

La misura della Chiesa di San Miguel a Segovia. Geometria e meccanica delle volte nervate di Rodrigo Gil de Hontañón

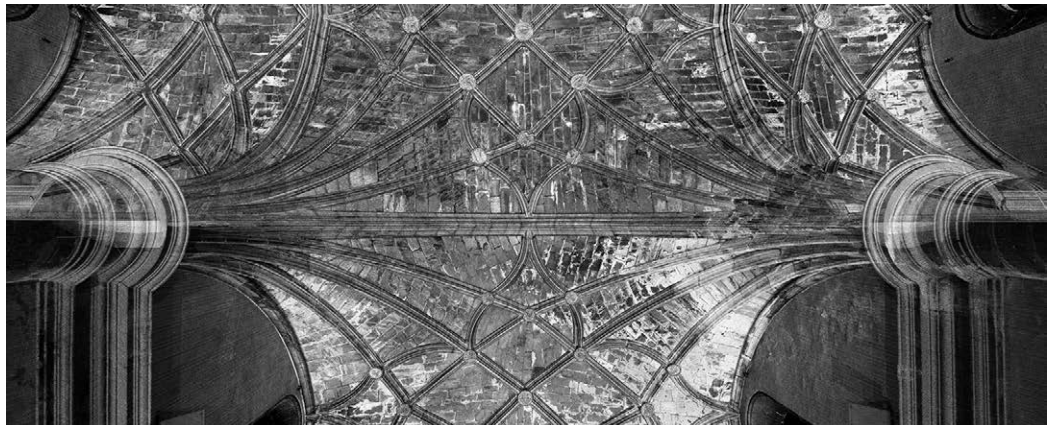
Alessio Bortot
Paolo Borin

Abstract

Il presente contributo illustra l'analisi geometrica e costruttiva di una delle volte a copertura di una delle campate della navata principale della chiesa di San Miguel a Segovia, la ricerca è stata supportata da un rilievo digitale, nonché dallo studio del trattato del progettista della chiesa, Rodrigo Gil de Hontañón (1500-1577). Il testo, da lui scritto e pubblicato postumo nel 1681, è un raro caso di traduzione di regole costruttive dei lapicidi medievali spagnoli nel rinnovato spirito rinascimentale. A seguito di un rilievo laser scanner che ha coinvolto l'aula e l'estradosso del sistema voltato, la campata centrale della navata è stata ricostruita in ambiente digitale, con particolare attenzione nel definire gli elementi costruttivi nervati e le superfici di riempimento sovrastanti. A seguito di tale ricostruzione è stato possibile associare idealmente l'elemento di copertura ad una volta sferica sulla quale si impostano quattro volte cilindriche, con direttrice ad arco ogivale. Poiché il trattato di Gil propone da un lato la sequenza delle operazioni di cantiere per impostare la volta e dall'altro il dimensionamento proporzionale dei principali elementi strutturali, questi sono stati misurati e verificati, riscontrando un lieve scostamento tra il dato reale e quanto indicato nel manoscritto.

Parole chiave

volte, Rodrigo Gil de Hontañón, rilievo digitale, modellazione 3D, trattatistica



Sistema voltato della chiesa di San Miguel a Segovia, rendering da nuvola di punti (elaborazione grafica A. Bortot).

Introduzione

L'iglesia de San Miguel a Segovia (Spagna) è di origine medievale, il corpo antico romanico posto al centro dell'attuale Plaza Mayor, ad oggi scomparso, viene citato per la prima volta in un documento datato 1117 [M^a M. Sanz de Andrés 2022, p. 13]. Proprio sul sagrato di questo luogo venne proclamata Isabella I, Regina di Castiglia, il 13 dicembre 1474. Questo tempio originario venne demolito nel 1532 per ampliare la piazza, in sua sostituzione venne eretta la chiesa attuale in via dell'Infanta Isabel. La paternità della chiesa è attribuita a Rodrigo Gil de Hontañón (1500-1577), capomastro della maestosa cattedrale di Segovia che allora si trovava in piena fase di costruzione. Nel 1587 l'architetto e capomastro Diego de Matienzo (1571-1592), dopo la morte di Rodrigo, ne proseguì la costruzione. La nuova chiesa di San Miguel, a croce latina con cappelle laterali, venne edificata in stile gotico, ma con una struttura e una concezione Rinascimentale. Il linguaggio tardogotico e l'impronta dell'architetto Rodrigo Gil de Hontañón si ritrovano nelle volte gotiche a costoloni che coprono le sei campate della navata centrale e le altrettante laterali (fig. 1). Nell'architettura della chiesa si nota un trattamento diverso nelle cappelle: mentre quelle del lato sud-ovest corrispondono al prototipo della cappella funeraria gotica, le cappelle del lato nord-est sono spazi progettati come piccole nicchie di gusto Rinascimentale. Il cambio di criterio può essere dovuto all'affermarsi dello stile di quegli anni, ma anche al problema dello spazio urbano, poiché il canale del celebre acquedotto romano - monumento di 15 km che attraversa e cesura la città di Segovia - passa accanto alla chiesa di San Miguel, proprio sul lato nord-est, nel suo tratto ipogeo diretto verso la fortezza dell'Alcazar.

Rodrigo Gil de Hontañón è considerato uno dei più importanti architetti spagnoli del XVI secolo, capace di mostrare nelle sue opere il felice connubio tra stile gotico e rinascimentale. Figlio del lapicida Juan Gil de Hontañón (1480-1526), da lui apprese i segreti per la realizzazione di strutture stereotomiche di tradizione medievale, tanto da sostituirlo nel ruolo di capomastro della cattedrale di Segovia nell'anno della sua scomparsa. Oltre ai progetti relativi all'architettura religiosa, tra i quali le cattedrali di Salamanca (1538) e quella di Plasencia, [Casaseca 1988; Hoag 1979] è celebre anche per la realizzazione di architetture civili come la facciata del Colegio Mayor de San Ildefonso (1551-1553) o il palazzo dei Guzmanes a León (1559-1566). La sua celebrità è dovuta anche alla stesura di un trattato, il cui originale è andato perduto, che è comunque giunto fino a noi grazie alla trascrizione di un architetto di Salamanca [Camón Aznar 1941], Simón García (1551-1581), con il titolo *Compendio de arquitectura y simetría de los templos* (1681) [García, Rodrigo Gil de Hontañón 1681].



Fig. 1. Immagine del sistema voltato della navata della chiesa di San Miguel, rendering della nuvola di punti della campata analizzata (elaborazione grafica A. Bortot).

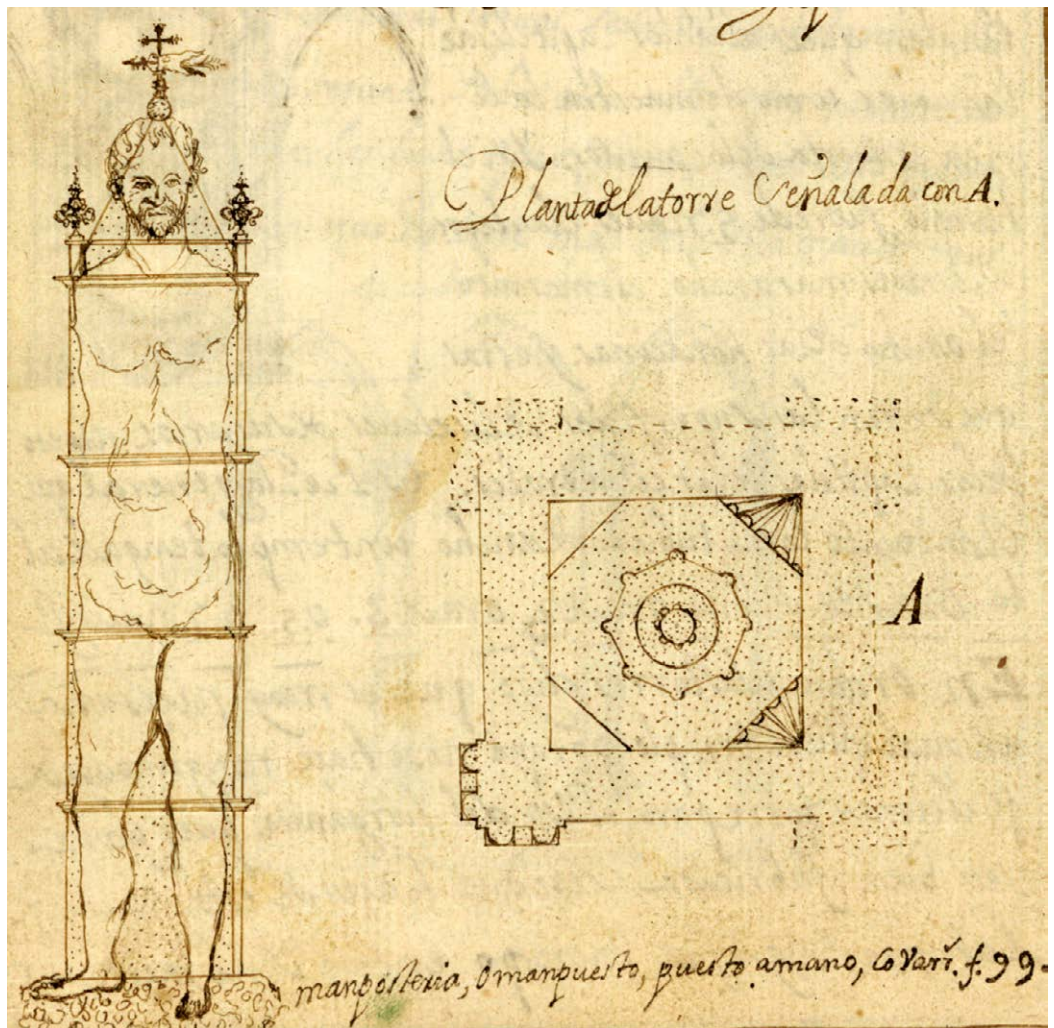


Fig. 2. Rodrigo Gil de Hontañón, *Compendio de architectura...* (1681), p. 10: parallelismo tra elementi architettonici e parti del corpo umano.

L'interesse per l'opera è certamente legato alle spiegazioni teoriche sulle proporzioni geometriche degli ordini degli edifici, ma soprattutto per le indicazioni sul dimensionamento degli elementi costruttivi attraverso un sistema geometrico-proporzionale, ma anche matematico. José Calvo-López ci ricorda che "I primi cinque capitoli del *Compendio* sono un assortimento di problemi architettonici relativi a chiese, regole strutturali (sia grafiche che aritmetiche), finestre, torri e scale; [l'autore] riprende alcuni materiali da Vitruvio e si concentra sulle misure antropomorfe" [Calvo, López 2020] (fig. 2). Le proporzioni del corpo umano associate agli ordini architettonici rappresentano, come noto, una caratteristica specifica delle rappresentazioni grafiche fin dal primo Rinascimento nell'intero ambito europeo, alla ricerca di una regola compositiva reiterabile e idealizzata. Tale tendenza viene testimoniata, negli stessi secoli, dallo studio degli edifici del periodo classico attraverso quelle che oggi definiremo tecniche di 'rilievo a vista', impiegate non tanto per ottenere delle restituzioni fedeli di una fabbrica esistente, quanto piuttosto per coglierne la logica compositiva [Maestri, Docci 1992, pp. 53–86]. In ambito italiano si pensi, ad esempio, agli studi sulle proporzioni di Francesco di Giorgio Martini (1439-1501), nei quali alla pianta e all'alzato viene spesso volte associata una figura antropomorfa o parte di essa, così come parti del corpo umano erano state impiegate quali unità di misura fin dai tempi antichi. Questa tendenza interpretativa degli edifici antichi porterà nei secoli successivi alla definizione di un nuovo modo di 'fare architettura', attraverso una reinterpretazione di un sapere classico si andrà affermando un metodo compositivo basato sull'armonia delle proporzioni.

Ciò che invece rende particolarmente originale il testo di Gil è l'impiego del sistema proporzionale per il dimensionamento degli elementi strutturali, tanto che "In nessun altro ma-

noscritto o trattato del tardo gotico o del Rinascimento appare così chiara la separazione della struttura dal resto degli elementi che compongono l'edificio. Le regole strutturali sono completamente indipendenti dal processo di progettazione della planimetria generale e sono probabilmente il primo tentativo documentato di creare una 'scienza' indipendente per la progettazione delle strutture (anche se il suo fondamento non sono i principi della meccanica, ma piuttosto l'esperienza accumulata e l'osservazione del comportamento di strutture esistenti o in costruzione)" [Huerta 2004, p. 208].



Fig. 3. Sezione longitudinale della chiesa di San Miguel, comprensiva dell'intradosso della copertura (elaborazione grafica A. Bortot).

Rilievo e restituzione digitale

Il rilievo è stato condotto con laser scanner e tecniche fotogrammetriche [1]. La campana ha interessato la navata principale, il sottotetto (fig. 3), parte della torre campanaria e la facciata principale a sud-ovest, per un totale di 49 stazioni. Va precisato che il rilievo si è focalizzato sulle superfici di intradosso ed estradosso delle volte nervate al fine di condurre delle analisi di tipo geometrico e strutturale di questi elementi [2]. Le scansioni eseguite all'interno della torre campanaria sono state necessarie per garantire il collegamento tra quelle eseguite al di sotto e al di sopra delle superfici voltate, allo spazio del sottotetto è infatti possibile accedere attraverso un angusto passaggio ricavato nello spessore murario della navata (larghezza 60 cm, altezza 120 cm, profondità 100 cm), (fig. 4). Nonostante l'impiego di target, il collegamento tra le nuvole precedenti e successive al passaggio si è rivelato il più delicato, data l'inevitabile bassa percentuale di sovrapposizione tra le superfici dei due ambienti. Le superfici di intradosso delle volte e buona parte dei muri interni sono stati rilevati anche con tecniche

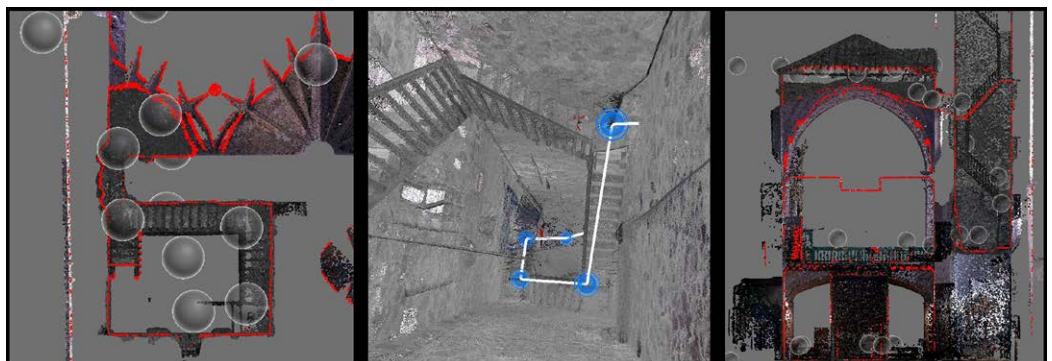


Fig. 4. Scansioni di collegamento tra l'aula e il sistema di copertura della chiesa di San Miguel (elaborazione grafica R. Bernardello).

fotogrammetriche, le immagini elaborate hanno garantito in primis la generazione della point cloud densa che è stata scalata e orientata grazie a target opportunamente posizionati e rilevati anche nella fase di scansioni 3D. La generazione di una mesh poligonale e della relativa texture ha permesso di ottenere un'ortofoto in alta risoluzione delle volte a copertura della navata principale e del transetto (fig. 5).



Fig. 5. Ortofoto dell'intradosso del sistema voltato principale della chiesa di San Miguel, il modello è sezionato al di sopra del jarjamento (elaborazione grafica P. Borin).

Interpretazione geometrica e fasi costruttive

È innanzitutto utile definire un insieme di termini minimi, legati principalmente alla tradizione spagnola e francese, che aiuti alla comprensione dei procedimenti geometrici e costruttivi descritti nel trattato di Rodrigo Gil. Per evitare ambiguità, dove il termine non corrisponde ad un suo reciproco italiano, si è scelto di lasciarlo in lingua originale (spagnolo):

- archi *cruceros*, altrimenti detti ogivali [3], si trovano lungo le diagonali del rettangolo di imposta;
- archi *formeros* (fr. *formeret*), sono incassati nelle murature delle navate;
- archi *perpianos* (fr. *doubleau*), disposti perpendicolarmente alla direzione principale della navata, scandiscono una campata dalla successiva;
- archi *terceletes* (fr. *tierceron*), sono posizionati tra quelli descritti precedentemente;
- *ligadura* (fr. *lierne*, en. *ridge line*), rappresentano i collegamenti rampanti tra tipi di archi differenti e completano l'aspetto floreale, tipico delle volte nervate di Gil;
- *montea*, proiezione sul piano di imposta degli archi componenti la volta;
- *jarjamento* (fr. *tas-de-charge*), è l'insieme dei blocchi di pietra, ad imposta orizzontale, atti a supportare nei vertici del piano di imposta i carichi provenienti dagli archi *cruceros*;
- *plenteria* (ing. *web*), consiste nel riempimento, in pietra o mattoni, tra le nervature;
- chiavi (sp. *claves*, ing. *bosse*), quali elementi spesso a forma conica o cilindrica poste all'intersezione degli archi;
- pilastri (sp. *pilares*), elementi verticali puntuali;
- paraste (sp. *estribos*), elementi verticali atti ad inspessire una muratura, per resistere ai carichi orizzontali.

La composizione geometrica di una volta è descritta graficamente dal trattato di Gil in una celebre rappresentazione (figg. 6, 7), comune a molti trattatisti coevi, in cui viene rappresentata la *montea* e il ribaltamento dell'arco *cruceros* [4]. Come è semplice notare, il disegno illustra anche i dispositivi di cantiere per sostenere gli archi durante la loro costruzione, fatto che rappresenta una novità del trattato in esame rispetto al panorama europeo. Esso, infatti, fornisce importanti informazioni sulla messa in opera dei sistemi voltati e degli apparati a loro sostegno nelle fasi realizzative [Moreno Dopazo 2017; Wendland 2013]: "i tracciati in scala reale preparati su impalcature, esattamente sotto la volta, consentivano ai muratori di

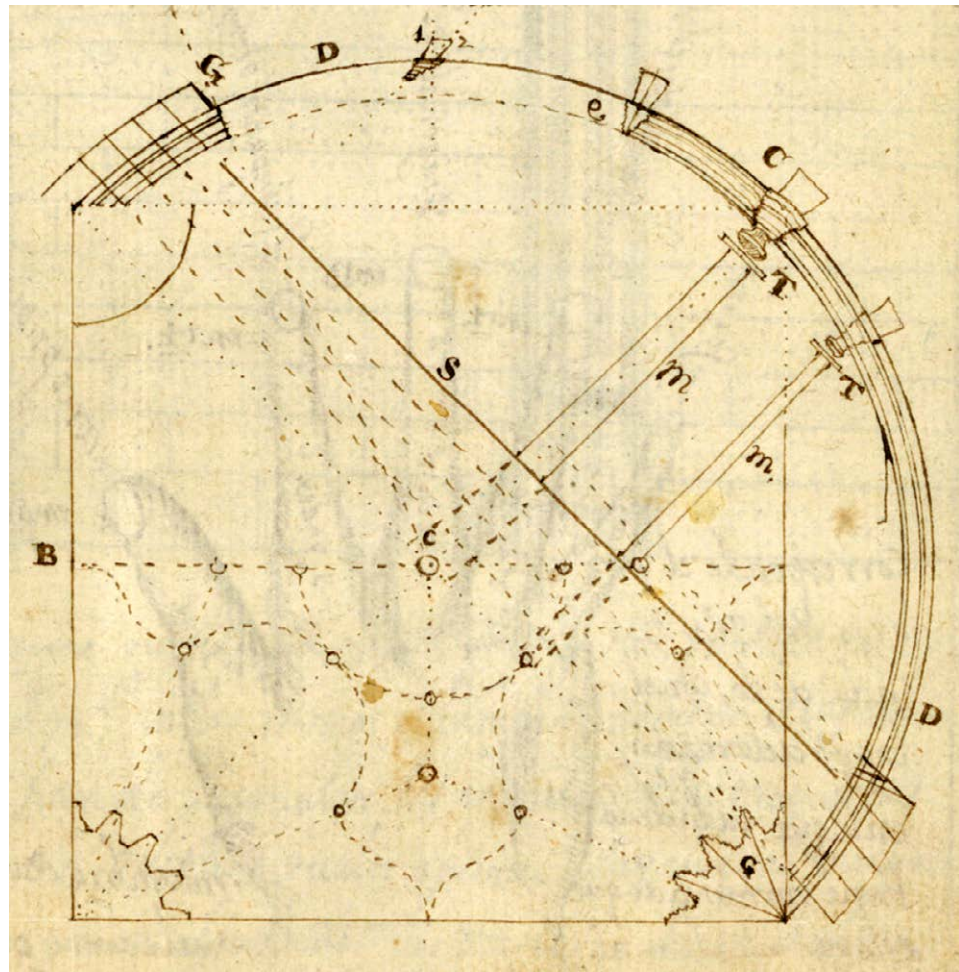


Fig. 6. Rodrigo Gil de Hontañón, *Compendio de architectura...* (1681), p. 25: rappresentazione geometrica di una volta nervata, planimetria e ribaltamento con indicazioni geometriche e costruttive.

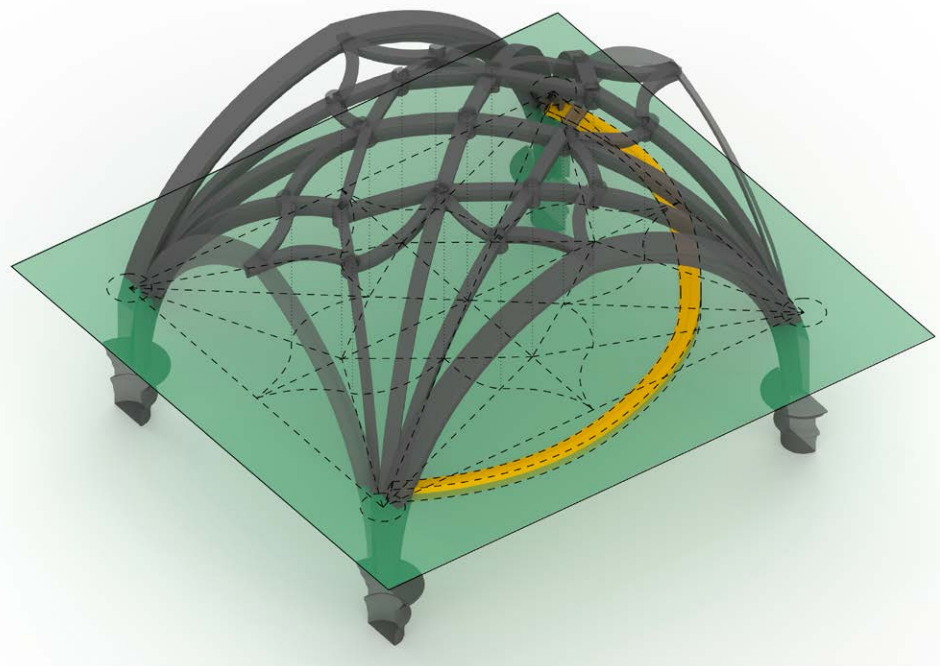


Fig. 7. Modello digitale della campata analizzata, ribaltamento dell'arco cruceros sul piano di imposta della volta nervata (in verde) al di sopra i blocchi di imposta (*jarjamento*), (elaborazione grafica A. Bortot).

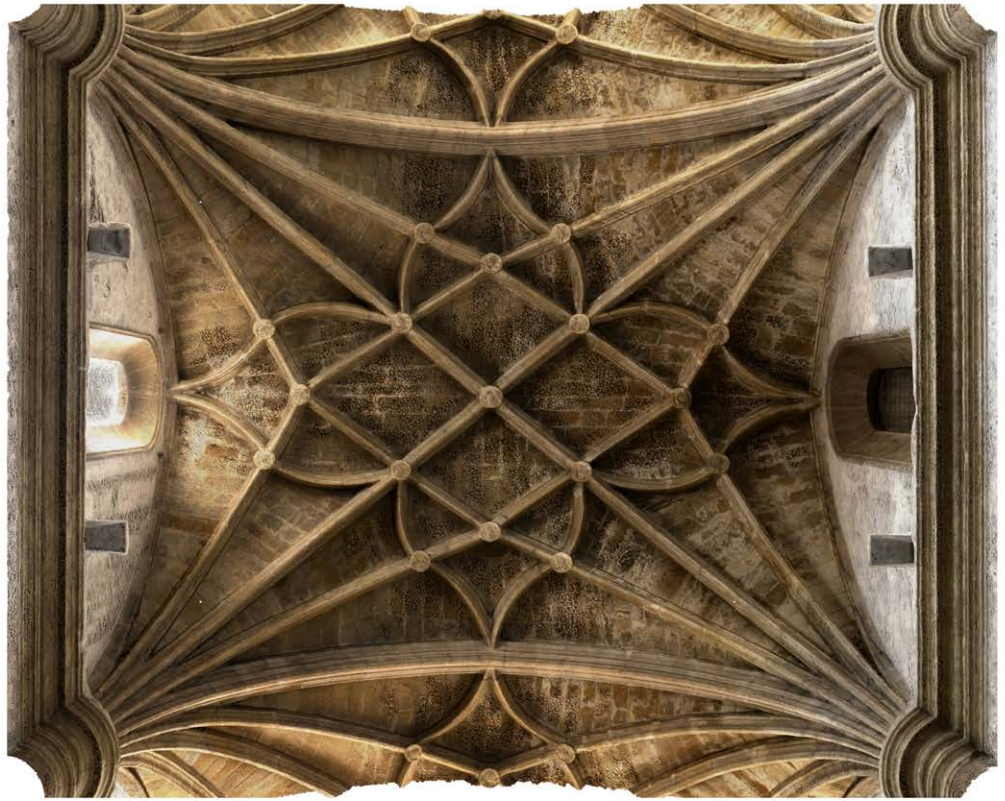


Fig. 8. Vista prospettica dal basso e assonometrica della mesh poligonale della campata centrale ottenuta attraverso il rilievo fotogrammetrico (elaborazione grafica A. Bortot).

conoscere la curvatura dei costoloni, l'altezza delle chiavi di volta secondarie e l'altezza delle centine che sostengono i costoloni. Inoltre, essi venivano utilizzati per controllare l'esecuzione dopo il posizionamento dei *vousoir*, verificando che i piombini appesi alle chiavi di volta si sovrapponevano alla loro posizione teorica nel tracciato" [Huerta 2021 p. 208].

Si è scelto di analizzare la volta centrale della navata principale, morfologicamente simile a tutte le altre (fig. 8). Idealmente è una volta composita, costituita da una porzione centrale di volta emisferica sulla quale si innestano delle unghie le cui direttici sono degli archi a sesto acuto, ed è quindi idealmente costituita da porzioni di superfici sviluppabili e non (fig. 9) [J. C., Palacios 2006, p. 2420]. La volta ha base rettangolare con lato maggiore lungo gli archi *perpianos* (9,93m) e lato minore nella direzione della navata (8,16m). Da quanto indicato nel manoscritto, la prima fase costruttiva prevede il posizionamento dell'impalcato al di sopra del piano d'imposta, al livello del *jarjamento*, facilmente identificabile dai piani orizzontali dei letti tra un concio e l'altro. Tale livello è qui posto a 15,02 metri dal piano di calpestio. Su tale impalcato è possibile riportare i riferimenti della *montea* in scala al naturale, indicando quindi la posizione delle 17 chiavi (fig. 10) e degli archi (fig. 11). Più ribaltamenti permettono di individuare il raggio (6,48 m) e l'altezza della chiave, posta a 4,04 metri dal piano di imposta, e delle altre chiavi cilindriche [5]. Ottenute le altezze delle chiavi è possibile portarle in quota attraverso dei pilastri in legno e sostenere il posizionamento dei conci attraverso delle centine. È infatti ben dimostrato [J. C., Palacios, Moreno Dopazo 2019] come queste fossero le uniche opere provvisorie necessarie alla messa in opera della volta nella sua interezza, essendo le superfici di riempimento in pietra appoggiate al di sopra degli archi principali [Huerta 2002a]. Come anticipato, il trattato di Rodrigo Gil, inoltre, presenta al lettore un'altra caratteristica innovativa rispetto alla trattatistica coeva, ovvero specifiche regole di dimensionamento degli elementi strutturali quali colonne, paraste, spessori delle nervature e delle chiavi, anche attraverso l'uso della radice quadrata [Huerta 2002b; Sanabria, 1982]. In riferimento ai sistemi voltati, Gil descrive anche un'analogia tra le quattro tipologie di archi e una mano umana, a riprova di una forma mentis dell'epoca indirizzata alla ricerca di analogie tra corpo umano e struttura architettonica. Gil afferma come, presa una mano sinistra con il palmo verso il basso (fig. 12), essa rappresenti un quarto di volta, in cui il polso rappresenta il vertice (*jarjamento*), il medio metà dell'arco *cruceros*, il mignolo metà dell'arco *formeros*,

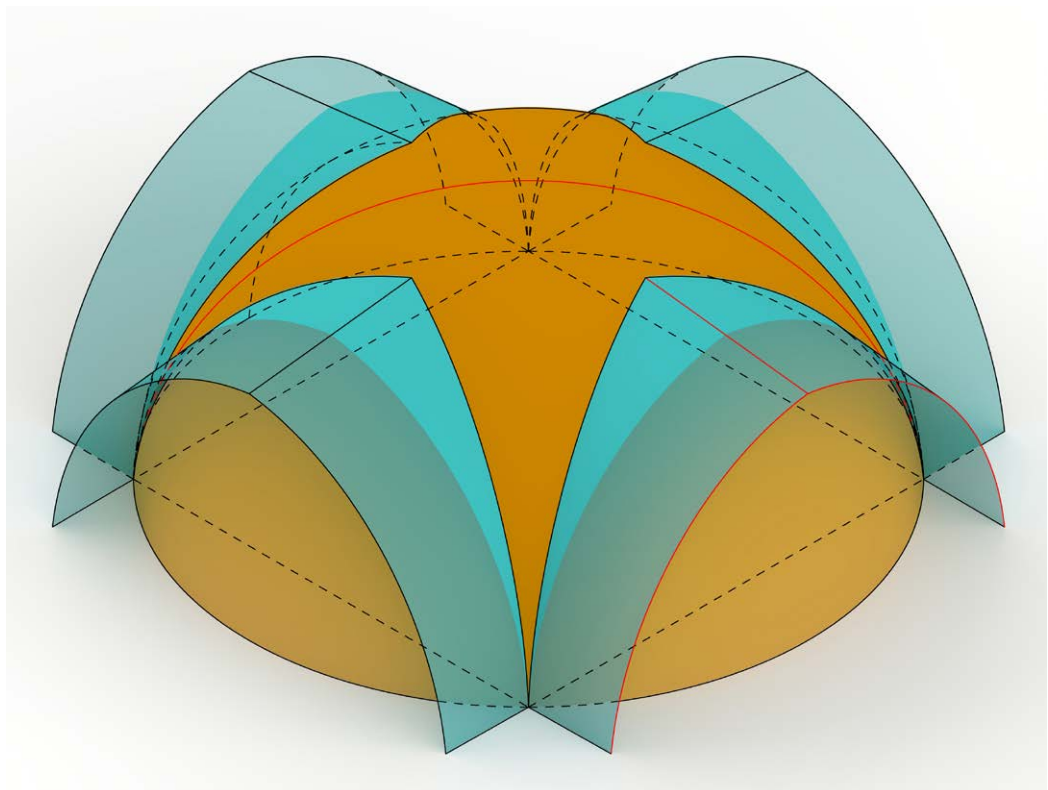


Fig. 9. Interpretazione geometrica della volta nervata secondo una porzione sferica e quattro porzioni cilindriche (elaborazione grafica A. Bortot).



Fig. 10. Concio di chiave con decorazione ad angelo disposto in prossimità della chiesa di San Miguel (foto di A. Bortot).

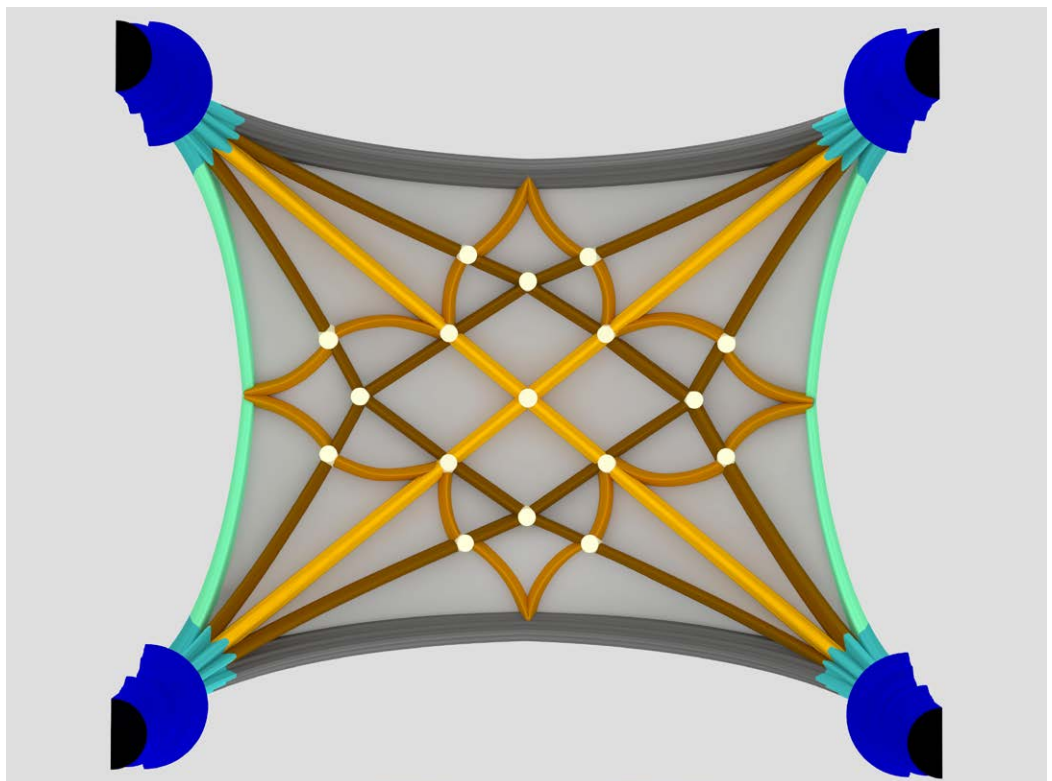


Fig. 11. Modello di una delle campate della chiesa di San Miguel. In giallo gli archi *cruceiros*, in verde gli archi *formeros*, in grigio gli archi *perpianos*, in marrone gli archi *terceletes*, in celeste *jarjamento* (elaborazione grafica A. Bortot).

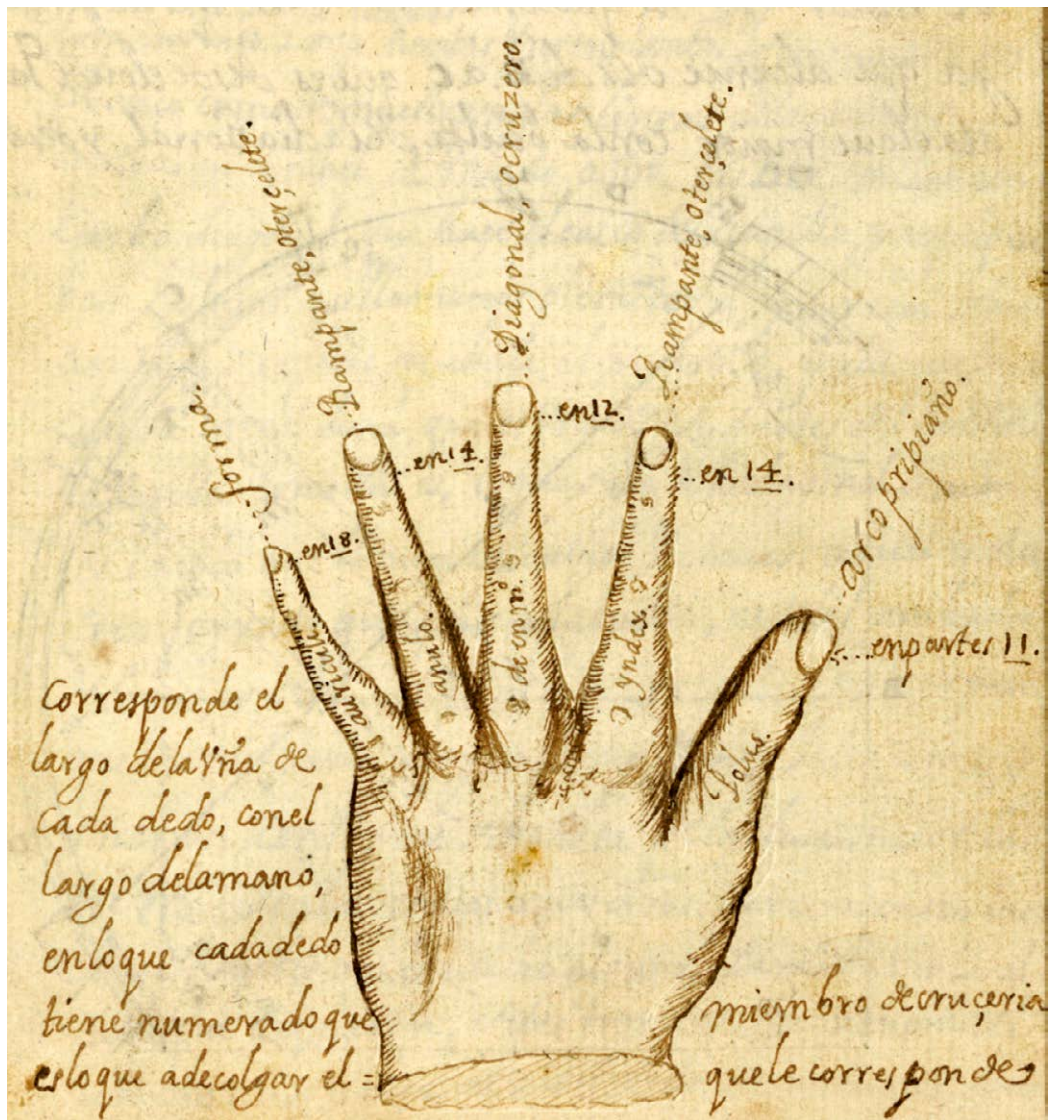


Fig. 12. TRodrigo Gil de Hontañón, *Compendio de architectura...* (1681), p.26: descrizione del sistema di archi di una volta nervata attraverso l'analogia anatomica con la mano umana, Rodrigo Gil evidenzia anche il rapporto proporzionale tra la lunghezza delle unghie e quella delle dita.

il pollice metà dell'arco *perpianos*, l'indice e l'anulare gli archi *terceletes*. A fronte di questa suddivisione, propone un'analogia tra la proporzione di un'unghia rispetto alla lunghezza di ciascun dito, e l'altezza del profilo della nervatura in riferimento al lato del quadrato di imposta: per gli archi *perpianos* propone un rapporto pari a 20, per gli archi *cruceros* di 24 e per gli archi *terzianos* pari a 1/33. Ciò ha permesso di verificare le dimensioni ottenute dal rilievo [6] con quelle ottenute dal calcolo parametrico (tab. 1). Le differenze sono minime per gli archi interni, mentre è leggermente più accentuata per gli archi *perpianos*, in linea con quanto già individuato da altri autori. [Moreno Dopazo 2016].

Tab. 1. Analisi metrica dell'altezza rilevata dei profili della chiesa di San Miguel confrontata con le regole del trattato di Rodrigo Gil de Hontañón, *Compendio de architectura...* (1681).

Type	Profile Height [m]	Profile Height as treatise rule [m]	Difference
<i>perpianos</i>	0.50	0.45	10.56%
<i>cruceros</i>	0.37	0.38	-1.82%
<i>terceletes</i>	0.33	0.32	2.16%

Conclusioni

Rispetto ai più consueti diagrammi proporzionali presenti nella trattatistica europea rinascimentale, votati al rapporto tra gli ordini di un edificio e gli elementi del corpo umano, figurati bidimensionalmente ad essi iscritti o circoscritti, in Rodrigo Gil sembra assistere ad una più esplicita intuizione e volontà spaziale. Un sapere antico, di origine gotica, reinterpretato secondo i canoni antropocentrici rinascimentali, in grado con Rodrigo Gil di suggerire la tridimensionalità del corpo, senza ridurlo ad un astratto schema bidimensionale basato più semplici silouettes iscritte nelle pseudo proiezioni ortogonali degli edifici. Il lavoro qui presentato, all'interno della metodologia di conoscenza digitale consolidata che prevede il rilievo digitale multispettrale dell'edificio e la successiva modellazione geometrica che implementa le regole ritrovate nel trattato, conferma l'allineamento con le regole di dimensionamento e le sequenze costruttive descritte nel trattato. Un successivo approfondimento porterà ad ulteriori verifiche dimensionali degli elementi strutturali e costruttivi, e ad un'analisi più approfondita delle devianze tra il modello geometrico e la nuvola di punti, in modo da offrire eventuali opportunità di intervento di recupero strutturale.

Note

[1] Il rilievo laser scanner è stato prodotto con lo strumento Leica BLK 360 e processato con software Faro Scene®, il rilievo fotogrammetrico ha impiegato la fotocamera Nikon D800e con obiettivo 24 mm f1.4 asferico, le 300 immagini sono state processate con Agisoft Metashape. Il coordinamento e l'ottimizzazione dei dati è stata svolta da Rachele Bernardello che qui ringraziamo pubblicamente.

[2] Il rilievo è stato eseguito in occasione della summer school internazionale "Historic masonry structures" (27/08-10/09, Segovia - Spagna), la chiesa di San Miguel è stata una dei casi studio assegnati e analizzati dagli studenti.

[3] In riferimento al termine ogivale, si segnala come Rodrigo Gil intendesse tale l'arco diagonale di una volta così composta, senza riferimento prevalente alla sua forma. Tipicamente tale arco veniva tracciato a tutto sesto, generando per gli archi formosi e peripianos la forma a sesto acuto, ora intesa comunemente come ogivale.

[4] Per una interpretazione più matura di tale rappresentazione si veda [J. C., Palacios, 2006, p. 2421]

[5] A differenza all'uso tradizionale da parte di Gil delle chiavi ad asse verticale, nel caso studio si segnala il tentativo di mettere in opera la chiavi nella direzione perpendicolare alla superficie sferica ideale.

[6] Per le dimensioni della volta in esame, di forma rettangolare, come descritto dallo stesso Gil, è stato scelto di utilizzare la media dei lati del rettangolo di imposta, pari a 9.05 metri.

Riferimenti bibliografici

Calvo-López J. (2020). *Stereotomy. Stone Construction and Geometry in Western Europe 1200–1900*. Cham: Springer International Publishing. <<https://doi.org/10.1007/978-3-030-43218-8>>

Camón Aznar J. (1941). *La intervención de Rodrigo Gil de Hontañón en el manuscrito de Simón García*. In *Archivo Español de Arte*, n. 44, pp. 300–306.

Casaseca A. C. (1988). *Rodrigo Gil de Hontañón (Rascafría, 1500 - Segovia, 1577)*. Valladolid: Junta de Castilla y León.

García S., Rodrigo Gil de Hontañón (1681). *Compendio de arquitectura y simetría de los templos: conforme a la medida del cuerpo humano, con algunas demostraciones de geometría*.

Hoag J. D. (1979). *Rodrigo Gil de Hontanón: his work and writings, late medieval and renaissance architecture in sixteenth century Spain*. Tesi di dottorato in Storia dell'Arte. New York: Yale University.

Huerta S. (2002a). *Informe sobre las bóvedas del convento dominico de Nuestra Señora del Rosario*. Madrid: E.T.S. Arquitectura (UPM).

Huerta S. (2002b). *The medieval 'scientia' of structures: the rules of Rodrigo Gil de Hontañón*. In Becchi A., Benvenuto E. (a cura di). *Towards a History of Construction. Between Mechanics and Architecture*, pp. 567–585. Basilea: Birkhäuser.

Huerta S. (2004). *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*, pp. 207–238. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Huerta S. (2021). *Building of Gothic cross vaults in the Spanish Renaissance*. In Sementsov S., Leontyev A., Huerta S. (a cura di). *Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage 2021*, pp. 39–44. Londra: Routledge. <<https://doi.org/10.1201/9781003136804-8>>

Sanz de Andrés M^a M. (2022). *Iglesia de San Miguel. Un lugar privilegiado de nuestra historia*. Segovia: Spreent Imprenta.

Maestri D., Docci M. (1992). *Il Rilievamento architettonico. Storia, metodi e disegno*. Bari: Laterza.

Moreno Dopazo P. (2016). Rodrigo Gil de Hontañón and 16th-Century Building Techniques: The Cimborio Vault of Archbishop Fonseca College Chapel in Salamanca (Spain). In *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 10, n. 8, pp. 1110–1124. <<https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1187778>>

Moreno Dopazo P. (2017). *Trazas de monte y cortes de cantería en la obra de Rodrigo Gil de Hontañón*. Tesi di dottorato di ricerca in Architettura, relatore prof. J.C. Palacios Gonzalos. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

Palacios J. C., Moreno Dopazo P. (2019). La construcción de la bóveda de crucería por Rodrigo Gil. In *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 6, n. 11, pp. 951-952.

Palacios J. C. (2006). *The Gothic Ribbed Vault in Rodrigo Gil de Hontañón*. In Dunkeld M., et al. (a cura di). *Second International Congress on Construction History*, Cambridge 29 marzo-2 aprile 2006, vol. 3, pp. 2415–2432. Cambridge: Construction History Society.

Sanabria S. L. (1982). The mechanization of design in the 16th century: the structural formulae of Rodrigo Gil de Hontañón. In *The Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 41, n. 4, pp. 281–293. <<https://doi.org/10.2307/989800>>

Wendland D. (2013). Rodrigo Gil de Hontañón's Handbuch zum spätgotischen Kirchenbau. In Schröck K., Klein B., Bürger S. (a cura di). *Kirche als Baustelle*, pp. 339–353. Colonia: Böhlau.

Autori

Alessio Bortot, Università degli Studi di Trieste, alessio.bortot@units.it

Paolo Borin, Università degli Studi di Brescia, paolo.borin@unibs.it

Per citare questo capitolo: Alessio Bortot, Paolo Borin (2024). La misura della Chiesa di San Miguel a Segovia. Geometria e meccanica delle volte nervate di Rodrigo Gil de Hontañón/ The Survey of the Church of San Miguel in Segovia. Geometry and Mechanics of the Ribbed Vaults of Rodrigo Gil de Hontañón. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 911-934.

The Survey of the Church of San Miguel in Segovia. Geometry and Mechanics of the Ribbed Vaults of Rodrigo Gil de Hontañón

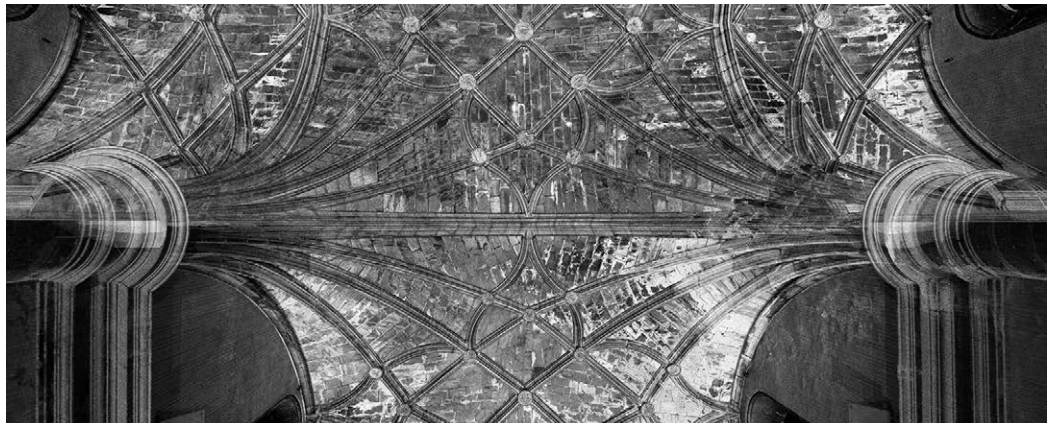
Alessio Bortot
Paolo Borin

Abstract

This paper illustrates the geometric and constructive analysis of one of the vaulting system of the nave bays of San Miguel church of in Segovia. The research was supported by a digital survey, as well as the study of the treatise by the church's designer, Rodrigo Gil de Hontañón (1500-1577). The text, which he wrote and published posthumously in 1681, is a rare case of transposition of construction medieval Spanish rules of stone masons into the renewed spirit of the Renaissance. Following a laser scanner survey involving the hall and the extrados of the vaulted system, the central bay of the nave was reconstructed in a digital environment, with particular attention for defining the ribbed construction elements and the overlying filling surfaces. As a result of this reconstruction, it was possible to ideally associate the roofing element with a spherical vault on which four cylindrical vaults are set, with an ogival arch directrix. Since Gil's treatise proposes on the one hand the sequence of site operations to set up the vault and on the other hand the proportional dimensioning of the main structural elements, these were measured and verified, finding a slight deviation between the actual data and that indicated in the manuscript.

Keywords

vaulting system, Rodrigo Gil de Hontañón, digital survey, 3D modeling, treatise



Detail of the vaulted system of San Miguel church of in Segovia, rendering from point cloud (graphic elaboration A. Bortot).

Introduction

The Church of San Miguel in Segovia (Spain) has medieval origins; the ancient Romanesque structure, located in the center of today's Plaza Mayor, today disappeared, was first mentioned in a document dated 1117 [M^a M. Sanz de Andrés 2022, p. 13]. It was on the churchyard of this place that Isabella I was proclaimed Queen of Castile on December 13, 1474. The original temple was demolished in 1532 to expand the plaza, and the current church on Infanta Isabel Street was built in its place. The church is attributed to Rodrigo Gil de Hontañón (1500-1577), the master builder of the Segovia Cathedral, which was then in the midst of construction. After Rodrigo's death, the architect and master builder Diego de Matienzo (1571-1592) continued its construction in 1587. The new Church of San Miguel, with a Latin cross plan and side chapels, was built in Gothic style but with a Renaissance structure and conception. The late Gothic language and the imprint of architect Rodrigo Gil de Hontañón are found in the ribbed Gothic vaults covering the six bays of the central nave and the same number of lateral ones (fig. 1). In the architecture of the church, a different treatment is noted in the chapels: while those on the southwest side correspond to the prototype of the Gothic funerary chapel, the chapels on the northeast side are designed as small niches with a Renaissance taste. This change in criteria may be due to the prevailing style of those years, but also to the problem of urban space, as the canal of the famous Roman aqueduct—a 15 km monument that crosses and cuts through the city of Segovia—passes next to the Church of San Miguel, right on the northeast side, in its underground stretch towards the Alcazar fortress.

Rodrigo Gil de Hontañón is considered one of the most important Spanish architects of the 16th century, capable of showcasing in his works the union between Gothic and Renaissance styles. Son of the stonemason Juan Gil de Hontañón (1480-1526), from whom he learned the secrets of creating stereotomic structures of medieval tradition, he succeeded him as master builder of Segovia Cathedral in the year of his death. In addition to projects related to religious architecture, including the cathedrals of Salamanca (1538) and Plasencia, [Casaseca 1988; Hoag 1979] he is also renowned for the realization of civil architectures such as the façade of the Colegio Mayor de San Ildefonso (1551-1553) and the Palace of the Guzmanes in León (1559-1566). His fame is also due to the writing of a treatise, the original of which has been lost, came to us thanks to the transcription by an architect from Salamanca, Simón García (1551-1581), [Camón Aznar 1941], titled *Compendio de arquitectura y simetría de los templos* (1681). [García, Rodrigo Gil de Hontañón 1681]



Fig. 1. Image of the vaulted system bay analysed of San Miguel church nave (graphic elaboration A. Bortot).

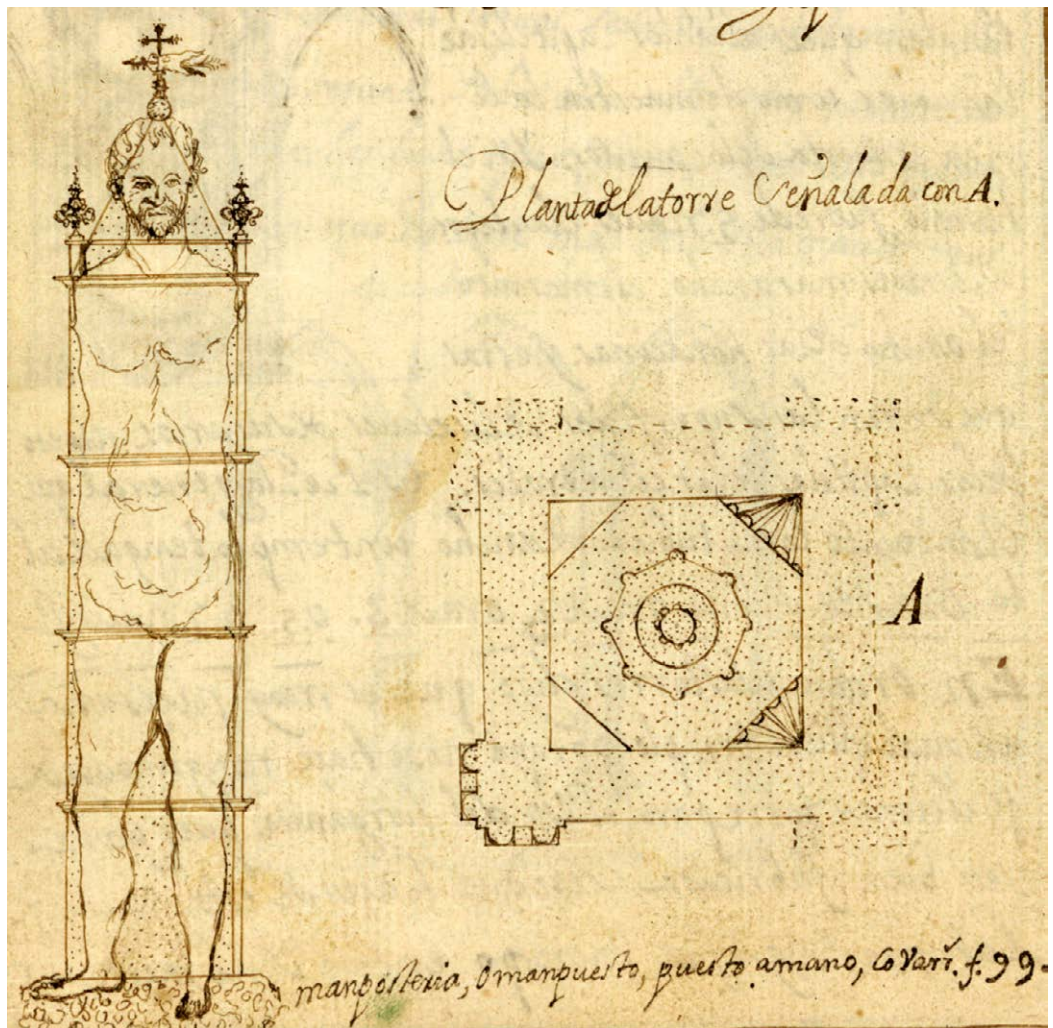


Fig. 2. Rodrigo Gil de Hontañón, *Compendio de architectura...* (1681), p. 10: parallelism between architectural elements and parts of the human body.

The interest in the work is certainly linked to the theoretical explanations on the geometric proportions of building orders, but above all to the indications on the sizing of construction elements through a geometric-proportional system, combined with a mathematical one. José Calvo-López reminds us that "The first five chapters in the *Compendio* are an assortment of architectural problems, dealing with plans and dimensions of churches, structural rules (both graphical and arithmetical), windows, towers, and staircases; he takes some material from Vitruvius and focuses on anthropomorphic measurements" [Calvo-López 2020] (fig. 2). The proportions of the human body associated with architectural orders represent, as is well known, a specific characteristic of graphic representations from the early Renaissance throughout Europe, in the search for a repeatable and idealized compositional rule. This trend is evidenced, in the same centuries, by the study of buildings from the classical period through what we would today call "direct observation techniques," employed not so much to achieve faithful reproductions of an existing structure, but rather to grasp its compositional logic [Maestri, Docci 1992, pp. 53–86]. In the Italian context, consider, for example, the studies on proportions by Francesco di Giorgio Martini (1439–1501), in which a floor plan and elevation are often associated with an anthropomorphic figure or part of it, just as parts of the human body had been used as units of measurement since ancient times. This interpretative trend of ancient buildings would lead in the following centuries to the definition of a new way of "doing architecture," through a reinterpretation of classical knowledge, establishing a compositional method based on the harmony of proportions. What makes Gil's text particularly original, however, is the use of the proportional system for the sizing of structural elements, to the extent that "In no other manuscript or treatise

of the late Gothic or Renaissance period does the separation of the structure from the rest of the elements that compose the building appear so consciously. The structural rules are completely independent of the general design process and probably constitute the first documented attempt to create an independent 'science' for the design of structures (although its foundation is not the principles of mechanics, but rather the accumulated experience and observation of the behavior of existing or under-construction structures)" [Huerta 2004, p. 208].



Fig. 3. Longitudinal section of the church of San Miguel, including the intrados of the roof (graphic elaboration A. Bortot).

Survey and digitalization

The survey was conducted using laser scanning and photogrammetric techniques. The campaign covered the main nave, the attic (fig. 3), part of the bell tower, and the main facade, totaling 49 stations. It should be noted that the survey focused on the surfaces of the intrados and extrados of the ribbed vaults in order to conduct geometric and structural analyses of these elements [1]. The scans carried out inside the bell tower were necessary to ensure the connection between those executed below and above the vaulted surfaces. Access to the attic space is indeed possible through a narrow passage carved within the thickness of the nave's wall (width 60 cm, height 120 cm, depth 100 cm) (fig. 4). Despite the use of targets, linking the previous and subsequent point clouds across the passage proved to be the most delicate task, given the inevitably low percentage of overlap between the surfaces of the two environments. The intrados surfaces of the vaults and much of the internal walls were also captured using photogrammetric techniques. The processed images primarily ensured the

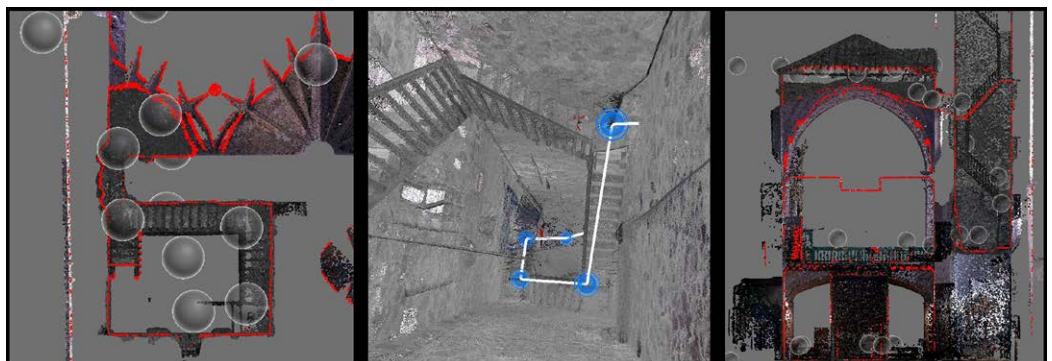


Fig. 4. Laser Scans of the connection between the hall and the roof system of the church of San Miguel (graphic processing R. Bernardello).

generation of a dense point cloud, which was scaled and oriented using appropriately positioned targets recorded during the 3D scanning phase. Generating a polygonal mesh and its corresponding texture allowed for the creation of a high-resolution orthophoto of the vaults covering the main nave and transept (fig. 5).



Fig. 5. Orthophoto of the intrados of the main vaulted system of the church of San Miguel, the model is sectioned above the *jarjamento* (graphic elaboration P. Borin).

Geometric abstraction and construction phases

It is first useful to define a set of essential terms, primarily linked to the Spanish and French traditions, which aid in understanding the geometric and construction procedures described in Rodrigo Gil's treatise. To avoid ambiguity, where a term does not have a direct Italian counterpart, it has been chosen to retain the original language (Spanish):

- *cruceros* archs, or ogival arches [2], located along the diagonals of the impost rectangle;
- *formeros* arches (fr. *formeret*), are those embedded in the walls of the aisles;
- *perpianos* arches (fr. *doubleau*), arranged perpendicular to the main direction of the nave, dividing one bay from the next;
- *terceletes* arches (fr. *tierceron*), positioned between the previously described arches;
- *ligadura* (fr. *lierne*, en. *ridge line*), represent the ramping connections between different types of arches and complete the typical floral appearance of Gil's ribbed vaults;
- *montea*, projection on the impost plane of the arches composing the vault;
- *jarjamento* (fr. *tas-de-charge*), the set of stone blocks, acting as a horizontal impost, designed to support the loads from the *cruceros* arches at the impost vertices;
- *plenteria* (en. *web*), consisting of the infilling, in stone or bricks, between the ribs;
- *keystone*, (fr. *Bosse*, sp. *claves*), conical or cylindrical elements often placed at the intersection of the arches;
- *piers* (sp. *pilares*) vertical punctual elements;
- *buttress* (sp. *estribos*), vertical elements thickening a wall, to resist horizontal loads.

The geometric composition of a vault is graphically described in Gil's treatise through a renowned representation (figg. 6, 7), common among many contemporaneous treatise authors, illustrating the *montea* and the springing of the *cruceros* arches [3]. As is evident, the drawing also illustrates construction devices used to support the arches during their construction, which represents an innovation of this treatise compared to the European panorama. Indeed, it provides significant information on the implementation of vaulted systems and their supporting structures during construction phases [Moreno Dopazo 2017; Wendland 2013]: "full-scale layouts prepared on scaffolds, directly beneath the vault, allowed masons to understand the curvature of the ribs, the height of secondary keystones, and the height of the centering that supports the ribs. Additionally, they were used to verify execution after

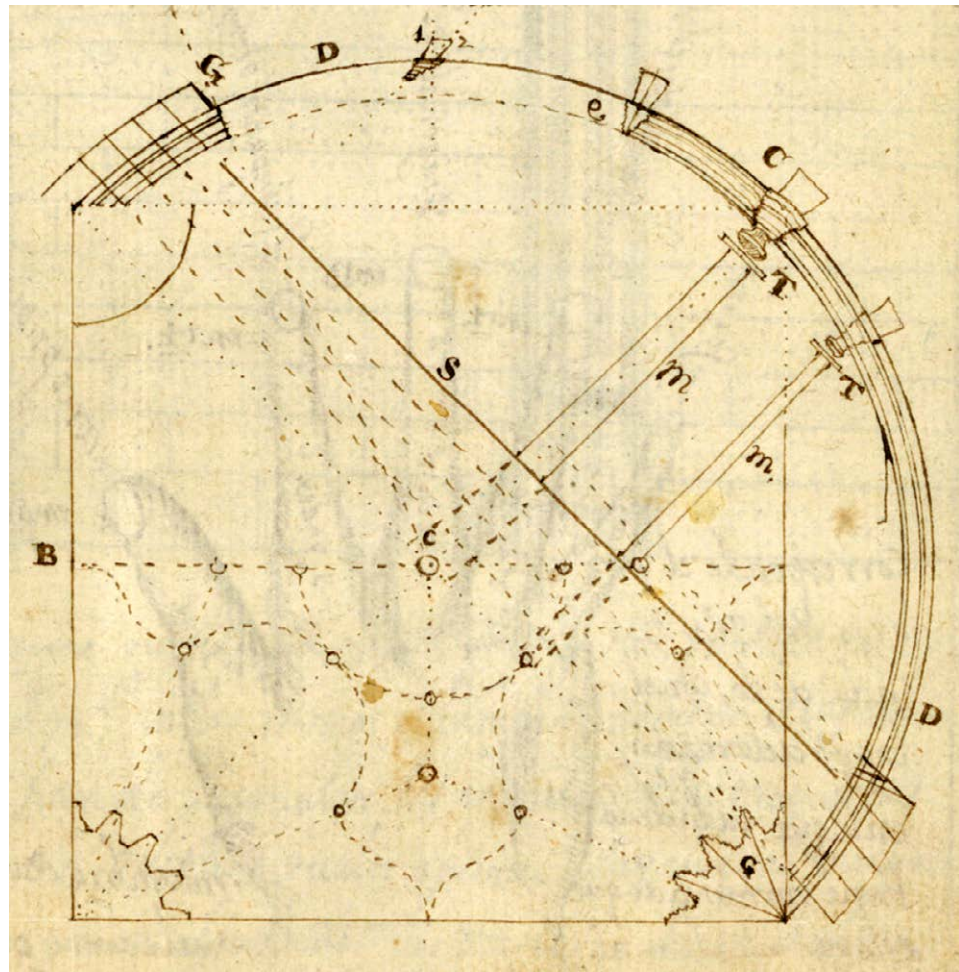


Fig. 6. Rodrigo Gil de Hontañón, *Compendio de arquitectura...* (1681), p. 25: geometric representation of a ribbed vault, plan and over turning with geometric and constructive indications.

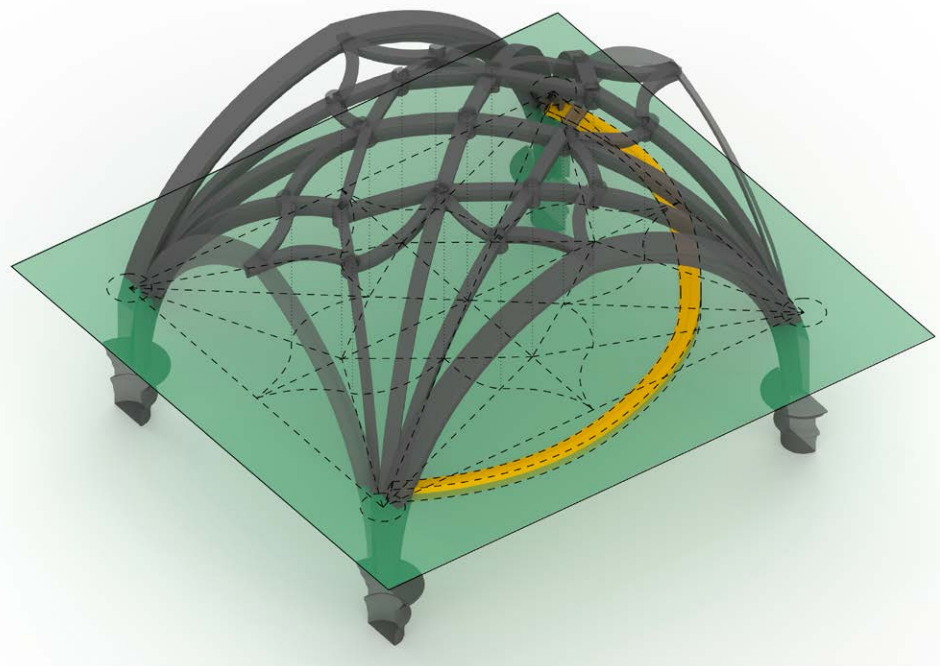


Fig. 7. Digital model of the analysed span, over turning of the cruceros arch on the impost plane of the ribbed vault (in green) above the impost blocks (*jarjamento*), (graphic elaboration A. Bortot).

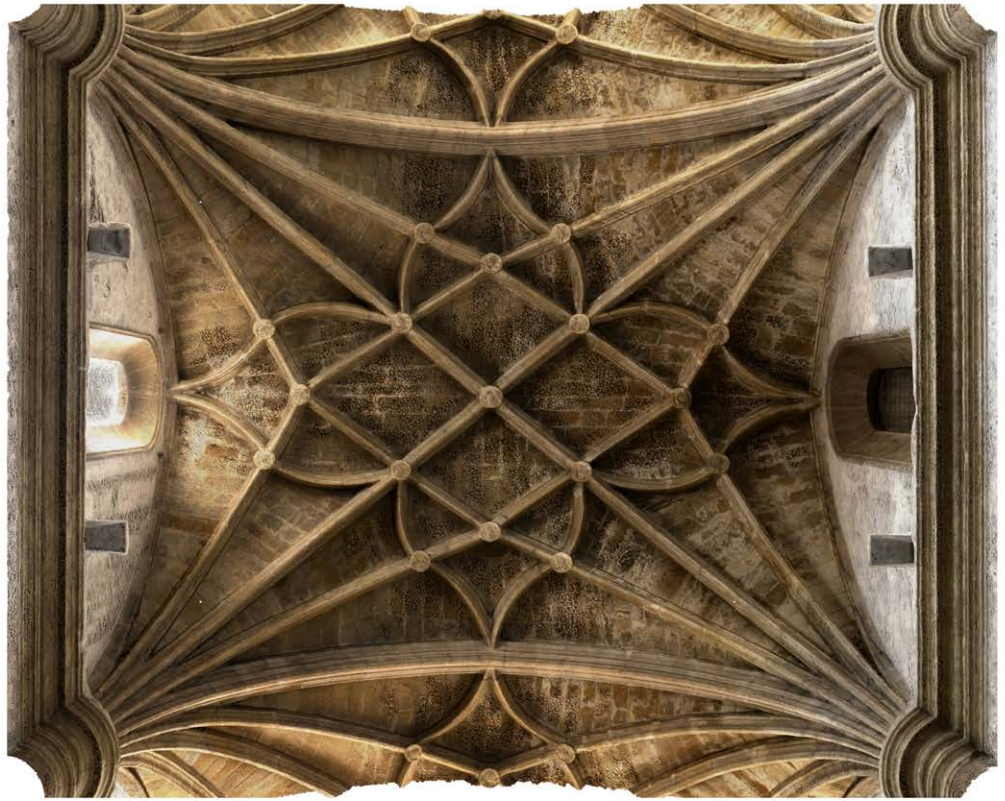


Fig. 8. Perspective view from below and axonometric view of the polygonal mesh of the central span obtained through the photogrammetric survey (graphic elaboration A. Bortot).

the placement of voussoirs, ensuring that plumb lines hanging from the keystones overlapped with their theoretical positions in the layout" [Huerta 2021, p. 208].

It was chosen to analyze the central vault of the main nave, morphologically similar to all the others (fig. 8). Ideally, it is a composite vault, consisting of a central portion of a hemispherical vault onto which are set ribs with pointed arch profiles. The vault is ideally constituted by portions of developable and non-developable surfaces (fig. 9) [J. C., Palacios 2006, p. 2420]. The vault has a rectangular base with the longer side along the *perpianos* arches (9.93m) and the shorter side in the direction of the nave (8.16m). According to the manuscript, the first construction phase involves placing the centering above the impost level, at the level of the *jarjamento*, easily identifiable by the horizontal planes between one *vousoir* and another. This level is situated 15.02 meters above the floor level. On this centering, references of the *montea* are scaled to natural size, indicating the positions of the 17 keystones (fig. 10) and the arches (fig. 11). Further overturning procedures allow identifying the radius (6.48m) and the height of the keystone, placed 4.04 meters above the impost level, and other keystones. Once the heights of the keystones are determined, they can be transferred upwards using wooden pillars to support the placement of the voussoirs through the centering. It is well demonstrated [C. J., Palacios, Moreno Dopazo 2019] that these were the only temporary structures necessary for the construction of the vault in its entirety, with the stone filling surfaces resting above the main arches [Huerta 2002a].

As anticipated, Rodrigo Gil's treatise also presents another innovative characteristic compared to other contemporary treatises: specific rules for dimensioning structural elements such as columns, buttresses, rib thicknesses, and keystones, using square root calculations [Huerta 2002b; Sanabria 1982]. Regarding vaulting systems, Gil describes an analogy between the four types of arches and a human hand, demonstrating the mindset of the time focused on finding analogies between the human body and architectural structure. Gil states that, taking a left hand with the palm facing downward (fig. 12), it represents a quarter of a vault, where: the wrist represents the vertex (*jarjamento*), the middle finger represents half of the *cruceros* arch, the pinky fingers represents half of the *formeros* arch, the thumb represents half of the *perpianos* arch, the index and ring fingers represent the *terceletes* arches. In relation to this division, he proposes an analogy between the proportion of a fingernail

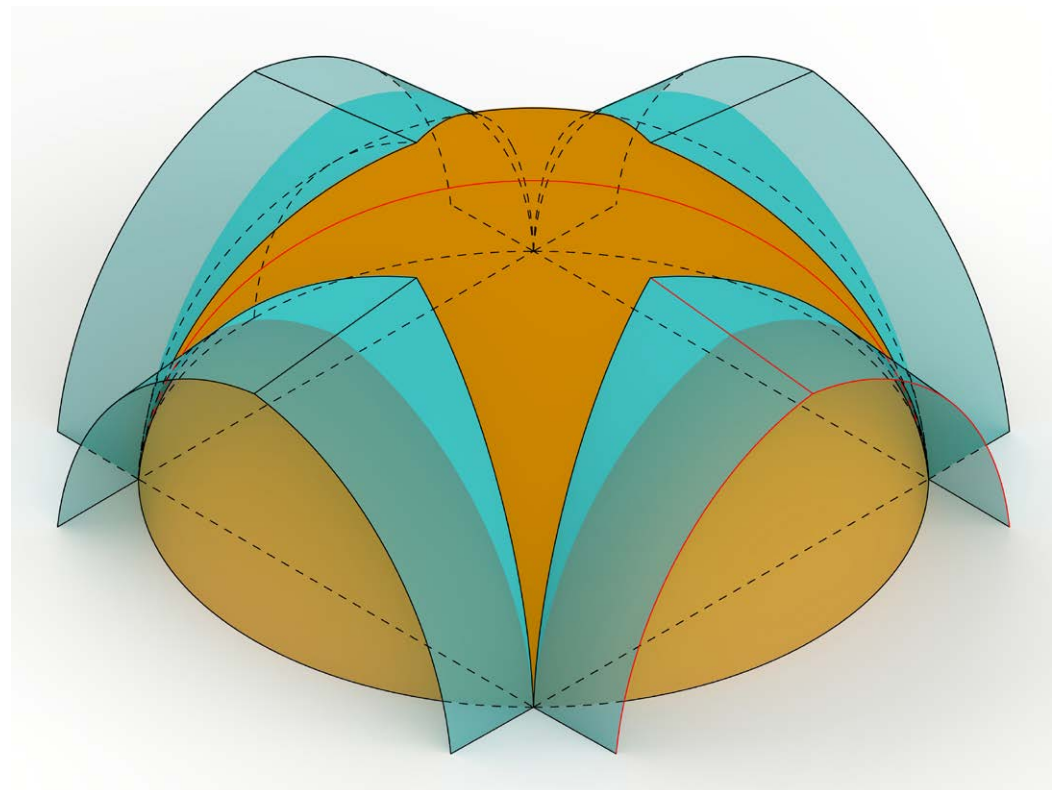


Fig. 9. Geometric interpretation of the ribbed vault according to a spherical portion and four cylindrical portions (graphic processing A. Bortot).



Fig. 10. Keyhole with angel decoration placed near the church of San Miguel (photo by A. Bortot).

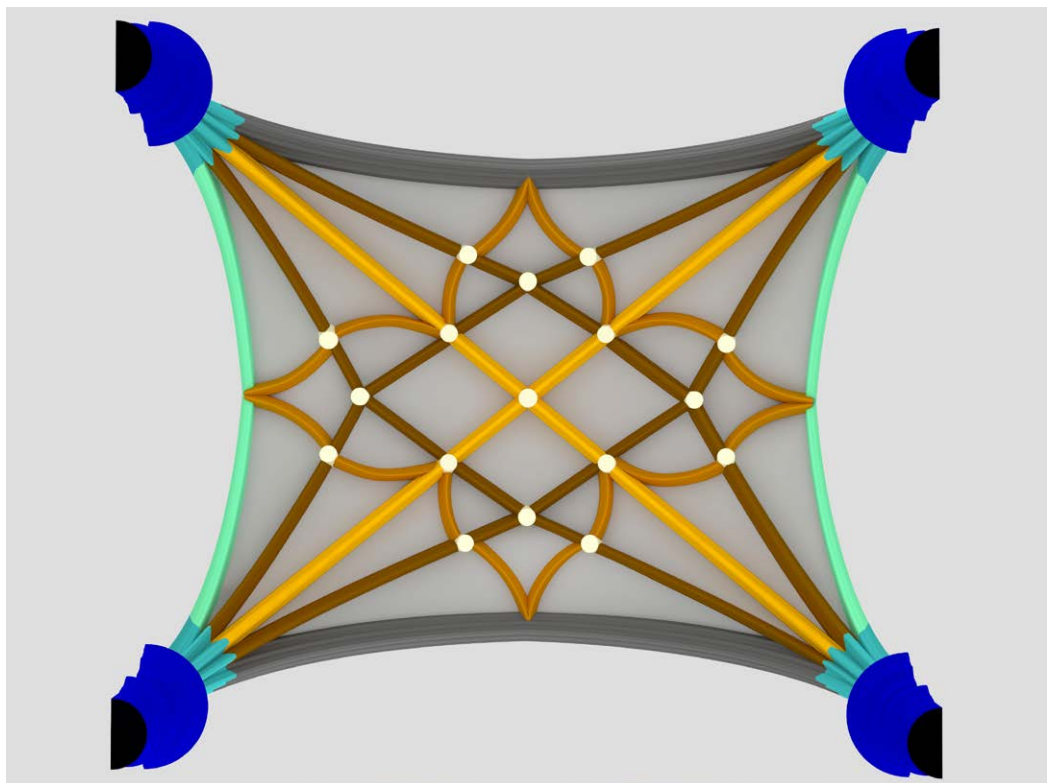


Fig. 11. Model of one of the bays of the church of San Miguel. In yellow the cruceros arches, in green the formeros arches, in grey the perpianos arches, in brown the terceletes arches, in light blue the jarjamento (graphic elaboration A. Bortot).

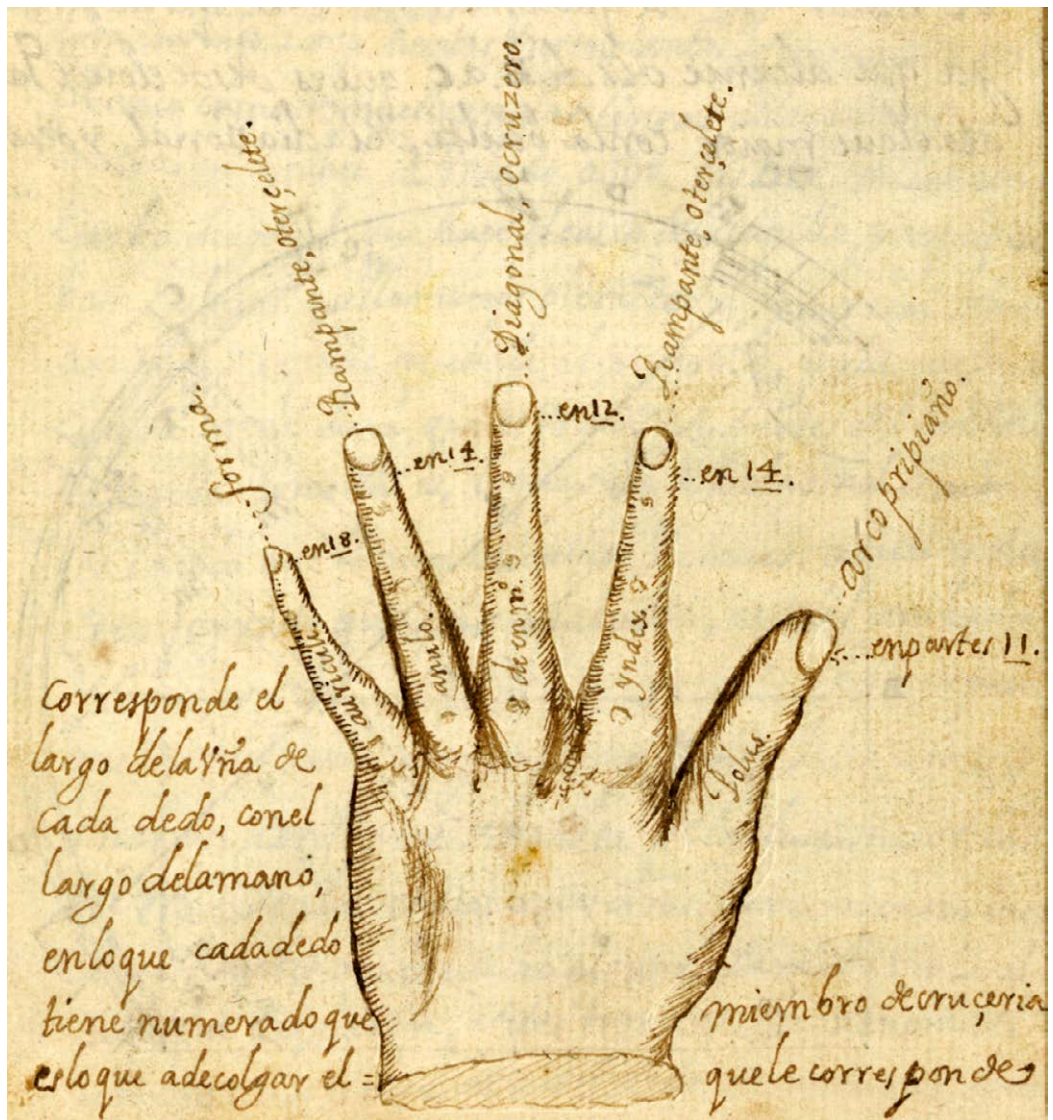


Fig. 12. Rodrigo Gil de Hontañón, *Compendio de arquitectura...* (1681), p. 26: description of the arch system of a ribbed vault through the anatomical analogy with the human hand, Rodrigo Gil also highlights the proportional relationship between the length of the nails and that of the fingers.

compared to the length of each finger, and the height of the rib profile in relation to the side of the impost square: for the *perpianos* arches he proposes a ratio of 20, for the *cruceros* arches of 24, and for the *terzianos* arches a ratio of 1/33. This allowed verifying the dimensions obtained from the survey with those obtained from the parametric calculation (tab. 1). The differences are minimal for the internal arches, while they are slightly more pronounced for the *perpianos* arches, consistent with what has already been identified by other authors. [Moreno Dopazo 2016]

Tab. 1. Metric analysis of the measured height of the profiles of the church of San Miguel compared with the rules of Rodrigo Gil de Hontañón's treatise *Compendio de arquitectura...* (1681).

Type	Profile Height [m]	Profile Height as treatise rule [m]	Difference
<i>perpianos</i>	0.50	0.45	10.56%
<i>cruceros</i>	0.37	0.38	-1.82%
<i>terceletes</i>	0.33	0.32	2.16%

Conclusions

Compared to the more usual proportional diagrams found in Renaissance European treatises, focused on the relationship between the orders of a building and elements of the human body, depicted two-dimensionally within inscribed or circumscribed figures, Rodrigo Gil appears to present a more explicit insight and spatial intent. An ancient knowledge, originating from the Gothic tradition, reinterpreted according to Renaissance anthropocentric canons, capable with Rodrigo Gil of suggesting the three-dimensionality of the body, without reducing it to an abstract two-dimensional schema based on simpler silhouettes inscribed in pseudo-orthogonal projections of buildings.

The work presented here, within the established methodology of digital knowledge that includes multispectral digital survey of the building and subsequent geometric modeling implementing the rules found in the treatise, confirms alignment with the sizing rules and construction sequences described in the treatise. Further investigation will lead to additional dimensional checks of structural and construction elements, and a more thorough analysis of deviations between the geometric model and the point cloud, to provide potential opportunities for structural recovery interventions.

Notes

[1] The survey was performed during the international summer school "Historic Masonry Structures" (27/08-10/09, Segovia, Spain), where the Church of San Miguel was one of the assigned case studies analyzed by the students.

[2] Regarding the term "ogival" it should be noted that Rodrigo Gil referred it as the diagonal arch of a vault, without primarily referring to its shape. Typically, such an arch was traced as a full round arch, resulting in pointed arch shapes for the formeros arches and perpianos arches, whose shapes are now commonly understood as "ogival".

[3] For an updated interpretation of this representation, please refer to [J. C., Palacios 2006, p. 2421]

References

- Calvo-López J. (2020). *Stereotomy. Stone Construction and Geometry in Western Europe 1200–1900*. Cham: Springer International Publishing. <<https://doi.org/10.1007/978-3-030-43218-8>>
- Camòn Aznar J. (1941). *La intervención de Rodrigo Gil de Hontañón en el manuscrito de Simón García*. In *Archivo Español de Arte*, n. 44, pp. 300–306.
- Casaseca A. C. (1988). *Rodrigo Gil de Hontañón (Rascafría, 1500 - Segovia, 1577)*. Valladolid: Junta de Castilla y León.
- García S., Rodrigo Gil de Hontañón (1681). *Compendio de arquitectura y simetría de los templos: conforme a la medida del cuerpo humano, con algunas demostraciones de geometría*.
- Hoag J. D. (1979). *Rodrigo Gil de Hontañón: his work and writings, late medieval and renaissance architecture in sixteenth century Spain*. Tesi di dottorato in Storia dell'Arte. New York: Yale University.
- Huerta S. (2002a). *Informe sobre las bóvedas del convento dominico de Nuestra Señora del Rosario*. Madrid: E.T.S. Arquitectura (UPM).
- Huerta S. (2002b). *The medieval 'scientia' of structures: the rules of Rodrigo Gil de Hontañón*. In Becchi A., Benvenuto E. (Eds.). *Towards a History of Construction. Between Mechanics and Architecture*, pp. 567–585. Basilea: Birkhäuser.
- Huerta S. (2004). *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*, pp. 207–238. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Huerta S. (2021). Building of Gothic cross vaults in the Spanish Renaissance. In Sementsov S., Leontyev A., Huerta S. (Eds.). *Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage 2021*, pp. 39–44. Londra: Routledge. <<https://doi.org/10.1201/9781003136804-8>>
- Sanz de Andrés M^a M. (2022). *Iglesia de San Miguel. Un lugar privilegiado de nuestra historia*. Segovia: Spreent Imprenta.
- Maestri D., Docci M. (1992). *Il Rilevamento architettonico. Storia, metodi e disegno*. Bari: Laterza.
- Moreno Dopazo P. (2016). Rodrigo Gil de Hontañón and 16th-Century Building Techniques: The Cimborio Vault of Archbishop Fonseca College Chapel in Salamanca (Spain). In *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 10, 8, pp. 1110–1124. <<https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1187778>>
- Moreno Dopazo P. (2017). *Trazas de montea y cortes de cantería en la obra de Rodrigo Gil de Hontañón*. Tesi di dottorato di ricerca in Architettura, relatore prof. J.C. Palacios Gonzalos. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Palacios J. C., Moreno Dopazo P. (2019). La construcción de la bóveda de crucería por Rodrigo Gil. In *Angewandte Chemie International Edition*, n. 6(11), pp. 951–952.

Palacios J. C. (2006). *The Gothic Ribbed Vault in Rodrigo Gil de Hontañón*. In Dunkeld M., et al. (Eds.). *Second International Congress on Construction History*, Cambridge 29 marzo-2 aprile 2006, vol. 3, pp. 2415–2432. Cambridge: Construction History Society.

Sanabria S. L. (1982). The mechanization of design in the 16th century: the structural formulae of Rodrigo Gil de Hontañón. In *The Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 41, n. 4, pp. 281–293. <<https://doi.org/10.2307/989800>>

Wendland D. (2013). Rodrigo Gil de Hontañón's Handbuch zum spätgotischen Kirchenbau. In Schröck K., Klein B., Bürger S. (Eds.). *Kirche als Baustelle*, pp. 339–353. Colonia: Böhlau.

Authors

Alessio Bortot, Università degli Studi di Trieste, alessio.bortot@units.it

Paolo Borin, Università degli Studi di Brescia, paolo.borin@unibs.it

To cite this chapter: Alessio Bortot, Paolo Borin (2024). La misura della Chiesa di San Miguel a Segovia. Geometria e meccanica delle volte nervate di Rodrigo Gil de Hontañón/ The Survey of the Church of San Miguel in Segovia. Geometry and Mechanics of the Ribbed Vaults of Rodrigo Gil de Hontañón. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 911-934.