

disegno 8.2021

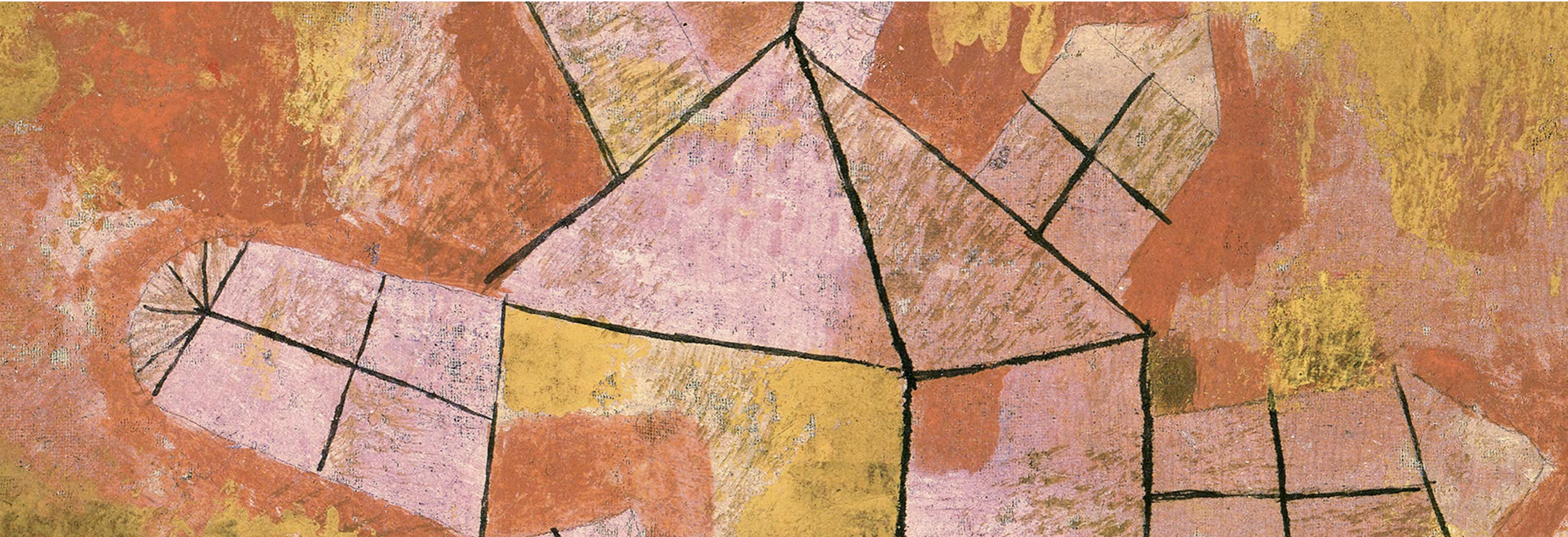


unione italiana disegno
8.2021

disegno

ISSN 2533-2899

english version



diségnó

8.2021

CONNECTING. DRAWING FOR WEAVING RELATIONSHIP

diségno



Biannual Journal of the UID Unione Italiana per il Disegno Scientific Society
n. 8/2021
<http://disegno.unioneitalianadisegno.it>

Editorial Director

Francesca Fatta, Presidente dell'Unione Italiana per il Disegno

Editor in Chief

Alberto Sdegno

Journal manager

Enrico Cicalò

Editorial board - scientific committee

Technical Scientific Committee of the Unione Italiana per il Disegno (UID)

Giuseppe Amoruso, Politecnico di Milano - Italia
Paolo Belardi, Università degli Studi di Perugia - Italia
Stefano Bertocci, Università degli Studi di Firenze - Italia
Mario Centofanti, Università degli Studi dell'Aquila - Italia
Enrico Cicalò, Università degli Studi di Sassari - Italia
Antonio Conte, Università degli Studi della Basilicata - Italia
Mario Docci, Sapienza Università di Roma - Italia
Edoardo Dotto, Università degli Studi di Catania - Italia
Maria Linda Falcidieno, Università degli Studi di Genova - Italia
Francesca Fatta, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria - Italia
Fabrizio Gay, Università luav di Venezia - Italia
Andrea Giordano, Università degli Studi di Padova - Italia
Elena Ippoliti, Sapienza Università di Roma - Italia
Francesco Maggio, Università degli Studi di Palermo - Italia
Anna Osello, Politecnico di Torino - Italia
Caterina Palestini, Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara - Italia
Lia M. Papa, Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Italia
Rossella Salerno, Politecnico di Milano - Italia
Alberto Sdegno, Università degli Studi di Udine - Italia
Chiara Vernizzi, Università degli Studi di Parma - Italia
Ornella Zerlenga, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli" - Italia

Members of foreign structures

Caroline Astrid Bruzelius, Duke University - USA
Glaucia Augusto Fonseca, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Brasile
Pilar Chías Navarro, Universidad de Alcalá - Spagna
Frank Ching, University of Washington - USA
Livio De Luca, UMR CNRS/MCC MAP, Marseille - Francia
Roberto Ferraris, Universidad Nacional de Córdoba - Argentina
Ángela García Codoñer, Universitat Politècnica de València - Spagna
Pedro Antonio Janeiro, Universidade de Lisboa - Portogallo
Michael John Kirk Walsh, Nanyang Technological University - Singapore
Jacques Laubscher, Tshwane University of Technology - Sudafrica
Cornelie Leopold, Technische Universität Kaiserslautern - Germania
Carlos Montes Serrano, Universidad de Valladolid - Spagna
César Otero, Universidad de Cantabria - Spagna
Guillermo Peris Fajarnes, Universitat Politècnica de València - Spagna
José Antonio Franco Taboada, Universidade da Coruña - Spagna

Editorial board - coordination

Paolo Belardi, Enrico Cicalò, Francesca Fatta, Andrea Giordano, Elena Ippoliti,
Francesco Maggio, Alberto Sdegno, Ornella Zerlenga

Editorial board - staff

Laura Carlevaris, Massimiliano Ciammaichella, Enrico Cicalò, Luigi Cocchiarella,
Massimiliano Lo Turco, Giampiero Mele, Valeria Menchetelli, Barbara Messina,
Cosimo Monteleone, Paola Puma, Paola Raffa, Veronica Riavis, Cettina Santagati,
Alberto Sdegno (delegate of Editoria board – coordination)

Graphic design

Paolo Belardi, Enrica Bistagnino, Enrico Cicalò, Alessandra Cirafici

Editorial office

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

Cover

Paul Klee, *Revolving house, 1921. Detail.*

The articles published have been subjected to double blind peer review, which entails selection by at least two international experts on specific topics. For Issue No. 8/2021, the evaluation of contributions has been entrusted to the following referees:

Fabrizio Agnello, Piero Albisinni, Marinella Arena, Marcello Balzani, Carlo Bianchini, Enrica Bistagnino, Stefano Brusaporci, Massimiliano Campi, Maria Grazia Cianci, Alessandra Cirafici, Francesco Di Paola, Tommaso Emler, Laura Farroni, Massimiliano Lo Turco, Federica Maietti, Marco Muscogiuri, Pilar Chías Navarro, Sandro Parrinello, Maria Elisabetta Ruggiero, Salvatore Santuccio, Giovanna Spadafora, Roberta Spallone, Marco Vitali, Andrea Zerbi

Consultant for English translations Elena Migliorati.

Published in June 2021

ISSN 2533-2899



8.2021

diségno

7 *Francesca Fatta*

Editorial

9 *Agostino De Rosa*

Cover

So Distant, almost Close

22 *Mario Ridolfi*

Image

Love Knot

23 *Massimo Mariani*

Mario Ridolfi's *Love Knot*

CONNECTING. DRAWING FOR WEAVING RELATIONSHIP

29 *José María Gentil Baldrich*

Prometheus. Theory and Technique

A Reflection on the Spanish Expresión Gráfica Arquitectónica at the Zaragoza Congress "Pingui Minerva"

35 *Alessio Bortot*

The Sphere between Stereotomy and Cartography. From Stony Traits to the Representation of the Cosmos

47 *Giorgio Buratti*
Sara Conte
Valentina Marchetti
Michela Rossi

Weaving Ontology: Patterns of Textile Structures from the Knot to the Digital Lace

59 *Matteo Del Giudice*
Emmanuele Iacono

Algorithmic Approach for the Application of Graphic Standards in the BIM Environment

73 *Francesco Cervellini*

Metis. The Mutation of Form

Connecting. Notes and Exercises for a Theory of the Practice of *Disegno* of the Visual Form

87 *Pablo J. Juan-Gutiérrez*

Reversible Ideas, Irreversible Drawings.
Time as a Connector in Architectural Drawing

97 *Nicolas Turchi*

The Architecture of Spacetime: Memory as a Project

109 *Starlight Vattano*

Bodily Simultaneity in Avant-garde Art. Graphic Readings and Schemas

Mnemosyne. The Construction of Memory

- 123 Giuseppe Amoruso The Crown of Thorns of Notre-Dame de Paris, Mythological Representations of Memory
- 131 Salvatore Damiano Drawing Space in the Places of Myth: Luigi Moretti and Sicily
- 143 Giuseppe Antuono
Valeria Cera
Vincenzo Cirillo
Emanuela Lanzara *In-between Places. Multi-Scale Digital Hybridations of the Campania Caves&Quarries System*
- 157 Ilaria Trizio
Francesca Savini
Adriana Marra
Andrea Ruggieri The Virtual Tour as a Digital Tool for Linking the Disciplines of the Drawing and the Archaeology of Buildings
- 169 Fabrizio Agnello
Laura Barrale Reconnecting Past and Present with Old Photos. Reconstruction of the Church of the Stimmate in Palermo

Hermes. The story of Place and Things

- 183 Alessandra Cirafici Armed Architecture/Weapons of Architecture
- 197 Elena Ippoliti
Andrea Casale Representations of the City. The Diffuse Museum *The Esquilino Tales*
- 211 Graziano Mario Valenti
Alessandro Martinelli Aspects and Criticalities of the Fruition in Subjective of the Digital Space: the 'First Person View'
- 221 Giorgio Garzino
Maurizio Marco Bocconcino
Mariapaola Vozzola
Giada Mazzone From the Representation of Urban Vulnerability: the Drawing of Graphic Abacuses for the Project

RUBRICS

Readings/Rereadings

- 237 Massimiliano Ciammaichella Remember, You Are an Artist, Not a Scholar. Six Drawing Lessons by William Kentridge

Reviews

- 247 Ornella Zerlenga Massimiliano Ciammaichella (2021). *Scenografia e prospettiva nella Venezia del Cinquecento e Seicento. Premesse e sviluppi del teatro barocco*. Napoli: La scuola di Pitagora editrice
- 250 Francesco Maggio Elena Ippoliti (2020). *Il disegno per Gaetano Rapisardi. Progetti per Siracusa tra cronache e storia*. Milano: Franco Angeli
- 253 Andrea Giordano Veronica Riavis (2020). *La Chiesa di Sant'Ignazio a Gorizia tra architettura e pittura. Analisi geometrica e restituzioni per la rappresentazione tattile*. Trieste: EUT Edizioni Università di Trieste
- 256 Eduardo Carazo Lefort Roberta Spallone, Marco Vitali (2020). *Sistemi voltati complessi: geometria, disegno, costruzione*. Canterano (Roma): Aracne editrice
- 259 Enrica Bistagnino Alessandra Cirafici, Ornella Zerlenga (2020). *WordLikeSignMovie. Content switch*. Napoli: La scuola di Pitagora editrice

262 *Emanuela Chiavoni* Giorgia Aureli, Fabio Colonnese, Silvia Cutarelli (a cura di). (2020). *Intersezioni. Ricerche di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura*. Roma: Artemide edizioni

Events

267 *Cecilia Bolognesi* *Documentazione & Digitale 2020 Rome*. Knowledge and communication of Cultural Heritage

270 *Elena D'Angelo* Workshop 3D Modeling & BIM. *Digital Twin*

273 *Letizia Bollini* *Remediating Distances*. Presentation of IMG Journal 3/2020

276 *Alessandro Luigini* Second Annual Travelling Meeting of the *XYdigitale* Project and the *XY* Journal

281

The UID Library

285

UID Awards 2020

La sfera tra stereotomia e cartografia. Dai tracciati lapidei alla rappresentazione del cosmo

Alessio Bortot

Abstract

All'interno della Cattedrale di Murcia si trova un importante repertorio di sistemi voltati, di grande raffinatezza strutturale e decorativa realizzati con tecniche stereotomiche. Tra le figure coinvolte nella costruzione di questa imponente fabbrica ci sono l'architetto e pittore Jacopo Torni (1476-1526) e il trattatista Alonso de Vandelvira (1544-1626). Il presente contributo si concentra sull'analisi dei tracciati di due originali casi studio presenti nel trattato di Vandelvira: la volta anulare ad asse orizzontale a copertura della Capilla de Junterón e quella semisferica con orditura decorativa elicoidale che interessa lo spazio dell'anti-sagrestia. Verrà quindi offerta una restituzione digitale dei casi studio, destinata a evidenziare le genesi geometrica del loro congiunto lapideo attraverso l'intersezione tra volumi architettonici ed enti geometrici fondamentali.

Il contributo si vuole inoltre interrogare sul rapporto tra stereotomia, astrolabica e cartografia, ipotizzando come gli strumenti per l'osservazione e il calcolo dei fenomeni celesti (astrolabi e planisferi) possano essere stati assunti quali modelli ispiratori per la suddivisione in conci di alcune superfici voltate. Mappe celesti e terrestri, intese come proiezioni sul piano di modelli spaziali, potrebbero quindi aver indirettamente influito sulla storia delle costruzioni attraverso una logica di suddivisione in conci che avrebbe risolto il problema dello sviluppo piano della sfera secondo logiche cartografiche, ovvero approssimando meridiani e paralleli a porzioni di superfici rigate.

Parole chiave: stereotomia, cartografia, Cattedrale di Murcia, sistemi voltati, volte sferiche, Alonso de Vandelvira.

La volta nella Capilla de Junterón

La Cattedrale di Murcia (Spagna) è il frutto di un'intensa attività edificatoria che si protrasse dal 1491, con l'inizio della costruzione della Capilla de los Vélez, al 1570 [Gutiérrez-Cortines Corral 1987]. Tra i principali promotori di questa vicenda troviamo il protonotario apostolico don Gil Rodríguez de Junterón (1480?-1552), prelado che visse e lavorò a Roma per alcuni anni all'inizio del Cinquecento. Rientrato in patria, Junterón decise di far edificare una cappella funeraria che prese il suo nome e che ad oggi risulta tra le più mirabili dal punto di vista della complessità formale e degli apparati decorativi dell'intero edificio. Più in generale, il complesso religioso murciano rappresenta una testimonianza esemplare della scuola stereotomica spagnola che vede tra i suoi più importanti trattatisti Alon-

so de Vandelvira (1544-1626). Questa cappella, così come quelle realizzate nella Cattedrale nel secondo decennio del 1500, risente di un gusto stilistico riconducibile al Rinascimento italiano, in particolare alla produzione architettonica di Filippo Brunelleschi (1377-1446), di Bramante (1444-1514) e di Michelangelo (1475-1564). Questo non deve stupire se consideriamo che molti di questi ambienti vennero realizzati in quegli anni dal pittore e architetto Jacopo Torni (1476-1526), detto Jacopo Fiorentino [1]. Oltre alla cappella funeraria per Junterón, il Torni fu autore del primo ordine della torre campanaria, della sagrestia, dell'anti-sagrestia e del passaggio voltato che connette i due ambienti. Il presente contributo descriverà alcune ipotesi sulle possibili strategie geometriche impiegate *illo tem-*



Fig. 1. Nuvola di punti della volta della Capilla de Junterón (elaborazione digitale A. Bortot).

pore per la determinazione del congiunto stereotomico della volta che caratterizza la Capilla de Junterón e quello che interessa lo spazio dell'anti-sagrestia.

La Capilla de Junterón (fig. 1) è caratterizzata da una pianta rettangolare, coronata da due semicirconferenze sui lati corti, definita da Vandelvira come "ovalada", ovvero come un ovale imperfetto. Sappiamo che nella prassi compositiva dell'epoca una tale configurazione planimetrica prevedeva di norma una volta a botte a copertura della porzione rettangolare e di due quarti di sfera a coprire le due testate delle restanti parti curvilinee. La soluzione del Tornì risulta invece piuttosto desueta: egli impiegò infatti una volta anulare identificabile con un quarto di toro, risultato della rivoluzione di 180° di uno dei suoi semi-equatori attorno all'asse trasversale appartenente al piano d'imposta (fig. 2a) [2]. L'ambiente viene illuminato da alcune piccole finestre presenti sulle superfici verticali, ma anche da una lanterna

cilindrica posta nella parte centrale, alla sommità della volta. Come è noto, più usuale è l'impiego di un semi-toro a copertura di porticati circolari già in epoca romana: in quel caso però l'asse di rotazione assume direzione verticale, come avviene, ad esempio, nel Mausoleo di Santa Costanza a Roma (340 ca.). Nel suo trattato, Vandelvira [de Vandelvira 1585ca.; Barbé-Coquelin de Lisle 1977] suggerisce di suddividere la superficie impiegando due serie di coni coassiali: la prima serie con vertice comune e asse orizzontale coincidente con quello trasversale della pianta; la seconda, con l'asse che assume la medesima direzione, ma con vertici variabili [Calvo López 2005, pp. 123-136] [3]. Il trattatista spagnolo afferma che il metodo necessario all'ottenimento dell'apparato stereotomico è il medesimo impiegato per la *capilla redonda en vuelta redonda*, ovvero per una volta semisferica. Seppur inquadrando entrambe le superfici come prodotto della rivoluzione di una circonferenza attorno a

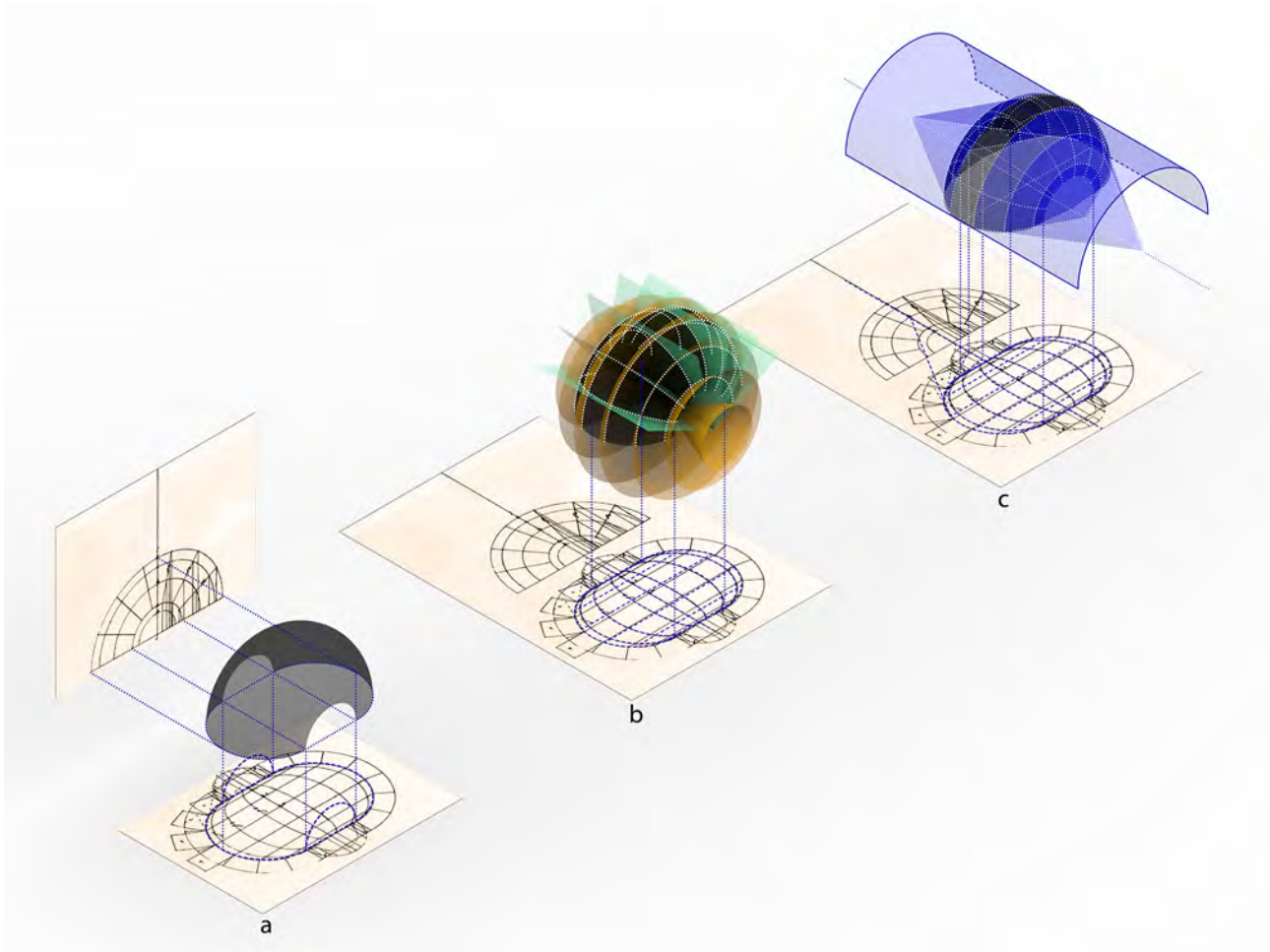


Fig. 2. Ricostruzione geometrica dalla tavola del trattato di Alonso de Vandelvira (a); studio della suddivisione dell'apparato stereotomico in meridiani e paralleli (b) e dell'approssimazione delle facce di intradosso dei conici a porzioni di conici (c) (elaborazione digitale A. Bortot).

un asse, la soluzione poc'anzi esposta crea un certo stupore, o meglio necessita di maggiore approfondimento per la sua comprensione. Il problema è ricorrente nella trattatistica del periodo e si riferisce nello specifico all'impiego di superfici rigate per approssimare le facce di intradosso di ciascun concio: queste, infatti, essendo porzioni di una sfera, risultano essere superfici a doppia curvatura, dunque non sviluppabili e difficilmente riconducibili ai cosiddetti "panneaux". I coni in esame avranno quindi un asse comune, ma vertice variabile in funzione dell'inclinazione delle generatrici che, avvicinandosi all'equatore della superficie, tendono sempre più al parallelismo rispetto all'asse di rivoluzione, fino al caso limite, in prossimità del detto parallelo notevole, dove il cono si presenta a vertice improprio e quindi approssima le facce di intradosso a porzioni di cilindro (fig. 2c). L'impiego di superfici rigate sviluppabili per tali contesti configurativi divenne una prassi consolidata, una sorta di scorciatoia geometrica capace di garantire un margine di approssimazione accettabile, come dimostrato da altri autori [Rabasa-Díaz 2000, pp. 174, 175]. Il problema continuerà ad attrarre l'attenzione degli studiosi, ma sarà necessario attendere i primi decenni del 1700 e l'opera di Jean-Baptiste de La Rue (1697-1743) per trovare soluzioni geometriche più raffinate, basate di fatto su un metodo che oggi definiremmo "di ribaltamento" [Bortot, Calvo López 2020, pp. 21-34]. In ogni caso, la determinazione delle superfici intradossali dei concii, approssimate grazie alle rigate tangenti ai vari paralleli che ne delimitavano i letti orizzontali, veniva successivamente raffinata attraverso l'impiego di uno strumento definito "bevel": si tratta di una sorta di squadra, formata da un'asta rettilinea da orientarsi verso il centro della cupola, alla quale si incernierava un ulteriore braccio, il cui profilo era un arco di circonferenza [Palacios 1987].

Le tavole del trattato di Vandelvira che accompagnano la descrizione della volta della cappella Junterón sono due: entrambe mostrano la superficie attraverso una coppia di proiezioni ortogonali, nello specifico una vista superiore e una frontale. Mentre la prima tavola si concentra sui tracciati delle fughe dei concii tra loro coordinati, la seconda propone un apparato decorativo a costoloni che si integra alla struttura (fig. 3). L'osservazione della volta in loco durante le operazioni di rilievo strumentale e la successiva analisi dei tracciati desunti dal trattato hanno permesso di ipotizzare gli enti geometrici che, una volta intersecati con la porzione di volta anulare, avrebbero permesso la definizione dei relativi meridiani e paralleli: essi sarebbero dunque riconducibili a una serie di coni, questa volta

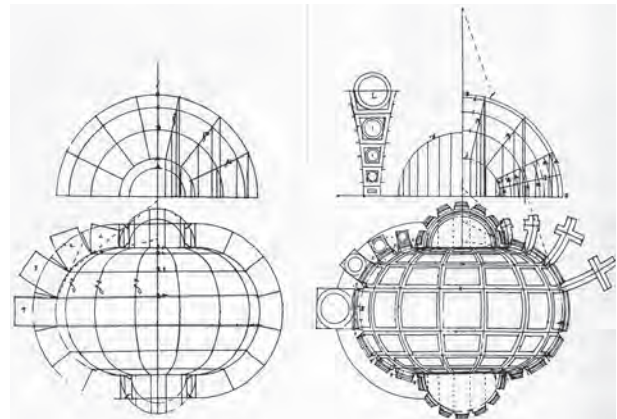


Fig. 3. A sinistra: la Bóveda de Murcia, dal manoscritto di A. de Vandelvira; a destra: la Bóveda de Murcia por cruceros, dal manoscritto di A. de Vandelvira.

con vertice comune coincidente con il centro dell'ovoide e ad asse orizzontale (coincidente con quello trasversale dell'ovoide) i quali, compenetrandosi con la porzione di toroide, generebbero paralleli analoghi a quelli definiti graficamente da Vandelvira. Invece, attraverso l'intersezione con la medesima superficie di un fascio di piani ad asse orizzontale viene garantita la genesi di semi-circonferenze nello spazio. Queste, una volta proiettate sul piano geometrico, delineano i meridiani sotto forma di archi di ellisse (fig. 2b). Quest'ultima soluzione è quella che meglio approssima il tracciato di Vandelvira e tra l'altro è quella che, come diremo più avanti, risulta applicabile anche alla suddivisione in concii di una volta emisferica, capace quindi di offrire una chiave interpretativa a quanto affermato dal trattatista andaluso in relazione alla presunta analogia stereotomica tra volte sferiche e volte anulari. Oltre che per la sua originalità configurativa, la volta descritta stupisce per l'iper-decorativismo che la caratterizza: immagini pagane, spesso perturbanti, si contorcono ed emergono dai singoli blocchi lapidei, ma sembrano alludere, più che a una dimensione funerea, a un suo catartico superamento, a un'ascesi verso l'eterno [Vilella 1998, p. 93]. Gli altorilievi scultorei infine testimoniano una tendenza della pratica stereotomica in ambito iberico che demarca una significativa differenza rispetto ai casi coevi presenti in territorio francese: questi ultimi infatti mostrano il più delle volte una purezza strutturale priva di sovrastrutture decorative. In-

fine la complessità di questo apparato lascia presupporre che le forme plastiche siano state scavate dopo la realizzazione della volta, e che quindi i singoli blocchi siano stati sovradimensionati verso la superficie di intradosso per venire poi scavati al fine di far emergere l'impianto decorativo.

Lo spazio voltato dell'anti-sagrestia

La volta a copertura dell'anti-sagrestia della Cattedrale di Murcia (fig. 4), realizzata nei primi decenni del 1600, risulta nuovamente legata al trattato di Vandelvira, dove viene identificata come «*capilla redonda en vuela capazo*». La volta emisferica si imposta su quattro pennacchi sferici che si appoggiano ad altrettanti archi, a loro volta in continuità con i muri che delimitano l'ambiente a pianta quadrata. Probabilmente a causa del crollo in fase costruttiva del primo livello adiacente la torre campanaria, la struttura ha subito significative deformazioni tutt'oggi visibili, sebbene il restauro del 2001 abbia in parte addolcito le difformità tra i conci presenti sulla volta, ma soprattutto tra quelli del pennacchio posto a nord-est. Il sopralluogo ha permesso anche di osservare la superficie di estradosso della cupola grazie a un passaggio di servizio che consente di accedere all'ambiente sovrastante l'anti-sagrestia. Nella superficie estradosata i conci appaiono comunque sbazzati con una certa precisione a seguire l'andamento sferico dell'intradosso come in un'operazione di offset tridimensionale. Compare inoltre la presenza di un legante a rafforzare la connessione tra i giunti, probabilmente inserito durante i restauri di cui si è detto. Si tratta di un esempio piuttosto raro di suddivisione in conci di una calotta sferica secondo un andamento dei blocchi che segue un congiunto elicoidale. Come già osservato da José Calvo López [Calvo López 2005], una raffigurazione del problema appare nel manoscritto di Vandelvira (fig. 5a) e in quello di Philibert de L'Orme (1514-1570) [de L'Orme 1567], il quale la definisce «*en forme d'une coquille de limaçon*» (fig. 5b). Il confronto con la tavola proposta da de L'Orme evidenzia fin da subito una certa incongruenza se rapportata alla volta murciana. In essa infatti l'altezza dei filari risulta all'incirca costante, il che comporta il fatto che, proiettando sul piano orizzontale il tracciato dell'elica, ne risulta una spirale logaritmica (con distanza tra le spire crescente) e non archimedeica (con distanza tra le spire costante). Se infatti contro-proiettassimo la spirale logaritmica delormiana, immaginata giacente sul piano d'imposta, sulla superficie emisferica otterremmo un'elica sferica con altez-

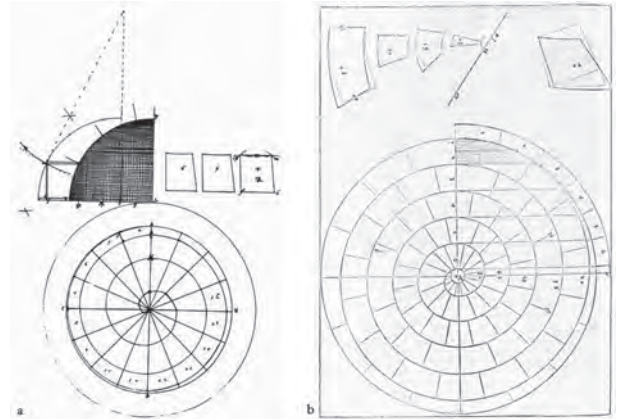


Fig. 4. Vista assonometrica del modello mesh texturizzato della volta dell'anti-sagrestia (elaborazione digitale A. Bortot).

Fig. 5. A sinistra: la *Capilla redonda en vuela capazo* dal manoscritto di Vandelvira; a destra: la *voute en forme d'une coquille de limaçon* da *Le premier tome de l'Architecture* di Philibert de L'Orme.

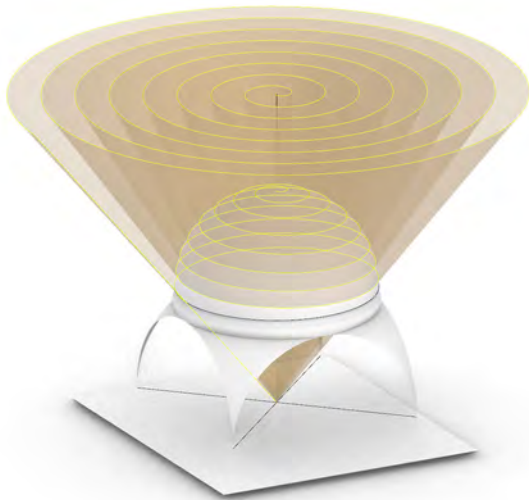


Fig. 6. Ricostruzione dell'elica sferica che caratterizza i giunti di letto dei conci della volta dell'anti-sagrestia (elaborazione digitale A. Bortot).

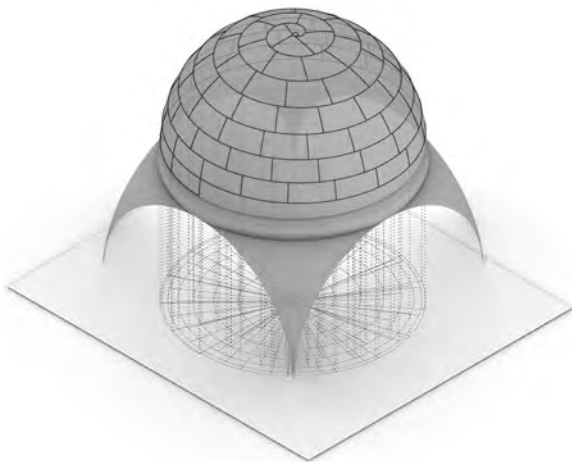


Fig. 7. Ricostruzione della suddivisione della volta in giunti verticali (elaborazione digitale A. Bortot).

za variabile tra le spire e quindi tra i filari. L'incongruenza grafica poc'anzi descritta è riscontrabile anche nel manoscritto di Hernán Ruiz el Joven (1514-1569), in quello di Jean Chéreau pubblicati rispettivamente nel 1560 e nel 1570, solamente per citare alcuni degli autori che si sono occupati di questo problema [4]. L'analisi condotta da Calvo López sul tracciato di Alonso de Vandelvira evidenzia invece come la tavola rappresenti la spirale in proiezione planimetrica a partire dell'elica spaziale che si desidera ottenere. Il procedimento consiste nel determinare dapprima l'altezza di ciascun filare di conci, dividendo la sezione verticale in parti uguali. Si ripartisce la circonferenza della pianta nello stesso numero di blocchi e conducendo poi da questi punti delle rette verso il centro della volta, si ottengono le direzioni dei meridiani della superficie sferica proiettate sul piano geometrico. In seguito, proiettando i settori individuati in sezione, sarà possibile individuare la distanza costante tra le spire in prima proiezione sulle rette definenti le porzioni dei meridiani. A questo punto sarà possibile tracciare la prima proiezione della spirale conoscendone il centro e il passo tra le spire coerentemente con la sezione verticale. Alla spirale così definita corrisponderà un'elica spaziale riferibile all'andamento dei giunti di letto dei vari blocchi che risulteranno conseguentemente tutti diversi tra loro. I disegni di de l'Orme e degli altri autori citati, ad eccezione di Vandelvira, risultano decisamente impraticabili in sede esecutiva: difficilmente uno scalpellino avrebbe accettato di lavorare su una struttura stereotomica composta da filari con altezze diverse, a meno che non fosse presente una precisa ragione statica, difficilmente riscontrabile nel caso in esame.

La ricostruzione digitale della volta della Cattedrale di Murcia è basata sull'analisi geometrica del manufatto attraverso un modello mesh mappato della superficie di intradosso ottenuto con tecniche riconducibili alla fotogrammetria multi-stereo [5]. Tenendo in considerazione le deformazioni della volta dovute al crollo in fase costruttiva dell'adiacente torre campanaria, una prima indagine si è concentrata sull'identificazione della curva spaziale che caratterizza i giunti di letto. Inizialmente si è infatti ipotizzato che si potesse trattare di una lossodromia, curva nota, come sappiamo, in ambito nautico per il tracciamento delle rotte di navigazione e capace di unire due punti qualsiasi sulla superficie terrestre intersecando tutti i meridiani con lo stesso angolo (la curva complementare invece, detta "ortodromia", unisce due punti secondo l'arco di minore lunghezza). Il ridisegno dell'elemento in esame direttamente sul clone digitale

ha invece permesso di dimostrare che la curva si avvicina, seppur con una certa approssimazione, a un'elica sferica. Le analisi preliminari hanno quindi permesso la ricostruzione di un modello digitale rettificato della volta dell'anti-sagrestia e soprattutto della relativa suddivisione in conci. I "paralleli" (per semplicità così definiamo i giunti disposti lungo l'elica sferica) sono stati ottenuti intersecando la semisfera con un cono il cui vertice è stato posizionato al centro del quadrato definito sul piano di imposta della volta, e la cui direttrice è una spirale archimedeica con un numero di passi pari a quelli realmente esistenti (fig. 6). I "meridiani" invece, ovvero i giunti verticali, sono stati ricavati suddividendo la spirale direttrice del cono in un numero di segmenti pari a quelli esistenti e quindi tracciando delle rette congiungenti gli estremi di ciascun segmento con il centro della curva. Successivamente sono state proiettate sulla calotta le porzioni di retta comprese tra una spira e l'altra (fig. 7). È stato infine eseguito un *offset* della superficie d'intradosso per ottenere quella di estradosso, passando da un modello per superfici a un modello solido suddiviso in conci (fig. 8) nel quale ciascun blocco ha come facce di testa porzioni di cono, e facce di giunto piane. Il modello digitale così ottenuto ha in parte rettificato lo stato reale di conservazione del manufatto, non considerando le deformazioni dovute al crollo dell'adiacente torre, rispettando però il numero e la forma dei singoli conci. Per tale ragione non dovrà stupire l'allineamento tra i giunti verticali di filari consecutivi che a volte si verifica nella volta dell'anti-sagrestia, sebbene ciò risulti meno efficiente dal punto di vista strutturale.

Il caso studio appena descritto evidenzia le forti influenze esercitate dalla pratica stereotomica spagnola in ambito francese, tanto che Jean-Marie Pérouse de Montclos sottolinea come «la semplice comparazione degli apparati stereotomici risalenti al XVI secolo porta a riconoscere alla Spagna il ruolo di iniziatrice» [Pérouse de Montclos 1982, p. 212]. Lo stesso autore però afferma che il caso della *capilla redonda en vuela capazo*, definita da de l'Orme «en forme d'une coquille de limaçon», altro non sia che una sorta di capriccio, una virtuosistica suddivisione in conci di una volta emisferica troppo complessa per divenire un modello di successo. In effetti non sono molti gli esempi analoghi, sebbene in territorio spagnolo congiunti simili si possano osservare talvolta a copertura di scale elicoidali, come quella presente nella torre del Palacio de los Guzmanes a León (seconda metà del XVI secolo) o quella della Cattedrale di Plasencia o ancora, quella del Monastero di Santa Catalina a Talavera de la Reina.

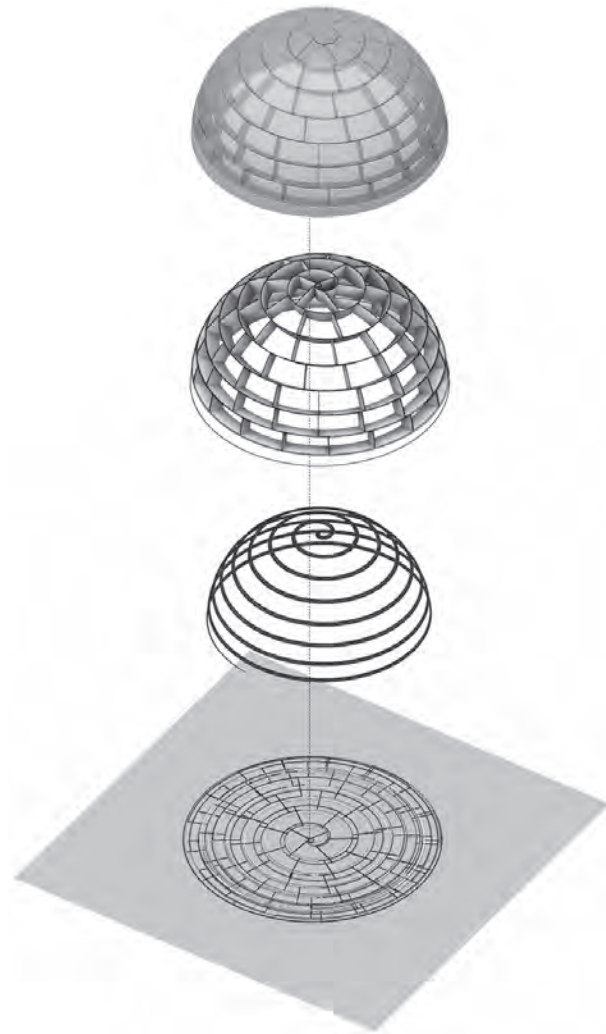
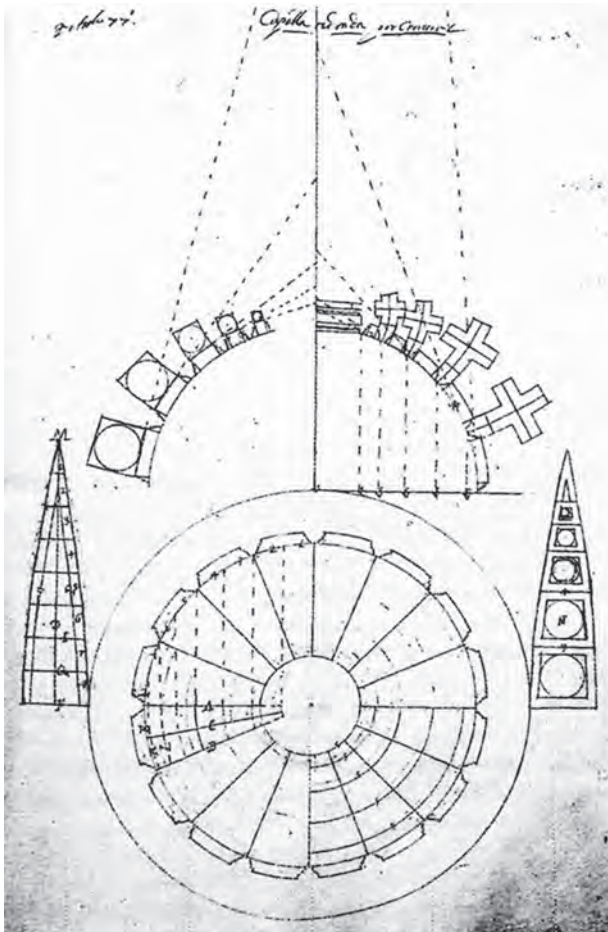


Fig. 8. Esploso assonometrico della volta dell'anti-sagrestia con i conci stereotomici che la compongono (elaborazione digitale A. Bortot).



Stereotomia e cartografia

Sappiamo che Vandelvira si occupò della realizzazione delle volte emisferiche a copertura dei corridoi della Casa Lonja de Mercaderes a Siviglia (1572) il cui progetto complessivo fu affidato a Juan de Herrera de Maliaño (1530-1597), celebre per aver contribuito alla realizzazione dell'Escorial (1594). La Casa, concepita inizialmente come luogo di scambio tra mercanti in ragione anche delle rotte che si erano aperte verso il Nuovo Mondo, diverrà anche sede dell'Archivio Generale delle Indie. In tale luogo non avvenivano però solamente transazioni di tipo economico, ma anche scambi di tipo culturale legati alla nuova rappresentazione geografica e, più in generale, a una nuova concezione dell'orbe terrestre. Vincenzo Minenna esalta in questo contesto il ruolo culturale a livello europeo di Siviglia, affermando che nella Casa de Mercaderes «si studiavano le teorie sui tracciati sferici del *Tratado de la Esfera* di Pedro de Apiano, i metodi di misurazione cartografica di Martin Cortes e la rappresentazione geografica attraverso l'uso dei planisferi» [Minenna 2014, p. 32]. Lo stesso autore denuncia un'implicita parentela tra l'affermarsi di queste nuove rappresentazioni del mondo e la scelta di sostituire le coperture piane lignee degli ambienti interni a detto edificio, presenti nel primo progetto, con una serie di volte a vela in pietra. Di certo tra le figure di spicco nel panorama sivigliano di quegli anni troviamo Alonso de Santa Cruz (1505-1567), cosmografo di Carlo V e Filippo II, nonché autore dell'*Islario general de todas las islas del mundo* (1541) e coautore del *Padrón Real*, una mappa geografica segreta ad uso dei naviganti, continuamente aggiornata in funzione delle scoperte che avvenivano in quegli anni. Allargando il campo d'indagine al contesto europeo, gioverà ricordare che nel suo *Underweysung der Messung* (1525) Albrecht Dürer (1471-1528) aveva già proposto un metodo, utile alla realizzazione dei mappamondi, per sviluppare sul piano la superficie sferica attraverso una sua suddivisione in fusi, soluzione che ovviamente comportava un certo grado di approssimazione. Le illustrazioni di Dürer dimostrano significative analogie con quelle proposte da Vandelvira per la *Capilla redonda por cruceros* (fig. 9), nella quale porzioni di conci compresi tra due meridiani vengono sviluppati sul piano secondo una logica che sembra accogliere il metodo dei fusi del pittore e trattatista tedesco.

Come già osservato da Francisco Pinto Puerto [Pinto Puerto 2000], si può notare una interessante relazione squisitamente geometrica tra le soluzioni stereotomiche (legate

Fig. 9.A. de Vandelvira, *Libro de trazas de cortes de piedras*, p. 62 v.

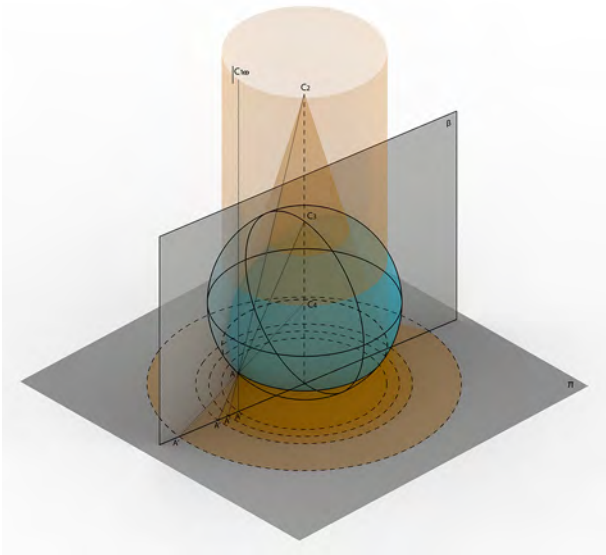


Fig. 10. Schema riassuntivo dei tipi di proiezione impiegati nelle carte geografiche.

alla suddivisione in conchi di superfici emisferiche) e le pratiche geografiche connesse alla definizione di carte nautiche e globi terrestri. In altre parole, il problema è ovviamente quello di riportare sul piano curve e porzioni di una superficie sferica, siano esse indicative delle tracce dei piani di taglio stereotomici o profili orografici delle terre emerse. A riprova di quest'ultima osservazione, basterà ad esempio ricordare l'analisi precedentemente descritta relativa alle volte murciate, ovvero la logica per meridiani e paralleli che accomuna la Capilla de Junterón a un globo terrestre o celeste, o ancora l'andamento a elica dei filari della volta dell'anti-sagrestia, ispirata forse alle curve lossodromiche impiegate per il tracciamento delle rotte nautiche.

Abbiamo visto come l'approssimazione della superficie sferica di intradosso abbia permesso, grazie all'impiego di coni coassiali con generatrici ad inclinazione variabile, agli architetti del passato di ricondurre una superficie non sviluppabile a una sviluppabile. Nella storia della cartografia, fin dell'epoca classica, si sperimentarono varie posizioni del centro di proiezione e del piano destinato a ospitarne i risultati mappali al fine di ridurre il più possibile il livello di distorsione generato dal processo geometrico [6]. L'evol-

zione della disciplina risulta perciò strettamente connessa alla storia del concetto di proiezione. In tempi moderni si è giunti a una catalogazione delle cosiddette "carte prospettive piane" basata proprio sulle relazioni tra la posizione del centro di proiezione [7] e la giacitura del piano della carta rispetto alla sfera [8] (fig. 10). Analogamente a quanto poc'anzi osservato in relazione alla pratiche stereotomiche, invece di proiettare direttamente su un piano, si pensò anche di sfruttare delle superfici quadriche di rotazione (coni e cilindri di involuppo) che come sappiamo, per loro natura geometrica, potevano essere poi srotolate sul piano senza lacerature. Tra le più celebri carte di navigazione ottenute col suddetto metodo troviamo quella di Gerhard Kremer (1512-1594), ideatore del metodo di Mercatore che prevede l'impiego di un cilindro tangente all'equatore del globo e di una proiezione centrale, detta anche "gnomonica". Quest'ultimo termine apre l'indagine a un'altra applicazione cartografica, ovvero la rappresentazione della volta celeste, con evidenti ricadute nell'ambito dell'astronomia e in quello della realizzazione di orologi solari (astrolabi): tale metodo proto-proiettivo venne usato da Talete di Mileto (636?-546? a.C.) per il tracciamento delle sue mappe stellari [Snyder 1987, p. 164]. Si potrebbe quindi ipotizzare che il problema cardine del presente contributo – ovvero la rappresentazione sul piano di enti che appartengono a una superficie sferica – possa essere ricondotto non tanto alla cartografia terrestre (ricordiamo come nel periodo in esame il concetto di globo terrestre si fosse da poco affermato sulla concezione di un "mondo piatto") e nemmeno alla stereotomia, quanto piuttosto alla rappresentazione dei fenomeni celesti. Gli enti geometrici (coni e piani) di taglio degli apparati stereotomici qui analizzati potrebbero in questo contesto essere paragonati ai medesimi enti costituiti di luce e ombra, impiegati in gnomonica già dal Rinascimento per definire le linee e le curve del tempo (linee orarie, meridiani e paralleli celesti, curve degli equinozi e solstizi ecc.). «Qualsiasi orologio solare è una determinata proiezione di una sfera e dei suoi circoli verso una qualche superficie o piano o di qualsiasi altro genere» afferma Emmanuel Maignan (1601-1676) nel suo trattato di gnomonica [Maignan 1648, p. 46], facendo eco a una tradizione di origine classica. Significativo in questo contesto è l'affermarsi nel periodo rinascimentale di un metodo per il tracciamento di orologi solari definito "universale", il quale prevedeva di posizionare al centro di una sfera armillare, opportunamente orientata in base alla latitudine del luogo, un lume

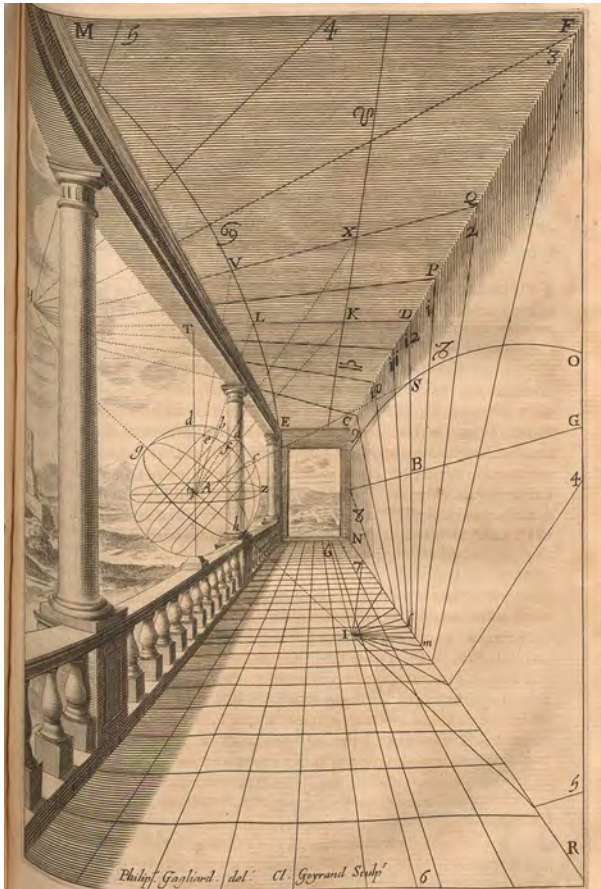


Fig. 11. A sinistra: una tavola presente nel trattato di E. Maignan, *Perspectiva Horaria...* (Roma 1648), p. 334; a destra: la ricostruzione 3d della medesima tavola con la simulazione delle ombre portate da una sorgente di luce puntiforme posta al centro della sfera armillare (elaborazione digitale A. Bortot).

capace di proiettare le ombre portate dello strumento sulle superfici architettoniche destinate a ospitare il quadrante. Tra le molte illustrazioni di questo apparato troviamo quella di Daniele Barbaro (1514-1570) presente ne *La pratica della Prospettiva...* (1568), dove al posto del lume al centro della sfera notiamo però la raffigurazione di un occhio, a denunciare l'analogia tra proiezioni centrali e skiografiche generate da una sorgente luminosa puntiforme (fig. 11). Si potrebbe infine osservare come la proiezione gnomonica, probabilmente la prima a essere stata impiegata, ricalchi anche un modello ideale di relazione tra uomo e cosmo, pensando alla Terra come a un punto posto al centro di una ideale sfera celeste, come si evince, ad esempio, nelle raffigurazioni della trattatistica medievale (fig. 12). L'illustrazione, tratta dal *De Sphaera* (1230 ca.) di Johannes de Sacrobosco (1195 ca.-1256), mostra tra l'altro la relazione tra due superfici già osservata in questo saggio, il cono e la sfera, impiegate dall'astronomo per descrivere il fenomeno dell'eclissi. Nella cartografia teracquea invece l'uomo si trova sulla superficie del globo, ovvero occupa lo stesso spazio degli enti che si vogliono proiettare sul piano: una variazione del "punto di vista" che ci sembra ancora più significativa. Le soluzioni stereotomiche relativamente alla *bóveda* proposte da Vandelvira potrebbero quindi aver trovato una fonte di ispirazione in un modello proto-proiettivo che condivide con le rappresentazioni astronomiche un punto di vista centrale, nel quale si collocano gli enti geometrici che generano il congiunto lapideo.

In definitiva, ci sembra di intravedere nell'opera letteraria di Vandelvira – che, ricordiamo, pur restando un manoscritto ebbe un'ampia diffusione – un atteggiamento maggiormente volto alla soluzione pratica dei singoli casi, più che alla ricerca di un metodo generale. Una tendenza, quest'ultima, che interesserà soprattutto gli autori francesi del secolo successivo. Il disegno per la volta dell'antisagrestia murciana, seppur con qualche licenza geometrica, dimostra, a nostro parere, una certa coerenza data dalla pratica costruttiva, più che dalla speculazione pura, da un'abitudine immaginifico-proiettiva maturata in un'epoca nella quale il disegno di progetto aveva il compito di suggerire la soluzione, più che descriverne la rigorosa esecuzione. Sembra infine plausibile supporre una sottesa parentela tra le soluzioni stereotomiche, legate alle volte sferiche, e le rappresentazioni cartografiche di terra e cielo che proposero, oltre a soluzioni geometriche, modelli cosmologici destinati a influire sull'intera cultura europea.



Fig. 12. Illustrazione tratta dal *De Sphaera* (edizione del 1550) di Johannes de Sacrobosco, p. B. IIIr.

Note

[1] Sulle vicende biografiche di questa figura non si hanno molte informazioni, la principale fonte rimane l'opera di Vasari, cfr. Vasari, G. (1568). *Vite de' più eccellenti pittori, scultori, e architettori*, Firenze: appresso i Giunti.

[2] Un caso stereotomico analogo si trova nella chiesa di Santiago a Orihuela, non lontano da Murcia. La superficie toroidica è in questo caso interessata da un sistema di cassettoni che sembrano ricalcare il metodo proposto da Vandelvira per la suddivisione in concii di tale tipologia di volta.

[3] Cfr. Trevisan, E. (2015). *Intreccio strutturale e vertigine dello sguardo: tettonica, decorazione e attualità della stereotomia nella Cattedrale di Murcia*. Tesi di dottorato di ricerca in Composizione architettonica, Tematica in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente, tutor prof. A. De Rosa, Università IUAV di Venezia, pp. 125-143.

[4] Tracciati analoghi appaiono anche in altri manoscritti e trattati successivi alla costruzione della volta di Murcia, si vedano ad esempio: Tosca, V. (1708). *Tratado de arquitectura civil, monea y cantería y relojes*. Valencia: Hermanos Orga; Portor y Castro, J. (1708). *Cuaderno de arquitectura*, Manoscritto: Madrid.

[5] Il rilievo ha previsto l'impiego della fotocamera Nikon D800e con obiettivo 24 mm F1.4 asferico. Gli scatti, ottenuti impostando il valore

ISO a 200, sono stati 88 per la Capilla de Junterón e 33 per la volta dell'anti-sagrestia. L'elaborazione delle immagini è avvenuta tramite il software *Agisoft Metashape*, il modello mesh mappato è stato quindi scalato e orientato grazie alla nuvola di punti ottenuta con il laser scanner Faro Cam2.

[6] I metodi di sviluppo della sfera sul piano rappresentano sempre una sua distorsione o approssimazione: ricordiamo che nessuna carta terraquea è al contempo equivalente (conserva la proporzione tra le distanze), equidistante (mantiene i rapporti tra le aree) e isogona (conserva gli angoli, ad esempio tra meridiani e paralleli), rispetto a quanto raffigurato sulla superficie del globo. Il tentativo di conciliare questi attributi in una stessa mappa ha determinato nel corso del tempo l'affermarsi di differenti metodi di rappresentazione.

[7] Si parla di proiezione scenografica o ortografica se il punto, proprio o improprio, si trova al di fuori della terra, di proiezione stereografica se il centro è collocato sulla superficie terrestre o infine di proiezione centrale nel caso di centro di proiezione coincidente con il centro della terra.

[8] Tangente ad un polo, ad un punto qualsiasi della terra o all'equatore.

Autore

Alessio Bortot, Dipartimento di Culture del Progetto, Università IUAV di Venezia, alessio.bortot@iuav.it

Riferimenti bibliografici

Barbé-Coquelin De Lisle, G. (ed.). (1977). *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira*. Albacete: Confederación Española de Cajas de Ahorros.

Bortot, A., Calvo López, J. (2020). Material construction and abstract geometry in the *Traité de la Coupe des Pierres* by Jean-Baptiste de la Rue. In J. Calvo López, A. Bortot, G. Piccinin (a cura di). *Geometria e costruzione. Stereotomia e configurazione in architettura*, pp. 19-31. Roma: Aracne editrice.

Calvo López, J. et al. (eds.). (2005). *Cantería renacentista en la catedral de Murcia*. Murcia: Colegio de Arquitectos de Murcia 2005.

de L'Orme, P. (1567). *Le premier tome de l'Architecture*. Paris: Morel.

de Vandelvira, A. (1585 ca.). *Libro de trazas de cortes de piedras*. Manoscritto, Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

Gutiérrez-Cortines Corral, C. (1987). *Renacimiento y arquitectura religiosa en la antigua Diócesis de Cartagena, Reyno de Murcia, Gobernación de Orihuela y Sierra del Segura*. Murcia: Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos.

Maignan, E. (1648). *Perspectiva horaria, sive de orographia gnomonica tum theoretica tum practica libri quattuor*. Roma: Typis, & Expenfis Philippi Rubei.

Minenna, V. (2014). La mappa del nuovo mondo: dall'Archivio delle Indie agli spazi stereotomici generativi. In G. Fallacara, V. Minenna (a cura di). *Stereotomic Design*, pp. 30-37. Lecce: Edizioni Gioffreda.

Palacios Gonzalo, J.C. (1987). La estereotomía de la esfera. In *Arquitectura*, n. 267, pp. 54-65.

Pérouse de Montclos, J.-M. (1982). *L'architecture à la Française, XVI^e, XVII^e, XVIII^e siècles*. Paris: Picard.

Pinto Puerto, F. (2000). Transformaciones. De la línea a la superficie. In A. Graciani et al. (eds.). *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Sevilla, 26-28 ottobre 2000, pp. 815-826. Madrid: I. Juan de Herrera, SEDHC, U. Sevilla, Junta Andalucía, COAAT Granada, CEHOPU.

Rabasa-Díaz, E. (2000). *Forma y construcción en piedra: De la cantería medieval a la estereotomia del siglo 19*. Madrid: Akal.

Snyder, J.P. (1987). *Map Projections - A Working Manual*. Washington DC: U.S. Government Printing Office.

Vilella, M. (1998). Jacopo Torni detto l'Indaco (1476-1526) e la cappella funebre "a La Antigua" di Don Gil Rodríguez de Junterón nella cattedrale di Murcia. In *Annali di architettura. Rivista del centro internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio*, n. 10-11, pp. 82-103.

The Sphere between Stereotomy and Cartography. From Stony Traits to the Representation of the Cosmos

Alessio Bortot

Abstract

In the Murcia Cathedral there is an important repertoire of vaulted systems showing very refined structures and decorations which were built with stereotomic technique. The painter and architect Jacopo Torri (1476-1526) and the essayist Alonso de Vandelvira (1544-1626) are some of the personalities who were involved in it. This paper focuses on the drawings published in Vandelvira's treatise and analyses in detail two uncommon case studies in the field of this construction technique: the Capilla de Junterón's vault and the one covering the room of the anti-sacristy. A digital restitution of the case studies will then be offered, with the aim of highlighting the geometric genesis of their stone joint through the intersection between architectural volumes and fundamental geometric entities. The contribution is also intended to investigate the relationship among stereotomy, astrolabes and cartography. We would like hypothesizing how the tools for the observation and calculation of celestial phenomena (astrolabes and planispheres) may have been assumed as inspiring models for the subdivision into blocks of some vaulted surfaces. Celestial and terrestrial maps, assumed as projections on the plane of spatial models, could therefore have indirectly influenced the history of constructions through a logic of subdivision into blocks that would have solved the problem of the development of the sphere on the plane according to cartographic logics, or by approximating meridians and parallels to portions of ruled surfaces.

Keywords: stereotomy, cartography, Murcia Cathedral, vaulted systems, spherical vaults, Alonso de Vandelvira.

The vault in Capilla de Junterón

The Murcia Cathedral (Spain) is the outcome of an unwearying construction activity which started first from the building of Capilla de los Vélez in 1491 and lasted until 1570 [Gutiérrez-Cortines Corral 1987]. Among the main supporters of this project one can find the protonotary apostolic don Gil Rodríguez de Junterón (1480?-1552), a prelate who lived and worked in Rome for a period in the earlier 1500s. After the return to his homeland, Junterón decided to commission the construction of a funeral chapel named after him. Thus far it is considered one of the most impressive structures in the whole building complex in terms of formal complexity and decorative aspects. In general this Murcia religious complex represents the prime model of the

Spanish stereotomic school which considers Alonso de Vandelvira (1544-1626) to be as one of the most important essayists. As it happens in the chapels built in the mid-20s of sixteenth century in the same cathedral, this funeral chapel shows a style which recalls Italian Renaissance: in particular it refers to the architectonic production by Filippo Brunelleschi (1377-1446), Bramante (1444-1514) and Michelangelo (1475-1564). This fact has not to surprise since many of these rooms have been created by the painter and architect Jacopo Torri (1476-1526) called Jacopo Fiorentino at the time [1]. In addition to this funeral chapel, Torri was also the author of the belling tower's first order, the sacristy, the anti-sacristy and the vaulted passage connecting the two en-



Fig. 1. Point cloud of Capilla de Junterón's vault obtained with the laser scanner Faro Cam2 (rendering by A. Bortot).

vironments. This text is going to describe some hypotheses on the potential geometric strategies to be used in order to divide the ashlar of Capilla de Junterón's vault and those in the anti-sacristy.

The Capilla de Junterón (fig. 1) is characterized by a rectangular plan surrounded by two semi-circumferences on the shorter sides. This building plan is defined as an 'ovalada' or an imperfect oval by Vandelvira. At the time—in terms of composition considering such a mapping configuration—it was generally common to include a barrel vault covering the rectangular area and two quarters of sphere on the two borders of the remaining curvilinear parts. Torni's solution, instead, appears to be quite original: as a matter of fact it deals with an annular vault comparable to a quarter of torus resulting from the 180 degrees rotation of one of the semi-equator around the transversal axis of the impost (fig. 2a) [2]. This environ-

ment is lighted by some small windows which are on the vertical surfaces, but also by a cylindrical lantern put at the centre of the vault's upper part. As it was already known in the Roman epoch, it was more common to use a semitorus covering the circular colonnade, but in that case the axis of the surface is oriented vertically like in the Mausoleum of Santa Costanza in Rome (340 ca.). In his treatise Vandelvira [de Vandelvira 1585c; Barbé-Coquelin de Lisle 1977] proposes to divide the surface through the use of two series of coaxial cones: the first series is characterized by a common vertex and a horizontal axis which corresponds to the transversal one of the plan; the second series is characterized by an axis which follows the same direction, even if it has varied vertexes [Calvo López 2005, pp. 123-136] [3]. The Spanish essayist agrees that the most useful method to obtain the stereotomic apparatus is the same used in *capilla*

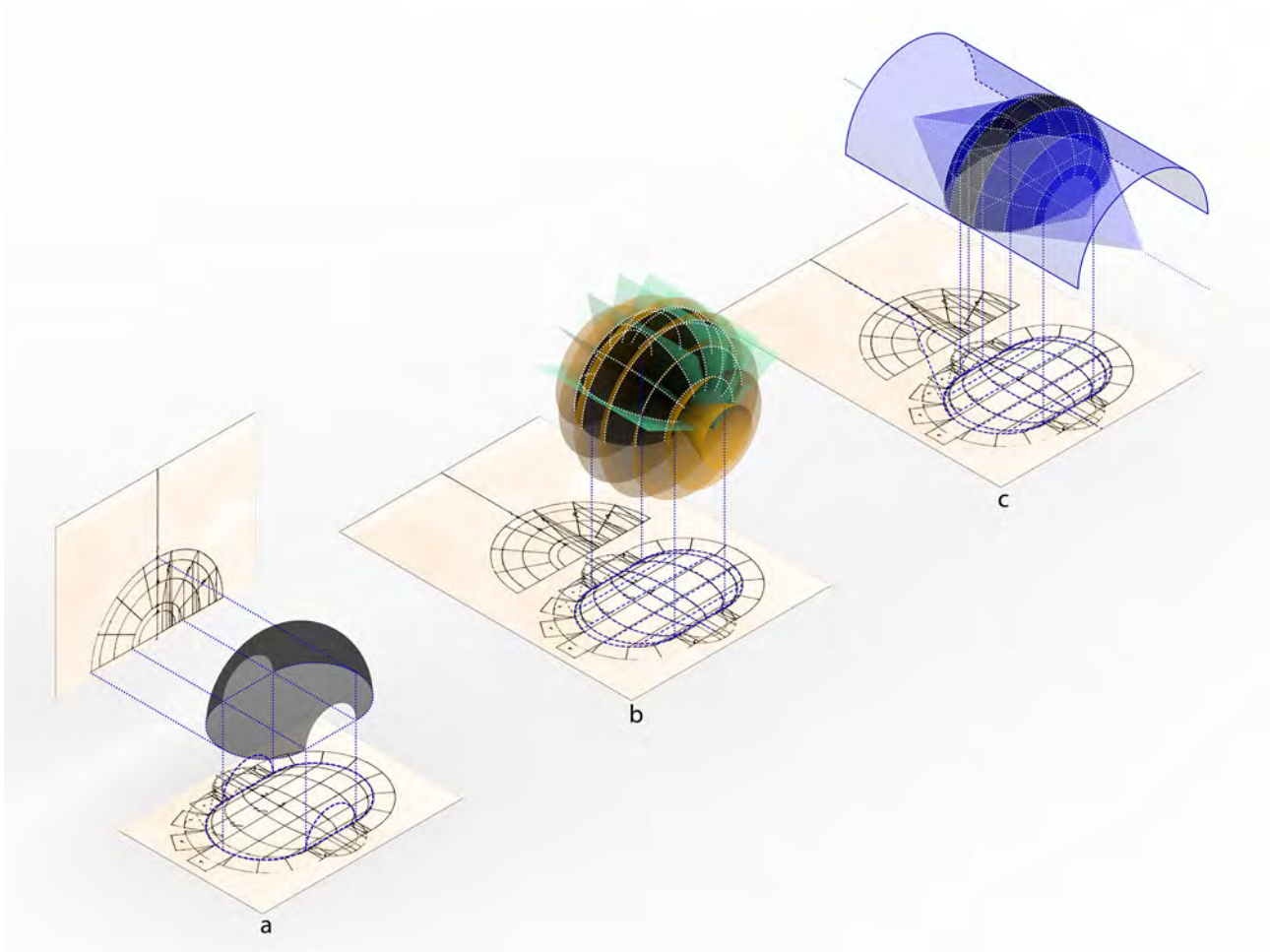


Fig. 2. Geometric reconstruction of the drawing by Alonso de Vandelvira (a), study of the subdivision of stereotomic apparatus into meridians and parallels (b), representation of the approximation of the intrados faces of the ashlars to portions of cones (c) (rendering by A. Bortot).

redonda en vuelta redonda or rather the hemispherical vault. Although both surfaces are considered to be the resulting rotation of the circumference around an axis, the solution –previously explained– causes a certain astonishment which has to be clarified. In the treatises of this period such problem is often repeated and refers specifically to the use of ruled surfaces, in order to make approximate the lower surface of every ashlar. In fact, since they are portions of spheres, are not developable and it's difficult to connect them to the so-called '*panneaux*'. So the examined cones will have a common axis and a variable vertex depending on the inclination of the generatrices that, while approaching the surface's equator, tend to be parallel to the axis of revolution. It emerges the extreme case close to the equator where the cone has an improper vertex, so it reduces the lower surfaces as portions of a cylinder (fig. 2c). In such cases the use of ruled developable surfaces became a common routine, a sort of geometric shortcut which was able to maintain an acceptable margin of approximation as demonstrated by other authors [Rabasa-Díaz 2000, pp. 174,175]. The problem certainly caught the scholars' attention, even if it was necessary to await the first decades of 1700s –in particular Jean-Baptiste de La Rue's work (1697-1743)– in terms of more refined geometrical solutions practically based on a method which could be defined as 'overturning' [Bortot, Calvo López 2020, pp. 21-34]. Anyway, the determination of the intrados surfaces of the stone blocks, approximated thanks to the generatrices of cones tangent to the various parallels that delimited the horizontal beds, was subsequently refined through the use of a tool called '*bevel*': it is a sort of a set square to be oriented towards the center of the dome, to which a further arm was hinged, whose profile was an arc of circumference [Palacios 1987].

The figures of Vandelvira's treatise which are combined with the description of the Junterón's chapel's vault are two. Both show their own surface by means of a couple of orthogonal projections (more in detail: an upper and a frontal view). While the first figure focuses on the projection of the ashlars' grout lines in a sort of mutual coordination, the second one proposes a rib decorative apparatus which can be integrated to the whole structure (fig. 3). The observation of the vault during the survey and the following analysis of the Spanish essayist's projections allowed us to speculate on geometric elements: after they have intersected the portion of an-

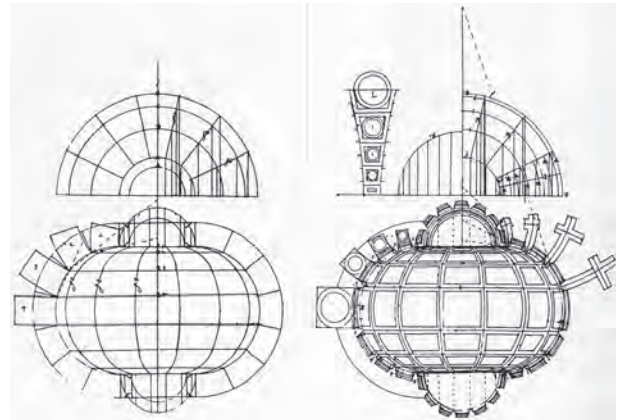


Fig. 3. On the left the drawing of Bóveda de Murcia, on the right the drawing of Bóveda de Murcia por cruceros, both illustrated in the manuscript by Vandelvira.

nular vault, they can allow to define meridians and parallels. While intersecting a series of cones (in this case with a common vertex –corresponding to the centre of the ovoid– and an horizontal axis –coincident with the transversal one of the ovoid) with the portion of toroid, there is a generation of parallels which are comparable to the ones drawn by Vandelvira. Instead, through the intersection of a horizontal sheaf of planes, it is assured the production of hemicircumferences in the space which, after being projected onto the horizontal plane, show the meridians in the form of ellipse arches (fig. 2b). This latter is the closest solution to Vandelvira's drawing and, among other things –as we'll soon explain– it is the one that can be applied to the division of a hemispherical vault into ashlars. So this solution is able to offer a clear interpretation of the Andalusian essayist's statement concerning the supposed stereotomic analogy between spherical and annular vaults. In addition to the originality of the structure, the described vault surprises for its hyper-decorativism: pagan images, often uncanny, seem to wriggle and arise from the single stony blocks. Moreover they seem to allude more to a cathartic passage and to an ascesis towards eternity than a funeral dimension [Vilella 1998, p. 93]. The sculptural high reliefs show an inclination of the stereotomic technique in Spanish area which marks a meaningful difference if compared to the contemporary cases in French context. In fact,

these ones often show a structural plainness without extra decorative elements. Finally, the complexity of this apparatus suggests that the plastic forms have been excavated when the vault was completed, and that therefore the individual blocks would have been oversized during the construction towards the intrados surface to be then carved in order to bring out the decorations.

The vault in anti-sacristy space

The vault covering Murcia Cathedral's anti-sacristy (fig. 4), built in the early 1600s, is connected to the treatise by Vandelvira, where it is described as "*capilla redonda en vuelta capazo*". The hemispherical vault is placed on four spherical pendentives which are leaning against four arches, respectively following the walls which surround the square room. Probably due to the collapse of the first order of the belling tower during the construction, this structure has been subjected to meaningful changes which are currently visible. Although in 2001 the restoration smoothed the dissimilarities among the ashlar of the vault and among those in the pendentive of the north-eastern part. The survey allowed to observe the extrados surface of the dome through a secondary passage which represented the entrance to the room above the anti-sacristy. On the extrados surface the ashlar appear to be rough-hewn in a more precise way, in order to follow the spherical shape of the extrados like in a three-dimensional offset operation. Moreover one can find a binding agent which reinforces the connection of the joints, probably inserted during the restoration we previously mentioned.

It's a quite rare case of subdivision of a spherical cap into ashlar based on a helicoidal path of the blocks. As already observed by José Calvo López [Calvo López 2005], an illustration of this problem arises in Vandelvira's manuscript (fig. 5a) and in Philibert de L'Orme's text (1514-1570) [de L'Orme 1567], who defines it "*en forme d'une coquille de limaçon*" (fig. 5b). When comparing it with de L'Orme's figure, one can immediately notice a certain discrepancy, especially if Murcia vault is taken into consideration. In fact the height of the series is approximately the same: this fact brings to the thought that when projecting the drawing of the helix on the horizontal plane, a logarithmic spiral (the distance among its spires is bigger and bigger) and not an Archimedean one (the distance of the spiraes is constant) arises. As a matter of fact, if we obtained a counterpro-

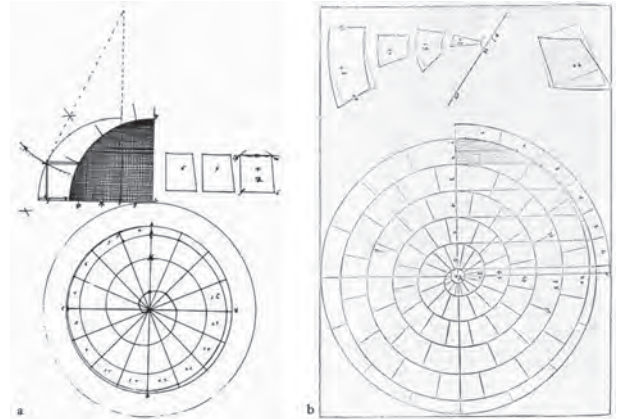


Fig. 4. Axonometric view of the textured model of the antisagresty vault obtained with photogrammetric methodology (rendering by A. Bortot).

Fig. 5. On the left the *capilla redonda en vuelta capazo* illustrated in the manuscript by Vandelvira, on the right *La voute en forme d'une coquille de limaçon* illustrated in *Le premier tome de l'Architecture* by Philibert de L'Orme.

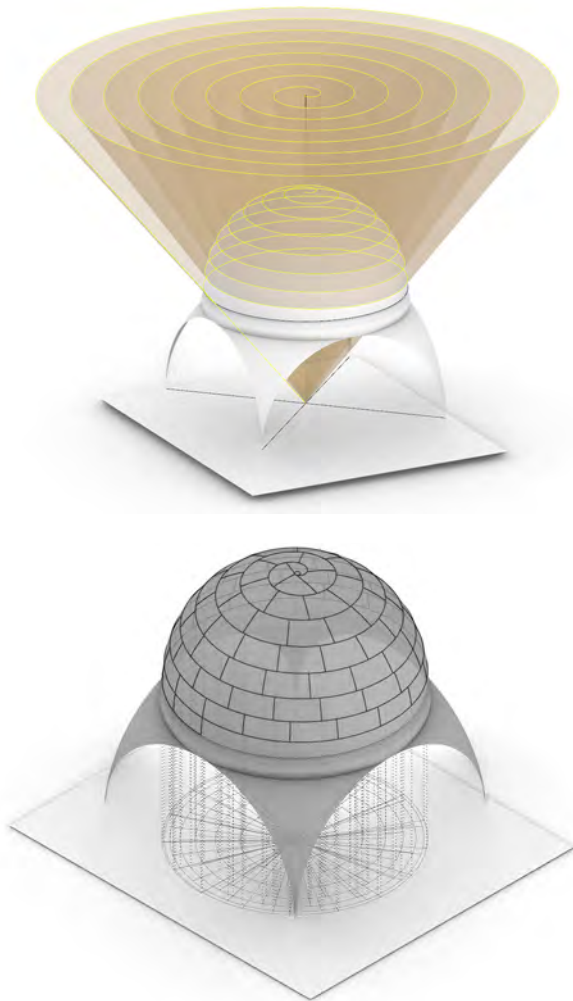


Fig. 6. Digital reconstruction of the spherical helix in order to obtain the bed joints of stone blocks for the antisagresty vault (rendering by A. Bortot).

Fig. 7. Digital reconstruction of the subdivision of vertical joints of the vault surface (rendering by A. Bortot).

jection of de L'Orme's logarithmic spiral from the impost towards the hemispherical surface, we would acquire a spherical helix with a variable height of spires, and so for the series of stone blocks. The graphical incongruity described so far, appears in both manuscripts (Ruiz 1560c) by Hernán Ruiz el Joven (1514-1569) and by Jean Chéreau (Chéreau 1570) –only to mention some of the authors who focused on this issue [4]. The analysis on Vandelvira's drawing carried out by Calvo López, illustrates, instead, how the figure represents the spiral of the planimetric projection starting from the spatial helix to be obtained. The procedure consists first in determining the height of every series of ashlars dividing the vertical section into equal parts, then in dividing the circumference of the plan into the same amount of blocks. From these points some straight lines are drawn towards the center of the vault, so the directions of the meridians –projected on the horizontal plane– are acquired on the spherical surface. Then, while projecting the sectors in section, it will be possible to pinpoint the constant distance among the turns of the spiral (in their first projection) on the straight lines previously identified that is to say, those which define the portions of the meridians. At this point it will be possible to draw the first projection of the spiral and know both the center and the distance among the single turns in a coherent way in respect with the vertical section. A spatial helix will correspond to this kind of spiral which can refer to the bed joints of the various blocks which, as a consequence, will be different from each other. The drawings by de L'Orme and the other authors already quoted, except for Vandelvira, are definitely unrealizable. It's unlikely that a stonemason had agreed in working on a stereotomic sequential structure with different heights. Maybe it could have happened only for a precise static reason which, anyway, it is difficult to identify in this specific case.

The digital reconstruction of Murcia Cathedral's vault is based on the geometrical analysis of this structure and the use of a textured mesh model of the intradox surface obtained from techniques connected to stereo-photogrammetry [5]. Considering the deformations of the vault due to the collapse of the belling tower during the construction, a first survey focused on the identification of the spatial curve which characterizes the bed joints. At the beginning we speculated on a loxodrome –well-known in the field of nautical science to chart the courses– able to join any two points on Earth's surface intersecting all the meridians with the same angle (instead, the complementary curve, called 'orthodromic distance', joins two points in their shorter

arc). Redrawing this element directly on the digital clone, allowed to show that the curve looks like a spherical helix, despite with a certain approximation. So the preliminary analyses allowed the reconstruction of a solid and rectified digital model of the anti-sacristy's vault and of the related subdivision into ashlar. The 'parallels' (as we simply define the joints lying on the spherical helix) have been obtained due to the intersection of the half sphere with a cone whose vertex has been placed at the centre of the square identified by the lower vertexes of the spherical pendentives and whose directrix is an Archimedean spiral with the same number of turns of those really existing (fig. 6). Instead, the 'meridians' have been obtained from the division of the cone's directrix spiral into the same number of existing segments, so drawing some straight lines which can connect every segment's endpoints to the centre of the curve. Then some portions of the straight lines (those included from a turn and the second one) have been projected onto the half sphere (fig. 7). Finally an offset operation of the intrados surface has been carried out in order to obtain the extrados surface, moving from a surface model to a solid, divided into ashlars (fig. 8) where every block has portions of cone as head ashlars and portions of planes as joint faces. The resulting digital model has partly rectified the structure's effective state of conservation except for the deformations due to the collapse of the tower. Instead, this model has followed the amount and shape of every single ashlar. For this reason it is not surprising, in some cases, the lineup among the vertical joints of the consequential series that –although less efficient from the structural point of view– are placed in the anti-sacristy's vault in this way.

This case study highlights the great influence of Spanish stereotomic practice in French context: Jean-Marie Pérouse de Montclos states that "the simple comparison of sixteenth-century stereotomic apparatuses recognizes the eminent role of Spain as catalyst" [Pérouse de Montclos 1982, p. 212]. Yet, the same author affirms that the case of *capilla redonda en vuelta capazo* defined by de L'Orme as "*en forme d'une coquille de limaçon*", is simply a sort of caprice, a virtuoso subdivision of a hemispherical vault into ashlars: too complex to become a repeatable model. In fact there are a few analogous examples, although in Spanish area sometimes one can observe similar joints covering helicoidal stair-cases like the one in the tower of Palacio de los Guzmanes in León (second half of 1600s), or the one in Plasencia Cathedral or the other of Monastery of Santa Catalina in Talavera de la Reina.

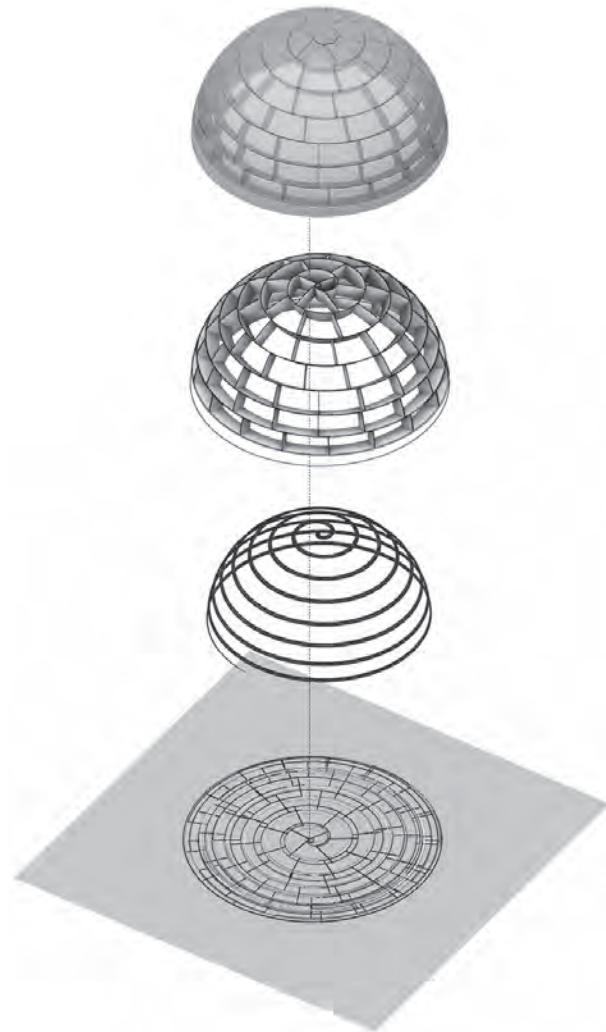
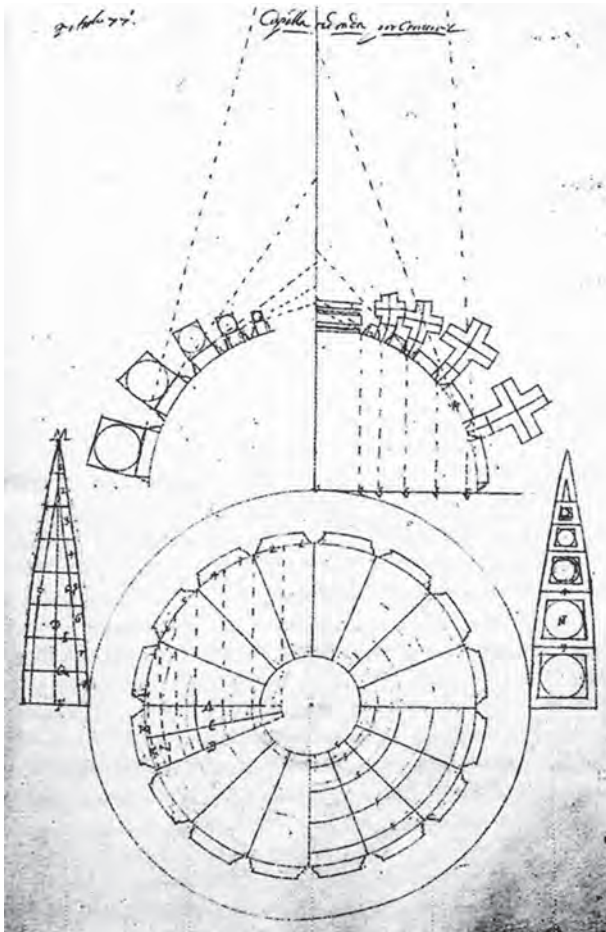


Fig. 8. Exploded axonometry of the anti-sacristy vault with the subdivision in stone blocks (rendering by A. Bortot).



Stereotomy and cartography

We know that Alonso de Vandelvira was responsible for the construction of the hemispherical vaults located over the corridors of the Casa Lonja de Mercaderes in Seville (1572) whose overall project was entrusted to Juan de Herrera de Maliaño (1530-1597), famous for his work during the construction of the Escorial (1594). The house, initially conceived as a place of exchange for merchants due to the routes that had opened towards the New World, will also become the headquarters of the General Archive of the Indies. In this place, however, not only economic transactions took place, but also cultural exchanges combined with new geographical representation and, more generally, to a new conception of the world. Vincenzo Minenna highlights in this context the cultural role of Seville city in the European context, declaring that in the Casa de Mercaderes “the theories on the spherical track of Pedro de Apiano’s *Tratado de la Esfera*, the methods of cartographic measurement of Martin Cortes and the geographic representation through the use of planispheres were studied” [Minenna 2014, p. 32]. The same scholar points out an implicit relation between the spreading of these new representations of the world and the choice to replace with a series of stony sail vaults the flat wooden roofs of the interior of the Casa, designed for the first project. It is sure that among the leading figures in the Sevillian panorama of those years we can find Alonso de Santa Cruz (1505-1567), cosmographer of Charles V and Philip II, as well as author of the *Islario general de todas las islas del mundo* (1541) and coauthor of the *Padrón Real*, a secret geographical map for sailors, continuously updated according to the discoveries that took place in those years. Broadening the field of investigation to the European context, it is important to remember that in his *Underweysung der Messung* (1525) Albrecht Dürer (1471-1528) had already proposed a method –useful also for the realization of globes– to develop the spherical surface on the plane through its subdivision into slices, a solution which obviously imply a certain degree of approximation. Dürer’s illustrations show significant analogies with those proposed by Alonso de Vandelvira for the *Capilla redonda por cruceros* (fig. 9), in which the portions of stone blocks between two meridians are developed on the plane according to a logic that seems near to the method of the slices suggested by the German painter and essayist.

As already observed by Francisco Pinto Puerto [Pinto Puerto 2000], an interesting geometric relationship can be no-

Fig. 9.A. de Vandelvira, *Libro de trazas de cortes de piedras*, p. 62 v.

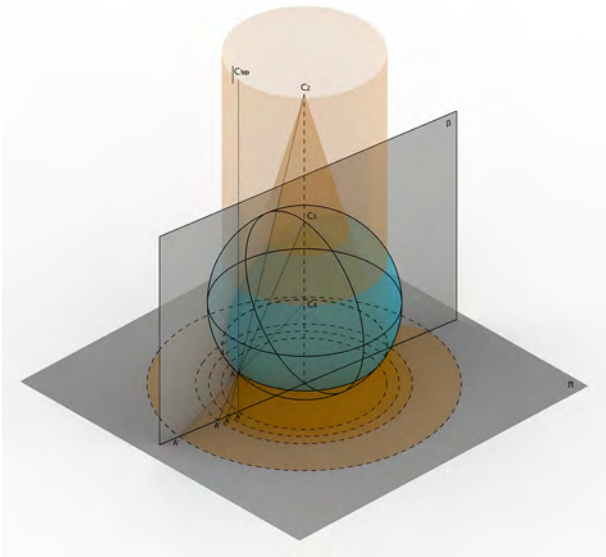


Fig. 10. Diagram in summary of the types of projection employed to obtain geographical maps.

ticed between the stereotomic solutions for the subdivision into ashlar of hemispherical surfaces and the geographical practices connected to the definition of nautical chart and terrestrial globes. In other words, the problem is obviously to transfer to the plane curves and surface portions belonging to the sphere, whether they are indicative of the *trait* for stereotomic cutting planes or the orographic profiles of the landmass. As a proof of this last observation, it will be enough, for example, to recall the previously described analysis relating to the Murcian vaults: the logic of meridians and parallels characterizing the Capilla de Junterón can be considered similar to a terrestrial or celestial globe. We can also suggest a hypothetical relation between the helical logic of the blocks for the vault of the anti-sacristy and the loxodrome curve used for tracing nautical routes.

We highlighted how the approximation of the spherical intrados surface thanks to the use of coaxial cones (with generatrices characterized by variable inclination) has allowed the architects of the past to approximate a non-developable surface to a developable one. In the history of cartography, since the classical era, various positions of the projection center and of the map plane were experimented in

order to reduce as much as possible the level of distortion generated by the geometric process [6]. The evolution of cartography is therefore closely connected to the history of the concept of projection. In modern times, a cataloging of the so-called 'flat perspective maps' has been achieved, it is based precisely on the relationships between the position of the projection center [7] and the position of the plane of the map in relation to the sphere [8] (fig. 10). Analogously to what we have just observed in relation to stereotomic practices, also cartographers start to employ cones to approximate spherical surfaces. Instead of projecting directly onto a plane, it was therefore thought to employ quadric surfaces of rotation (cones and enveloping cylinders) which thanks to their geometric properties, can then be unrolled on the plane without tears. Among the most famous navigation charts obtained with the aforementioned method, we find the one by Gerhard Kremer (1512-1594), creator of the Mercator method which involves the use of a cylinder tangent to the equator of the globe and a centre of projection coincident with the centre of the sphere. This kind of projection is also called 'gnomonic'.

The adjective 'gnomonic' refers to another cartographic application, the representation of celestial vault, with explicit connection to the field of astronomy and to the realization of solar clocks (astrolabes): this proto-projective method was used by Thales of Miletus (636?-546? BC) for the tracing of his star maps [Snyder 1987, p. 164]. It could therefore be hypothesized that the main problem faced in this contribution –the representation on the plane of entities belonging to a spherical surface– can be traced back, not only to terrestrial cartography or even to stereotomy, rather than to the representation of celestial phenomena. The geometric cutting entities (cones and planes), used in stereotomic constructions and previously analyzed, could in this context be compared to same entities, made of light and shadow, employed in gnomonics since the Renaissance period to define the lines and curves of time (hour lines, meridians and celestial parallels, curves of the equinoxes and solstices, etc.).

"Any sundial is a precise projection of a sphere and its circles towards some surface or plane" [Maignan 1648, p. 46] states Emmanuel Maignan (1601-1676) in his treatise on gnomonics, referring to a tradition dated back to classical period. It is significant in this context the affirmation in the XV century of a method for tracing sundials defined as 'universal'. This method imposed to position at the centre of an armillary sphere, previously oriented according to the lati-

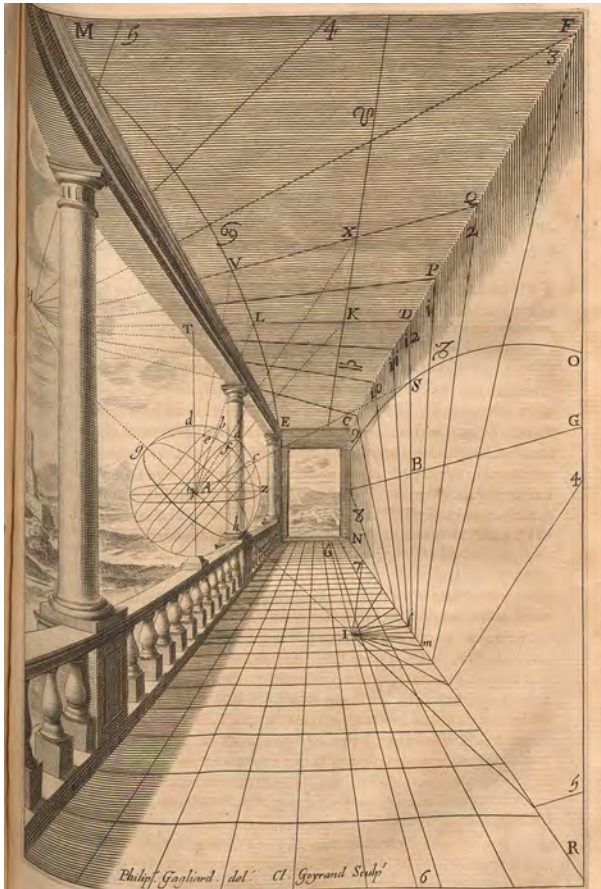


Fig. 11. On the left a drawing of the treatise by E. Maignan, *Perspectiva Horaria...* (Rome 1648), p. 334; on the right the 3d reconstruction of the same table with the simulation of the shadows cast by a point light source placed in the center of the armillary sphere, as suggested by Daniele Barbaro (rendering by A. Bortot).

tude of the place, a light source able to project the shadows cast by the instrument on the architectural surfaces chosen for the sundial (fig. 11). Among many illustrations of this device we find the one by Daniele Barbaro (1514-1570) illustrated in *La pratica della Prospettiva...* (1568), where in the place where the lamp should be –that is in the center of the sphere– we note the representation of an eye, to denounce the analogy between central and skiagraphic projections generated by a point light source. Finally, it could be observed how the gnomonic projection, probably the first to have been used in history, represents an ideal model of relationship between man and the cosmos: we have to think to the Earth as a point placed in the centre of an ideal celestial sphere, as we can see, for example, in the depictions of middle age treatises (fig. 12). The illustration, extracted from *De Sphaera* (1230 ca.) by Johannes de Sacrobosco (1195-1256 ca.), shows among other things the relationship between two surfaces already observed in this essay, the cone and the sphere, used by the astronomer to describe the phenomenon of the eclipse. In terrestrial cartography instead, man is positioned on the surface of the globe, he occupies the same space occupied by the entities that have to be projected onto the plane: a variation of the ‘point of view’ that seems even more significant. The stereotomic solutions relating to the *bóveda* proposed by Vandelvira could therefore have found a source of inspiration in a proto-projective geometrical model that shares a central point of view with the astronomical representations, where the geometric cutting entities are placed. Finally, in Vandelvira’s literary work –whose broad spreading as a manuscript is already known– it is possible to clearly perceive a certain inclination towards the practical solution of every single case more than a focus on the research of a general method. This latter will involve, instead, all the French authors of the following century. According to us the drawing of Murcia anti-sacristy’s vault (with some geometrical licences) shows a certain coherence due to the construction practice more than the pure speculation. Since it comes from an imaginative-projective habit which had developed in an epoch where project drawing had to concentrate on the solutions and not on the representation of its rigid execution. Finally, it seems plausible to suppose an underlying relation between the stereotomic solutions, referred to spherical vaults and the cartographic representations of earth and sky that embodied, in addition to geometric solutions, cosmological models able to affect the entire European culture.



Fig. 12. An illustration extracted from *De Sphaera* (1230) by Johannes de Sacrobosco, p. B. IIIr.

Notes

[1] On the biographic details referring to this author, there are only a few information. The main source is still Vasari's work, cfr. Vasari, G. (1568). *Vite de' più eccellenti pittori, scultori, e architettori*, Firenze: appresso i Giunti.

[2] A similar stereotomic case is found in the church of Santiago in Orihuela, not far from Murcia. In this case, the toroidal surface is characterized by a system of ceiling coffers that seem to follow the method proposed by Vandelvira for the subdivision into ashlar of this type of vault.

[3] Cfr. Trevisan, E. (2014-2015). *Intraccio strutturale e vertigine dello sguardo: tettonica, decorazione e attualità della stereotomia nella Cattedrale di Murcia*. Ph.D. Thesis (unpublished). IUAV School of Doctorate Studies in Venice, supervisor prof. A. De Rosa, a.y. 2014-2015, pp. 125-143.

[4] Similar drawings also appear in other manuscripts and treatises following the vault's construction in Murcia. For instance, one can refer to: Tosca, V. (1794). *Tratado de arquitectura civil, montea y cantería y relojes*. Valencia: Hermanos Orga; de Portor y Castro, J. (1708). *Cuaderno de arquitectura*. Madrid: Manuscript, Biblioteca Nacional.

[5] The survey has been carried out through the use of a camera Nikon D800e equipped with 24 mm F1.4 aspheric lens. After setting ISO value

to 200, we have taken 88 photographs in Junterón's Capilla and 33 in the antisagresty's vault. The images have been processed with the *Agisoft Metashape* software. The 3D mesh model has been scaled and oriented thanks to the point cloud obtained with the laser scanner Faro Cam2.

[6] The methods for the development of the sphere on the plane necessarily represent a distortion or approximation of it, we have to notice that no terraqueous map is at the same time equivalent (preserve the proportion between the distances), equidistant (maintain the relationships between the areas) and isogonic (preserve the angles, for example between meridians and parallels), compared to what is depicted on the globe's surface. The attempt to reconcile these attributes in the same map has determined over time the spread of different cartographic methods.

[7] We speak about orthographic projection if the centre of projection (a fixed point or a point at infinity) is outside the earth; we speak about stereographic projection if the centre is located on the earth's surface and finally we speak about central projection when the centre of projection correspond with the centre of the earth.

[8] Tangent to a pole, to any point on the sphere or to the equator:

Author

Alessio Bortot, Department of Architecture and Arts, Iuav University of Venice, alessio.bortot@iuav.it

Reference List

Barbé-Coquelin De Lisle, G. (ed.). (1977). *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira*. Albacenete: Confederación Española de Cajas de Ahorros.

Bortot, A., Calvo López, J. (2020). Material construction and abstract geometry in the *Traité de la Coupe des Pierres* by Jean-Baptiste de la Rue. In J. Calvo López, A. Bortot, G. Piccinin (a cura di). *Geometria e costruzione. Stereotomia e configurazione in architettura*, pp. 19-31. Roma: Aracne editrice.

Calvo López, J. et al. (eds.). (2005). *Cantería renacentista en la catedral de Murcia*. Murcia: Colegio de Arquitectos de Murcia 2005.

de L'Orme, P. (1567). *Le premier tome de l'Architecture*. Paris: Morel.

de Vandelvira, A. (1585 ca.). *Libro de trazas de cortes de piedras*. Manuscrito, Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

Gutiérrez-Cortines Corral, C. (1987). *Renacimiento y arquitectura religiosa en la antigua Diócesis de Cartagena, Reyno de Murcia, Gobernación de Orihuela y Sierra del Segura*. Murcia: Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos.

Maignan, E. (1648). *Perspectiva horaria, sive de orographia gnomonica tum theoretica tum practica libri quattuor*. Roma: Typis, & Expenfis Philippi Rubei.

Minenna, V. (2014). La mappa del nuovo mondo: dall'Archivio delle Indie agli spazi stereotomici generativi. In G. Fallacara, V. Minenna (a cura di). *Stereotomic Design*, pp. 30-37. Lecce: Edizioni Gioffreda.

Palacios Gonzalo, J.C. (1987). La estereotomía de la esfera. In *Arquitectura*, n. 267, pp. 54-65.

Pérouse de Montclos, J.-M. (1982). *L'architecture à la Française, XVI^e, XVII^e, XVIII^e siècles*. Paris: Picard.

Pinto Puerto, F. (2000). Transformaciones. De la línea a la superficie. In A. Graciani et al. (eds.). *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Sevilla, 26-28 ottobre 2000, pp. 815-826. Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, U. Sevilla, Junta Andalucía, COAAT Granada, CEHOPU.

Rabasa-Díaz, E. (2000). *Forma y construcción en piedra: De la cantería medieval a la estereotomia del siglo 19*. Madrid: Akal.

Snyder, J.P. (1987). *Map Projections - A Working Manual*. Washington DC: U.S. Government Printing Office.

Vilella, M. (1998). Jacopo Torni detto l'Indaco (1476-1526) e la cappella funebre "a La Antigua" di Don Gil Rodríguez de Junterón nella cattedrale di Murcia. In *Annali di architettura. Rivista del centro internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio*, n. 10-11, pp. 82-103.