera l'andamento dell'elica. Ma è nel nastro elicoidale della trabeazione interna al nucleo che si manifesta tutta la genialità del progettista e l'innovazione formale che caratterizza quest'opera architettonica.

La trabeazione è composta da un architrave con due fronti, uno verso il pozzo centrale e l'altro in-

terno alla scala. Il fregio e la cornice della trabeazione sono presenti solo all'interno del vuoto centrale dando così forma a quel meraviglioso nastro elicoidale che è l'emblema stesso di questa scala. Analizzando le misure della trabeazione ci si è accorti di qualcosa che a prima vista difficilmente appare, la presenza cioè di un vero e proprio artificio prospettico che introduce un ulteriore grado di difficoltà formale e costruttiva che rende questa architettura un vero e proprio capolavoro.

Mentre l'architrave e la cornice mantengono un'altezza costante per tutto lo sviluppo della scala, la misura del fregio aumenta progressivamente e sensibilmente. Ciò comporta l'introduzione di una seconda elica con pendenza di poco superiore a quella utilizzata per impostare i gradini della scala. Viene introdotto un raffinatissimo gioco formale (con significative ripercussioni costruttive) pensato per contrastare lo schiacciamento prospettico di chi, percorrendo la scala, è inevitabilmente portato ad affacciarsi nel pozzo centrale e ad alzare lo sguardo verso la principale fonte di luce del lucernaio.

Per riuscire a comprendere la raffinatezza del gioco formale bisogna osservare attentamente la scala soprattutto da un punto di vista interno, stando cioè sui gradini (fig. 14). Si individua nettamente un'elica continua alla base del piedistallo sulla quale si appoggiano tutti i gradini; alzando lo sguardo si nota anche un'elica continua, sulla quale si appoggia l'architrave e che si ritrova parallelamente anche sul muro esterno.

L'elica in basso è collegata direttamente alla trabeazione interna al pozzo e conseguentemente all'elica dell'architrave. Avendo verificato che l'ordine interno alla scala, formato da architrave, colonna e piedistallo rimane costante per tutta la sua altezza, solo una attenta lettura dei dati rilevati ha consentito di comprendere la soluzione adottata da Masca-

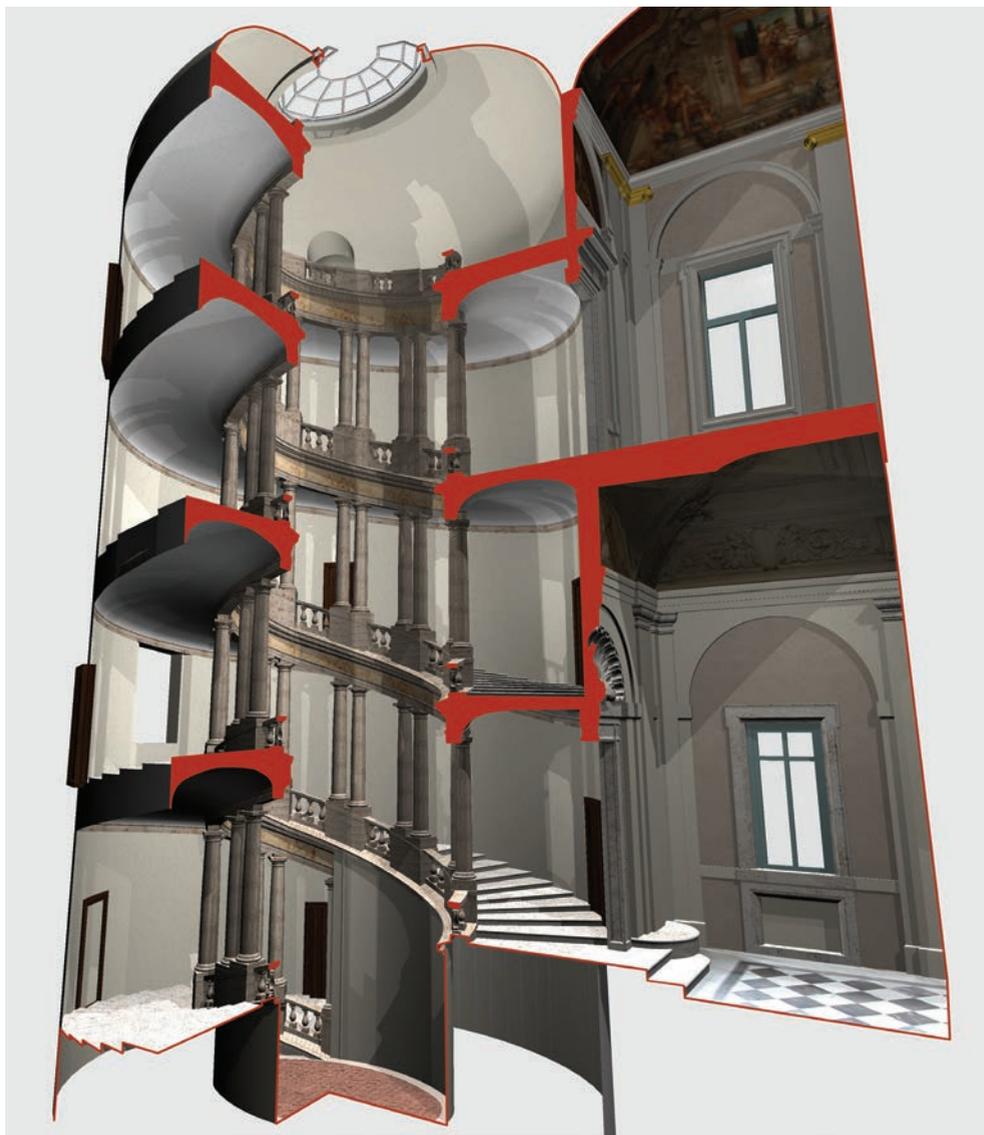


Fig. 15/ Roma. Palazzo del Quirinale. Scala elicoidale di Mascarino. Vista del modello 3D. Spaccato prospettico.

rino, cosicché i gradini seguono una pendenza e la volta elicoidale ne segue un'altra. Ciò comporta una variazione dello spessore murario tra la volta ed il piano di imposta dei gradini; variazione in nessun modo percepibile da chi, utilizzando la scala, rimane condizionato visivamente dalla costante regolarità dell'ordine architettonico (fig. 15).

Senza alcun timore reverenziale nei confronti del suo maestro, Ottaviano Mascarino realizza un'opera che ha indubbiamente influenzato gli artisti a venire forse più di quanto gli storici hanno lasciato fin qui intendere. Se la scala di Palazzo Barberini, attribuita al genio di Borromini, è uno dei simboli del barocco romano, si può affermare che la scala di Mascarino, costruita appena cinquant'anni prima, contiene in sé già tutti gli elementi di innovazione formale e forse anche qualcosa in più.

A Palazzo Barberini Borromini interviene sicuramente nella fase di progettazione di trasformazione del Palazzo con una variante al progetto iniziale di Carlo Maderno, proponendo una scala elicoidale con una nuova conformazione della pianta ovale, mantenendo sempre il nucleo centrale con colonne. L'idea, sintetizzata nel disegno preparatorio elaborato da Borromini sotto la direzione di Maderno (Alb. Az. Rom 957) deriva indubbiamente dalla scala ovale realizzata da Mascarino.

Borromini aveva lavorato pochi anni prima, sempre sotto la direzione di Maderno, nel palazzo del Quirinale, e in quel cantiere aveva avuto la possibilità di studiare attentamente quella la scala ovale. Alla morte di Carlo Maderno nel cantiere del costruendo Palazzo Barberini subentra Bernini, con il quale Borromini avvierà una collaborazione destinata però a concludersi poco dopo. La scala verrà costruita nel 1633 quando ormai Borromini aveva già abbandonato il cantiere.

Al di là delle considerazioni di carattere storico che riguardano la figura di Borromini e più in generale l'evoluzione della nuova concezione dello spazio, caratteristica del periodo barocco – in particolare romano – ci interessa mettere in evidenza quegli aspetti legati alla particolarità geometrico-costruttiva della scala elicoidale a pianta ovale, nel rapporto tra idea progettuale sintetizzata negli elaborati di

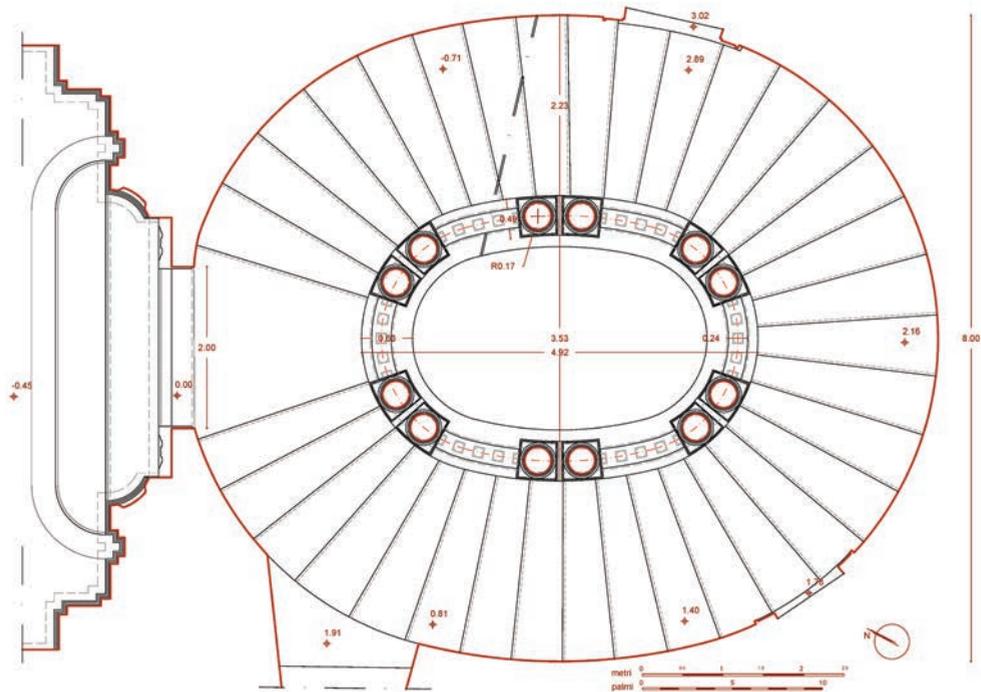


Fig. 16/ Roma. Palazzo Barberini. Scala elicoidale attribuita a Borromini. Pianta. Rilievo di Leonardo Paris.

progetto e costruzione reale, sulla base dei dati ottenuti da una campagna di rilievo digitale.

Se Mascherino nella scala ovale del Quirinale sceglie una soluzione classica basata sull'ovale equilatero in cui, cioè, i quattro centri formano un rombo dato dalla somma di due triangoli equilateri, Borromini opta per una soluzione meno vincolante, riferibile alla prima costruzione di Serlio (fig. 16).

L'altro elemento rilevante del progetto è quello dell'ordine architettonico dato dalla sequenza di coppie di colonne, per le quali l'importanza strutturale passa decisamente in secondo piano rispetto al loro valore plastico di conformazione dello spazio, di esaltazione del valore simbolico dell'elica, di controllo e diffusione della luce, tema quest'ultimo particolarmente caro a Borromini (fig. 17).

In questo caso entrano in gioco diverse scelte me-



Fig. 17/ Roma. Palazzo Barberini. Scala elicoidale attribuita a Borromini. Modello 3D parametrico (di Mario Graziano Valenti).

triche e proporzionali, alcune delle quali condizionate dalla scelta di base della pianta ovale. Riferendoci per il momento solo all'impianto planimetrico, le scelte principali riguardano il diametro della colonna, la distanza tra gli assi delle colonne binate, la suddivisione in sei parti dell'ovale.

Per quanto riguarda il diametro della colonna, qui Borromini ripropone l'esatta misura delle colonne della scala ovale di Palazzo del Quirinale, pari ad un palmo e mezzo. Adotta sempre una soluzione legata al modulo per quanto riguarda lo sviluppo dell'ordine sia nel capitello che nella base della colonna. A

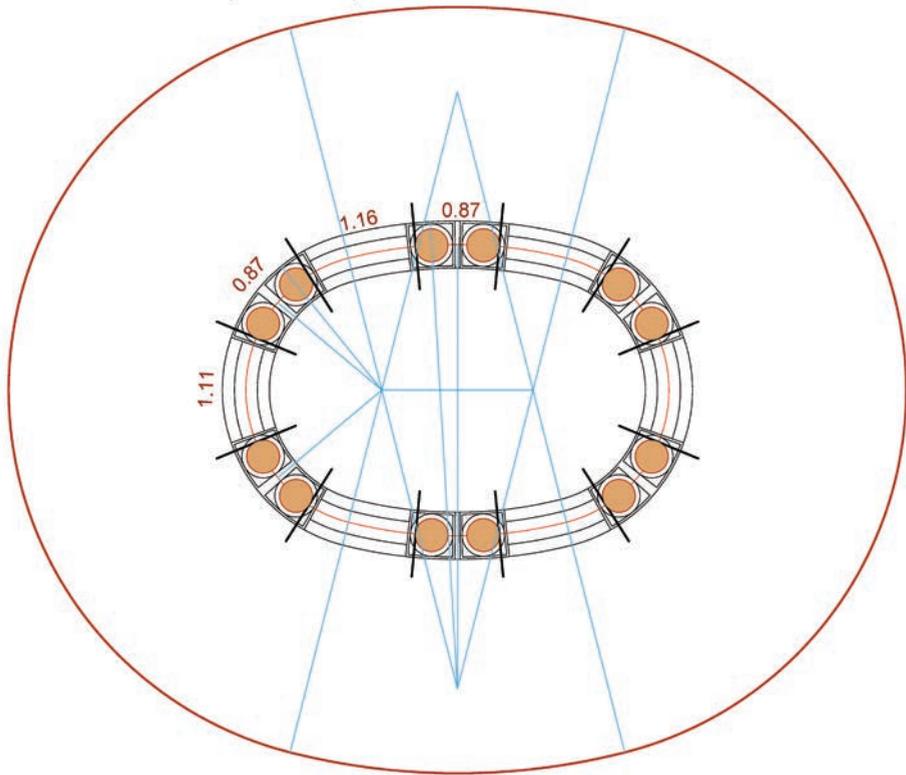


Fig. 18/ Roma. Palazzo Barberini. Scala elicoidale attribuita a Borromini. Analisi della partizione planimetrica tra spazi vuoti e blocchi di colonne binate.

Borromini lo spazio tra le due colonne binate proposto da Mascherino deve essere sembrato troppo stretto; un filtro troppo forte per l'esigua luce proveniente dal lucernario superiore e dalle tre finestre in posizione molto laterale rispetto alla pianta e che prospettano sulla facciata principale ma in una posizione d'angolo in prossimità dell'avancorpo destro dell'edificio che ne limita molto l'esposizione solare in tutto l'arco della giornata. Borromini quindi prospetta una soluzione aumentando lo spazio tra le due colonne binate in modo tale che i plinti delle colonne, anziché essere accoppiati come accade al Quirinale, sono separati da uno spazio vuoto.

La scala di Palazzo Barberini è più piccola di quella del Quirinale, con un asse maggiore sensibilmente più corto ed un asse minore di poco inferiore. La

conseguente restrizione dello spazio nel nucleo centrale ha indotto Borromini a progettare una soluzione di suddivisione dello spazio basata su sei coppie binate di colonne, anziché otto come aveva fatto Mascherino. Questo comporta una distribuzione dei pieni e dei vuoti molto differente. Nella soluzione a otto colonne gli assi dell'ovale attraversano entrambi lo spazio vuoto; nella soluzione a sei l'asse maggiore è sulla visuale libera, mentre l'asse minore è contrassegnato dal pieno delle colonne binate. C'è anche un problema di suddivisione in un ritmo prefissato di parti dell'ovale. Se ci si riferisce ad una pianta circolare come in Bramante o Vignola, il problema geometrico è riconducibile, come detto, alla suddivisione in parti uguali della circonferenza. Trasponendo il problema all'ovale si tratterebbe di suddividere in sei parti uguali la policentrica. Analizzando i dati del rilievo si nota che le differenze sono molto meno evidenti di quelle rilevate nella scala di Mascarino. Gli spazi tra le colonne presentano inevitabilmente delle differenze legate alla diversità della curvatura (fig. 18). Due sono corrispondenti all'asse maggiore dell'ovale, quattro sono quelli laterali. Misurando la lunghezza degli archi di circonferenza che definiscono i pieni ed i vuoti si registra una differenza tra gli spazi di circa 5 cm. Diversamente da quanto osservato per la scala al Quirinale, a palazzo Barberini occorre valutare meglio se la differenza dipenda da una precisa volontà progettuale o se, più plausibilmente, la differenza sia dovuta a soluzioni approssimate di suddivisione in parti uguali della figura geometrica di base.

In conclusione

Non deve essere stato facile per questi nostri architetti riuscire a tradurre la suggestione di una linea infinita, qual è l'elica, nella finitezza di un nuovo linguaggio architettonico fondato sul rigore geometri-

co e sul recupero dei canoni classici di ritmo e proporzione. Bramante ha il merito di aver pensato ad una soluzione mai sperimentata prima di allora, dando valore architettonico ad un collegamento verticale tra il lato sud del vecchio Palazzo Vaticano e la villa Belvedere di Innocenzo VIII e al contempo utilizzando l'elica anche come elemento simbolico di ascesa verso lo spazio dell'arte e della bellezza che Giulio II aveva in animo di allestire negli spazi superiori del Belvedere. Riuscire ad interrompere l'infinità di questa linea ha rappresentato per tutti una sfida nella sfida. Forse Bramante aveva pensato una soluzione terminale diversa considerando che l'opera è stata interrotta e ripresa dopo la sua morte. Vignola è forse l'unico che è riuscito a progettare una "lumaca" che ha un "inizio ed una fine". Mascarino, una volta garantita la funzione di collegamento tra la loggia d'onore e l'ambiente sovrastante lascia scorrere la sua doppia elica facendo in modo che sia la stessa trabeazione (che nella parte terminale gira seguendo la retta perpendicolare alla tangente dell'elica) ad esaltarne la chiusura. Soluzione ripresa con qualche modifica anche a Palazzo Barberini ma con un elemento murario sovrastante di raccordo con il sottotetto che ne appesantisce la parte terminale.

L'aspetto sicuramente più interessante che emerge da questa storia, che ha come *fil rouge* la medesima idea geometrica di sviluppo di una linea curva, è come i diversi progettisti siano riusciti a declinare in maniera del tutto originale un tema così complesso, e come, proprio grazie al ruolo della geometria, siano stati in grado di controllarne tutte le sue fasi, dalla ideazione alla realizzazione.

Bibliografia

Prima parte

- AA.VV., 1999. Il Colosseo Studi e Ricerche. *Disegnare Idee Immagini*, 18/19.
- Adam Jean-Pierre, 1988. *L'arte di costruire presso i Romani*. Milano: Longanesi & C.
- Arnheim Rudolph, 1977. *La dinamica della forma architettonica*. Milano: Feltrinelli.
- Baglioni Leonardo, 2007. Il contributo del modellatore informatico nello studio di lossodromie, eliche e spirali. In De Carlo Laura (a cura di). *Informatica e fondamenti scientifici della rappresentazione*. Roma: Gangemi, pp. 93-102.
- Bianchi Luigi, 1894. *Lezioni di geometria differenziale*. Pisa: Enrico Spoerri.
- Bianchi Bandinelli Ranuccio, 2005. *Roma: l'arte al centro del potere (dalle origini al II secolo d.C.)*. Milano: RCS Corriere della Sera, vol. 1.
- Boyer Carl B., 1976. *Storia della matematica*. Milano: Mondadori, 1976. Traduzione di Carugo Adriano. Ed. orig. *A History of mathematics*.
- Burali Forti Cesare, 1912. *Corso di geometria analitico-proiettiva per gli allievi della R. Accademia Militare*. Torino: G. B. Petrini di Giovanni Gallizio.
- Ciarloni Roberto, 2008. La logica delle forme. In Carlevaris Laura, De Carlo Laura, Migliari Riccardo (a cura di). *Attualità della geometria descrittiva*. Roma: Gangemi, pp. 267-282.
- Ciarloni Roberto, 2009. Teorie e tecniche della rappresentazione matematica. In Migliari Riccardo. *Geometria descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, pp. 5-59, vol. 2.
- Cresci Luciano, 1998. *Le curve celebri*. Padova: Franco Muzio.
- Cresci Luciano, 2005. *Le curve matematiche. Tra curiosità e divertimento*. Milano: Hoepli.
- D'Ocagne Maurice, 1896. *Cours de géométrie descriptive et de géométrie infinitésimale*. Paris: Gauthier-Villars.

Le linee curve per l'architettura e il design

- De Carlo Laura, 2009. Le linee curve. In Migliari Riccardo. *Geometria descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, pp.97-129, vol. 2.
- De Rubertis Roberto, 1999. Un enigma avvincente: il tracciato planimetrico ellittico del Colosseo. *Disegnare Idee Immagini*, 18/19, pp. 99-106.
- Docci Mario, 1999. La forma del Colosseo: dieci anni di ricerche. Il dialogo con i gromatici romani. *Disegnare Idee Immagini*, 18/19, pp. 23-32.
- Dupin Charles, 1829. *Geometria e meccanica delle arti, dei mestieri, delle belle arti*. Firenze: Stamperia di Guglielmo Piatti.
- Eulero Leonard, 1767. Recherches sur la courbure des surfaces. *Memoires de l'academie des sciences de Berlin*, 16, pp. 119-143.
- Fallavollita Federico, Salvatore Marta, 2012a. Geometria e costruzione. La teoria delle linee di curvatura nella stereotomia della pietra. *Disegnarecon*, n. 9, pp. 125-134, vol. 5.
- Fallavollita Federico, Salvatore Marta, 2012b. The ruled surfaces in stone architecture. In Gambardella Carmine (a cura di). *Le vie dei mercanti - Less More*. Napoli: La scuola di Pitagora, pp. 261-269.
- Fiedler Wilhelm, 1873. *Trattato di geometria descrittiva*. Firenze: Le Monnier.
- Freguglia Paolo, 1999. *La geometria fra tradizione e innovazione*. Torino: Bollati Boringhieri.
- Frère Gabriel Marie (Edmond Brunhes), 1893. *Élément de Géométrie Descriptive*. Tours: Alfred Mame et fils; Paris: Charles Poussielgue. Riproduzione anastatica. F.G.-M. 1996. *Géométrie descriptive, tome I, Éléments*. Mayenne: Jacques Gabay.
- Frère Gabriel Marie (Edmond Brunhes), 1920. *Exercices de Géométrie Descriptive*. Tours: Alfred Mame et fils; Paris: J. De Gigord. Riproduzione anastatica. F.G.-M. 1996. *Géométrie descriptive, tome II, Exercices*. Mayenne: Jacques Gabay.
- Gay Fabrizio, 2016. Verso una morfologia degli artefatti: da Monge a Petitot, la geometria descrittiva dopo la geometria descrittiva. In Di Luggo Antonella (a cura di). *Territori e frontiere della rappresentazione*. Roma: Gangemi, pp. 59-66.
- Giordano Andrea, 1999. *Cupole volte e altre superfici*. Torino: Utet.
- Giusti Enrico, 2007. *Piccola storia del calcolo infinitesimale dall'antichità al Novecento*. Pisa: Istituti editoriali e poligrfici internazionali.
- Hachette Jean Nicolas Pierre, 1813. *Correspondance sur l'École Royale Polytechnique, Vol. II, n. 4, 1812*. Paris: Chez J. Klostermann, Libraire de l'Ecole Impériale Polytechnique.
- Hilbert David, Cohn-Vossen Stefan, 1932. *Geometria intuitiva*. Torino: Bollati Boringhieri.
- Inglese Carlo, 2017. Dalla pratica alla trattazione teorica: le incisioni delle volute ioniche. *Disegnare Idee Immagini*, 55, pp. 42-51.
- Kline Morris, 1991. *Storia del pensiero matematico, Vol. I, Dall'antichità al Settecento*. Torino: Einaudi. Traduzione di Conte Alberto (a cura di). Ed. orig. *Mathematical Thought From Ancient to Modern Times*. Oxford: University press, 1972.
- Lambert Johannes Heinrich, 1760. *Photometria, sive mensura et gradibus luminis, coloribus et umbrae*. Augustae vindelicorum: Sumptibus viduae Eberhardi Klett, Typis Christophori Petri Detleffsen.
- Leroy Charles François Antoine, 1838. *Trattato di geometria descrittiva. Prima versione dal francese con note di Salvatore D'Ayala e Paolo Tucci*. Napoli: Reale tipografia della guerra.
- Leroy Charles François Antoine, 1862. *Traité de stéréotomie*. Paris: Mallet-Bachelier.
- Loria Gino, 1912. *Poliedri, curve e superficie*. Milano: Hoepli.

- Loria Gino, 1914. *Le scienze esatte nell'antica Grecia, Libro I -[II]*. Milano: U. Hoepli.
- Loria Gino, 1925a. *Curve sghembe speciali algebriche e trascendenti. Curve algebriche*. Bologna: Zanichelli, vol. 1.
- Loria Gino, 1925b. *Curve sghembe speciali algebriche e trascendenti. Curve sferiche - curve definite da una reazione tra flessione e torsione - curve particolari situate sopra superficie assegnate*. Bologna: Zanichelli, vol. 2.
- Loria Gino, 1930a. *Curve piane, speciali, algebriche e trascendenti. Curve algebriche*. Milano: Hoepli, vol. 1.
- Loria Gino, 1930b. *Curve piane, speciali, algebriche e trascendenti. Curve trascendenti - Curve dedotte da altre*. Milano: Hoepli, vol. 2.
- Loria Gino, 1931. *Il passato e il presente delle principali teorie geometriche*. Padova: Cedam.
- Loria Gino, 1935. *Metodi matematici*. Milano: Hoepli.
- Losito Maria, 1993. La ricostruzione della voluta ionica vitruviana nei trattati del rinascimento. *Mélanges de l'école française de Rome*, 105-1, pp. 133-175.
- Martines Gianciacomo, 1983. La struttura della Colonna Traiana: un'esercitazione di meccanica alessandrina. *Prospettiva*, 32, pp. 60-71.
- Migliari Riccardo, 1999. Principi teorici e prime acquisizioni nel rilievo del Colosseo. *Disegnare Idee Immagini*, 18/19, pp. 33-50.
- Migliari Riccardo, 2009a. *Geometria Descrittiva. Metodi e costruzioni*. Novara: CittàStudi, vol. 1.
- Migliari Riccardo, 2009b. *Geometria Descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, vol. 2.
- Monge Gaspard, 1796. Analyse appliquée à la géométrie. *Journal de l'École polytechnique, chaier II*.
- Monge Gaspard, 1798. *Géométrie descriptive*. Paris: Baudouin.
- Palladio Andrea, 1570. *I quattro libri dell'architettura*. Venezia, appresso Domenico de' Franceschi. Ristampa. Milano: Hoepli, 1945.
- Paris Leonardo, 2008. Conseguenze informatiche nella rappresentazione. Disegno e modello del capitello ionico. *Disegnare Idee Immagini*, 36, pp. 82-92.
- Paris Leonardo, 2012. Teoria geometrica degli ingranaggi. In Casale Andrea (a cura di). *Geometria descrittiva e rappresentazione digitale. Memoria e innovazione*. Roma: Kappa, pp. 63-84, vol. 2.
- Peano Giuseppe, 1887. *Applicazioni geometriche del calcolo infinitesimale*. Torino: Bocca.
- Pintore Angela, Salvatore Marta, 2007. Shape from points. Morfogenesi e modellazione matematica. In De Carlo Laura (a cura di). *Informatica e fondamenti scientifici della rappresentazione*. Roma: Gangemi, pp. 161-174.
- Rogers David F., 2000. *An Introduction to NURBS: With Historical Perspective*. Burlington: Morgan Kaufmann - Elsevier.
- Russo Lucio, 1996. *La rivoluzione dimentica*. Milano: Feltrinelli.
- Sala Nicoletta, Sala Massimo, 2013. *Geometrie del design. Forme e materiali per il progetto*. Milano: FrancoAngeli.
- Salvatore Marta, 2009a. Intersezioni piane tra superfici quadriche. In Migliari Riccardo. *Geometria descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, pp. 280-295, vol. 2.
- Salvatore Marta, 2009b. La stereotomia. In Migliari Riccardo. *Geometria descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, pp. 485-561, vol.2.

Le linee curve per l'architettura e il design

- Salvatore Marta, 2011. Modelli litici di scale elicoidali. In Gambardella Carmine (a cura di). *Le vie dei Mercanti, S.A.V.E. Heritage*. Napoli: La scuola di Pitagora, pp. 1-12.
- Salvatore Marta, 2012. *La stereotomia scientifica in Amedée François Frézier. Prodromi della geometria descrittiva nella scienza del taglio delle pietre*. Firenze: University Press.
- Sereni Carlo, 1826. *Trattato di geometria descrittiva*. Roma: Stamperia di Filippo e Nicola De Romanis.
- Sereni Carlo, 1845. *Geometria descrittiva*. Roma: Tipografia Salviucci.
- Townsend Alastair, 2014. On the Spline: A Brief History of the Computational Curve. *International Journal of Interior Architecture + Spatial Design: Applied Geometries*, pp. 48-59, vol. 3.
- Valenti Graziano Mario, 2008. *De.form.are – De.form.ing*. Roma: Rdesignpress.
- Villa Mario, 1960. Sulla definizione della torsione di una curva sghemba. *Bollettino dell'Unione Matematica Italiana, Serie 3, 1*, pp. 47-54, vol. 15.
- Vitruvio Pollione Marco, *De Architectura*, 27 a.C. Interpretazione di Florian Giovanni. *Dell'architettura*. Pisa: Giardini.

Seconda parte

- Angelini Beatrice, 1999. Metodologia per lo studio del rilievo e della rappresentazione delle superfici rototraslate. La coclide di Bramante al Belvedere Vaticano. In AA.VV. *Geometria e Architettura, Strumenti del Dottorato di Ricerca in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente*. Roma: Gangemi, pp. 63-85, vol. 1.
- Argan Giulio Carlo (a cura di), 1952. *Borromini*. Milano: Mondadori.
- Arruga Lorenzo, Cella Franca (a cura di), 2006. *Pier Luigi Pizzi Inventore di teatro*. Torino: Umberto Allemandi & C.
- Barde F.A., 1834. *Traité Encyclopédique de l'Art du Tailleur*. Paris: Hippolyte Tiliard, 1834.
- Bellini Federico, 2004. *Le cupole di Borromini*. Milano: Electa.
- Bézier Pierre Etienne, 1971. Example of an Existing System in the Motor Industry: The Unisurf System. *Proceedings of the Royal Society of London*. 1545, vol. 321, pp. 207-218.
- Blunt Anthony, 1983. *Vita e opere di Borromini*. Roma: Laterza.
- Bösel Richard, Frommel Christoph Luitpold (a cura di), 2000. *Borromini e l'universo barocco*. Milano: Electa.
- Boullay Benoit, 1671. *Le Tailleur Sincère, contenant ce qu'il faut observer pour bien tracer, couper & assembler toutes les principales pieces qui se font dans la profession de Tailleur*. Paris: Antoine de Rafflé.
- Brandi Cesare, 1974. *Struttura e architettura*. Torino: Einaudi, 1974. Ed. orig. Torino: Einaudi.
- Brevi Fausto, 2004. *Il design delle superfici. I modelli digitali per il disegno industriale*. Milano: PoliDesign.
- Bruschi Arnaldo, 1978. *Borromini, manierismo spaziale oltre il barocco*. Bari: Dedalo libri.
- Cambridge Nicolas Adam, 2013. Homo (wo)mensura: unpicking the flat pattern-cutting regimes of sartorial culture. *International Journal of Fashion Design. Technology and Education*, 2, pp. 121-129, vol. 6.

- Canciani Marco, 2016. Drawing, Geometry and Construction: The Dome of San Carlino Alle Quattro Fontane (1634-1675) by Francesco Borromini. In Amoroso Giuseppe (a cura di). *Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools*. Hershey PA: IGI Global, pp. 608-641, vol. 2.
- Caraceni Domenico, 1933. *Orientamenti nuovi nella tecnica e nell'arte del sarto*. Roma: D. Squarci e Figli.
- Carlevaris Laura, De Carlo Laura, Migliari Riccardo (a cura di), 2012. *Attualità della Geometria descrittiva*. Roma: Gangemi.
- Carlucci Simona, Soresi Giovanni, Ursini Ursic Giorgio (a cura di), 1984. *Josef Svoboda*. Milano: Studio i.
- Casson Lionel, 2004. *Navi e marinai dell'antichità*. Milano: Mursia Editore.
- Ceccarelli Marco, Cigola Michela, 2009. Descriptive Geometry and the Theory of Mechanisms in XIX century Italian Engineering: similarities and interrelationships. *Disegnare Idee Immagini*, 39, pp. 12-25.
- Ceccato Cristiano, Lars Hesselgren, Mark Pauly, Helmutt Pottmann, Johannes Wallner, 2010. *Advances in Architectural Geometry 2010*. Wien: Springer-Verlag.
- Cho Youngsook, Park Hyejun, Takatera Masayuki, Kamijo Masayoshi, Hosoya Satoshi, Shimizu Yoshio, 2003. Pattern Remaking System of Dress Shirt Using 3D Shape Measurement. *Journal of the Asian Design International Conference*, 1, pp. 1-8.
- Ciammaichella Massimiliano, 2007. *La pelle dell'architettura contemporanea*. Roma: Aracne.
- Ciammaichella Massimiliano, 2011. *Disegno digitale per la moda. Dal figurino all'avatar*. Roma: Aracne.
- Ciammaichella Massimiliano, 2013. Processi di sviluppo delle superfici. Architettura e moda a confronto. In Casale Andrea (a cura di). *Geometria Descrittiva e Rappresentazione Digitale. Memoria e innovazione*. Roma: Kappa, pp. 187-195, vol. 2.
- Carlioni Roberto, 2009. Le teorie e le tecniche della rappresentazione matematica. In Migliari Riccardo. *Geometria Descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, pp. 5-59, vol.2.
- Cigola Michela, Ceccarelli Marco, 2016. Machine Designs and Drawings in Renaissance Editions of de Architectura by Marcus Vitruvius Pollio. In Sorge Francesco, Genghi Giuseppe (a cura di). *Essays on the History of Mechanical Engineering. History of Mechanism and Machine Science*. Cham: Springer, pp. 1-5, vol. 31.
- Codazza Giovanni, 1854. *Teoria geometrica degli ingranaggi*. Milano: Giuseppe Bernardoni.
- Codeluppi Vanni, 2003. *Che cos'è la moda*. Roma: Carocci.
- Connors Joseph (a cura di), 1998. *Francesco Borromini. Opus architectonicum*. Milano: Il Polifilo.
- Curtis William J., 2016. *L'architettura moderna dal 1900*. London: Phaidon.
- D'amato Gabriella, 2001. *L'arte di arredare. La storia di un millennio attraverso gusti, ambienti, atmosfere*. Milano: Mondadori.
- De Alcega Juan, 1580. *Libro de Geometría, Prática, Y Traça, el cual trata de lo tocante al officio de sastrre, para saber pedir el paño, seda, o otra tela que sera menester para mucho genero de vestidos, ansi de hombres, como de mujeres, y para saber como se an de cortar los tales vestidos, con otros secretos; y curiosidades tocantes a este arte...* Madrid: Guillermo Drouy.
- De Boor Carl R., 1978. *A practical guide to splines*. New York: Springer-Verlag.

Le linee curve per l'architettura e il design

- De Carlo Laura, Baglioni Leonardo, 2009. Le linee curve. In Migliari Riccardo. *Geometria descrittiva*. Novara: CittàStudi, pp.97-143, vol. 2.
- De Casteljou Paul, 1959. *Courbes à pôles*. INPI.
- De Fusco Renato, 2003. *Storia del design*. Bari: Laterza.
- De Gersault Françoise Alexandre Pierre, 1769. *Art du Tailleur, contenant Le Tailleur d'habits d'hommes; les Culottes de Peau; le Tailleur de Corps de Femmes & Enfants: la Couturiere; & la Marchande de Modes*. Paris: M. de Gersault.
- De La Rocha Burguen Francisco, 1618. *Geometria, y traça perteneciente al oficio de sastres. Donde se contiene el modo y orden de cortar todo genero de vestidos Españoles, y algunos Franceses, y Turcos...* Valencia: Pedro Patricio Mey.
- De Luca Mauro, Sorella Pietra Fratello Ferro, 2017. *Un percorso nella cultura tecnologica del progetto*. Firenze: AltraLinea.
- De Vizè Donneau, 1982. *Mercurie Galant. 1672-1674*. Genève-Paris: Slatkine.
- Debo Kaat (a cura di), 2003. *Patronen/Patterns, MoMu Mode Museum, catalogo della mostra, 24 aprile-10 agosto 2003*. Ghent: Ludion.
- Deleuze Gilles, 2004. *La piega, Leibniz e il Barocco*. Milano: Einaudi.
- Ferrara Marinella, 2004. *Materiali e innovazioni nel design: meccanismi di innovazione*. Roma: Gangemi.
- Focillon Henri, 1987. *Vita delle forme*. Torino: Einaudi. Traduzione di Bettini Sergio.
- Frampton Kenneth, 2008. *Storia dell'architettura moderna*. Bologna: Zanichelli.
- Gaiani Marco (a cura di), 2006. *La rappresentazione riconfigurata. Un viaggio lungo il processo di produzione del progetto di disegno industriale*. Milano: PoliDesign.
- Gaiani Marco, Guidi Gabriele, Micoli Laura, Musio Sale Massimo, Russo Michele, 2006. Reverse modeling per la nautica: rilievo dello scafo di un gommone con sistemi di scansione 3D a basso costo. *Disegnare Idee Immagini*, 31, 82-93.
- Gill Alison, 1998. Fashion: The Making of Unfinished, Decomposing and Re-Assembled Clothes. *Fashion Theory*, 1, pp. 25-50, vol. 2.
- Guidi Gabriele, Micoli Laura Loredana, Russo Michele, 2005. Boat's hull modeling with low cost triangulation scanners. *Proceedings of the Videometrics VIII, part of the IS&T/SPIE Symposium Electronic Imaging*, pp. 28-39, Vol. 5665.
- Guidi Gabriele, Russo Michele, Beraldin Jean-Angelo, 2010. *Acquisizione e modellazione poligonale*. Milano: McGraw Hill.
- Hempel Eberhard, 1924. *Francesco Borromini*. Wien: A. Schroll & Co., 1924. Edizione italiana. Milano: Società editrice d'arte illustrata.
- Hodge Brooke, 2007. *Skin + Bones. Parallel Practices in Fashion and Architecture*. London: Thames & Hudson.
- Laplaiche Virginie, 2002. *Geneviève Sevin-Doering: costumes*. Paris: Ecole du Louvre.
- Leroy Charles Françoise Antoine, 1872. *Traité de géométrie descriptive; suivi de la méthode des plans cotes et de la théorie des engrenages cylindriques et coniques: avec une collection d'épures composee de 69 planches*. Parigi: Bachelier.
- Liming Roy A., 1944. *Practical Analytic Geometry with Applications to Aircraft*. USA: The Macmillan Company.
- Lindqvist Rickard, 2013. On The Logic of Pattern Cutting. Foundational Cuts and Approximations of the Body. *Artistic Research*, 3.

- Liu Yong-Jin, Zhang Dong-Liang, Yuen Matthew, 2010. A survey on CAD methods in 3D garment design. *Computer in Industry*, 61, pp. 576-593.
- Loria Gino, 1921. *Storia della Geometria Descrittiva dalle origini sino ai giorni nostri*. Milano: Hoepli.
- Lupano Mario, Vaccari Alessandra (a cura di), 2009. *Una giornata moderna. Moda e stili nell'Italia fascista*. Bologna: Damiani.
- Marzari Mario (a cura di), 1998. *Navi di legno. Evoluzioni tecnica e sviluppo della cantieristica nel Mediterraneo dal XVI secolo ad oggi*. Trieste: LINT.
- Masini Lara Vinca, 2009. *Liberty. Art Nouveau*. Milano: Giunti.
- Massobrio Giovanna, Portoghesi Paolo, 1976. *La seggiola di Vienna: storia dei mobili in legno curvato*. Torino: Martano.
- Massobrio Giovanna, Portoghesi Paolo, 1992. *Casa Thonet. Storia dei mobili in legno curvato*. Bari: Laterza.
- Mello Bruno, 1987. *Trattato di scenotecnica*. Novara: Gorlich.
- Migliari Riccardo, 2009a. *Geometria Descrittiva. Metodi e costruzioni*. Novara: CittàStudi, vol. 1.
- Migliari Riccardo, 2009b. *Geometria Descrittiva. Tecniche ed applicazioni*. Novara: CittàStudi, vol. 2.
- Miyake Issey, Kitamura Midori, 2012. *Pleats Please*. Koln: Taschen.
- Morini Enrica, 2006. *Storia della moda. XVIII-XX secolo*. Milano: Skira.
- Musio Sale Massimo (a cura di), 2009. *Yacht Design: dal concept alla rappresentazione*. Milano: Tecniche Nuove.
- Nakamichi Tomoko, 2012. *Pattern Magic, 3 voll.* London: Laurence King.
- Oestergard Derek E., 1987. *Bentwood and metal furniture: 1850-1946*. Washington: University of Washington Press.
- Olivier Théodore, 1844. *Théorie géométrique des engrenages*. Paris: Bachelier.
- Paris Ivan, 2006. *Oggetti cuciti. L'abbigliamento pronto in Italia dal primo dopoguerra agli anni Settanta*. Milano: FrancoAngeli.
- Paris Leonardo, 2012a. Geometrie coniugate. *Disegnarecon*, 9, pp. 235-244, vol. 5.
- Paris Leonardo, 2012b. Teoria geometrica degli ingranaggi. In Casale Andrea (a cura di). *Geometria descrittiva e rappresentazione digitale. Memoria e innovazione*. Roma: Kappa, pp. 63-84, vol. 2.
- Paris Leonardo, 2015. Shape and Geometry in the Integrated Digital Survey. In Brusaporci Steafano (a cura di). *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*. London: ICI Global, pp. 214-238.
- Paris Leonardo, 2016. La scala elicoidale a Caprarola di Jacopo Barozzi da Vignola. Innovazione formale tra teoria e prassi. In Bini Marco, Berocci Stefano (a cura di). *Le ragioni del Disegno*. Roma: Gangemi, pp. 523-530.
- Paris Leonardo, Ricci Maurizio, 2014. Osservazioni su un disegno prospettico attribuito a Ottaviano Mascarino. *Disegnare Idee Immagini*, 48, pp. 22-33.
- Paris Leonardo, Ricci Maurizio, Roca De Amicis Augusto, 2016. *Con più difficoltà. La scala ovale di Ottaviano Mascarino nel palazzo del Quirinale*. Roma: Campisano editore.
- Paris Leonardo, Valenti Graziano Mario, 2015. La scala elicoidale del Borromini a Palazzo Barberini: rilievo scan laser modellazione parametrica. *Disegnarecon*, 15, pp. 11.1-11.11., vol. 8.

Le linee curve per l'architettura e il design

- Piegl Les., Tiller Wayne, 1995. *The NURBS Book*. Switzerland AG: Springer-Verlag.
- Portoghesi Paolo, 1964. Thonet e la produzione di serie. *La botte e il violino*, 1.
- Portoghesi Paolo, 1984. *Francesco Borromini*. Milano: Electa.
- Portoghesi Paolo, 2014. La biblioteca di Francesco Borromini. In Cazzato Vincenzo, Roberto Sebastiano, Bevilacqua Mario (a cura di). *La Festa delle Arti*. Roma: Gangemi, pp. 358-365.
- Portoghesi Paolo, 2015. Concordia Discors: L'architettura barocca a Roma. In Fagiolo Marcello (a cura di). *Roma Barocca. I protagonisti, gli spazi urbani, i grandi temi*. Roma: De Luca Editori d'Arte, pp. 25-59.
- Pottmann Helmut, Asperl Andreas, Hofer Michael, Kilian Axel, 2007. *Architectural Geometry*. Exton: Bentley Institute Press.
- Pottmann Helmut, Schiftner Alexander, Bo Pengbo, Schmiedhofer Heinz, Wang Wenping, Baldassini Niccolo, Wallner Johannes, 2008a. Freeform surfaces from single curved panels. *ACM Transactions on Graphics - Proceedings of ACM SIGGRAPH*, 3, article n. 76, vol. 27.
- Pottmann Helmut, Schiftner Alexander, Wallner Johannes, 2008b. Geometry of Architectural Freeform Structures. *ACM Symposium on Solid and Physical Modeling*, 209, pp. 15-28.
- Prokopios Kantas, 2015. *Teoria geometrica degli ingranaggi. Tesi di dottorato XXVIII ciclo in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo*. Roma.
- Quilici Vieri, 1991. *Il Costruttivismo*. Bari: Laterza.
- Raspe Martin, 2000. Borromini e la cultura antiquaria. In Bösel Richard, Frommel Christoph Luitpold (a cura di). *Borromini e l'universo barocco*. Milano: Electa, pp.83-93, vol. 1.
- Remondino Fabio, El-Hakim S.F., 2006. Image-Based 3D Modeling: A review. *The Photogrammetric Record Journal*, 115, pp. 269-291, vol. 21.
- Ricci Maurizio (a cura di), 2016. *Mascariniana. Studi e ricerche sulla vita e le opere di Ottaviano Mascarino*. Roma: Campisano.
- Rogers David F., 2000. *An Introduction to NURBS: With Historical Perspective*. Burlington: Morgan Kaufmann - Elsevier.
- Sala Nicoletta, Sala Massimo, 2013. *Geometrie del design. Forme e materiali per il progetto*. Milano: FrancoAngeli.
- Sato Shingo, 2016. *Transformational Reconstruction, 3 voll.* Saint Helena: Antiquity Press.
- Schumacher Patrik, 2013. Parametric Semiology: the design of information-rich environments. In Eiroa Pablo Lorenzo, Sprecher Aaron (a cura di). *Architecture In Formation. On the nature of information in digital architecture*. Abingdon: Routledge, pp. 53-59.
- Sederberg Thomas W., 2012. *Computer aided geometric design*. Provo: BYU.
- Sederberg Thomas W., Zheng Jianmin, Bakenov Almaz, Nasri Ahmad, 2003. T-splines and T-NURCCS. *ACM Transactions on Graphics*, 22 (3), pp. 477-484.
- Sedlmayr Hans, 1996. *L'architettura di Borromini*. Milano: Electa.
- Sembach Klaus Jorgen, 2016. *Art Nouveau*. Koln: Taschen.
- Serafini Giuliano, 2003. *Le arti decorative alle origini del moderno*. Milano: Giunti.
- Settimi Bruno, 1970. *Enciclopedia. La Moda maschile per il sarto, il modellista industriale ed il tecnico della confezione in serie, XX ed.* Milano: La Moda Maschile.
- Spadafora Giovanna, 2015. Nelle pieghe del dettaglio. Riflessioni sulla forma nell'opera di Francesco Borromini. *L'architettura delle città - The Journal of the Scientific Society Ludovico Quaroni*, 7, pp. 11-24, vol. 4.
- Spadafora Giovanna, 2016. Geometry and drama in Borromini's architectural details. Moldings

- in Palazzo Falconieri. In Amoruso Giuseppe (a cura di). *Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools*. Hershey PA: IGI Global, pp. 666-693, vol. 2.
- Spanabel Emery Joy, 2015. *A History of the paper pattern industry. The home dressmaking fashion revolution*. London-New York: Bloomsbury.
- Strada Nanni, 2013. *Lezioni. Moda-Design e Cultura del Progetto*. Milano: Lupetti.
- Svoboda Josef, 1997. *I segreti dello Spazio Teatrale*. Milano: Ubulibri.
- Tessari Domenico, 1902. *La costruzione degli ingranaggi: ad uso delle scuole degli ingegneri e dei meccanici*. Torino: Fratelli Bocca.
- Townsend Alastair, 2014. On the Spline: A Brief History of the Computational Curve. *International Journal of Interior Architecture + Spatial Design: Applied Geometries*, pp. 48-59, vol. 3.
- Ursini Ursic Giorgio (a cura di), 2001. *Ezio Frigerio*. S.l.l.
- Valenti Graziano Mario, 2008. *De.form.are – De.form.ing*. Roma: Rdesignpress.
- Villani Marcello, 2008. *La più nobile parte. L'architettura delle cupole a Roma 1580-1670*. Roma: Gangemi.
- Volino Pascal, Magnenat-Thalmann Nadia, 2000. *Virtual Clothing. Theory and Practice*. Berlin: Springer.
- Watkin David, 2010. *Storia dell'architettura occidentale*. Bologna: Zanichelli.
- Zammerini Massimo, 2012. *Cambio di scena. La scenografia teatrale tra realismo e astrazione*. Roma: Kappa.
- Zammerini Massimo, 2017a. Architettura e scenografia nella Roma del Settecento. In Alfonsetti Beatrice (a cura di). *Settecento romano. Reti del classicismo arcadico*. Roma: Viella, pp. 221-232.
- Zammerini Massimo, 2017b. Luce e cromatura. L'introduzione dell'acciaio cromato nell'architettura e nel design del Modernismo. In Veronica Marchiafava, Francesca Valan (a cura di). *Colore e Colorimetria. Contributi Multidisciplinari, vol. XIII A*. Milano: Associazione Italiana Colore, pp. 158-166.
- Zanchettin Vitale, 1997. Il tiburio di Sant'Andrea alle Fratte: propositi e condizionamenti nel testo borrominiano. *Annali di Architettura*, 9, pp. 112-135.
- Zanchettin Vitale, 2000. Il disegno Albertina, AZ.Rom 106 per Sant'Andrea delle Fratte: modello antico e problemi contingenti nella progettazione del tiburio. In Frommel Christoph Luitpold, Sladek Elisabeth (a cura di). *Francesco Borromini, Atti del convegno internazionale, 13-15 gennaio 2000*. Milano: Electa, pp. 166-170.

Gli autori

Massimiliano Ciammaichella

Architetto, professore associato in Disegno, è stato direttore del corso di laurea magistrale in Scienze e Tecniche del Teatro presso l'Università Iuav di Venezia (2016/2018), dove tiene i corsi di *Disegno, animazione e scena digitale* e *Laboratorio di Disegno e modellistica*.

Laura De Carlo

Architetto, già professore ordinario di Disegno della Sapienza Università di Roma. Ha rivolto i suoi prevalenti interessi ai fondamenti scientifici e alla storia della rappresentazione nonché alle nuove strumentazioni per l'analisi e la comunicazione della forma in architettura.

Matteo Flavio Mancini

Architetto, PhD in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo presso la Sapienza Università di Roma, si occupa di geometria descrittiva e modellazione digitale. Dal 2015 svolge attività didattica e di ricerca presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre.

Leonardo Paris

Architetto, professore associato in Disegno della Sapienza di Roma, insegna *Geometria Descrittiva* e *Rilievo* ad Ingegneria e ad Architettura. La sua attività di ricerca è incentrata sullo studio della forma e della geometria nell'architettura, nell'ingegneria e nel design. Si occupa da anni di rilievo digitale e modellazione.

Le linee curve per l'architettura e il design

Maria Laura Rossi

Ingegnere edile-architetto, PhD in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, docente a contratto della Sapienza Università di Roma, sede di Rieti, facoltà di Ingegneria. Svolge attività di ricerca nell'ambito del rilievo digitale integrato e della modellazione digitale parametrica HBIM.

Michele Russo

Architetto, PhD, ricercatore senior in Disegno presso il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura della Sapienza Università di Roma, da quindici anni si occupa di rilievo e modellazione tridimensionale nell'ambito dei Beni Culturali e del Design.

Marta Salvatore

Architetto, PhD, ricercatore presso il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura della Sapienza Università di Roma. Indirizza la propria attività di ricerca alla geometria descrittiva, al suo sviluppo storico e alle sue più recenti applicazioni attraverso i metodi digitali della rappresentazione.

Giovanna Spadafora

Architetto, professore associato in Disegno della Facoltà di Architettura dell'Università Roma Tre, dove insegna *Fondamenti e Applicazioni di Geometria Descrittiva e Rilievo*. Si occupa da molti anni di rilevamento e di rappresentazione architettonica e archeologica.

Massimo Zammerini

Architetto, professore associato in Composizione Architettonica alla Sapienza Università di Roma, insegna *Laboratorio di Progettazione III e Scenografia*. Dirige il Master in *Scenografia Teatrale e Televisiva*, svolge attività di sperimentazione progettuale nel campo dell'architettura e dell'interior design.

Forme del disegno
diretta da E. Ippoliti, M. Rossi, E. Dotto

Ultimi volumi pubblicati:

ANDREA CASALE, *Forme della percezione*. Dal pensiero all'immagine (disponibile anche in e-book).

Il volume raccoglie studi che indagano sul ruolo delle linee quale matrice formale dell'architettura e del design. Considerando la geometria al centro sia del processo creativo della progettazione che della concretizzazione della forma nella costruzione vera e propria, lo studio della geometria solida delinea un settore di ricerca attualmente emergente al confine tra geometria applicata e architettura, specie in un momento in cui l'analisi e la produzione si manifestano attraverso forme sempre più complesse. La geometria costruttiva contemporanea trova nella *architectural geometry* un grande potenziale che dimostra come le conoscenze geometriche possano essere alla base di un uso creativo del digitale. Le linee curve sono le figure geometriche che più frequentemente si incontrano nella teoria e nella pratica e lo studio delle teorie ad esse associate risulta indispensabile dal momento che la soluzione di ogni problema di costruzione della forma ha come momento iniziatico il tracciamento di una o più linee e la ricerca degli elementi ad esse comuni. Lo studio delle proprietà e della delimitazione di queste figure geometriche risulta fondamentale in tutto lo sviluppo storico della geometria a partire dall'antichità fino alle più recenti elaborazioni digitali come la costruzione di modelli tridimensionali virtuali di rappresentazione che permettono di rivisitare le teorie classiche nella loro evoluzione storica esplicitando, attraverso idonee visualizzazioni, moltissime proprietà geometriche molto spesso relegate nell'alveo dell'analisi matematica e delle sue espressioni più astratte. Nella prima parte del volume si è voluto delineare un quadro generale sulle origini delle teorie matematiche alla base della conoscenza delle proprietà di questi enti geometrici e sulla loro ricaduta nella progettazione della forma, sia in chiave storica che analizzando i più recenti strumenti digitali oggi a disposizione. La seconda parte raccoglie alcuni saggi attraverso i quali emerge l'ampio spettro di possibili applicazioni sull'uso della linea curva nel processo progettuale: dall'architettura al design; dalla nautica al mondo della moda; dalle teorie geometriche degli ingranaggi alle freeform dell'architettura contemporanea.

Laura De Carlo, già professore ordinario di Disegno della Sapienza Università di Roma, dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, insegna Geometria descrittiva ad Architettura ed è autore di numerose pubblicazioni e articoli su riviste specializzate incentrate sui fondamenti scientifici e sulla storia della rappresentazione nonché sulle nuove strumentazioni per l'analisi e la comunicazione della forma in architettura.

Leonardo Paris, professore di Disegno della Sapienza Università di Roma, dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, insegna ad Architettura e Ingegneria Civile e Industriale ed è autore di numerosi saggi pubblicati in volumi e riviste di settore. Si occupa di geometria descrittiva e modellazione 3D. È responsabile scientifico di numerosi rilievi eseguiti con innovative tecniche di acquisizione digitale.