

La scala elicoidale del Borromini a Palazzo Barberini: rilievo scan laser e modellazione parametrica.

The Borromini's helicoidal staircase in Barberini Palace: scan laser survey and parametric modeling.

L'articolo riguarda lo studio della forma e della geometria della scala elicoidale di Palazzo Barberini; opera attribuita al Borromini di particolare interesse non solo per la sua particolare conformazione ma anche perché testimonianza di un periodo particolare del barocco romano, ricco di intrecci e sovrapposizioni di committenze ecclesiastiche e nobiliari, di avvicendamenti e compresenze dei più grandi artisti e architetti dell'epoca che operano, spesso in simultanea, nei diversi cantieri romani. Partendo dai dati digitali di base acquisiti con uno scanner laser, elaborati e gestiti successivamente attraverso procedure di ottimizzazione della points-cloud si sono prodotti dei modelli di rappresentazione integrati di tipo infografico e tridimensionale. La struttura modulare della scala ha suggerito anche una sperimentazione per mezzo delle tecniche di modellazione parametrica per cercare di risalire al modello ideale della scala elicoidale del Borromini.

The paper concerns the study of the shape and geometry of the helicoidal staircase in Barberini Palace; the work, attributed to Borromini, is a wonderful example of the constructive development of a complex geometric shape which is a helix oval. This stair should be read and interpreted as evidence of a particular period, the Roman Baroque, rich of intertwining and overlapping of ecclesiastical and noble commissions, of alternations in the yards of the greatest artists and architects of the era, often working simultaneously. Integrated models of representation (graphic and 3D) have been produced starting from the digital data acquired by a laser scanner, processed and subsequently managed through procedures for optimizing the cloud-points. The modular structure of the scale has also suggested a experimentation by means of parametric modeling techniques to try to trace the ideal model of the Borromini's helical staircase.



Leonardo Paris

Architetto, professore associato della Sapienza "Università di Roma". I suoi interessi didattico-scientifici riguardano la geometria descrittiva ed il rilievo digitale integrato. Da anni si occupa di rilievo dell'architettura sperimentando la metodologia che utilizza lo scanner laser 3D e la fotogrammetria digitale in relazione alla possibilità di interazione e integrazione dei dati.



Graziano Mario Valenti

Professore associato della Sapienza "Università di Roma". La sua attività di ricerca è focalizzata sulle applicazioni delle nuove tecnologie alle discipline del rilievo del disegno e della comunicazione visiva. Relatore e revisore per conferenze internazionali, è autore di diversi contributi nell'ambito del rilievo e della modellazione digitale.

Parole chiave: scale elicoidali, chiocciola, barocco romano, modellazione parametrica, Borromini.
Keywords: helicoidal staircase, snail, Roman Baroque, parametric modeling, Borromini

PREMESSA

La scala elicoidale è un tema architettonico ricorrente nell'opera di Borromini come testimoniato da numerosi progetti, alcuni dei quali realizzati ed ancora oggi perfettamente agibili. La tipologia utilizzata dall'artista ticinese è molto variegata sia per dimensione che per impianto planimetrico [Tabarrini 2008]. La scala elicoidale che più di tutte racchiude in sé le tensioni di modellazione della forma e di conformazione tipica dello spazio barocco è quella della scala ovale con nucleo centrale colonnato, di cui uno degli esempi più pregevoli è quello realizzato a Palazzo Barberini (fig. 1). La realizzazione della scala va analizzata in rapporto a molteplici fattori, primo fra tutti quello che riguarda la complessa evoluzione del cantiere per la costruzione di palazzo Barberini, ad opera di Carlo Maderno.

Il progetto di ampliamento dell'edificio esistente, già della famiglia Sforza, i cui lavori iniziano nel 1625 sotto la direzione del Maderno affiancato dal suo giovane aiutante Borromini, subisce un cambiamento importante dopo pochi anni, quando nel 1629 lo stesso Maderno muore, sostituito nell'incarico da Gianlorenzo Bernini.

Questo avvicendamento è uno dei tanti episodi che contraddistinguono il barocco romano, ricco di intrecci e sovrapposizioni di committenze ecclesiastiche e nobiliari, di avvicendamenti e compresenze dei più grandi artisti e architetti dell'epoca che operano, spesso in simultanea, nei diversi cantieri romani.

Ciò fa sì che alcune volte risulta incerta l'attribuzione da parte degli storici sulla paternità di opere anche nell'ambito di cantieri di una certa rilevanza, come quello di Palazzo Barberini [Portoghesi 1966].

Dalla lettura di documenti e disegni, molti dei quali sono conservati all'Albertina di Vienna, si ipotizza che il Borromini intervenga nella fase di progettazione con una variante al progetto iniziale del 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 del Maderno (Alb. Az. Rom 957) deriva da un'altra scala ovale, realizzata dal Mascherino nel Palazzo del Quirinale (fig. 2) che rappresenta indubbiamente il prototipo di scala "ovata" con spartito architettonico del nucleo centrale, a sua volta evoluzione della scala circolare del Bramante



Fig. 1, La scala elicoidale di Palazzo Barberini. Foto di Matteo Flavio Mancini.

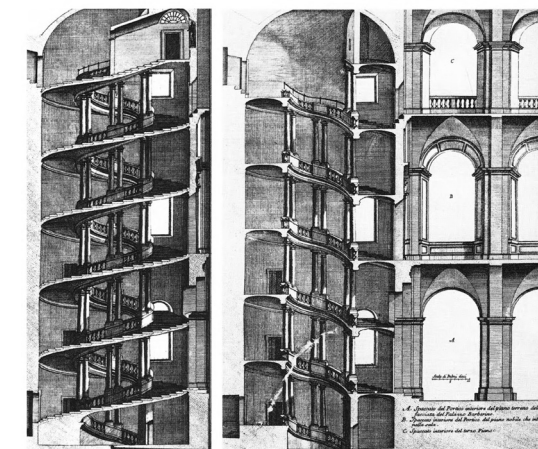
in Vaticano e del Vignola a Caprarola [Tabarrini 2008]. Borromini aveva lavorato pochi anni prima, sempre sotto la direzione del Maderno, nel palazzo del Quirinale, e in quel cantiere aveva avuto la possibilità di studiare attentamente la scala ovale realizzata dal Mascherino nel 1585. Alla morte del Maderno nel cantiere del costruendo Palazzo Barberini subentra, come detto, il 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 [Magnanini 1983] [Tabarrini 2008].

Al di là delle considerazioni di carattere storico che riguardano la figura del 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 progetto e costruzione reale, sulla base dei dati ottenuti da una campagna di rilievo digitale eseguito dagli autori e dalla lettura dei modelli, ottenuti secondo procedure di gestione della points-cloud in parte già consolidate ed in parte oggetto di sperimentazione con l'utilizzo della modellazione parametrica.¹



Fig. 2, La scala elicoidale nel Palazzo del Quirinale. Foto di Wissam Wahbeh.

Fig. 3, La scala di Palazzo Barberini in una incisione di Alessandro Specchi, 1702. Tratta da Tabarrini (2008).



Occorre anche tener conto che non risultano pubblicati rilievi recenti fatti con strumentazioni di precisione e che uno dei migliori disegni che illustra per intero la geometria della scala in alzato è quello di Alessandro Specchi in una incisione del 1702 (fig. 3).

LA FASE DI ACQUISIZIONE NEL RILIEVO SCAN LASER

Questa nostra ricerca è stata resa possibile grazie alla disponibilità della Soprintendenza Speciale per il Patrimonio Storico Artistico ed Etnoantropologico e per il Polo Museale della Città di Roma² che, nell'ambito delle attività di ricerca nazionale coordinate da Riccardo Migliari, ha dato la disponibilità ad eseguire una ripresa con l'utilizzo di uno scanner laser 3D.³ L'impostazione del progetto di presa è stato fortemente condizionato dalla forma dell'oggetto da rilevare [Paris 2010]. Il fatto di essere una scala continua che si avvolge lungo una elica significa non avere punti privilegiati da cui poter riprendere la scena nella sua interezza; la presenza del colonnato centrale ha determinato due ordini di problemi nello scegliere i punti su cui posizionare lo strumento; il primo riguardava la

necessità di riuscire a riprendere tutta la superficie delle colonne avendo una sufficiente sovrapposizione tra le diverse points-cloud; la seconda, quella di calcolare preventivamente la zona d'ombra che le colonne stesse avrebbero proiettato sulla parte interna del nucleo della scala, contraddistinto da una trabeazione che segue l'andamento dell'elica.

Riguardo al primo aspetto, analizzando lo schema di figura 4, si osserva che per poter riprendere una superficie a pianta circolare, come per esempio il fusto di una colonna, necessitano almeno tre punti di stazione, posizionati in modo uniforme in modo tale che sia garantita la ricopertura proiettiva sommando i dati delle tre stazioni. Il risultato è chiaramente condizionato dalla distanza dei punti di ripresa e dal raggio della superficie cilindrica.

Nella scala di Palazzo Barberini si evidenzia anche che le colonne non sono singole ma binate e che pertanto si genera una interferenza proiettiva che rende ancora più complessa la elaborazione del progetto di presa. I due fattori messi insieme hanno suggerito di sfruttare al meglio gli spazi di visuale lasciati liberi tra due coppie di colonne binate cercando di valutare al meglio la

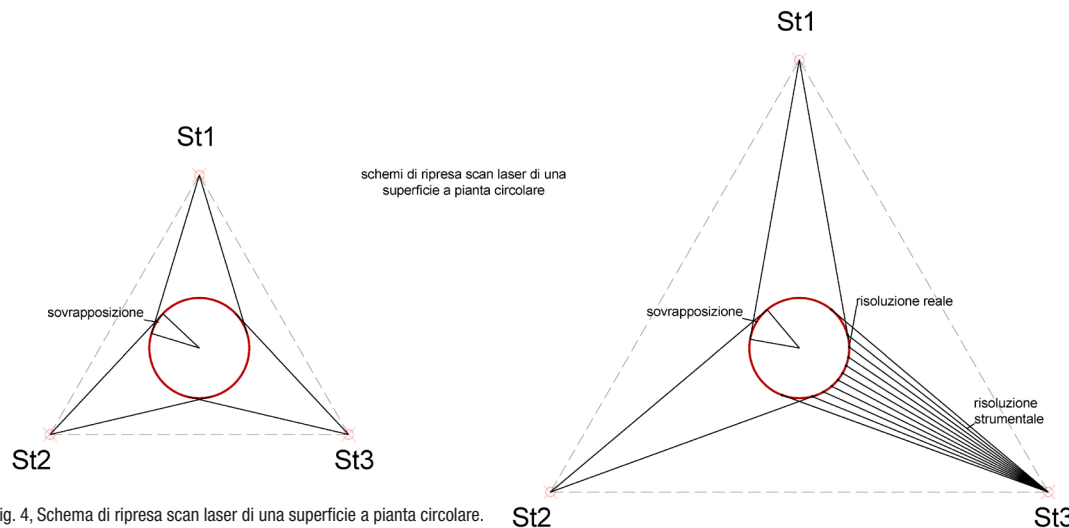


Fig. 4, Schema di ripresa scan laser di una superficie a pianta circolare.

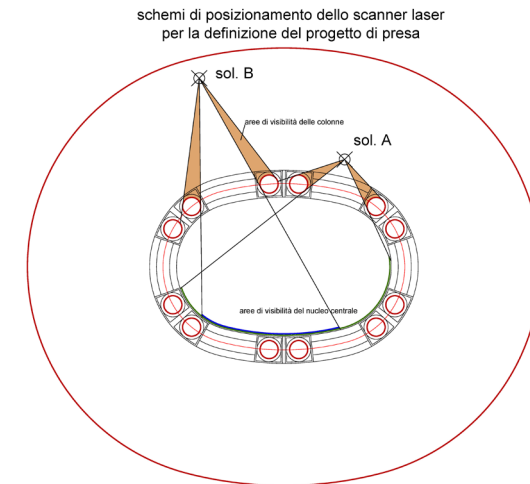
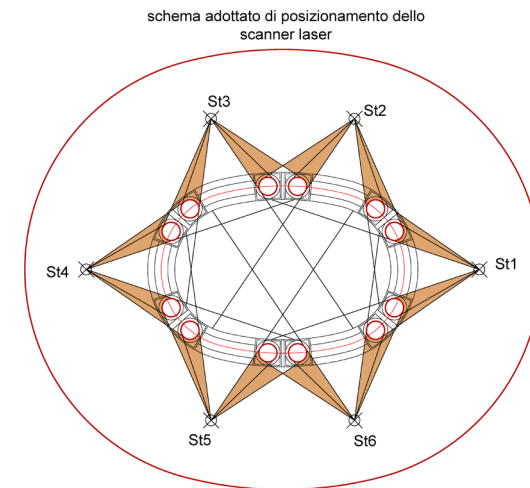


Fig. 5, Ipotesi di variazione della posizione dello scanner la relazione alla conformazione della scala.

Fig. 6, Schema teorico del progetto di rilievo con scanner laser adottato per la scala di Palazzo Barberini.



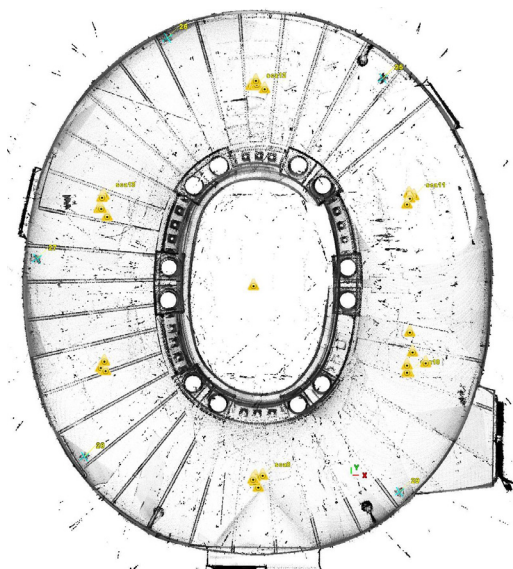
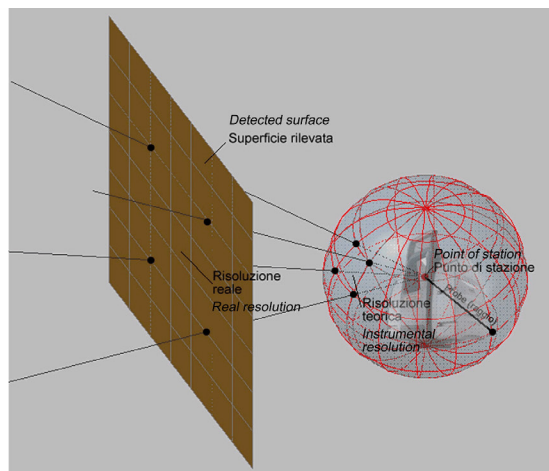
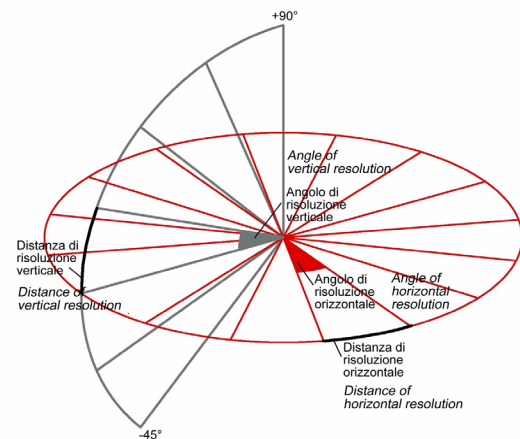


Fig. 7, Posizionamento reale delle stazioni in vista planimetrica, con la sovrapposizione dei diversi livelli. Nell'immagine sono anche visibili i target di collimazione ad una quota intermedia.

Fig. 8, Risoluzione strumentale e reale in una ripresa scan laser.



posizione lungo la larghezza della scala. Una posizione più vicina alla balaustra centrale avrebbe migliorato il campo visivo del nucleo centrale ma avrebbe aumentato la zona d'ombra indotta dalle colonne; al contrario, avvicinandosi verso il muro perimetrale sarebbero migliorate le condizioni di ripresa sulle colonne a discapito del nucleo centrale (fig. 5).

La soluzione adottata è quella di posizionare i punti di stazione ponendosi al centro della scala (fig. 6). Volendo sfruttare la visuale libera tra le colonne, si è prima di tutto ipotizzato una soluzione, già sperimentata per la scala del Quirinale, di fare una scansione ogni due spazi vuoti. Ma la scala del Mascherino ha un ritmo di otto colonne binate che hanno permesso di ottenere quattro riprese per ogni giro completo della scala, con una buona ricopertura anche del nucleo interno. La Scala del Borromini ha sei colonne binate per cui si è scartata la soluzione alternata che avrebbe prodotto una points-cloud eccessivamente disomogenea con numerose parti mancanti, e si è adottata una soluzione più laboriosa di sei scansioni per ogni giro (fig. 7), oltre alla scansione ripresa all'interno sul pavimento del nucleo centrale. In totale sono state fatte 36 scansioni con una

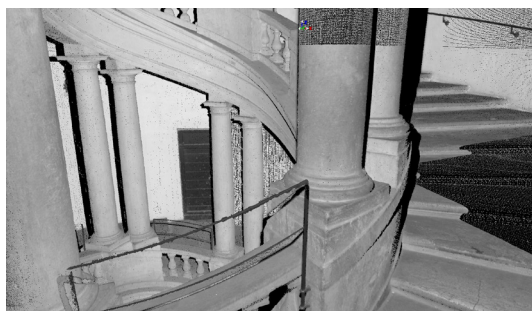
risoluzione di circa 10.000 punti sull'orizzonte per 360° e 4.300 punti sul mezzo meridiano per 155°. Si parla in questo caso della risoluzione strumentale impostata sullo strumento, in grado di intercettare in uno spazio chiuso circa 41 milioni di punti con una distanza, per esempio, di 6 mm a 10 m. Come sappiamo la risoluzione strumentale dello scanner laser si basa su una griglia sferica fatta di meridiani e paralleli per cui la risoluzione strumentale verticale rimane costante lungo i meridiani mentre aumenta progressivamente la risoluzione orizzontale lungo i paralleli più ci si avvicina ai poli della sfera (fig. 8). Ad una determinata risoluzione strumentale corrisponde nella points-cloud una risoluzione reale che può variare di molto in funzione della distanza e della conformazione della superficie colpita dal raggio laser. L'obiettivo principale di un progetto di presa è quello di registrare una quantità di punti in grado di restituire, dopo opportuni processi di riduzione, una points-cloud quanto più possibile omogenea, e quindi senza eccessive differenze di risoluzione, con la maggiore ricopertura possibile delle superfici rilevate. Sempre facendo riferimento allo schema di figura 4 si nota che per superfici convesse la risoluzione reale tende a sfumare, anche sensibilmente, più ci si avvicina ai punti di tangenza e che se non c'è una sufficiente sovrapposizione tra le diverse points-cloud, si possono accumulare degli errori, dei cosiddetti rumori, che abbassano la qualità del rilievo. Per quanto riguarda la registrazione delle diverse points-cloud si è adottato un sistema di apposizione di target "Black/White" da 6" Tilt and Turn che garantiscono una visibilità ottimale al variare dei punti di stazione. Applicando l'algoritmo di riconoscimento automatico presente nel software Cyclone della Leica Geosystem si è ottenuta una registrazione totale in automatico di ottima qualità; il report di diagnostica del software ha evidenziato uno scarto medio di collimazione dei target di 1 mm. Tutte le stazioni sono state riprese con la livella elettronica per cui è garantita la perfetta verticalità delle singole scansioni. Non sono state fatte riprese fotografiche collegate con lo scanner considerato che la scala si presenta con un forte monocromatismo tra il bianco dell'intonaco e il colore chiaro omogeneo della pietra di cui si compone l'intero nucleo centrale; per cui l'aggiunta del colore non avrebbe apportato alcuna informazione aggiuntiva rispetto alle immagini in toni di grigio ricavabili dalla points-cloud.

MODELLI RAPPRESENTATIVI DELLA SCALA OVALE DI PALAZZO BARBERINI

La points-cloud costituisce di per sé un primo modello tridimensionale in grado di restituire informazioni metriche ma non solo (fig. 9). Attraverso specifici settaggi dei software in grado di gestire delle points-cloud di grandi dimensioni è possibile selezionare o visualizzare parti o dettagli dell'oggetto rilevato disvelando forme e geometrie altrimenti difficilmente percepibili. Applicando una prassi ormai consolidata di gestione della points-cloud [Paris 2014] si è ritenuto in una prima fase più opportuno ricavare sezioni significative della scala piuttosto che ricercare soluzioni di conversione dei punti in un modello numerico per mesh; procedura, quest'ultima, che richiede capacità elaborative molto alte per ottenere alla fine un modello tridimensionale che non contiene informazioni aggiuntive rispetto alla points-cloud e che anzi produce degli aggiustamenti automatici o semi automatici dipendenti dagli algoritmi applicati e dai settaggi dei filtri di riduzione del rumore e del numero di vertici della mesh. Vi sono indubbiamente spunti per una ricerca approfondita in questo campo ma non è questo, al momento, lo scopo di questo studio.

L'obiettivo prefissato era quello di ricercare le matrici formali della geometria della scala anche in relazione ai documenti storici che testimoniano la volontà progettuale del Borromini.

Fig. 9, Visualizzazione della points cloud in modalità toni di grigio.



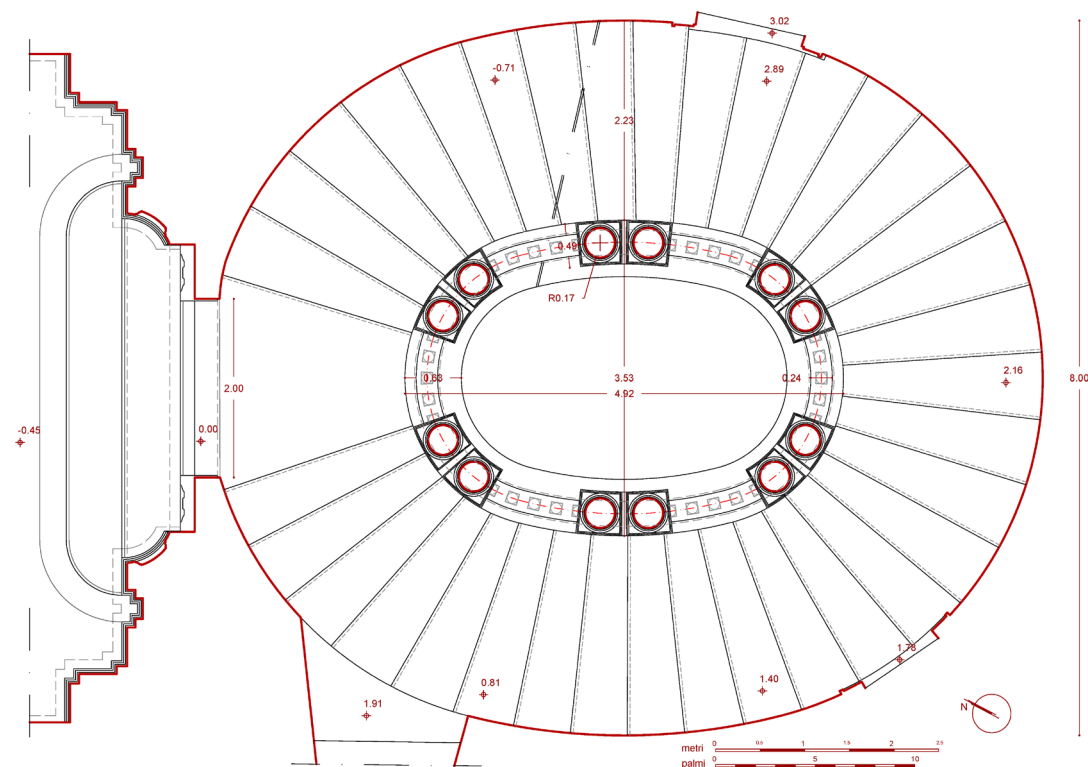
<http://disegnarecon.univaq.it>

In questo senso un primo elaborato ritenuto significativo è stato la restituzione della pianta (fig. 10) per la verifica della esatta geometria dell'ovale, rispetto alla quale, da parte degli storici sono state formulate diverse ipotesi, basate per lo più sulla lettura critica del disegno di progetto o su misure generali che riguardano l'asse maggiore e minore dell'ovale che determinano a loro volta le dimensioni del rettangolo che circoscrive la policentrica.

Nell'analizzare questo aspetto occorre entrare nel merito della natura geometrica dell'ovale e dei suoi elementi costitutivi che sono fondamentalmente i centri

degli archi delle circonferenze; nell'uso dell'ovale in architettura ci si riferisce di solito ad una policentrica a doppio asse di simmetria formato da quattro archi di circonferenza a due a due uguali. I centri dei quattro archi definiscono un rombo i cui lati determinano le direzioni dei raggi e i relativi settori di circonferenza che, sommati, definiscono l'ovale. I due archi adiacenti, avendo i centri allineati sulla direzione di questi raggi, hanno nel punto di contatto la stessa tangente, per cui la linea risulta essere continua senza presenza di cuspidi. Sebastiano Serlio nel suo trattato del 1537 [Serlio 1584] aveva codificato quattro modi per costruire un ovale, in

Fig. 10, Pianta della scala elicoidale, ricavata dai dati della points cloud, alla quota del piano terra di Palazzo Barberini. Elaborazione di Leonardo Paris.



funzione sia della posizione reciproca dei quattro centri sia, per alcuni, imponendo delle proporzioni geometriche generali. L'ovale, essendo una policentrica chiusa può avere infinite configurazioni concentriche fermo restando la posizione dei centri [Ragazzo 1995]. 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 del Serlio. Nel raffronto tra il rilievo e il disegno di progetto c'è un'ottima corrispondenza rispetto ai due centri dell'asse maggiore che distano 158 cm, pari esattamente a 7 palmi romani, e che ricadono all'interno dello spazio vuoto centrale. La distanza degli altri due centri ha una certa indeterminazione, anche perché al variare di questa misura entro un certo range, la conformazione dell'ovale rimane pressoché invariata. Una prima elaborazione grafica fatta interpolando i punti ottenuti per sezionamento della points-cloud ha restituito una distanza di 500 cm (fig. 11). Su questa matrice grafica l'asse maggiore perimetrale misura 938 cm e l'asse minore 804; l'asse minore misurato sull'ovale

che delimita il pozzo centrale è di 260 cm. Una seconda elaborazione grafica fatta cercando di interpretare la soluzione progettuale del disegno borrominiano, ferma restando la distanza tra i centri sull'asse maggiore, prevede una distanza dei centri sull'asse minore di 623 cm, con un asse minore di 800 cm sul perimetro della scala e di 256 cm nel pozzo centrale (fig. 12). Questa seconda soluzione è comunque congruente con i dati di rilievo in quanto la curvatura dell'ovale, nei due tratti di circonferenza a curvatura minore ha degli andamenti, in alcuni casi anche molto diversi. Nel caso della misura dell'asse minore del pozzo centrale si fa notare che questa è possibile misurarla solo per proiezione ortogonale, quindi in maniera indiretta, poiché la curva ha in realtà uno sviluppo elicoidale, soggetta in fase di costruzione a possibili fuori piombo che rientrano nei limiti dei 2 cm per lato, pari appunto ai 4 cm di variazione tra la prima e la seconda soluzione. Quest'ultima potrebbe risultare migliore perché conterrebbe in sé un possibile proporzionamento, dato che la distanza tra i due centri sarebbe quasi uguale a 28 palmi romani, cioè quattro volte la distanza tra gli altri due centri. Come si può notare le due ipotesi che, ripetia-

mo, derivano da una interpretazione dei dati di rilievo suscettibili di una certa indeterminazione dovuta alle dimensioni e alla conformazione elicoidale della scala, comportano delle variazioni sensibili dei valori angolari degli archi delle circonferenze. In questa prima fase di studio, nella seconda soluzione (quella della figura 12), si è voluto privilegiare il rapporto lineare tra gli assi del rombo piuttosto che ricercare soluzioni (sempre possibili) di verifica dei valori angolari. L'altro elemento progettualmente rilevante 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. In questo caso entrano in gioco diverse scelte metriche 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.

Fig. 11, Primo schema geometrico dell'ovale ricavato per sezionamenti della points cloud.

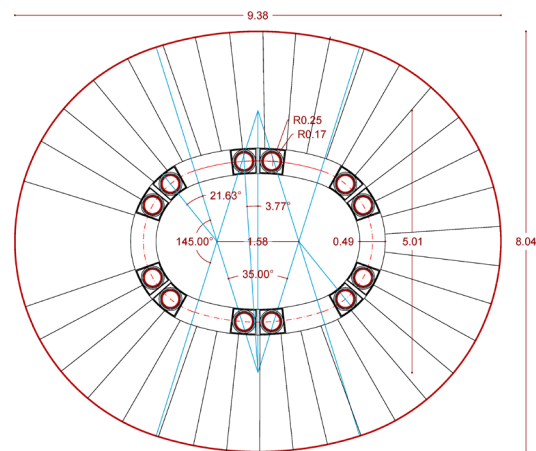


Fig. 12, Secondo schema geometrico, sovrapposto al disegno attribuito a Borromini (Alb.Az.Rom 957).

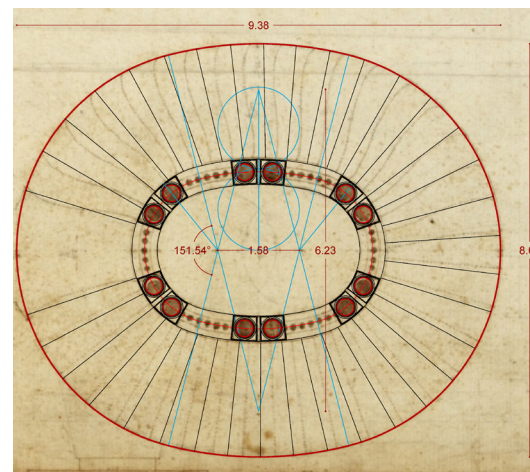
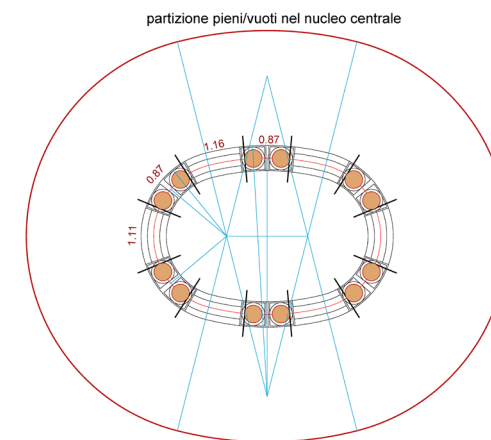


Fig. 13, Schema di suddivisione dei pieni e dei vuoti.



suddivisione dell'ovale in sei parti uguali

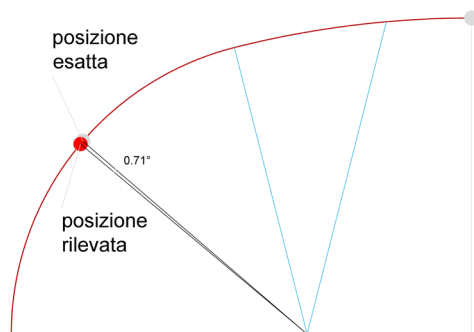
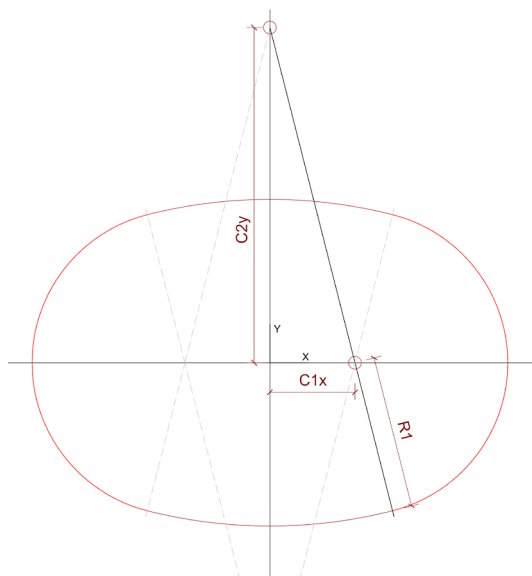


Fig. 14, Differenza nell'individuazione del punto di suddivisione dell'ovale in sei parti uguali; dettaglio su un quarto della curva.

Fig. 15, Parametrizzazione dei dati utili alla definizione dell'ovale: posizione di C1 lungo l'asse X; posizione di C2 lungo l'asse Y, raggio dell'arco minore.



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 Borromini lo spazio tra le due colonne binate proposto dal 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 aumenta 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 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 (fig. 13). 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 ad una suddivisione in parti uguali della circonferenza. Trasponendo il problema all'ovale si tratterebbe di suddividere in sei parti uguali la policentrica, nel caso di Palazzo Barberini, in otto parti al Quirinale. Analizzando i dati del rilievo ci si accorge di alcune differenze, più evidenti nel Mascherino, meno in Borromini (fig. 14).

Gli spazi tra le colonne presentano inevitabilmente delle differenze legate alla diversità della curvatura. 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 leggera differenza tra gli spazi di circa 5 cm. Occorre pertanto valutare nel dettaglio se c'è sta-

ta una volontà progettuale o se, più plausibilmente, la differenza la si può attribuire a soluzioni approssimate di suddivisione in parti uguali della figura geometrica di base.

IL MODELLO DIGITALE PARAMETRICO COME STRUMENTO DI INDAGINE

È opinione condivisa che ridisegnare l'architettura sia la via maestra per comprenderla. Questa pratica si è nel tempo caratterizzata con metodi e strumenti via via più complessi: dai primi schizzi intuitivi abbozzati sui taccuini, ai più rigorosi disegni analogici fondati sui principi della geometria descrittiva, fino ad arrivare oggi ad elaborare modelli tridimensionali in ambito digitale.

Il modello analogico intuitivo, il modello analogico geometrico e il modello digitale indicati, possono altresì essere considerati livelli crescenti di approfondimento della conoscenza della forma. Nel modello analogico intuitivo prevale la comunicazione dell'aspetto percettivo: le qualità della geometria sono presenti, ma è lecito che lo siano in modo discontinuo e approssimato. Il modello analogico rigoroso, costruito attingendo alla teoria della geometria descrittiva, consente di raggiungere un livello di approfondimento più ampio rispetto al precedente; tuttavia, l'impossibilità di disegnare con gli strumenti tradizionali le forme complesse nella loro continuità e la conseguente necessità di procedere alla loro rappresentazione semplificata, utilizzando solo un insieme significativo di punti campione, può configurarsi come un filtro all'individuazione delle problematiche legate alla complessità.

La costruzione di un modello tridimensionale digitale, rispetto a quelli analogici, può assurgere ad un ulteriore livello di approfondimento della forma dell'oggetto rilevato. Diciamo "può assurgere" perché, nel rendere tridimensionali i dati di rilievo, può esserci sia poca sia tanta attività di conoscenza e – paradossalmente – la corrispondenza metrica del modello digitale con quello reale può considerarsi tanto più fedele quanto v'è meno conoscenza.

Prendiamo, per esempio, l'insieme dei dati forniti dalla scansione laser 3D, che – come è noto – restituisce un preciso modello numerico costituito da una nuvola di punti catturati sull'oggetto rilevato. La trasformazione di questi punti in un modello geometrico tridimensionale segue oggi prevalentemente due strade:

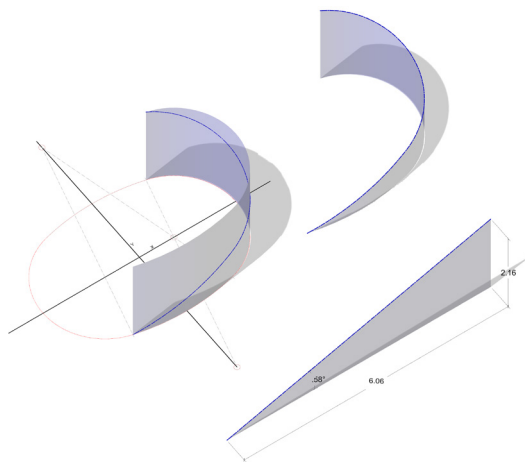
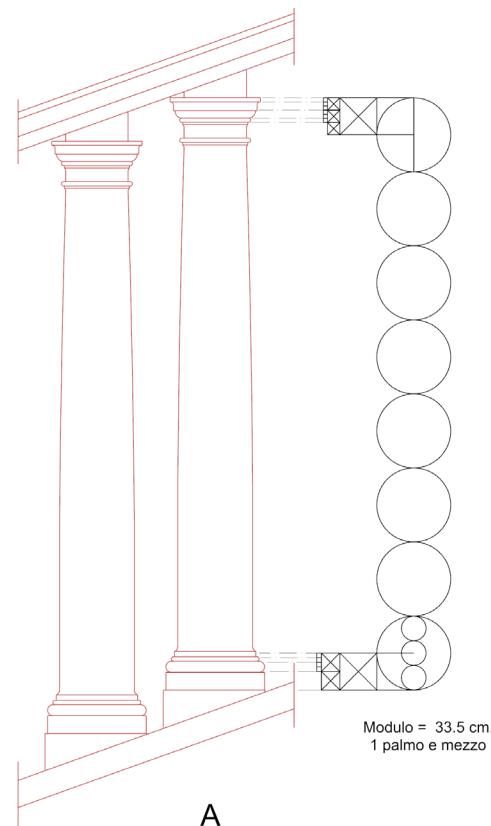
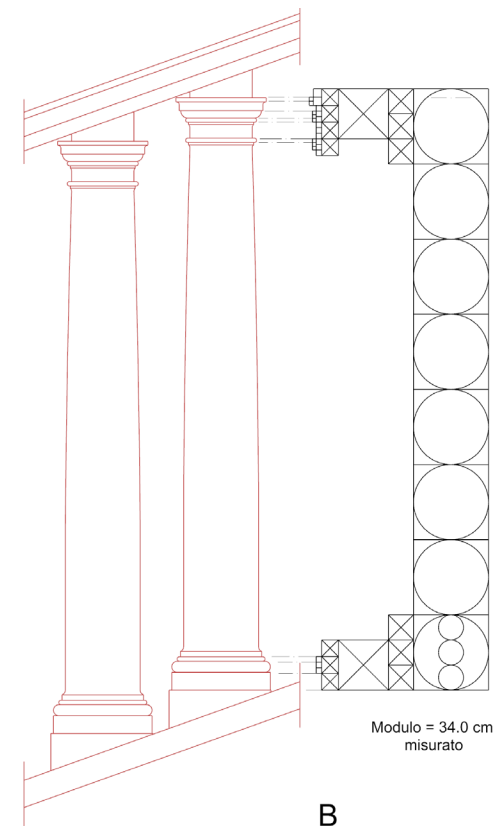


Fig. 16, Costruzione della superficie cilindrica lungo metà della policentrica; tracciamento della curva geodetica, sviluppo della superficie e misurazione della pendenza.

Fig. 17, Ipotesi sulla suddivisione del modulo per il proporzionamento delle modanature. Nel modello A il modulo ideale; nel modello B il modulo misurato.



A



B

la tassellazione della nuvola attraverso algoritmi di calcolo capaci di definire una superficie poliedrica che la approssima; la costruzione interattiva di superfici matematiche, tracciate su curve generatrici e direttrici, sapientemente estratte dalla nuvola. Se da un lato il prodotto della prima via è metricamente più fedele all'oggetto rilevato, per contro non richiede in fase di costruzione – e non conserva – la conoscenza relativa alla geometria dell'oggetto rilevato. Viceversa, il prodotto della seconda via, richiede e conserva maggiore conoscenza, ma – essendo studiato in sezioni campioni e non nella sua piena continuità – non può

che approssimare e generalizzare alcune alterazioni di forma inevitabilmente presenti negli oggetti rilevati. Il modello digitale parametrico qui sperimentato, finalizzato alla rappresentazione del modello ideale, rappresenta una terza via percorribile. La complessità delle informazioni geometriche da individuare per definire il processo generativo necessario a rappresentare questo modello è ancora più articolata e complessa di quella necessaria ad un modello digitale non parametrico [Valenti et al 2012 a]. Il livello di approfondimento conoscitivo delle geometrie dell'oggetto rilevato è dunque maggiore. Tuttavia il modello realizzato, essen-

do ideale, non descrive fedelmente l'oggetto rilevato, piuttosto tenta di raccontare le peculiarità e le difficoltà del progetto che l'ha generato; attraverso la sua definizione è possibile svelare l'esistenza di complessità e soluzioni geometriche altrimenti non individuabili.

IL MODELLO PARAMETRICO DELLA SCALA ELICOIDALE DEL BORROMINI A PALAZZO BARBERINI

Nella generazione di un modello parametrico è innanzitutto necessario definire una accurata struttura gerarchica relazionale fra geometrie principali e geo-

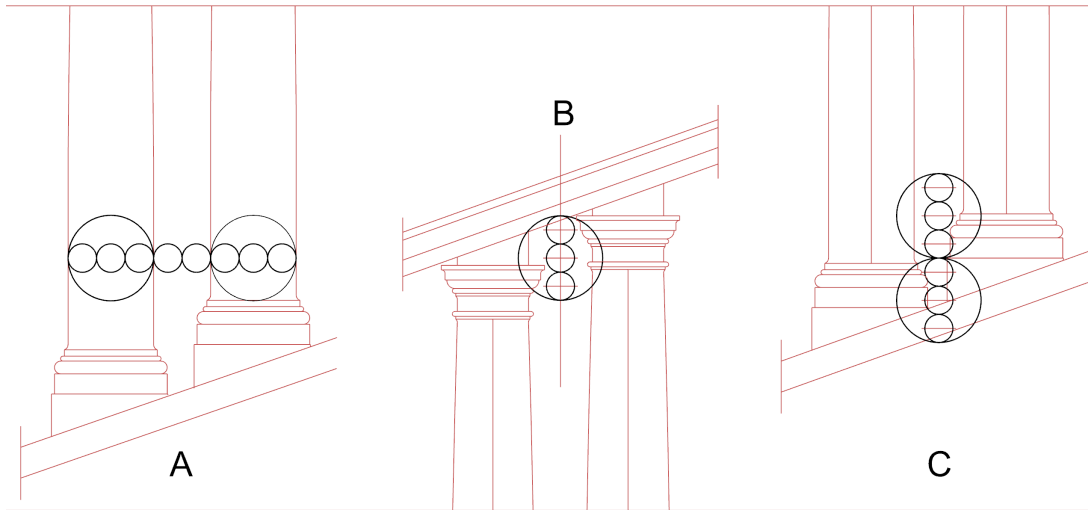


Fig. 18, Ipotesi sull'uso del modulo nella distanza fra le colonne binato e sul dislivello presente fra esse. Le immagini mostrano la possibile esistenza di una relazione riguardante la distanza fra le colonne (A), mentre sembra non esserci relazione per quanto riguarda il dislivello (B e C).

Fig. 19, Individuazione dei centri per la distribuzione delle colonne lungo l'elica.

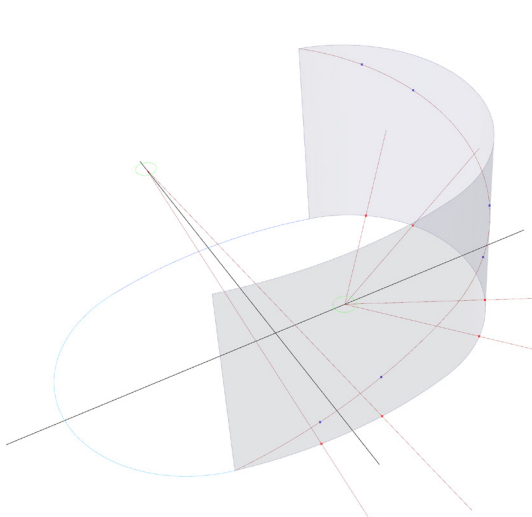
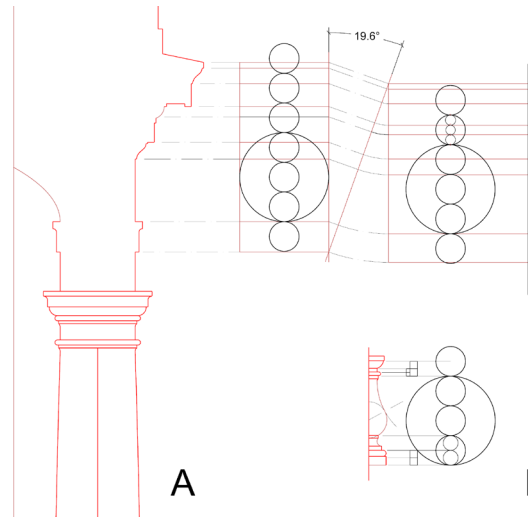


Fig. 20, Ipotesi sul proporzionamento della trabeazione e del balaustro.



metrie dipendenti [Valenti et al. 2012 b]. L'elemento radice di questa specifica struttura è naturalmente la policentrica, formata da quattro archi, proiezione sul piano orizzontale dell'elica che guida la forma e la distribuzione spaziale degli elementi architettonici costituenti la scala: curva che si è considerata passare per l'asse delle colonne. I quattro archi della policentrica, a coppia simmetrici, sono determinati fissando due centri e la lunghezza del raggio dell'arco minore. La scelta di un metodo di costruzione dell'ovale così generale, che include i casi particolari derivanti da costruzioni particolari [Serlio 1584], consente una maggiore sperimentazione ed è risultata più idonea a rappresentare l'oggetto di studio (fig. 15).

Grazie alla simmetria indicata è stato possibile realizzare il modello ideale parametrico, solo in corrispondenza di due archi (uno minore e uno maggiore), realizzando le parti restanti, così come i diversi livelli, roto-traslandolo in modo opportuno.

Sulla parte di policentrica individuata è stata costruita una superficie cilindrica, estraendo la curva lungo l'asse Z della quantità corrispondente al dislivello di una semi-rampa (2.16 mt.). Ipotezzando che in fase di progetto Borromini abbia pensato di realizzare rampe di gradini a pendenza costante, è stata definita sulla superficie cilindrica, una curva geodetica. Come è facile evincere dallo sviluppo della superficie, questo tipo di curva è il percorso più breve percorribile che unisce due punti appartenenti ad essa. Nello specifico di una superficie cilindrica, dunque sviluppabile, questa curva è una retta, che rappresenta la pendenza della rampa (19.6°) (fig. 16). L'elica così individuata è stata la curva che ha guidato la costruzione e il posizionamento di tutti gli elementi costituenti la scala. Fra questi, quelli di maggior interesse sono naturalmente: l'ordine binato, la trabeazione elicoidale e le balaustre. Il primo studiato è stato l'ordine binato.

L'ORDINE BINATO

La prima fase di studio, volta alla descrizione generativa dell'ordine binato, è stata orientata all'individuazione dei suoi rapporti proporzionali.

L'elaborazione dei dati di rilievo ha fornito come misura più probabile del modulo della colonna, computato all'imoscapo, la dimensione di un 1 palmo (22.34 cm) e mezzo. L'altezza dell'ordine è risultata essere esattamente 8 moduli; di questi sette sono dedicati al fusto

mentre il modulo restante è per metà dedicato alla base e per l'altra metà al capitello. Proporzioni consolidate fin dal trattato di Vitruvio [Barbaro Palladio 1597, Perrault 1673, Palladio 1746, Amati 1839, Valenti Romor 2012].

Suddividendo per due o per tre – quindi con rapporti semplici – i sotto-moduli via via individuati, si giunge rapidamente alle partizioni necessarie a dimensionare le modanature con ragionevole precisione.

A questo proposito è opportuno segnalare che l'osservazione dei dati ha evidenziato una particolare singolarità: la dimensione del modulo esattamente misurata – a campione – all'imoscapo differenzia di 5 mm rispetto alla somma del palmo e mezzo considerato; moltiplicata questa misura per 8, quanti sono i moduli previsti per l'altezza dell'ordine, supererebbe di 4 cm quello rilevato; tuttavia, la divisione di questo modulo in semplici sotto-moduli sembra adattarsi meglio alle partizioni delle modanature. La singolarità non appare rilevante ai fini della definizione del modello ideale, ma induce riflessioni sui processi costruttivi, ai quali si ritiene probabile imputare dette variazioni (fig. 17).

Anche l'entasi della colonna, in linea con l'ordine proporzionale, è stato verificato rientrare nella normalità trattatistica, mantenendosi verticale nel primo terzo, per poi iniziare a flettere verso l'interno fino a rientrare di circa 3 cm [Migliari 1991].

La disposizione delle colonne lungo l'elica nella modellazione parametrica ha seguito una strada alternativa a quella della divisione in segmenti uguali della policentrica. Osservando la pianta della scala, appare evidente che le colonne binate appartenenti all'arco maggiore sono poste simmetricamente ai lati dell'asse minore dell'ovale. Poiché la distanza rilevata fra gli assi verticali delle colonne è molto prossima ai due palmi e mezzo – che significa lasciare lo spazio di un palmo fra le due colonne – è plausibile pensare che in cantiere sia stato materializzato l'asse e da esso sia stata misurata la distanza per individuare i centri delle colonne (fig. 18A). Se davvero così si fosse operato, sarebbe lecito pensare che anche le colonne sul lato corto siano state orientate con la stessa tecnica. Non possiamo asseverarlo, ma c'è un indizio a favore di questa soluzione: l'angolo compreso fra gli interassi delle due coppie di colonne binate disposte sugli archi minori ha la misura tonda di 40°, valore più probabilmente progettato che accidentale. ⁴ Per poter disporre le colonne lungo l'elica si

è pertanto proceduto ad individuare su di essa i punti di intersezione con i piani verticali passanti per i centri degli archi della policentrica e per i relativi punti proiezione, corrispondenti agli assi verticali delle colonne, ricavati sulla policentrica come sopra illustrato (fig. 19). Un'altra strada percorsa è stata valutare se il distanziamento delle colonne fosse derivato dal controllo dello slittamento verticale delle due colonne, ritenendo possibile la volontà progettuale di allineare fra loro modanature appartenenti all'una e all'altra colonna. Le analisi tuttavia, non hanno prodotto indizi significativi (Fig. 18 B e C).

Il basamento dell'ordine binato è stato definito parametricamente attraverso i tre principali rettangoli che ne definiscono la sezione verticale; questi sono stati poi posizionati lungo l'elica con criterio analogo a quello utilizzato per le colonne; quindi, sono stati estrusi utilizzando come direttrici i tratti dell'elica interessati.

LA BALAUSTRATA

A riguardo delle proporzioni della balaustra - che appare evidente non cedere rigore alla sicurezza - come accade per le colonne anche per il balaustrino si giunge rapidamente all'identificazione delle partizioni, con semplici divisioni del modulo. La modanatura più interessante, rappresentata dal fusto con convessità e concavità a curvatura variabile, è stata interpretata nel modello parametrico come una semisfera raccordata ad una gola (Fig. 20B).

LA TRABEAZIONE ELICOIDALE

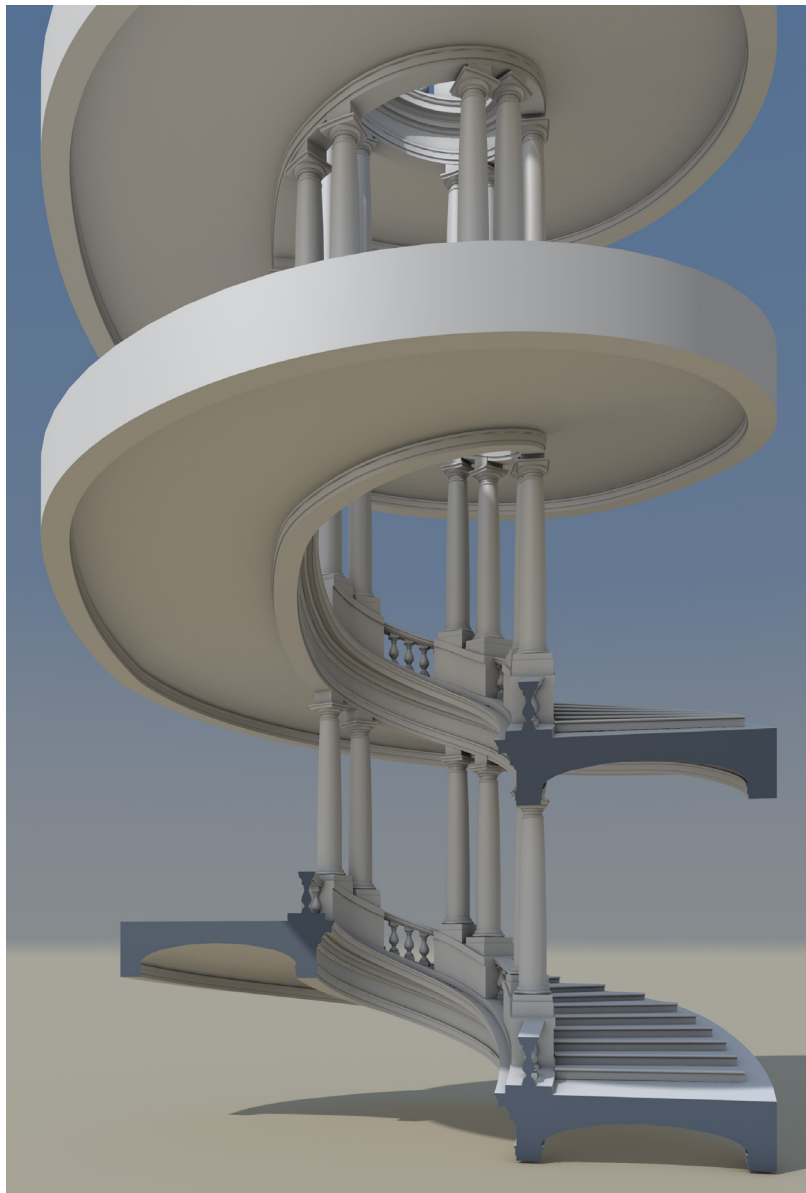
La trabeazione elicoidale è stata studiata inizialmente attraverso la sua sezione verticale, senza per questa via giungere a soluzioni che potessero fornire indicazioni sull'uso del modulo nella sua partizione. Un secondo tentativo è stato invece realizzato utilizzando una sezione perpendicolare all'elica. La sezione non è stata ricavata nuovamente dalla nuvola di punti, per oggettive difficoltà di individuare con precisione la giacitura del piano di sezione. Si è dunque operato sul piano bidimensionale, riproiettando la sezione verticale su di una linea inclinata avente la stessa pendenza identificata per l'elica. Questa nuova sezione appare avere una maggiore relazione fra le sue modanature e la misura del modulo, avvalorando l'ipotesi che il progetto della modanatura sia stato condotto rispetto a quella particolare giacitura (Fig.20A).

CONCLUSIONI E FUTURI SVILUPPI

Siamo certi che il rilievo e l'analisi geometrica della scala elicoidale di Francesco Borromini fin qui condotti, pur avendo già raggiunto una fase avanzata (fig.21), debbano ancora proseguire, perché ogni volta che si concentra l'attenzione su uno dei suoi dettagli architettonici sono tante le domande che affiorano e a cui è necessario dare risposta. Si pensi per esempio alla forma e all'orientamento dei gradini che appaiono diversi nei progetti a noi giunti e ancora diversi rispetto al costruito; si pensi ancora alla gestione dei larghi pianerottoli di accesso ai grandi saloni e le soluzioni adottate per non interrompere il progredire costante dell'elica; si pensi infine all'intradosso della rampa, realizzato a volta ribassata, in continuo equilibrio, anch'esso, fra la necessità di progredire con la scala e l'esigenza di raccordarsi con gli spazi ad essa connessi.

È facile intuire, inoltre, che ognuna delle soluzioni presenti non è autonoma ma esiste ed è funzionale ad un più ampio e complesso sistema di relazioni con gli altri elementi.

Obiettivo futuro di questo studio è dunque svelare le relazioni ancora oscure di questo sistema, arrivando a definire un modello informativo completo della scala. Un modello che possa essere accessibile ad altri ricercatori, nel quale dati e procedure di analisi possano essere ripercorse: un modello orientato alla "ripetibilità" della sperimentazione, premessa sostanziale di ogni processo scientifico [Migliari Valenti 2012].



NOTE

[1] Leonardo Paris e Graziano Mario Valenti hanno curato assieme l'impostazione teorica, la metodologia di sviluppo della ricerca e la raccolta documentale. Leonardo Paris ha progettato e realizzato il rilievo strumentale, elaborato e normalizzato i dati, ha condotto l'analisi della pianta. Graziano Mario Valenti ha progettato e sviluppato il modello parametrico e condotto l'analisi delle partizioni dell'ordine.

[2] Un ringraziamento particolare alla dott.ssa Lucia Calzona della soprintendenza di cui sopra e al direttore del Museo dott.ssa Cinzia Ammanati

[3] E' stato utilizzato un HDS6000 della Leica Geosystem, a differenza di fase, in dotazione presso il Critevat, centro di ricerca reatino, che ne ha gentilmente concesso l'utilizzo.

[4] Tuttavia questa misura potrebbe anche essere scaturita da diverse unità e/o tecniche utilizzate per computare gli angoli.

Fig. 21. Modello parametrico. Nel primo livello è visibile la parte ricorrente della scala, corrispondente a metà della policentrica (arco minore e arco maggiore). Le geometrie rappresentate nel modello sono esclusivamente quelle rilevate, analizzate, completamente parametrizzate e fra loro relazionate. Nei livelli superiori è visibile un esempio di aggregazione del modello parametrico.

BIBLIOGRAFIA

Serlio, Sebastiano (1584), I sette libri dell'architettura, Venezia, ed. a cura di F. Irace, Bologna.

Magnanini, Giuseppina (1983), *Palazzo Barberini*, Editalia, Roma

Barbaro, Daniele, Palladio Andrea (1567) *I dieci libri dell' Architettura di Vitruvio tradotti e commentati da Monsignor Barbaro eletto patriarca di Aquileggia*, Venezia

Perrault, Claude (1673) *Les dix livres d'architecture de Vitruve, corrigez et traduits nouvellement en français, avec des notes et des figures*, Parigi

Palladio, Andrea (1746) *I Cinque ordini di architettura di Andrea Palladio esposti per un'esatta istruzione di chi ama e coltiva questa bella utilissima arte*, Venezia, appresso Angiolo Pasinelli

Amati, Carlo (1839) *Gli ordini di Architettura di J. Barozzi da Vignola pubblicati da Carlo Amati*, Milano

Portoghesi, Paolo (1966), *Roma Barocca*, Laterza, Roma-Bari.

Migliari, Riccardo (1991) *Il disegno degli ordini e il rilievo dell'architettura classica: Cinque Pezzi Facili*, in *Disegnare Idee Immagini*, n. 2, Roma pp. 49-66

Ragazzo, Felice (1995), *Geometria delle figure ovoidali*, in *Disegnare*, idee, immagini 11, Gangemi Roma, pp. 17-24.

Tabarrini, Maria (2008), *Borromini e gli Spada*, Gangemi, Roma.

Paris, Leonardo (2010), *Quantità e qualità nell'utilizzo dello scanner laser 3D per il rilievo dell'architettura*, in X Congresso International Espresión gráfica aplicada a la edificación. Alicante, 2, 3 e 4 dicembre 2010, Marfil, Alcoy, vol. I, p. 279-289.

Valenti Graziano Mario, Casale Andrea, Romor Jessica, Calvano Michele (2012 a) *Modellazione parametrica: tecnologie a confronto*. In: AA.VV. *Geometria descrittiva e rappresentazione digitale*. Memoria e innovazione. vol. 1, p. 53-63, Roma Edizioni Kappa ISBN: 9788865141595.

Valenti Graziano Mario, Casale Andrea, Romor Jessica, Calvano Michele (2012 b) *Un database per l'ordine architettonico: Palladio*, in Beltrami Guido, Gaiani Marco. *Quaderni del Museo Palladio 11*. Palladio Lab: architetture palladiane indagate con tecnologie digitali. pp. 81-88 Vicenza, Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio ISBN 9788884180971

Valenti Graziano Mario, Romor Jessica (2012) "Sed si qui de ordine huius libri disputare voluerit..." - Lettura del trattato di Architettura classica De Architectura di Lucius Marco Vitruvius Pollione finalizzata alla ricerca di procedure illustrative di tipo algoritmico, in: *Repository della Facoltà di Architettura - Università degli Studi di Roma La Sapienza* ISBN: 9788890807305.

Riccardo, Migliari, Graziano Mario, Valenti (2012). *Il Colosseo e le ragioni di una teoria del rilievo architettonico*. QUADERNI DELL'ISTITUTO DI STORIA DELL'ARCHITETTURA, p. 39-48, ISSN: 0485-4152

Paris, Leonardo (2014), *Il rilievo digitale integrato: dal progetto di acquisizione dei dati al modello discreto*, in *La Fontana rustica del Quirinale*. Studi, Ricerche e Analisi a cura di Williams Troiano. Dei Merangoli, Roma 2014, pp 29-42