

Università Iuav di Venezia
Dottorato in Architettura, città e design
Curriculum in Composizione architettonica
Tematica in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente

La geometria come strumento totale
Advanced digital modeling per lo studio
dell'opera di Guarino Guarini

Dottorando: Paolo Borin
Relatore: prof. Agostino De Rosa
Correlatori: prof. Andrea Giordano, prof. Giulio Ventura
Tutor: Luigi Pavan

I
- - -
U
- - -
A
- - -
V

Università Iuav di Venezia
Dottorato in Architettura, città e design Curriculum in Composizione architettonica
Coordinatore Carlo Magnani
Tematica in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente
Responsabile scientifico prof. Agostino De Rosa

XXX ciclo della Scuola di Dottorato di Architettura di Venezia

Ringraziamenti

Ringraziamenti non è il termine esatto, le persone citate rappresentano i co-autori di questo elaborato. Mi riferisco a tutte le persone che continuamente, per amore o necessità, sono state capaci di starmi vicino. Capisco quanto sia stato difficile, spero che nella lettura di questa tesi troviate quella parte di voi, che vi assicuro essere presente almeno in una frase. Capisco d'altra parte i pochi che non ci sono riusciti.

Ringrazio il prof. Agostino De Rosa per le altrimenti irraggiungibili visioni che mi ha offerto lungo il percorso, i riferimenti, l'esempio terrorizzante di impressionante profondità nella ricerca personale. Ringrazio il prof. Andrea Giordano per la pazienza negli insegnamenti di geometria descrittiva, per l'ineguagliabile, spesso inspiegabile, disponibilità nell'offrire un aiuto a me e agli altri. Ringrazio il prof. Giulio Ventura per avermi messo nelle condizioni di portare avanti questa tesi quando sembrava essersi conclusa, in un pomeriggio settembrino torinese.

Ringrazio inoltre chi mi ha aiutato concretamente in questo lavoro: Ernani Orcorte per le immagini e la disponibilità, il prof. Edoardo Piccoli, Giampiero Di Lella e l'Archivio di Stato di Torino, nella persona della dott.ssa Niccoli, Ugo Quarello.

Mi sembra infine doveroso chiamare per nome quelle persone, per ogni aiuto offertomi in questi mesi.

Dario, Susj, Alberto, Sara, Marco, Enrico, Simone, Giampiero, Marco, Francesco, Irene, Massimiliano, non posso citare le azioni singolarmente, ma i vostri nomi sono legati a città e momenti specifici ben impressi nella memoria, un tuffo a Trieste, un autobus a Roma, una birra in Campo San Giacomo, Parigi, Oderzo, Padova, Torino. Senza di voi non sarei qui a scrivervi.

Marta.

Alessio, in questo momento mi vengono in mente le Pringles ma si tratta di molto altro.

Benedetta, Giulia, mamma, Davide, Cristina, per la dimostrazione di nascita, crescita, trasformazione.

Abstract

Il successo della figura di Guarino Guarini nell'ultimo secolo ha reso possibile una estesa letteratura sulla sua figura, di inquadramento non solo biografico e stilistico, ma anche quale scienziato e matematico seicentesco. A partire da questa, la tesi in oggetto intende esplorare la declinazione guariniana della disciplina stereotomica, spesso restituita come peculiare per la produzione architettonica di Guarini, ma senza uno studio completo. Se da un lato questa ricerca descrive un tassello nello studio per la storia dei metodi di rappresentazione, dall'altro l'indagine dell'approccio stereotomico permette di attualizzare alcune delle procedure geometriche da inserire nei processi di fabbricazione digitale. La stereotomia, dalla forma greca στερεός, solido, e τομία, taglio, è la scienza che studia il taglio dei solidi, siano essi di materiale lapideo o ligneo. È noto come la critica la dichiarò una pratica cantieristica assunta a scienza grazie a celebri trattatisti, in un lento processo di astrazione di operazioni meccaniche in regole e sistemi. Tuttavia nel tempo anch'essa ha subito un principio di sublimazione, tanto che Edward Warren specifica, nell'introduzione al suo *Stereotomy Problems in stone cutting* (1903), come la stereotomia arrivi ad abbracciare, tanto per etimologia quanto per uso comune, materie e discipline spesso distanti quali lo studio della teoria delle ombre, la prospettiva, la gnomonica, la cinematica, la carpenteria metallica e lignea e solo infine la scomposizione in parti di superfici litiche. D'altra parte lo scarto creato dalla modellazione digitale e dalle trentennali esperienze delle tecnologie CAD/CAM, ha ridotto nel tempo la necessità di conoscere le metodologie della tradizione stereotomica. All'interno del processo edilizio è possibile catalogare la disciplina come una prefabbricazione *in situ*, da cui si desume l'importanza nell'assemblaggio di parti a formare un unico elemento edilizio. L'analisi degli attuali movimenti più radicali della fabbricazione architettonica automatizzata mostra come l'antica coincidenza tra geometria, struttura e costruzione, abbia oggi una traduzione in modellazione digitale, simulazione e assemblaggio. Tratto comune in queste ultime pratiche è l'approccio computazionale, come sequenza di fasi che hanno inizio con la definizione di un algoritmo per la soluzione del modello, e si concludono con l'esecuzione di codice per l'analisi dei risultati. La tesi intende così esplorare l'efficacia di un particolare linguaggio di programmazione, VPL (Visual Programming Language), per la traduzione digitale delle procedure stereotomiche, tanto di produzione degli elaborati bidimensionali per il taglio, quanto di scomposizione di superfici.

Inoltre, seppure non specificato da molti trattatisti, le procedure stereotomiche posseggono implicitamente regole strutturali che garantiscono la resistenza della struttura al peso proprio. Lo studio e l'esplicitazione di tali regole rappresentano un bagaglio culturale da traghettare nel contemporaneo.

Lo studio si articola in tre parti. Una prima parte inquadra il ruolo di Guarino Guarini all'interno della storia della rappresentazione. A causa della nota recente e autorevole produzione bibliografica, si tratta spesso di lavorare nel dettaglio, specificando ragionamenti e intuizioni. Da

un punto di vista geometrico, è stata già proposta una lettura parallela dell'*Architettura Civile* e dell'*Euclide Adauctus*, opera, quest'ultima, destinata al mondo scientifico, la cui precisione fa pensare ad una elaborazione da parte di un Guarini matematicamente maturo. Più volte individuato, il momento risolutivo va cercato nel periodo parigino durante la costruzione della chiesa di Sant'Anna Reale. Viene quindi proposto un regesto delle opere presenti nella biblioteca dei padri teatini a Parigi, mirata a tracciare le fonti trattatistiche su cui Guarini si formò. Tale fonti vanno sistematizzate con i riferimenti citati da Guarini durante la stesura delle sue opere: il *Cursus Seu Mundus Mathematicus* di Milliet de Chales, *L'Architecture des voûtes* di Derand, i testi di John Wallis, Juan Caramuel Lobkowitz. Ne deriva un'immagine di uno studioso informato, ma di difficile interpretazione, in particolare per la difficoltà di ritrovare collegamenti con il mondo francese scientificamente più avanzato, in riferimento da un lato alle procedure geometriche di proiezione, con riferimento a Girard Desargues e a Abraham Bosse, dall'altro all'applicazione della rappresentazione per il calcolo strutturale, secondo la personalità al tempo emergente di Philippe de La Hire.

Nella seconda parte vengono sviluppati alcuni casi studio, tratti da l'*Architettura Civile*. La metodologia prevede l'analisi critica del trattato; la creazione di un algoritmo visuale per ogni caso analizzato, che comprende le procedure bidimensionali e il modello digitale; una rappresentazione mongiana, che unifica le rappresentazioni precedenti per una lettura più agevole. La procedura meccanica di trasferimento di distanze e di angoli appartenenti a piani geometrici, ribaltamenti su piani ausiliari, è facilmente traducibile nella serie di regole da assegnare allo *script*. La contiguità tra i due processi è indice di quanto le procedure descritte da Guarini siano ancora distanti dalle procedure mongiane. Alcuni casi esposti, ad esempio, sono ripresi dal trattato di Derand, a significare che i modelli guariniani sono appartenenti ad una chiara tradizione. Ciò non significa, tuttavia, che Guarini non faccia parte del percorso di maturazione delle costruzioni geometriche: la cosiddetta *ortografia gettata* descrive infatti archi imperfetti, privi di chiave e di ogni riferimento alla comune nomenclatura stereotomica di origine francese e spagnola.

La terza sezione, infine, utilizza il *cestello* della Cappella della Santissima Sindone a Torino, per chiarire alcuni degli aspetti sopra analizzati. La costruzione geometrica è prima analizzata con un algoritmo che evidenzia, al cambiare della posizione del punto di vista e dell'altezza prescelta, la costruzione della cupola a base esagonale come una prospettiva solida accelerata. Il modello di studio, poi adattato alle restituzioni bidimensionali successive all'incendio del 1997, viene completato attraverso una metodologia BIM, al fine di simulare le fasi costruttive di assemblaggio degli archi litici interni e i corrispettivi esterni in laterizio.

Nella sintesi conclusiva, riallacciandosi alla tematica generale di inquadramento, si cerca di comprendere se e in quale accezione il *cestello* possa essere considerato un apparecchio stereotomico: nel caso affermativo viene quindi dimostrato come la geometria sia uno strumento totale dell'opera architettonica di Guarini, dalla definizione delle preposizioni del trattato, alla concezione strutturale, alla definizione delle attività costruttive.

Keywords: Guarino Guarini, Algorithmic Modeling, Descriptive Geometry, Stereotomy

Indice

Introduzione 9

Guarino Guarini, un inquadramento biografico e scientifico 12

Tavola cronologica sinottica 40

I sistemi generativi per la modellazione digitale 44

Una storia della programmazione visuale 44

Continuità tra trattati stereotomici e sistemi generativi 62

I trattati di geometria, comparazione e analisi 80

L'*Architettura civile* e l'*Euclide Adauctus*, analisi dei metodi stereotomici 80

Capitolo III, osservazione IV. Cilindro, piano 98

Capitolo III, osservazione VIII. Cilindro, cilindro 109

Capitolo IV, osservazione VI. Conoide, cilindro 117

Il cestello della Cappella della Sacra Sindone in Torino 134

Le informazioni sulla fabbrica della Sindone 144

Il modello BIM e gli oggetti del 'cestello' 159

L'arco ellittico 170

Bibliografia 175

Indice delle figure 185

Appendice A. Glossario minimo al capitolo 3 191

Appendice B. Tabelle comparative tra *Euclides adauctus* e *Architettura Civile* 195

Elaborati grafici 206

Introduzione

Perché fare una tesi di dottorato su Guarino Guarini? È probabile sia questa la domanda che ogni lettore informato si pone davanti a questa ricerca. È stato, allo stesso modo, un quesito che mi ha accompagnato nel corso della sua stesura. La figura di Guarino Guarini infatti ritorna alla luce dopo le ricerche di Brinckmann¹ a partire dagli anni Trenta con un percorso di studi costruito su importanti pubblicazioni e convegni monografici, e arricchito da continue riflessioni di noti ricercatori².

Guarini, come è noto, è un personaggio pienamente seicentesco, eclettico nelle sue pubblicazioni e nei suoi interessi, l'interpretazione dei quali spesso sfugge ad una piena comprensione. Risulta evidente che per analizzare una figura di tale complessità, che ancora oggi per molti versi appare oscura, non siano sufficienti solo informazioni archivistiche, e neppure l'analisi visiva dei progetti realizzati e dell'opera scritta. Per comprenderlo appieno, è necessaria una visione totale dello studioso, del progettista e del chierico.

In particolare, la scelta di sviluppare un percorso di tesi è legata alla dichiarata devozione di Guarini per lo studio e le applicazioni della geometria, in riferimento alle sue declinazioni più avanzate, quali la stereotomia. Tra gli approcci critici cui si accennava precedentemente, è paradigmatico come Evans citi proprio il passo guariniano in cui l'autore esprime l'architettura come disciplina dipendente dalla geometria. È chiaro come Guarini utilizzi questa espressione in modo del tutto personale e aderente al pensiero scientifico seicentesco. La citazione esprime compiutamente ciò che si vuole dimostrare in questa tesi: la geometria sta alla base di ogni processo progettuale, sia dal punto di vista architettonico, simbolico, strutturale, che illuminotecnico. È curioso come nella stessa introduzione Evans citi un aspetto centrale per lo sviluppo di questa tesi: "in architecture expired geometry sometimes gained a life after death"³. Esso vale per il rapporto sia tra Guarini e l'architettura gotica quanto tra le metodologie di progettazione stereotomiche e la contemporaneità: non è un caso che Philippe Block⁴, al pari di Evans, citi spesso la cattedrale di Westminster quale esempio di progettazione strutturale ottimale. A tal proposito, in una recente conferenza, Antoine Picon⁵, per descrivere il rapporto tra nuove tecniche di produzione digitale e

¹ A. E. Brinckmann, *La grandezza di Guarino Guarini e la sua influenza sull'architettura in Germania nel 1700*, in Società Piemontese di Archeologia e Belle Arti. Atti, n. 15, 1933, pp. [348]-374.

² Ci si riferisce in particolare ai casi di Robin Evans e di Alberto Pérez Gómez per vicinanza alla disciplina della rappresentazione affrontata in questa tesi.

³ R. Evans, *The Projective Cast: Architecture and Its Three Geometries*, MIT Press, Cambridge, MA 2000.

⁴ P. Block, *Thrust Network Analysis: Exploring Three-dimensional Equilibrium* (MIT).

⁵ Presentazione di Antoine Picon nella giornata del 7 aprile 2017, durante la conferenza *Fabricate*, Stoccarda, 06-08 aprile 2017.

antichi saperi, ha usato il termine 'nostalgia'. È questo un termine che ben si presta anche alla personale inclinazione che lega l'intero lavoro di ricerca svolto in questa tesi, ossia l'uso della geometria come strumento totale di espressione progettuale ed elemento imprescindibile nella definizione e ottimizzazione degli edifici.

Quale è lo strumento migliore per indagare la stereotomia, tanto per comprenderne il funzionamento e le relazioni con la storia dei metodi della rappresentazione, quanto per attualizzarne le applicazioni proprio in un'ottica di ottimizzazione delle nuove costruzioni e di intervento sul costruito? Si è scelto pertanto di legare il trattato stereotomico guariniano, che per tradizione è strutturato attorno ad una serie di procedure a complessità crescente, con la modellazione algoritmica, che descrive le operazioni di modellazione attraverso una programmazione visiva a blocchi. Ciò comporta la comprensione e la successiva traduzione delle operazioni descritte nel trattato in un nuovo linguaggio che rappresenta la logica computazionale sottesa alle operazioni stesse. A questa fase è connessa una ricerca didattica: si crede importante legare, all'interno delle scuole di progettazione, le migliori tecniche di definizione della geometria digitale, con gli antichi metodi di rappresentazione, che oramai non sono più indagati. La stereotomia può essere un valido terreno di sperimentazione: la spiegazione tramite *script* permette agli studenti di comprendere simultaneamente logiche di programmazione, pur semplificate, e pratiche stereotomiche.

Penso sia infine importante citare Luigi Moretti (1906-1973) quale protagonista, certo inaspettato, poiché rappresentante di una singolare unione dei temi affrontati. Se da un lato è noto come il progettista romano abbia condotto numerose analisi sugli spazi dell'architettura barocca⁶, lo è molto meno il suo ruolo all'interno di una storia dei metodi parametrici di progettazione. Egli infatti fu tra i primi a dichiarare come il progetto architettonico debba essere definito da relazioni logiche-geometriche, esprimibili da funzioni matematiche, nelle quali sono presenti i parametri geometrici di definizione della forma.

⁶ Non a caso, Moretti è un sostenitore delle analisi spaziali, tra gli altri, di Brinckmann su Guarini, cfr. L. Moretti, *Strutture e sequenze di spazi*, in *Spazio: rassegna mensile delle arti e dell'architettura*, n. 7, 1953, pp. 9–20, 107–108.

Guarino Guarini, un inquadramento biografico e scientifico

“Tu pur dell'occhi tuoi lume, e pupille
più fiato mi giurasti:
ma se a gli orrori tuoi lume non porge
d'inutile pupilla,
di tenebrosa luce io godo i vanti.”¹

Quale sia la modalità ottimale per avvicinarsi alla figura di Guarino Guarini è informazione per pochi². Harold Alan Meek³, nel chiedersi come interpretare Guarini, ne citava le curiosità biografiche, alcune lettere dalle quali ne esce un comportamento altalenante, di difficile lettura. Infatti le indicazioni sono alle volte sfuggenti, anche quando ci si riferisce alle fonti dirette, e le fonti indirette hanno invece frequentemente idolatrato il teatino, o talvolta al contrario sminuito il suo valore, soffermandosi su intuizioni e fascinazioni altrui. Alcuni esempi di valutazioni poco chiare sono noti ai più: l'origine del linguaggio strutturale delle volte ad archi connessi, la conoscenza delle costruzioni arabe attraverso i domini spagnoli o l'oriente, il ricorso a un sistema geocentrico in riferimento alle altre intuizioni astronomiche, le dibattute relazioni con i migliori geometri del suo tempo. Si parlerà quindi di fonti, di errori e di traduzione del sapere scientifico.

Il lavoro che in questo capitolo viene proposto è dunque quello di una ricostruzione dell'attività scientifica del teatino, cercando di definire le molteplici connessioni disciplinari che coinvolgono la sua figura.

Guarino Guarini (FIG. 1)⁴ nacque a Modena il 17 Gennaio 1624, da Rinaldo e Eugenia Marescotti; la città natale rappresenterà per tutta la vita un luogo in cui ritornare spesso, anche negli ultimi anni di vita per dirigere dal 1681 i lavori al Palazzo Ducale.

¹ G. Guarini, *La Pietà Trionfante*, Stampa di Giacomo Mattei, Messina 1660. Già riportato in M. Fagiolo, *La sindone e l'enigma dell'eclisse*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 205–227. L'autore collega il contrasto luce-ombra ad una corrente neoplatonica.

² La critica dell'opera di Guarini è caratterizzata da fasi storiche riconoscibili, legate alle principali trattazioni che sono state affrontate: i testi del Brinckmann della prima metà del 900 hanno fondato una nuova attività di ricerca in Italia, gli studi del dopoguerra sono stati pubblicati attraverso l'edizione critica dell'*Architettura Civile* di Nino Carboneri, il volume di Passanti (1963) e il celebre '*Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*' (1970). Negli anni '90 è pubblicata la traduzione italiana di Harold A. Meek (*Guarino Guarini*, 1991), mentre nel primo decennio degli anni 2000, esce la monografia di Giuseppe Dardanella (2006) che, a differenza della precedente, raccoglie contributi di studiosi differenti. Un recente rinnovato interesse, legato al restauro strutturale della cappella della Sacra Sindone, è stato la tematica di un numero monografico della rivista *Nexus Network Journal* "Guarino Guarini: open questions, possible solutions" (2009).

³ H. A. Meek, G. Guarini, *Guarino Guarini*, Electa, Milano 1991.

⁴ In molti hanno tracciato una biografia di Guarino Guarini. In particolare si cita qui il prezioso lavoro di regesto in M. Passanti, G. Guarini, *Nel mondo magico di Guarino Guarini*, Tosco, Torino 1963. H. A. Meek, G. Guarini, *Guarino Guarini*, cit. E il più recente H. A. Millon, *L'architettura di Guarino Guarini*, in G. Dardanella et al. (a cura di), *Guarino Guarini*, Umberto Allemandi & C., Torino 2006, pp. 9–20. Per una lettura biografica del padre teatino attraverso la lente dei documenti autografi si legga il dettagliato e appassionante A. Lange, *Disegni e documenti di Guarino Guarini*, in V. Viale (a cura di),

Modena è indubbiamente legata alla presenza costante, simbolica, burocratica e spirituale dell'Ordine dei Teatini, o dei Chierici Regolari, *Ordo Clericorum Regularium*. L'Ordine venne fondato da Gaetano Thiene (1480-1547) (FIG. 2), nominato santo della Chiesa cattolica da Clemente X⁵ e da Gian Pietro Carafa (1476-1559), prima vescovo di Chieti⁶, poi pontefice con il nome di Paolo IV, e approvato da papa Clemente VII nel 1524.

I teatini sono un Ordine rilevante all'interno della Controriforma, a tal punto che, secondo Francisco Andreu, il termine 'teatino' o 'chietino' stava ad indicare "chiunque facesse professione di vita spirituale e riformata", e qualsiasi chierico di costumi austeri veniva chiamato in quel modo⁷. Andreu, continua spiegando la missione dichiarata dal nuovo Ordine religioso. "Come Chierici essi avrebbero preso a cuore la cura delle anime, l'amministrazione dei sacramenti, la predicazione, la vita liturgica. Come Regolari i fondatori pensavano ad una società basata sul principio della vita comune e la professione dei tre voti di povertà, castità, obbedienza"⁸. Le sedi teatine vennero così chiamate case: queste avevano spesso in carico la gestione di un noviziato e un corpo docente, ed erano suddivise in tre regioni principali: romana, alla quale apparteneva la regione modenese, napoletana e siciliana⁹.

La posizione geografica, le possibili fonti e gli interessi di Guarini risultano allora strettamente legati al suo ruolo all'interno dell'Ordine. Può risultare quindi conveniente narrare i vari episodi biografici secondo lo schema geografico suggerito dalle città nelle quali visse: Roma, Modena, Guastalla, Messina, Parigi, Torino¹⁰, morendo a Milano il 6 Marzo 1683. Ad ognuno dei luoghi può essere collegata una porzione della sua attività scientifica e progettuale.

Guarini è a Roma tra il 1639 al 1647: la casa dell'Ordine è San Silvestro al Quirinale, la chiesa invece si trova a Sant'Andrea della Valle. Ricollegare l'opera guariniana alla produzione del Barocco, in particolare borrominiano, sembra una operazione addirittura banale, ma pare invece si possa esplicitare più chiaramente come questo legame si sviluppi. Tra i teatini della sede romana troviamo Valerio Poggi (1575-?) sovrintendente alla costruzione di Palazzo Barberini (1625-1633) e del palazzo di Propaganda Fide (1620-1667)¹¹. È inoltre a Roma che incontra il collega Girolamo

Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 90–317.

⁵ F. Andreu, *I Teatini*, in M. Escobar (a cura di), *Ordini e congregazioni religiose*, Società editrice internazionale, Torino 1951, pp. 567–607.

⁶ Il nome latino di Chieti (*Theate*) è il passaggio etimologico per la nomenclatura da Ordine dei Chierici Regolari a cosiddetti Teatini.

⁷ F. Andreu, *I Teatini*, cit.

⁸ Ibid.

⁹ Per un inquadramento dettagliato della situazione economica e sociale dei Teatini nel 1649 si veda M. Campanelli, *L'ordine dei teatini alla metà del XVII secolo secondo l'inchiesta innocenziana*, in M. Campanelli (a cura di), *L'inchiesta di Innocenzo X sui regolari in Italia*, Edizioni di Storia e Letteratura, Roma 1987, pp. 3–94.

¹⁰ La formazione di Guarini contiene ancora oggi dei momenti poco chiari. La più recente ricerca riguardo questo tema accenna alla possibilità che Guarini non abbia trascorso tutti i sette anni di noviziato a Roma, ma che almeno una parte di essi si sia compiuta a Venezia. S. E. Klaiber, *La formazione di Guarini*, in G. Dardanella *et al.* (a cura di), *Guarino Guarini*, Umberto Allemandi & C., Torino 2006, pp. 23–28.

¹¹ S. E. Klaiber, *Guarino Guarini's Teatine architecture*, New York, Columbia University.

Vitali (1623/24-1698), astronomo e teologo teatino, che pubblica a Parigi nel 1668 un *Lexicon Mathematicum Astronomicum Geometricum*¹², nel quale raccoglie le definizioni di termini astrologici, astronomici, geometrici, strumentali, a partire da uno studio di molteplici fonti¹³. In molti hanno già sottolineato la relazione tra gli elementi architettonici degli edifici romani e la successiva produzione guariniana¹⁴. Risulta tuttavia più rilevante ai fini di questa ricerca comprendere come si siano costituite le relazioni personali e formative all'interno del periodo di noviziato di Guarini tali da avergli trasmesso una conoscenza tanto approfondita dell'arte di costruire da permettergli di ultimare il suo primo progetto per una cupola lignea, a Modena, già nel 1653.

La casa teatina modenese presenta una curiosità rispetto al normale assetto di quelle della regione romana: dalle evidenze documentali si comprende come il numero dei religiosi insediati non fosse costante, determinando come essa fosse un luogo di transito utilizzato probabilmente come ospedale per religiosi anche appartenenti anche ad altri Ordini¹⁵.

Questo mostra Modena come un ambiente florido per la crescita di Guarini, al tempo venticinquenne: in territorio emiliano infatti trascorrerà sei anni, che lo vedono coinvolto in impegni didattici e amministrativi, fino a diventare *preposito* della casa.

¹² G. Vitali, *Lexicon mathematicum astronomicum geometricum [...]*, Ex Officina Ludovic. Billaine, Parigi 1668.

¹³ Opera bizzarra quella di Vitale, che manterrà con Guarini un rapporto di amicizia. Sono presenti nell'opera le descrizioni anche di temi legati alla magia, e in conclusione del volume una valutazione sulla simpatia. "In essa Vitali, trattando del *pulvis sympatheticum*, difende la possibilità dell'azione per radiazione. L'autore riprende la teoria galenica della simpatia e la applica al mondo intero, reintroducendo una virtus occulta di origine astrale." Da L. filosofici dell'età Moderna, *VITALI, 1668*, s.d. http://www.iliesi.cnr.it/Lessici/scheda_Vita.htm (pagina consultata il 15/10/2018). Per un regesto della vita di Vitali si veda A. Rabassini, *Il Lessicografo dell'astrologia. Note biografiche Su Girolamo Vitale (1623/24-1698)*, in *Bruniana & Campanelliana*, n. 18, 2, 2012, pp. 675–681.

¹⁴ S. Benedetti, *Guarini e il barocco romano*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 705–750; A. Griseri, *Guarini risolutivo fra '600 e '700*, in *Le metamorfosi del Barocco*, Einaudi, Torino 1967, pp. 179–216; P. Portoghesi, G. Guarini, *Guarino Guarini 1624-1683*, Electa, Milano 1956.

¹⁵ M. Campanelli, *L'ordine dei teatini alla metà del XVII secolo secondo l'inchiesta innocenziana*, cit.



FIG. 1
P.D. Guarinus Guarinis Cleric. Regul., in G. Guarini,
Disegni d'architettura civile et ecclesiastica. 1686.

FIG. 2
G. Tiepolo, *San Gaetano da Thiene*, 1710-1736.
Museo nazionale delle Belle Arti, Rio De Janeiro.

Probabilmente proprio gli impegni didattici renderanno possibile la notevole mole pubblicistica di Guarini: un'eccezione nel panorama dei progettisti architettonici¹⁶. A riguardo, valutare complessivamente la sua opera scritta è ancora oggi campo di dibattito per gli studiosi che hanno affrontato l'argomento.

Se il Milizia¹⁷ lo derubrica dispregiativamente alla caricatura di un borrominiano¹⁸, non si possono non considerare l'ampiezza e la varietà dei suoi interessi che si dispiegano in trattati filosofici, astronomici, architettonici e civili-militari, comprendendo anche una commedia per i padri messinesi come prima pubblicazione. Ad oggi una prospettiva critica della sua opera che voglia essere ampia si scontra tuttavia con una nuova 'milizia' critica che tende da un lato alla celebrazione del suo genio barocco, e dall'altro a comprimerne il pensiero, assumendo come generali analisi invece monotematiche, e non considerando la pluralità di figure che il teatino inevitabilmente incarnava.

È in questo senso esemplare la trattazione su Guarini di Dalibor Vesely¹⁹ nel suo *Architecture in the age of divided representation*. Rovesciando il comune sistema di pensiero, l'autore parte dall'inquadramento filosofico e teologico seicentesco per poi giungere a commentare le opere costruite. Guarini diventa cardine per l'esemplificazione della cosiddetta rappresentazione 'interrotta', che prende origine nell'opera di Descartes, e consiste nella cesura tra forme di rappresentazioni simbolico-comunicative e strumentali-non-comunicative²⁰. Questa discontinuità, che appunto coincide con la natura della rappresentazione interrotta, è stata resa più chiara nell'astrattezza di linguaggio dell'algebra e nel metodo sperimentale della scienza moderna. Al contempo, la nuova rappresentazione non potendo soddisfare i sistemi di conoscenza della tradizione basati sulle entità geometriche, genera quella discontinuità. Guarini, insieme a Borromini e Vittone, è un esempio di progettista-trattatista che ha cercato di conciliare la forza intellettuale della nuova scienza ad una lettura critica della tradizione aristotelica a cui appartiene,

¹⁶ Il regesto biografico presentato offre l'opportunità di collocare, temporalmente e geograficamente, le opere del teatino. Una possibile figura di raffronto è Christopher Wren (1632-1723) contemporaneo di Guarini ma vissuto più a lungo. Il paragone è calzante nel campo delle applicazioni strutturali: Wren e Robert Hooke progettaron la volta della cattedrale di Saint-Paul (1669-1697) con una cupola basata su un paraboloide di rotazione. La formula algebrica è un risultato della ricerca dei due a proposito della linea catenaria che portò a usare la parabola cubica in quel progetto. A riguardo si veda J. Heyman, *Hooke's cubico-parabolical conoid*, in *Notes and Records of the Royal Society*, n. 52, 1, 1998, pp. 39-50; R. Iliffe, *Material Doubts: Hooke, Artisan Culture and the Exchange of Information in 1670s London*, in *The British Journal for the History of Science*, n. 28, 3, 1995, pp. 285-318.

¹⁷ F. Milizia, *Memorie degli architetti antichi e moderni*, Dalla Stamperia Reale, Parma 1781. Per una analisi completa si veda A. Cavallari Murat, *Struttura e forma nel trattato architettonico del guarini*, in *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, 1, 1970, pp. 451-496.

¹⁸ M. Capucci, *Guarino Guarini letterato*, in *Lettere italiane*, n. VIII, 1956, pp. 75-82.

¹⁹ D. Vesely, *Architecture in the Age of Divided Representation: The Question of Creativity in the Shadow of Production*, MIT Press 2004.

²⁰ "An obvious example, now a cliché, is the dualism of reason and feeling, classicism and romanticism, rationalism and organicism, and so on. There is probably an element of truth in such oppositions, but they tend to obscure the more fundamental, historically constituted tension between the symbolic-communicative and the instrumental-noncommunicative representations of reality." Ibid.

poiché “Guarini was able to incorporate in his architecture the most advanced knowledge from other disciplines, mainly theology, philosophy, and mathematics”²¹.

Si anticipa così ciò che sarà la conclusione di questo capitolo: non risulta possibile analizzare la figura di Guarini senza uno studio della sua opera nella sua completezza, allontanandosi il più possibile quindi da un approccio monodisciplinare. Non si vuole affermare di essere riusciti in tale proposito, tuttavia questo deve rappresentare un prerequisito essenziale per proseguire. Si cercherà di pertanto di confermare la caratteristica pluri-disciplinare quale peculiarità del teatino all'interno del panorama scientifico seicentesco. Tale poliedricità scientifica equivale, d'altra parte e di riflesso, alla sua applicabilità per i metodi progettuali contemporanei.

Per comprendere la figura di Guarini si è scelto di usare un celebre schema offerto da Marcello Fagiolo²², che descrive la ‘Geosofia del Guarini’ (FIG. 3), termine grazie al quale lo studioso cercava di riunire semanticamente la figura dello scienziato e quella di creatore di contenuti simbolici. Originata dall'unione lessicale tra la geometria e la filosofia guariniane, la ‘geosofia’ è in realtà una formula di convergenza²³, una descrizione tanto del sistema di pensiero di Guarini quanto di un metodo di ricerca e analisi della sua opera, comprendendo la sua produzione scientifica e architettonica.

A ben vedere, analizzando il repertorio bibliografico guariniano a disposizione, ci si sente come davanti ad un'opera di anamorfosi diottrica²⁴, in cui il lettore ha bisogno di un prisma sfaccettato per ricomporre le figure presenti nel quadro²⁵. Le facce del prisma, o lenti (FIG. 4), saranno le nozioni geometriche presenti nel trattato geometrico, l'*Euclides adauctus et methodicus mathematicaque universalis*²⁶, poi riportate in parte ne l'*Architettura civile*²⁷ e le discipline di ottica, meccanica, gnomonica e astronomia, con particolare riferimento all'adozione del sistema geocentrico.

²¹ Ibid.

²² M. Fagiolo, *La «geosofia» del Guarini*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 179–204.

²³ Il citato articolo di Fagiolo per la prima volta nella letteratura guariniana affronta per paragrafi una pluralità di elementi, cercando di tracciare, nell'interesse peculiare della ricerca, una relazione tra questi e l'architettura progettata dal teatino.

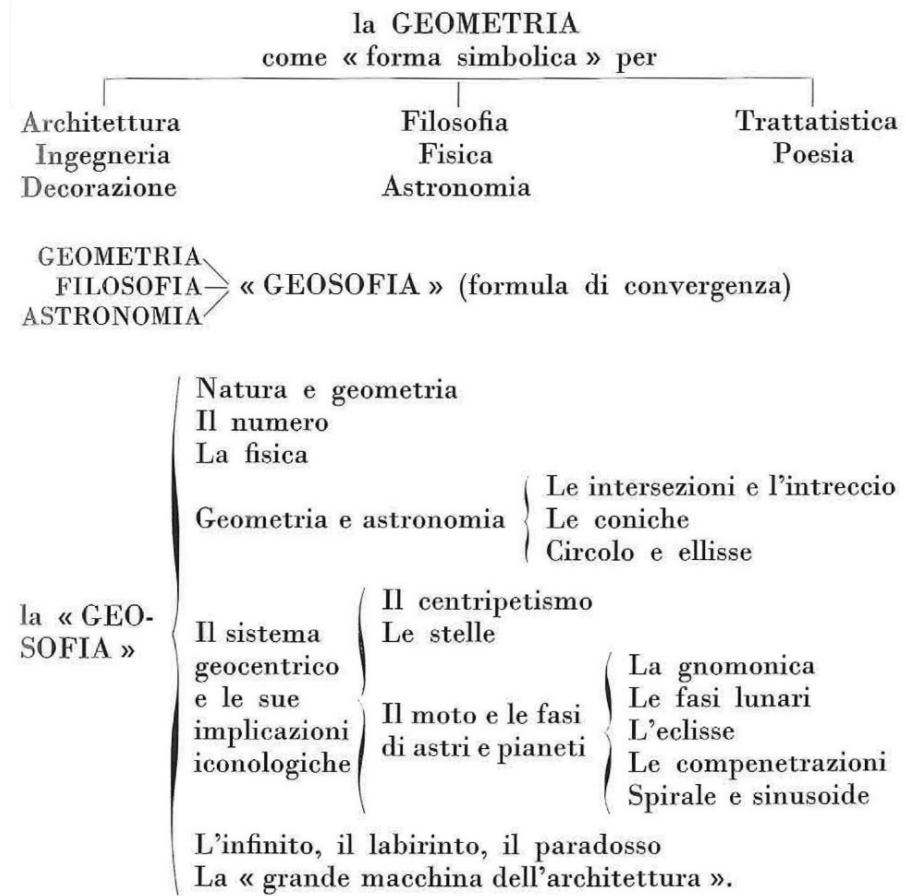
²⁴ Per anamorfosi diottrica si intende il processo di produzione di una immagine di senso compiuto quale corrispondenza di più segni appartenenti ad un'immagine di partenza. Il funzionamento avviene grazie all'uso delle proprietà di rifrazione di un mezzo trasparente sfaccettato.

²⁵ Dalibor Vesely dimostra come, ad esempio, le interpretazioni degli studiosi del significato della cappella della Sacra Sindone di Torino siano talvolta pressapochiste a causa dello scollamento con il contesto scientifico e matematico del tempo. D. Vesely, *Architecture in the Age of Divided Representation: The Question of Creativity in the Shadow of Production*, cit.

²⁶ G. Guarini, *Euclides adauctus et methodicus mathematicaque universalis*, Typis Bartholomei Bibliopole S. R. C., Torino 1671.

²⁷ G. Guarini, *Architettura civile*, Gianfrancesco Mairese all'Insegna di Santa Teresa di Gesù, Torino 1737.

FIG. 3
 M. Fagiolo, *la*
«GEOSOFIA» di
Guarini, in M.
 Fagiolo, *La geosofia di*
Guarini in Guarino
 Guarini e
 l'internazionalità del
 Barocco, 1970.



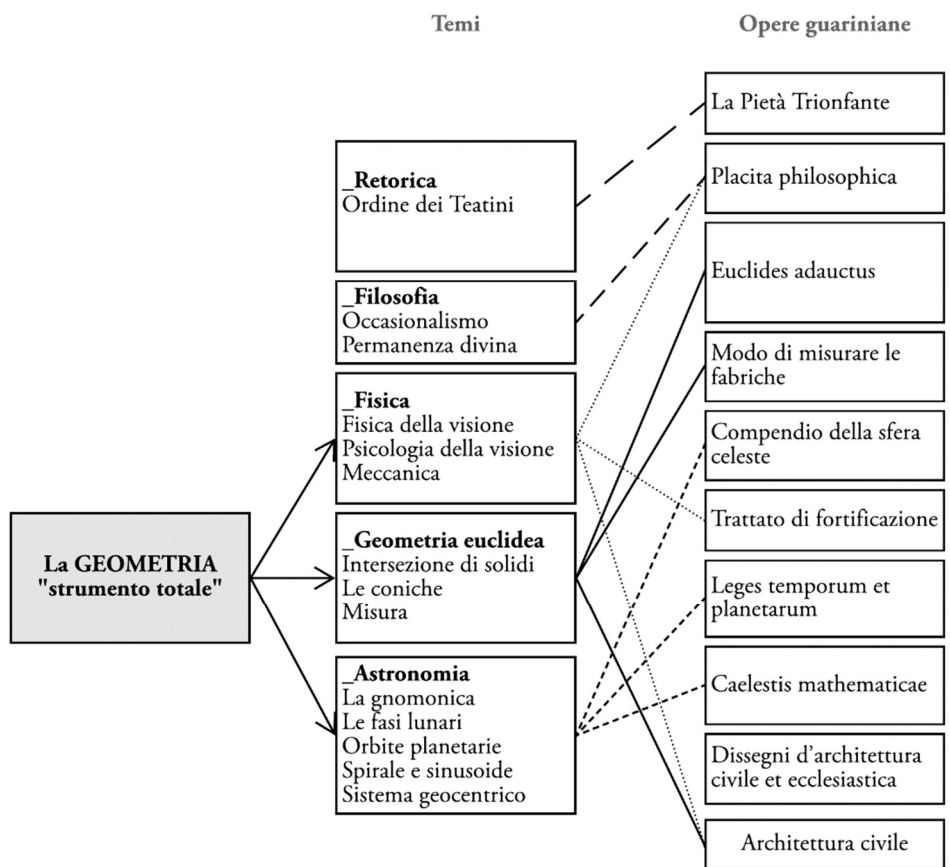


FIG. 4
La geometria come strumento totale, relazione tra opere e analisi (lenti).



FIG. 5
S. Leclerc, *L'Académie des Sciences et des Beaux-Arts*, 1698. Metropolitan Museum of Art, New York.

Una prima *lente* riguarda l'analisi delle fonti trattatistiche²⁸, analizzandone la portata e le rappresentazioni in essi presenti. Si potrebbe così arrivare ad una conclusione probabilmente errata, ovvero che Guarini sia una figura 'minore' della cultura scientifica europea del Seicento.

Per ragioni biografiche non può appartenere al circolo intellettuale di Marin Mersenne (1588-1648), cardine centrale del *milieu* scientifico e filosofico della prima metà del Seicento. D'altra parte, nelle citazioni guariniane di altri autori, che sono numerose e appaiono sincere, risulta qualche rimando ai personaggi più importanti della cultura trattatistica seicentesca: Descartes, Copernico, Keplero. Altre tracce tuttavia rimandano evidentemente ad una conoscenza più ampia che Guarini tende a non citare frequentemente: si scopre così che è proprietario di una copia di *Magnes Sive De Arte Magnetica Opus Tripartitum* (FIG. 6) di Athanasius Kircher (1602-1680)²⁹. Ciò in parte invalida le ricerche bibliografiche effettuate su un periodo particolare della crescita di Guarini che corrisponde al soggiorno parigino tra il 1662 e il 1666³⁰. È risaputo come tale momento storico rappresenti per Guarini una sorta di consacrazione come progettista: qui pubblica l'opera *Placita Philosophica*³¹ e progetta la chiesa parigina dei teatini, Sant'Anna Reale.

Dal 1644 i teatini si erano insediati a Parigi grazie tanto alla protezione del cardinale Giulio Mazzarino, quanto ad un certo successo ottenuto durante le celebrazioni liturgiche dell'Ordine³²: anche la regina Anna d'Austria, dalla quale il nome della chiesa è evidentemente ispirato, risultò presente in una di queste cerimonie durante la settimana pasquale³³. Scrive Meek che "i teatini, come del resto gli altri militanti fondati nel secolo precedente per combattere gli attacchi della controriforma, [...] sapevano anche sfruttare abilmente tutti quegli strani artifici teatrali che venivano poi utilizzati per catturare i sentimenti dei fedeli ed estasiarne l'intelletto".

²⁸ S. E. Klaiber, *La formazione di Guarini*, cit.

²⁹ Il libro in questione è ora in possesso della biblioteca della *University of California* – Berkeley. L'*ex libris* presenta la dicitura "Guarino Guarini matematico di SAR", confermando come il libro fosse stato acquisito dopo l'arrivo di Guarini a Torino (FIG. 8).

³⁰ D. R. Coffin, *Padre Guarino Guarini in Paris*, in *Journal of the Society of Architectural Historians*, n. 15, 2, 1956, pp. 3–11.

³¹ G. Guarini, *Placita philosophica*, Dionysium Thierry, Parigi 1665. Una recensione dell'opera viene fatta nel 1666 da *Le Journal des sçavans*. L'opera ai contemporanei francesi appare di buon valore, soprattutto per quanto riguarda la sezione della Fisica, ma vengono apprezzate anche quelle della Logica e della Metafisica. *Placita Philosophica Guarini. Guarini Clerici Regularis. In fol. Paris, apud Dionys. Thierry*, in *Le Journal des sçavans*, 1666, novembre, pp. 461–462.

³² "Le chiese si trasformano in teatri melodrammatici; i giansenisti ne sono sconvolti, ma la regina Anna d'Austria [...] compare a sorpresa nella chiesa di Sainte-Anne-la-Royale, per assistere di persona a una di queste "représentations... en forme de théâtre", in cui una lunga prospettiva si conclude con il Santissimo sacramento esposto sull'altare." In H. A. Meek, G. Guarini, *Guarino Guarini*, cit.

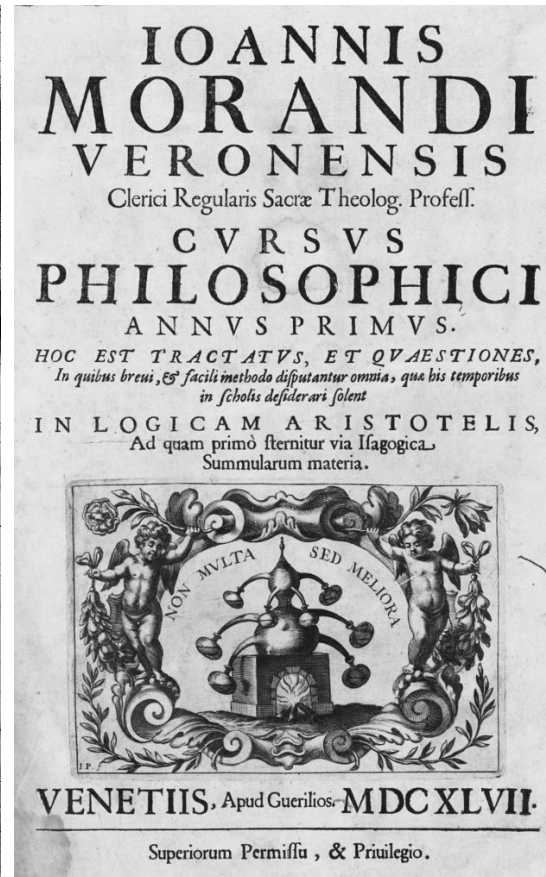
³³ L'uso dei sensi per veicolare un significato teologico e politico è stato molto trattato, ad esempio per quanto riguarda il ruolo degli "emblem" nella letteratura didattica barocca come "concetto pratico", e sicuramente interessava i Reali europei. Altro argomento noto è il passaggio tra importanza della vista e successivo inganno degli occhi, e tra esperienza fisica e psicologica. J. A. Maravall, *Obiettivi sociopolitici nell'impiego di mezzi visivi*, in *La cultura del Barocco. Analisi di una struttura storica.*, Il Mulino, Bologna 1985, pp. 413–432.

Il regesto della biblioteca dei Teatini a Parigi³⁴ al 1789 mostra la presenza di circa ottomila volumi, dei quali circa cinquecento di ambito filosofico³⁵. L'elenco delle opere è utile tanto per esaminare un esempio di organizzazione del sapere dell'Ordine al di fuori dei confini italiani, quanto per verificare alcuni possibili studi del Guarini. Tra le opere *in folio*, si ritrovano gran parte dei riferimenti scientifici citati dal teatino: *Cursus Philosophicus* (1647) (FIG. 7) di Giovanni Morandi (*-*), l'opera omnia di Gerolamo Cardano (1501-1576), i trattati astronomici di Giovanni Battista Riccioli (1598-1671), *Opticorum libri VII* (1613) di François d'Aguilon (1567-1617) (FIG. 9), *Gnomonices Libri VIII* (1581) di Christophorus Clavius (1538-1612), *Hydrographie* (1667) di Georges Fournier (1595-1652), *Mineralogia* (1636) di Bernardo Cesi (1582-1630), l'*Opera philosophica* di René Descartes (1596-1650), l'*Opera mathematica* di Galileo Galilei (1564-1642), il *De cometis* (1619) di Johannes Kepler (1571-1630), *Ptolemaeus Parvus* (1654) di Andrea Argoli (1570-1657) e il *Traité de la lumière* (1690) di Christian Huyghens (1629-1695). Tra gli altri, *in ottavo*, si trovano anche il *Traité de l'homme* (?) e l'epistolario di Descartes, *De la recherche de la vérité* (1674-1675) di Nicolas Malebranche.

Come si può notare, non sono presenti né le opere di Kircher né quelle di scienziati inglesi quali John Wallis (1616-1703), citato dallo stesso Guarini nell'*Architettura civile*, né di Christopher Wren (1632-1723), presente a Parigi durante il suo soggiorno. Inoltre, non si ritrovano opere di geometria e trattati prospettici, e neppure alcun riferimento ai manuali di stereotomia del tempo, come ad esempio il trattato di Mathurin Jousse (1575-1645) o del gesuita François Derand (1590-1644).

³⁴ Questa operazione venne già svolta da Evelyn Picard nell'articolo "Les Theatins de Sainte-Anne-la-Royale (1644-1790).", sulla rivista di studi teatini "Regnum Dei", 36, no. 106:99-374.

³⁵ Per un elenco di opere per l'insegnamento della geometria nel XVII secolo si veda F. W. Kokomoor, *The Teaching of Elementary Geometry in the Seventeenth Century*, in *Isis; an international review devoted to the history of science and its cultural influences*, n. 11, 1, 1928, pp. 85-110.



In senso orario:

FIG. 6
A. Kircher, *Magnes sive de arte magnetica opus tripartitum*, 1641.
Frontespizio.

FIG. 7
G. Morandi, *Cursus Philosophici*, 1647. Frontespizio.

FIG. 8
Ex libris Guarino Guarini,
Matematico di Sua Altezza Reale.

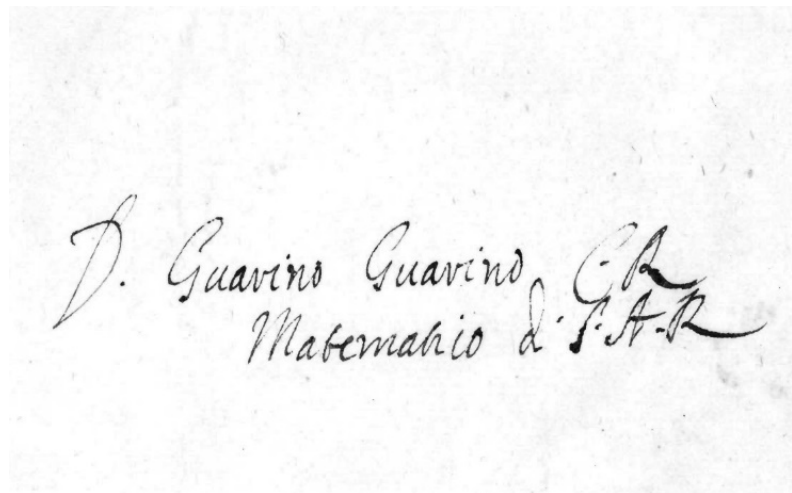




FIG. 9
P. P. Rubens, L'operazione della proiezione in F. d'Aguilon, *Opticorum libri VII.* 1581 (frontespizio).

LASTRA V. TRAT. II.

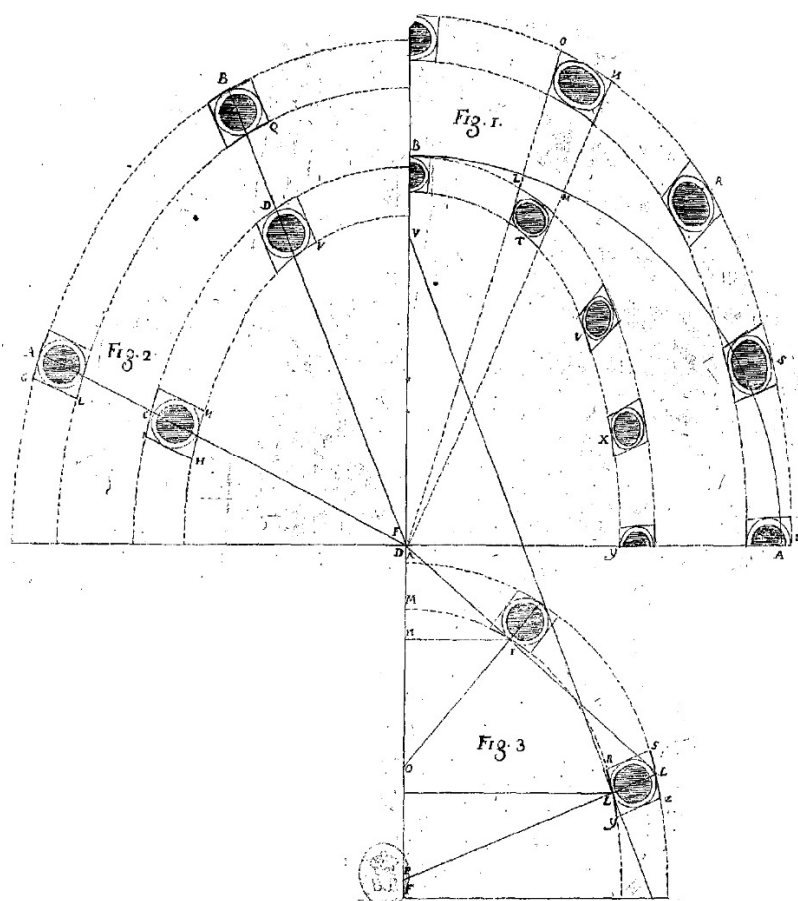


FIG. 10
G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Lastra V, Trattato III. "Del modo di disporre un colonnato nel tondo".
In figura 1, la soluzione obliqua di Caramuel. In fig. 2 e 3 due soluzioni proposte da Guarini.

D'altra parte, come verrà dimostrato più avanti, non si può certo dubitare che lo stesso Guarini abbia consultato questi trattati, perché di sua proprietà o in altre biblioteche parigine³⁶, a supporto della progettazione e costruzione della chiesa di *Sant'Anne Royale*, realizzata in pietra a taglio secondo regole stereotomiche³⁷.

Nell'opera di Guarini, con particolare riferimento all'*Architettura civile*, viene più volte citato un altro celebre personaggio della scienza geometrica seicentesca, Juan Caramuel y Lobkowitz³⁸, uno dei massimi 'poeti visivi' del Seicento³⁹.

La *querelle* in questione riguarda la cosiddetta architettura obliqua esposta da Caramuel a fronte di critiche di carattere tecnico-pragmatiche del teatino. Guarini schernisce il padre cistercense in riferimento alla soluzione di questi per il colonnato di San Pietro, che prevedeva la deformazione plastica delle colonne berniniane circolari a ellittiche (FIG. 10)⁴⁰.

Tuttavia, sembra riduttivo pensare che la disputa sia, come peraltro emerge dalla lettura dei documenti, una questione puramente tecnica. Sebbene le compensazioni geometriche della percezione dell'architettura siano necessarie, Guarini afferma come la sua estremizzazione in un illusionismo prospettico sia inaccettabile. "L'architettura, sebbene dipenda dalla Matematica, nulla di meno ella è un'arte adulatorice, che non vuole punto per la ragione disgustare il senso: onde sebbene molte regole sue seguano i suoi dettami, quando però si tratta che le sue dimostrazioni osservate siano per offendere la vista, le cangia, le lascia, ed infine contraddice alle medesime."⁴¹

L'architettura tende alla seduzione dello spazio sensibile, pertanto qualsiasi progetto di inganno degli occhi, fino al progetto dell'architettura obliqua va confutato e attaccato. Piuttosto, l'approccio che Guarini spesso segue è quello di creare una macchina della meraviglia fondata sullo sbilanciamento percettivo degli aspetti strutturali: ne sono un facile esempio la chiesa di San Lorenzo e la cupola della cappella della Sacra Sindone⁴², nelle quali il fedele percepisce un inusuale,

³⁶ Alcune biblioteche degli altri Ordini controriformistici erano aperte agli studiosi. Ad esempio, De Rosa riporta come la biblioteca dell'Ordine dei Minimi in *Place Royale*, contenente circa ventimila volumi, fosse aperta ai ricercatori per quattro giorni alla settimana. A. De Rosa, *L'oblio del visibile, la memoria dell'invisibile: Jean Francois Nicéron taumaturgo ottico*, in A. De Rosa (a cura di), *Jean François Nicéron. prospettiva, catottrica e magia artificiale*, Aracne, Roma 2013, pp. 3–85.

³⁷ A. Boase, *Sant'Anna Reale*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 345–349.

³⁸ W. Oechslin, *Osservazioni su Guarino Guarini e Juan Caramuel de Lobkovitz*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970.

³⁹ M. Brusatin, *La macchina della meraviglia*, Einaudi, Torino 1986.

⁴⁰ W. Oechslin, *Osservazioni su Guarino Guarini e Juan Caramuel de Lobkovitz*, cit.

⁴¹ G. Guarini, *Architettura civile*, cit.

⁴² Da questa considerazione nasce la stima di Guarini nei confronti dell'architettura gotica, fatto più volte analizzato e discusso. P. Marconi, *Guarino Guarini ed il Gotico*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970. E. Dellapiana, C. Tosco, *Il miracolo strutturale Guarini e l'ordine gotico*, in E. Dellapiana, C. Tosco (a cura di), *Regola senza regola. Letture dell'architettura medievale in Piemonte da Guarini al Liberty*, CELID, Torino 1996, pp. 10–16.

forse inconcepibile, metodo di trasmissione dei pesi verso il suolo⁴³. A dispetto dell'apparenza, la struttura è adeguatamente progettata in modo volutamente obliquo, inserendo archi nascosti che 'spostano' il peso lontano dalla vista.

Per l'opera della cappella della Sacra Sindone gran parte della discussione sul comportamento strutturale si è storicamente focalizzata tra un sistema portante ad archi sovrapposti litici, interni, e archi radiali in laterizio all'esterno. Il capitolo 4 di questa tesi cercherà di offrire, con l'aiuto di un modello BIM, un supporto alla definizione e risoluzione del problema⁴⁴.

Una seconda *lente* per un parziale intendimento dell'opera guariniana è costituito dai riferimenti di carattere scientifico. L'opera con cui orientarsi è rappresentata dai volumi *Placita Philosophica* (FIG. 11), pubblicata a Parigi nel 1665, per l'educazione dei noviziati teatini⁴⁵. Essa, in prima battuta, può essere considerata la conclusione di un'attività di insegnamento che Guarini aveva svolto per quindici anni tra Modena, Messina e Parigi.

Occorre comprendere come Guarini si comporti nel conciliare, all'interno del sistema filosofico di base aristotelica, le questioni che la nuova scienza poneva all'ordine del giorno. Fin dalla sua prima definizione, l'impostazione gerarchica della filosofia guariniana non è in accordo con la tradizione aristotelica⁴⁶. Secondo il teatino il pensiero filosofico si divide in morale e naturale, quest'ultimo diviso ulteriormente nelle discipline di fisica, metafisica e matematica. Nella trattazione aristotelica, la matematica ha una posizione differente perché funge da cerniera tra metafisica e fisica⁴⁷.

Giorgio Pigafetta fa risalire l'impostazione scientifica di Guarini a Giovanni Morandi, il cui *Cursus*, come abbiamo visto, era certamente presente nelle biblioteche delle case teatine⁴⁸. La questione affrontata da Pigafetta riguardava il rapporto tra lo *scire per causa*, di tradizione aristotelica, e lo *scire per accidens*, di origine galileiana. Uno dei campi di discussione è quello che al tempo era conosciuto come resistenza dei materiali⁴⁹. Questa *lente* ci aiuterà a comprendere

⁴³ U. Quarello, *The unpublished working drawings for the nineteenth-century restoration of the double structure of the Real Chiesa di San Lorenzo in Torino*, in *Nexus Network Journal*, n. 11, 3, 2009, pp. 369–392.

⁴⁴ G. Di Lella, *La Cupola della Cappella della S.S.Sindone. Aspetti strutturali e costruttivi*, Politecnico di Torino.

⁴⁵ Per una precisa revisione dell'opera trattatistica di Guarini riguardo al tema della luce si veda J. P. McQuillan, *Geometry and light in the architecture of Guarino Guarini*, University of Cambridge.

⁴⁶ J. McQuillan, *Guarino Guarini and his Grand Philosophy of Sapiientia and Mathematics*, in *Nexus Network Journal*, n. 11, 3, 2009, pp. 341–349.

⁴⁷ Quando Guarini si riferisce a questa impostazione si concentra sul significato gerarchico ad astrazione decrescente: la Metafisica si astraie da tutta la materia, la Fisica dalla *materia perfectionis*, la Matematica dalla materia quantitativa.

⁴⁸ Riporta Marcella Campanelli "Per quanto riguarda la vita culturale, sappiamo che presso il convento di Piacenza esisteva uno studio di logica e che soltanto a Ravenna, Parma e Piacenza ["700 pezzi di libri d'ogni scienza, la maggior parte sacri"] si sostenevano spese per le biblioteche. Tale carenza potrebbe significare una mancanza di interessi di studio da parte dei Teatini, ma ciò contrasta con la fama da essi posseduta di costituire un Ordine colto".

⁴⁹ D. Capecchi, *Storia della Scienza delle costruzioni 1600-1800. La resistenza delle travi*, Progedit, Bari 2003; K.-E. Kurrer, *The History of the Theory of Structures: From Arch Analysis to Computational Mechanics*,

quale fosse la comprensione guariniana delle strutture e i principi che lo hanno portato a concepire elementi strutturali misti, come quelli che utilizza nelle sue architetture. Non si rileva alcuna traccia di queste argomentazioni nell'*Architettura civile*, trattato di 'affari pratici': occorre quindi rivolgersi all'esposizione scientifica dei *Placita Philosophica*, poiché "de resistentia agunt Philosophi"⁵⁰.

Guarini qui affronta un problema cardinale della meccanica del XVII secolo, ovvero la rottura di una trave incastrata, o appoggiata nel punto medio e caricata ai suoi estremi liberi (FIG. 12). A riguardo a quest'ultima afferma che "le cose si rompono più facilmente nel mezzo, che se si tirassero: allora in vero operano semplici forze senza aiuto della leva, e tutte le parti con uguale risultato resistono [...] quanto più dista la violenza rompente dal punto, sul quale appoggia il legno che si deve rompere, più facilmente si rompe. Poiché chiaramente comportandosi quella lunghezza a mo' di leva, quanto più lunga è tanto maggiore forza, come afferma Aristotele nella *Mech. Acquista muovendosi*"⁵¹. Guarini riporta quindi correttamente il funzionamento a rottura della trave incastrata, in quanto "per avere la rottura occorre il massimo momento delle forze"⁵².

La correttezza delle informazioni non è qui il fatto rilevante: piuttosto Guarini riporta una considerazione sulla differente sollecitazione imposta alle fibre della trave, non ancora valutata da Galileo⁵³. Le fibre superiori sembrano 'presagire' la rottura, tirandosi, mentre le fibre inferiori si comprimono. A supporto della sua intuizione segnala lo stesso comportamento nel legno giovane, che tende a corrugarsi sul lembo inferiore⁵⁴, rispetto a quello superiore che risulta teso. Nonostante questa corretta intuizione, la trattazione guariniana, come evidente in seguito, è molto distante alla teorizzazione formalizzata nel 1695 da Philippe de la Hire⁵⁵ (1640-1718) nel celebre *Traité de mécanique* (1695), sviluppato in seno all'*Académie des Sciences* (FIG. 5).

Ernst & Sohn, Berlino 2008; A. Sinopoli, *Il problema dell'equilibrio da Aristotele a Varignon*, Franco Angeli, Milano 2015.

⁵⁰ G. Guarini, *Placita philosophica*, cit.

⁵¹ Ibid.

⁵² Ibid.

⁵³ A. Mastrorilli, G. Pigafetta, *Scienza e meccanica in Guarino Guarini*, in Quaderni dell'Istituto di Storia dell'architettura, n. 1, 1998, pp. 47-68.

⁵⁴ Per una traduzione italiana del testo *Resistentia quantitatis ad se fragendum, Expensio II* appartenente a *Disputatio IX, De continui compositione*, si vedano le note presenti in Ibid. Rimane un fatto importante riguardo al rapporto tra Guarini e Galilei: il primo afferma come nei legni di pari lunghezza, ma di diversa sezione, la resistenza alla rottura cresce in proporzione doppia rispetto al diametro delle sezioni, contraddicendo il secondo che si riferisce ad un aumento triplo. Guarini afferma ciò sulla base di quello che Funkenstein chiama "divieto delle metabasi di origine aristotelica" ossia che: "nell'ambito stesso della geometria, solo figure dello stesso genere possono essere confrontate fra loro: linee con linee, curve con curve, aree con aree". Cfr. A. Funkenstein, *Teologia e immaginazione scientifica dal Medioevo al Seicento. Traduzione di Aldo Serafini*, Einaudi, Torino 1996.

⁵⁵ Per uno studio comprensivo circa la figura di de la Hire si vedano gli scritti di Becchi e Tamborero in AA.VV., *Philippe de la Hire*, Picard, Parigi 2009. Le posizioni degli autori ben spiegano quanto abbia avuto peso l'eredità, in termini di conoscenze di geometria, da Desargues e Bosse, per il "giovane" de la Hire, al fine del suo trattato sulla meccanica e di taglio delle pietre.

Rimane invece importante la descrizione del comportamento reale, in quanto espone delle riflessioni sul metodo induttivo: Guarini pare affascinato dalla trattazione *ad experimenta* tanto da richiamare l'esempio reale, che è un modello descrittivo decisamente efficace per il lettore. In ogni caso, l'impostazione deduttiva persiste, in ampie parti del trattato, gerarchicamente superiore, unico mezzo capace di garantire il vero nella universalità⁵⁶. Un esempio di ciò è la questione del moto per gravità, per la quale Guarini accetta la posizione di un'unica direzione del moto naturale e rettilineo, contraddicendo l'ipotesi di moto accelerato galileiana, anche se ne dimostra la lettura inserendo una diretta citazione dei dialoghi di Galileo: "tutte quelle cose che si attribuiscono alla levità, sono prodotte dalla sola gravità [...] Infatti il legno è semplicemente grave, e tuttavia nell'acqua, per la maggiore gravità dell'acqua, si porta verso l'alto [...] La sola gravità è il principio di ogni moto naturale per sé, certamente verso il basso, in vero per accidente verso l'alto. È di Galileo, dial. I. p. 59"⁵⁷.

La questione della gravità ci porta inevitabilmente al problema cosmologico, terza *lente* con cui analizzare la posizione scientifica guariniana. La portata della sistematizzazione newtoniana sta nella universalità della legge, che spiega la caduta di un grave e l'orbita ellittica dei pianeti. Anche sotto questo aspetto Guarini dimostra una attitudine, ossia quella della sintesi personale di posizioni differenti apparentemente contraddittorie, tra un sistema deduttivo e quello pienamente induttivo. Il procedere per deduzione è un'operazione valida solo per quelle conseguenze (deduzioni) che l'esperienza abbia confermato⁵⁸.

Pensare che un teatino come Guarini, in virtù della sua genialità architettonica e compositiva, possa accogliere le posizioni copernicane è ipotesi poco probabile. Adotta infatti un sistema geocentrico, dimostrando la centralità e l'immobilità della terra, ma eliminandone, ad esempio, il postulato aristotelico della circolarità delle orbite, sostituendolo con il concetto di orbite ellittiche⁵⁹.

Guarini rifiuta categoricamente l'ipotesi copernicana⁶⁰, ma l'esposizione delle soluzioni eliocentriche negli ambienti ecclesiastici era garantita dalla presentazione dei modelli cosmologici come ipotesi paritarie, "inter vero alias hypoteses", per poi eventualmente suggerirne il migliore attraverso un commento. Tra coloro che hanno adottato questo schema espositivo ritroviamo Giovanni Battista Riccioli, Simone Stevin e padre Claude François Milliet Dechaes, gesuita e

⁵⁶ A riguardo si veda anche M. Nasti, *Il sistema del mondo di Guarino Guarini*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970. L'impostazione metodologica filosofica è stata poi ripresa nel testo di Pigafetta.

⁵⁷ Viene qui riportata una traduzione offerta da A. Mastroilli, G. Pigafetta, *Scienza e meccanica in Guarino Guarini*, cit.

⁵⁸ "Conclusiones experientia confirmatas deducemus" in G. Guarini, *Placita philosophica*, cit. A riguardo si veda M. Nasti, *Il sistema del mondo di Guarino Guarini*, cit.

⁵⁹ Nel trattato geometrico *Euclides Adauctus*, Guarini specificherà come lo studio delle sezioni coniche sia utile allo studio degli specchi ustori, alla costruzione degli orologi solari e nella determinazione delle curve orbitali dei pianeti.

⁶⁰ Il concetto esposto è appartenente all'opera *Caelestis mathematicae* (1683), pubblicato a Milano nell'anno della morte del teatino. La struttura del trattato è simile a quella analoga del trattato *De motibus Sphaerarum Caelestium* dei *Placita Philosophica*.

indubbio riferimento matematico di Guarini⁶¹. La trattazione cosmologica più ampia è contenuta nel trattato *Caelestis mathematicae*, in cui nel Trattato VIII, *Theoriae planetarum descriptae*⁶² (

FIG. 13), viene introdotto questo concetto:

“Poiché, come abbiamo visto dalle osservazioni raccolte, i movimenti celesti sono irregolari, per porvi rimedio gli astronomi hanno inventato circoli e linee tortuose [...] Tra le diverse ipotesi, che sono state scritte per spiegare le irregolarità delle stelle, quelle di Tolomeo piacquero ai posteri, che le giudicarono tanto gradevoli che nessuno propose altri sistemi circolari, fino a quando non si propose Copernico”⁶³.

Nel trattato XVIII, prima che l'opera viri verso la trattazione della gnomonica, Guarini afferma come il modello da adottare sia quello tolemaico, con una sola correzione riguardo la posizione di Marte. Questa stessa opinione è espressa da Alberto Pérez Gómez: “Guarini's cosmological system is interesting because it clearly shows the Baroque obsession to synthesize the specificity of perceived phenomena with a geometrical theory [...] Guarini rejected Galileo's system as just one more geometrical hypothesis of the traditional kind, unable to explain our actual experience of the universe”⁶⁴.

Scelto l'inquadramento cosmologico, la forma delle orbite non è fatto di poco conto: da un punto di vista scientifico, è necessario far corrispondere il modello deduttivo con il dato osservato, requisito al quale l'astronomia tolemaica non doveva adeguarsi⁶⁵. Solo così infatti il modello appartiene anche alla sfera del *realiter*, ovvero a quella conoscenza profonda, che per Guarini è per l'appunto quella mediata dall'osservazione del reale. Il teatino così ammette le orbite ellittiche di Keplero⁶⁶, anche se continua a rappresentarla come circolari⁶⁷, per poi affrontare il tema delle traiettorie dei pianeti come viste dalla Terra affermando “iste motus spiralis est”⁶⁸, con una descrizione quanto meno bizzarra (FIG. 16).

⁶¹ Per un'analisi della profondità scientifica del gesuita Dechaes si veda A. Nardi, *Un galileiano eccentrico. Il gesuita François Milliet Dechaes tra Galileo e Newton*, in Archives Internationales d'Histoire des Sciences, n. 49, 1999, pp. 32–74.

⁶² G. Guarini, *Caelestis mathematicae*, Typographia Ludouici Montiae, Milano 1683.

⁶³ G. Guarini, *Placita philosophica*, cit.

⁶⁴ A. Pérez-Gómez, *Architecture and the Crisis of Modern Science*, in Architecture Theory since 1968, 1983.

⁶⁵ M. Nasti, *Il sistema del mondo di Guarino Guarini*, cit.

⁶⁶ A proposito della figura del matematico tedesco, una *lente* che pare non essere presente in Guarini è quella riferita all'analisi musicale, già analizzata, ad esempio, in riferimento proprio a Keplero, che comparava suono e luce in termini di emissione del fenomeno acustico e luminoso. Cfr. G. L. Hersey, *Architecture and Geometry in the Age of the Baroque*, University of Chicago Press, Chicago 2000. A. Pérez-Gómez, *Attunement: Architectural Meaning after the Crisis of Modern Science*, 2016. A. Bortot, *Emmanuel Maignan e Francesco Borromini. Il progetto di una villa scientifica nella Roma barocca del XVII secolo*, IUAV.

⁶⁷ Pare esserci un legame tra eliocentrismo e individuazione delle orbite parallele e la concezione obliqua, deformata, presente nelle applicazioni artistiche e trattatistiche legate alla visione anamorfica. Si veda F. Hallyn, *Du monde de Kepler comme anamorphose*, in Communication and Cognition: An Interdisciplinary Quarterly Journal, n. 14, 2–3, 1981, pp. 165–198. Come citato in A. De Rosa, *L'oblio del visibile, la memoria dell'invisibile: Jean Francois Nicéron taumaturgo ottico*, cit.

⁶⁸ G. Guarini, *Placita philosophica*, cit.

Una delle possibili interpretazioni di questa asserzione è che non si debba pensare a delle linee spirali, quanto a “[...] linee spiriche; più precisamente, in vari casi, di lemniscate sferiche [...] cioè di curve algebriche piane del quarto ordine”⁶⁹. In una delle rare figure dei *Placita Philosophica* si scorge invece il comportamento peculiare di un’orbita (FIG. 14). La rappresentazione fa riferimento alla *Expensio X, De motu Mercurij*⁷⁰, in cui viene descritta una traiettoria che è tangente a tre diverse orbite, due delle quali assunte come limite, a simulare, secondo Guarini, un movimento radiale di avvicinamento e di allontanamento (*depressiones et sublevationes*) rispetto al centro di rotazione attorno alla Terra. D’altra parte, per i moti planetari il teatino fa riferimento, come abbiamo visto prima, alla figura della spirale. Di origine archimedea, la curva rappresenta un movimento nel tempo, ottenuto dalla combinazione del moto angolare e di uno radiale di un punto. Nella descrizione, il moto di Mercurio pare proprio governato da moti di avvicinamento e di allontanamento dal centro gravitazionale secondo spirali a centro alternato, all’interno e all’esterno dell’orbita.

Si può supporre inoltre che alcune rappresentazioni guariniane possano essere state prese come soluzioni tecniche di progetto, trasformando comportamenti astronomici in elementi architettonici e strutturali. Questo giustifica alcune posizioni, tra cui, ad esempio, quella di Hersey, secondo il quale le architetture barocche hanno come modello le macchine astronomiche e temporali: le sfere armillari diventerebbero allora il modello della chiesa di San Lorenzo⁷¹.

⁶⁹ M. Nasti, *Il sistema del mondo di Guarino Guarini*, cit. La lemniscata è una curva a forma di otto, luogo dei punti dove si trova l’ombra dell’estremità dello gnomone di una meridiana all’istante del mezzogiorno medio.

⁷⁰ G. Guarini, *Placita philosophica*, cit.

⁷¹ G. L. Hersey, *Architecture and Geometry in the Age of the Baroque*, cit.

PLACITA
PHILOSOPHICA
R. P. D.
GVARINI GVARINI
MVTINENSIS
CLERICI REGVLARIS,
Vulgò Theatini,
SACRÆ THEOLOGIÆ PROFESSORIS;
PHYSICIS RATIONIBVS, EXPERIENTIIS; MATHEMATICISQVE:
figuris ostensa: quæ sicut sacræ Theologiæ lenius obsequuntur, ita à
principiis aliarum scientiarum obstinacius non abhorrent: simulque
Vniuersæ Philosophiæ Theses felici pede percitant.

CVM DVOBVS INDICIBVS,
Alio Disputationum; Rerum altero.



PARISIIS,
Apud DIONYSIVM THIERRY, viâ Iacobæâ, ad insigne Ciuitatis
Parisiensis.

M. DC. LXV.
Cum Privilegio Regis, et Superiorum Permissu.

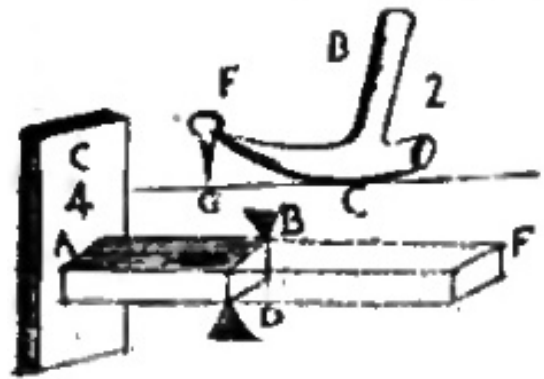
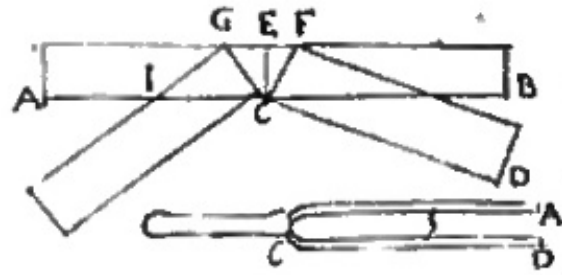
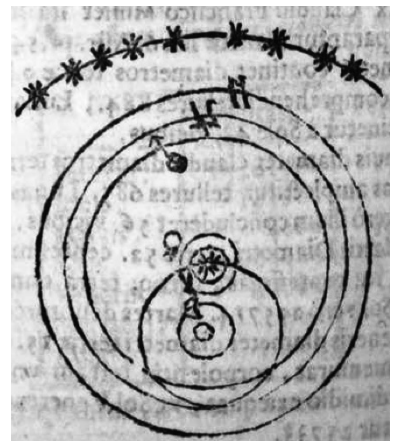
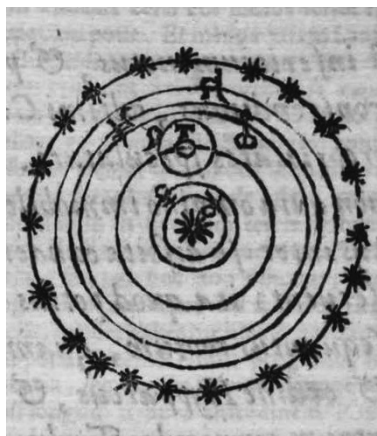
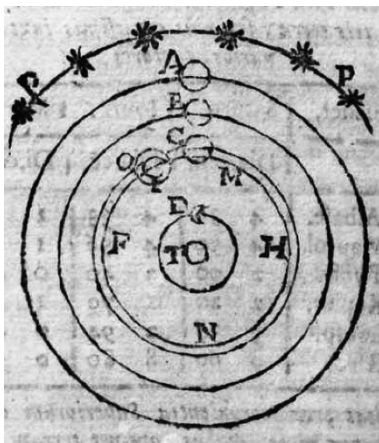


FIG. 11
G. Guarini, *Placita Philosophica*. 1665. Frontespizio.

FIG. 12
G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Disputatio IX, De continui compositione, p. 249.

FIG. 13
G. Guarini, *Caelestis mathematicae*, 1683.
Rappresentazione del sistema cosmologico tolemaico, copernicano e tichiano.



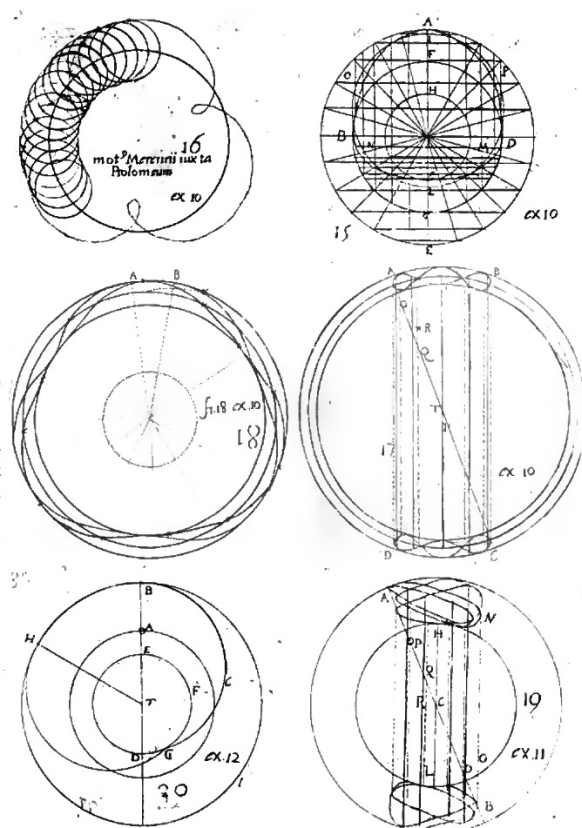


FIG. 14
G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Disputatio V, De motibus spaerarum caelestium, p. 326.

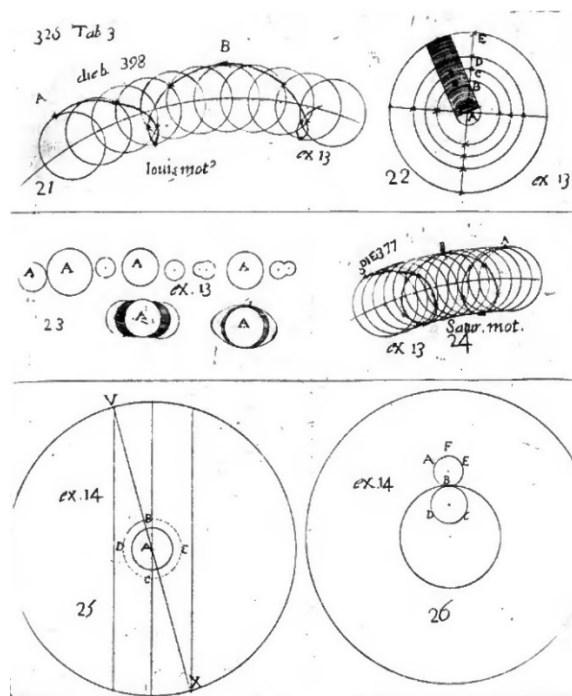


FIG. 15
G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Disputatio V, De motibus spaerarum caelestium, p. 329.

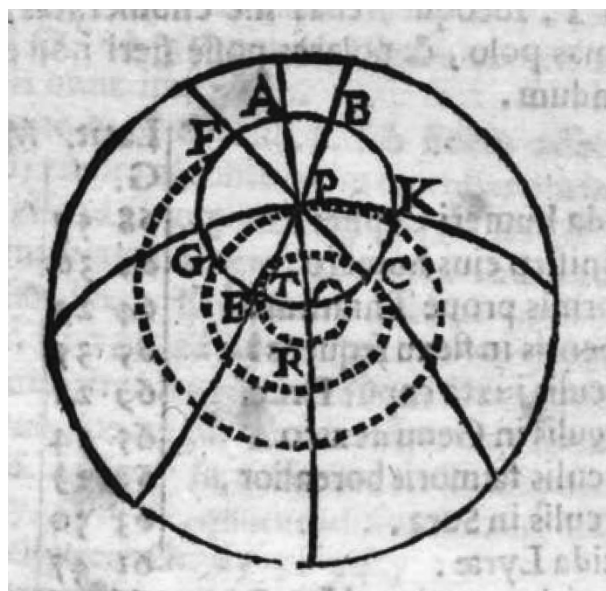
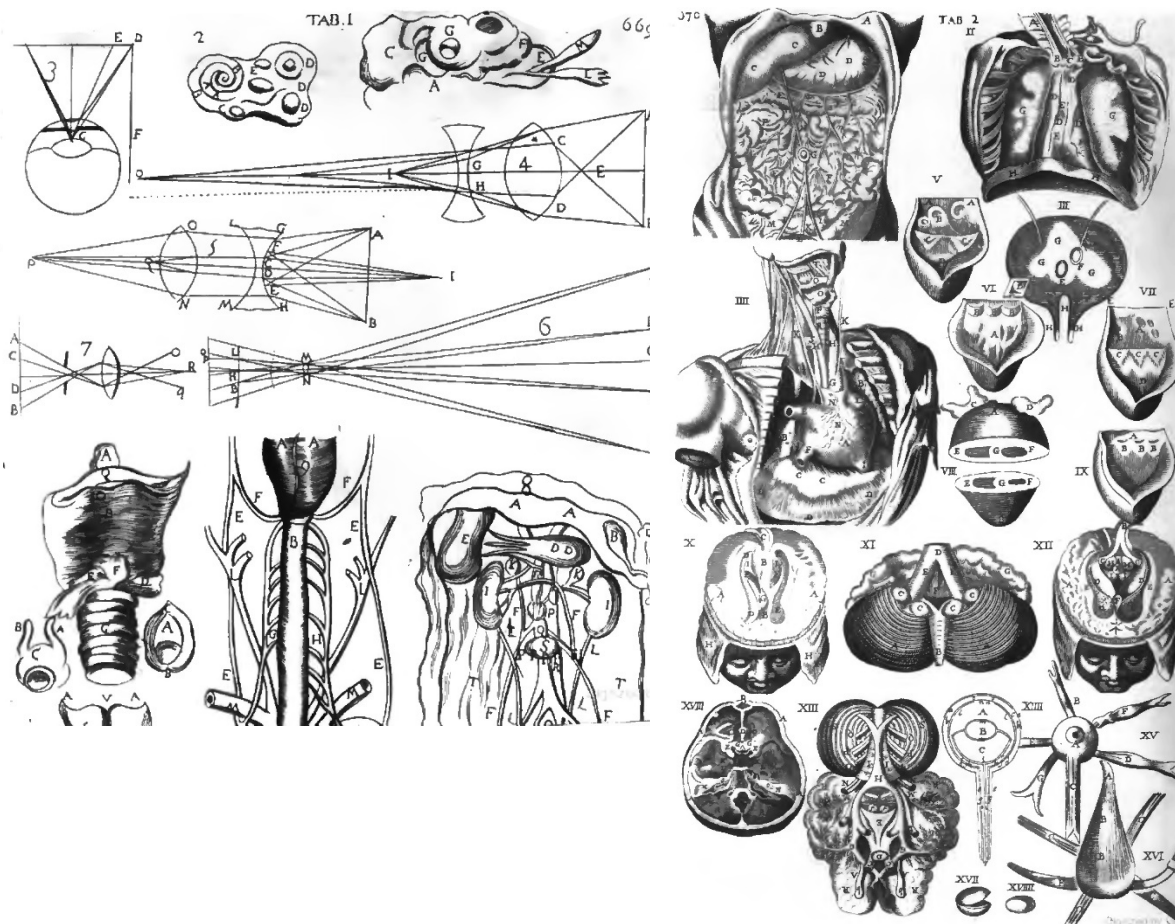


FIG. 16
G. Guarini, *Caelestis mathematicae*, 1683. Trattato XIX. Rappresentazione di un'orbita di un pianeta.

Alla pagina seguente:

FIG. 17
G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Disputatio VI. De altrici et auctrici facultate, p. 669.

FIG. 18
G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Disputatio VI, De altrici et auctrici facultate, p. 670.



Si riesce così a comprendere nuovamente come la trattazione di Guarini sia legata non solo ad una evidente affiliazione culturale alla sfera ecclesiastica, ma soprattutto ad una personale ricerca di trasformazione senza cesure del sapere aristotelico, verso nuove posizioni. Questa ipotesi è confermata da Vesely, il quale interviene analogamente analizzando il tema dell'associazione di Cristo alla luce solare, facendone risalire l'origine al cristianesimo primitivo. Riporta infatti che questa interpretazione prese piede nel XVII secolo proprio a giustificazione post-riformista delle teorie eliocentriche.

Nella struttura geocentrica proposta da Guarini sopravvive invece ancora una visione verticale, nella quale la gerarchia non è tra centro e periferia (eliocentrismo), ma si basa sulla differenza tra il divino e il contingente rappresentata dalla posizione della stella in alto, rispetto al mondo fenomenico sottostante.

Ciò permette di introdurre una successiva *lente* analitica nel rapporto tra architettura e filosofia: lo studio della luce⁷². Si ripete una situazione già dimostrata: “Guarini accepts the Neoplatonic-Aristotelian notion of light, but is critical of many aspects of it. He attempts to formulate his own understanding, which would preserve the sacrality and qualitative nature of

⁷² J. P. McQuillan, *Geometry and light in the architecture of Guarino Guarini*, cit.

light in an intellectual reality already”⁷³. È stato già studiato il rapporto descritto da Guarini tra materia e percezione visiva che investe conseguentemente il concetto di luce: Janine Debanné rileva che alcuni passi dei *Placita Philosophica*, “*De luce*” e “*De vita*”, illustrano gli aspetti della scienza ottica.

Guarini cita più volte le sue fonti, tra cui Francesco Maurolico, Alhazen (Ibn al-Haytham), Erazmus Ciolek (Witelo), dando invece per scontate le origini teologiche. La luce per Guarini è il legame tra oggetti terreni e celestiali poiché appartiene tanto alle stelle quanto al contingente. Essa ha origine e natura divina, tuttavia non ha qualità né pienamente corporea né spirituale, poiché riesce ad essere percepita dai sensi. Si prospetta quindi l’esistenza di una luce invisibile, che ha evidentemente una natura indipendente, e della quale la luminosità degli oggetti è manifestazione fenomenica, e per questo corruttibile. Guarini cita a riguardo l’esempio di un fuoco che si spegne, nello spazio e nel tempo: ecco il motivo per il quale la luce degrada all’interno di uno spazio finito, che viene per questo definito come solido⁷⁴.

È questa la declinazione guariniana di un “*topos* della filosofia di epoca Barocca [...], in cui solo l’intervento della luce divina e di quella della ragione geometrica – che sovrintende all’ottica e alla diottrica – può intervenire per rischiarare le tenebre dell’ignoranza”⁷⁵. Si arriva così alla sintesi ricercata: la luminosità del mondo fenomenico è sostituita dallo splendore della rappresentazione geometrica dello stesso⁷⁶: la matematica, nella forma geometrica è il passaggio utile e necessario alla comprensione⁷⁷. La retorica tra luce e matematica è offerta così da Guarini nel saluto iniziale al lettore, con cui introduce il suo trattato geometrico.

“Siquidem ex meo labore didici, cuius pretij, cuius utilitatis id operis emergat, quod ea omnia, quae Mathematicas luces, et evidencias in unicum lucis fontem, adeoque solem ne dum tumultuaria collectione agglomerat [...]”.

⁷³ D. Vesely, *Architecture in the Age of Divided Representation: The Question of Creativity in the Shadow of Production*, cit.

⁷⁴ Ibid. Tale considerazione si riallaccia ai discorsi, tra gli altri anche tra Marin Mersenne e Emmanuel Maignan, della propagazione della luce in uno spazio vuoto, non-solido.

⁷⁵ A. De Rosa, *L’oblio del visibile, la memoria dell’invisibile: Jean Francois Nicéron taumaturgo ottico*, cit.

⁷⁶ D. Vesely, *Architecture in the Age of Divided Representation: The Question of Creativity in the Shadow of Production*, cit. Pérez Gómez ha così ipotizzato come la matematica guariniana, che va interpretata come geometria e non come algebra, abbia le caratteristiche di un’*ars combinatoria*, accettata nei secoli precedenti come rappresentazione della realtà percepita, nel suo significato taumaturgico. Passando da Llull a Giulio Camillo Delminio a Leibniz con una *scientia generalis de relationibus*, il XVII secolo incorpora la geometrizzazione della conoscenza, che poi sfocerà al costante sviluppo e ricorso all’algebra, generando la rappresentazione interrotta a cui abbiamo già accennato.

⁷⁷ McQuillan definisce la teoria della propagazione luminosa di Guarini una struttura gerarchica. Egli pone tale struttura al quarto e ultimo punto della “Gran Filosofia” guariniana. Le prime caratteristiche sono rappresentate da la riconciliazione delle teorie aristoteliche e platoniche; la mediazione tra la retorica scolastica e il dato esperito; la matematica universale e i tre livelli della cosmologia cattolica (il sistema delle sfere celesti, il mondo terreno e quello sotterraneo). J. McQuillan, *Guarino Guarini and his Grand Philosophy of Sapientia and Mathematics*, cit.

A cinque anni dalla pubblicazione del trattato filosofico, Guarini pubblica a Torino un trattato matematico e geometrico dal titolo *Euclides adauctus et methodicus mathematicaque universalis*. L'opera si compone di 35 libri, ciascuno chiamato *tractatus*, suddivisi in capitoli (*expensio*), ciascuno dei quali si articola in un insieme variabile di definizioni, postulati, teoremi, corollari, conclusioni⁷⁸. Guarini stesso descrive il motivo dell'opera nell'*augmentare*, contenutisticamente e letteralmente, il trattato di Euclide, di cui, secondo il teatino, esistevano edizioni e traduzioni confuse. Solo recentemente la critica ha spostato l'attenzione verso la seconda parte del titolo, che riguarda i metodi e una matematica universali.

Guarini nel terzo capitolo discute della disciplina matematica, in termini di linguaggio e terminologia, dell'importanza del suo insegnamento, individuandone tre categorie: universale, cosmica e microcosmica⁷⁹. Solo la prima, che è suddivisa in aritmetica e matematica, è oggetto degli studi trattati nell'opera, i quali sono totalmente speculativi, tali da evitare ogni applicazione pratica⁸⁰.

Riguardo alle capacità geometrico-matematiche del teatino, tra gli elogi, è presente un unico punto di discontinuità. Il matematico Francesco Giacomo Tricomi avvia il suo saggio ammettendo che all'inizio della sua ricerca personale non aveva mai sentito parlare di un Guarino Guarini matematico⁸¹. Il saggio è di interesse in questa trattazione geometrica per discutere di quanto sia pericoloso analizzare Guarini da una prospettiva monoculare. L'autore, a ragione, smantella per punti la figura dello scienziato matematico con un'ottica contemporanea: afferma come non sapesse trattare i problemi in modo algebrico, sottolinea difficoltà nel concepimento del criterio di sviluppabilità delle superfici, critica le novità da lui introdotte come modeste, marca l'assenza della scienza delle costruzioni⁸². È una visione legittima e ragionevole, ma errata al pari di ogni posizione elogiativa. Tra gli entusiasti del teatino come fine geometra si evidenzia Michel Chasles (1793 -1880)⁸³, che nel suo celebre *Apercu Historique* prima intitola la nota XVII a Maurolico e Guarini, senza però descrivere il grado di relazione tra i due, poi cita il trattato XXXII dell'*Euclides Adauctus, De superficiebus corporum in planum redigendis*. Il matematico francese riporta correttamente nel testo gli argomenti trattati, ad esempio riguardo alla proiezione delle linee di intersezione tra sfera cilindro e cono e allo sviluppo di esse; tuttavia compara questi aspetti ad un

⁷⁸ Per l'organizzazione dei contenuti del trattato di veda lo scritto di C. S. Roero, *Guarino Guarini and Universal Mathematics*, in *Nexus Network Journal*, n. 11, 3, 2009, pp. 415–439.

⁷⁹ G. Guarini, *Euclides adauctus et methodicus mathematicaque universalis*, cit.

⁸⁰ J. P. McQuillan, *Geometry and light in the architecture of Guarino Guarini*, cit.

⁸¹ F. G. Tricomi, *Guarino Guarini matematico*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 551–557.

⁸² A riguardo, è chiaro come la volontà di Guarini nel caso dell'*Euclide adauctus* sia quello di proporre una summa del sapere geometrico. Il linguaggio algebrico ha origine con François Viète (1540-1603) e viene certamente sviluppato da Descartes, all'interno de *La Géométrie* (1637), come appendice al *Discours de la méthode*. Alcuni errori sulla sviluppabilità delle superfici verranno mostrati nel capitolo 2. Si è già detto come la trattazione dei problemi meccanici non può avvenire in un trattato geometrico ma deve appartenere alla trattazione filosofica.

⁸³ M. Chasles, *Apercu Historique sur l'origine et le développement des méthodes en Géométrie...*, M. Hayez, Bruxelles 1837.

capitolo di geometria descrittiva. Questa considerazione ha poi purtroppo dato il via a numerosi tentativi di mettere in relazione Guarino Guarini e Gerard Desargues, il quale risultò prodromico per la geometria proiettiva⁸⁴. Una conferma riguarda, ad esempio il concetto di Guarini dell'impossibilità della convergenza di due linee parallele, che parafrasa il rifiuto dell'esistenza di un punto improprio all'infinito.

Lo stesso Pérez Gómez individua questo errato allineamento critico quando afferma: "It is clear, however, that Guarini's plans never required any sort of projective geometry to be realized in three dimensions. His stereotomy never implemented the discovery of Girard Desargues, as some scholars have imagined". Non c'è alcuna evidenza del rapporto tra i due: ciò che può aver consolidato l'idea di un legame risiede soltanto nella astrazione del punto di vista geometrico con cui entrambi hanno trattato il problema applicativo. Trattasi quindi di un 'cortocircuito' semantico e organizzativo: la *manière universelle* di Desargues era davvero uno sforzo di concettualizzazione nel ricavare metodi geometrici comuni tra prospettiva, stereotomia e gnomonica⁸⁵. Invece l'inserimento da parte di Guarini dei problemi stereotomici all'interno di un impianto scientifico è conseguente al concetto di matematica universale, in cui la geometria viene esposta senza riferimenti alle pratiche comuni, proprio in vista del suo potere taumaturgico in relazione alla luce. Gli aspetti innovativi del trattato XXXII di Guarini, che diventa l'*ortografia gettata* dell'*Architettura Civile*, verranno discussi nei capitoli seguenti.

Resta il fatto che per pesare la conoscenza geometrica del teatino, è utile citare alcune circostanze, in cui Guarini pare eccessivamente entusiasta delle proprie posizioni. È il caso della curva *optica* presentata nell'*Architettura civile* (FIG. 19), della quale però non discute alcuna applicazione.

"Chiamo questa curva optica, perché nasce da' raggi visuali, che terminano in altezze eguali, ed equidistanti. [...] per quei punti passi una linea, che farà la curva, che si desidera, e questa dimostro nel Trattato 28, del nostro Euclide alla proposizione 28 [...]"

Dietro all'accattivante procedura grafica, risulta esserci però una sezione conica, in particolare un'iperbole⁸⁶. Come possa non essersene accorto l'autore potrebbe attribuirsi alla modalità tradizionale di esposizione degli argomenti, che fanno discendere quella curva dalle linee a carattere procedurale, secondo schemi proporzionali⁸⁷. Il riferimento all'*Euclides Adauctus* diventa

⁸⁴ M. Docci *et al.*, *Le vite parallele di Girard Desargues e Guarino Guarini, fondatori della moderna scienza della rappresentazione*, in *Disegnare idee immagini*, n. 4, 1992.

⁸⁵ C. Boscaro, *La manière universelle di Girard Desargues per la comprensione delle strutture stereotomiche*, IUAV; B. Cache, *Desargues and Leibniz: In the Black Box*, in *Architectural Design*, n. 81, 4, 2011, pp. 90–99.

⁸⁶ Questo errore era già stato rilevato da Tricomi in F. G. Tricomi, *Guarino Guarini matematico*, cit.

⁸⁷ La classificazione delle curve è un tema tipicamente cartesiano, mentre la relazione tra tracciamento di curve grafiche ed esperienza metodologica è messo in luce da A. Funkenstein, *Teologia e immaginazione scientifica dal Medioevo al Seicento. Traduzione di Aldo Serafini*, cit. Si veda a riguardo la citazione alla classificazione delle curve in *Mathématiques et métaphysique chez Descartes (1960)* di Jules Vuillemin citato proprio nel volume di Funkenstein (nota 72)

allora importante in quanto ritroviamo la curva all'*Expensio VI, De linea Conchili*⁸⁸. In questa trattazione, prima espone una linea che collega i punti, a distanza fissa, da una serie di altri punti ottenuti dalla divisione di un segmento, distribuiti radialmente a partire da un centro. Poi discute in particolare della linea *optica*, definita una *linea conchilis*, vale a dire di quella specie che non giunge “né ad una minima né ad una massima distanza” (FIG. 19, FIG. 20). Il processo di creazione della linea è il seguente: la linea rappresenta tutti i punti che hanno una distanza proporzionale al numero successivo del raggio tracciato: il primo punto divide a metà la linea radiale; il secondo punto della curva è posto a $2/3$; il terzo a $3/4$, etc. Lo stesso vale per le linee verticali: la costruzione della curva, permettendo una diminuzione proporzionale al numero di suddivisioni della distanza tra il punto della curva e la linea retta superiore. L'iperbole, resa unitaria la distanza tra una retta verticale e la successiva, ha equazione $y=-2/(x+1)$, e chiaramente l'asintoto verticale ha equazione $x=-1$ (FIG. 21)⁸⁹.

Dal punto di vista matematico, si evince insomma un'immagine più coerente di Guarini, non certo un ricercatore originale⁹⁰, ma con notevoli capacità di sintesi della conoscenza acquisita per un fine senz'altro didattico. Smascherato quindi il ruolo, da un lato, rivelatore e, dall'altro, mediatore di conoscenza enciclopedica, Guarini sembra dichiarare un preciso intento della geometria nell'apertura dell'*Euclides Adauctus*, dedicato a Carlo Emanuele II di Savoia:

“Folia haec, que Universalis Mathematica limpidiissima demonstrationes candidas sinibus concepere [...] sed insuper Thaumaturga Mathematicorum miraculorum insigni, vereque Regali architectura coruscat”⁹¹

È la matematica, puramente geometrica e non algebrica, come l'ottica nel caso di Padre Nicéron, non solo a rendere possibili miracoli, ma a far risplendere l'architettura dei palazzi reali. Si potrebbe quindi trovare una sintesi nelle parole di Pérez Gómez: “Geometrical form guaranteed the truth of theory, while geometrical operations were used as a tool for the transformation of the world, reinforcing the traditional meaning of practice.” Continua poi affermando che: “The geometrization of *res extensa* was the point of departure of modern science and technology, allowing for and increasing exploitation and desecration of nature”.

Ciò non può ritenersi l'unico punto di partenza della scienza moderna. Amor Funkenstein bene spiega come il “conoscere facendo” sia un punto fondamentale per l'avanzamento scientifico del Seicento, in parte ancora permeato dalla tradizione aristotelica. Le curve coniche⁹² certo rappresentano i moti terrestri e celesti, ma non possono essere realizzate se non meccanicamente attraverso un processo in cui astronomia, geometria e costruzione vengono a convergere⁹³. È questo

⁸⁸ Le cosiddette *lineae conchiles* sono anticipate dalle linee ellittiche: dopo di esse vengono le linee cicliche, sezione nella quale viene descritta la cicloide

⁸⁹ Tuttavia, risulta errata l'individuazione dell'asintoto verticale, che non è la retta verticale *AB*, piuttosto una ad essa parallela e traslata di una distanza pari a quella di una suddivisione.

⁹⁰ A. Pérez-Gómez, *Architecture and the Crisis of Modern Science*, cit.

⁹¹ G. Guarini, *Euclides adauctus et methodicus mathematicaque universalis*, cit.

⁹² L. Maierù, *Le sezioni coniche nel Seicento*, Rubbettino, Soveria Mannelli 2009.

⁹³ Per una completa trattazione delle curve prima del processo di meccanizzazione di Descartes si veda E. Ulivi, *Il tracciamento delle curve prima di Descartes*, in G. Belgioioso (a cura di), *Descartes: il metodo e i*

il significato del “divieto delle metabasi”⁹⁴, che in ottica aristotelica ritiene non solo possibile un confronto solo tra entità omogenee⁹⁵, come si è già avuto modo di rilevare, ma anche che “gli argomenti e i metodi di una scienza non possono essere «trasferiti» in un’altra”⁹⁶. Il concetto sarà poi superato dalla prassi delle cosiddette *scientie mediae*, diffusosi a partire dal XV secolo. Ma di fatto, la rottura di questo legame porta alla multidisciplinarietà delle argomentazioni.

“Quel che per gli antichi era un vizio capitale, e che il Medioevo considerò un difetto [...] diventava ora una virtù”⁹⁷: un metodo universale era valido per la geometria, l’ottica, la fisica, la psicologia, la statica. Guarini rappresenta quindi uno dei migliori esempi di questa compenetrazione della conoscenza, trasportando significati, geometrie e intuizioni dalla fisica (astronomia, meccanica, ottica, psicologia) all’oggetto costruito, nel quale certo volle condensare valori spirituali, teologici e sociali.

saggi. Atti del convegno per il 350 anniversario della pubblicazione del Discours de la méthode e degli Essais, Istituto della Enciclopedia italiana, Firenze 1990, pp. 519–591.

⁹⁴ A. Funkenstein, *Teologia e immaginazione scientifica dal Medioevo al Seicento*. Traduzione di Aldo Serafini, cit.

⁹⁵ Le proporzioni, una delle *sotto-lenti* di queste argomentazioni sfuggono ad un tentativo di categorizzazione, rappresentando di per sé degli strumenti relazionali: per lo stesso principio di omogeneità, esse possono essere tra loro confrontate, proprio perché unico ente della gerarchia a cui appartengono. “Dire che un’area è più grande di una linea è privo di senso; è sensato invece, dire che due aree stanno fra loro nello stesso rapporto in cui stanno due linee”. Ibid.

⁹⁶ Funkenstein aggiunge anche la nozione di gerarchia delle scienze, per cui la legge esposta è valida solo tra scienze di minor rango rispetto a quella da cui si attingono informazioni.

⁹⁷ A. Funkenstein, *Teologia e immaginazione scientifica dal Medioevo al Seicento*. Traduzione di Aldo Serafini, cit.

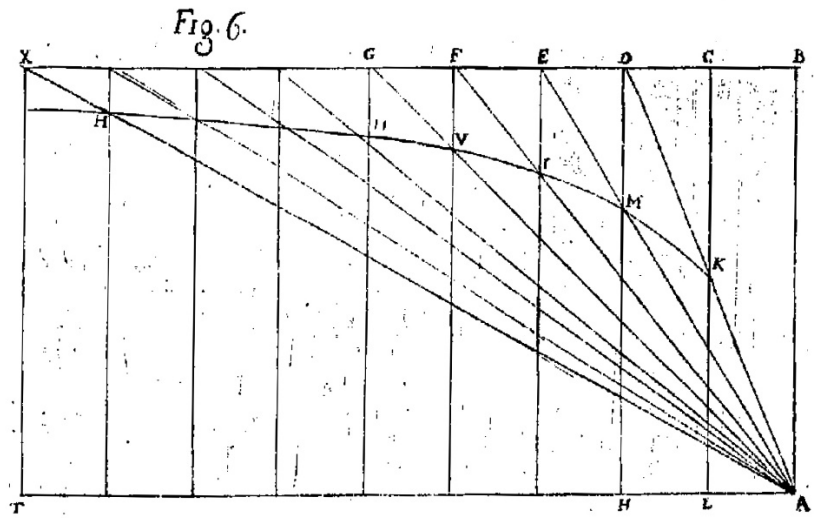


FIG. 19
G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Figura 6, lastra III, Trattato III. Curva optica.

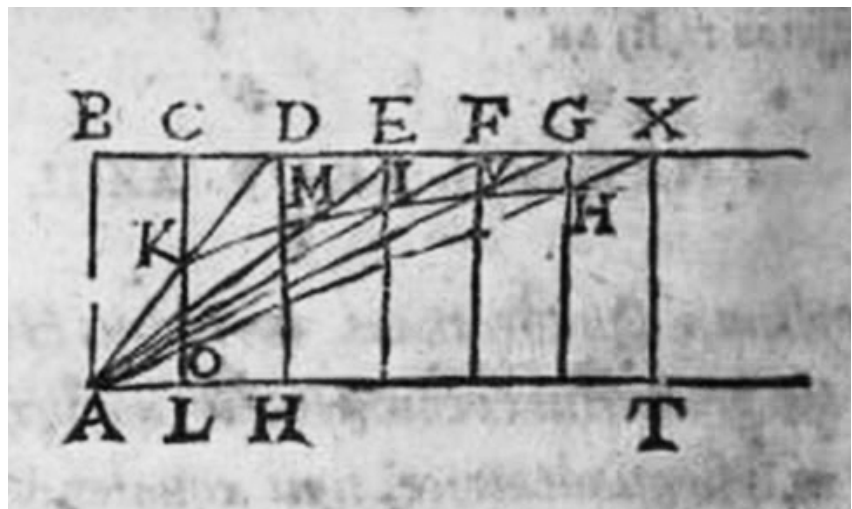


FIG. 20
G. Guarini, *Euclides adauctus*, 1671. Trattato XVIII, Expensio VI, Problma II, Propositio XXVIII.

FIG. 21
Iperbole di equazione $y = -2/(x+1)$. Elaborazione digitale.

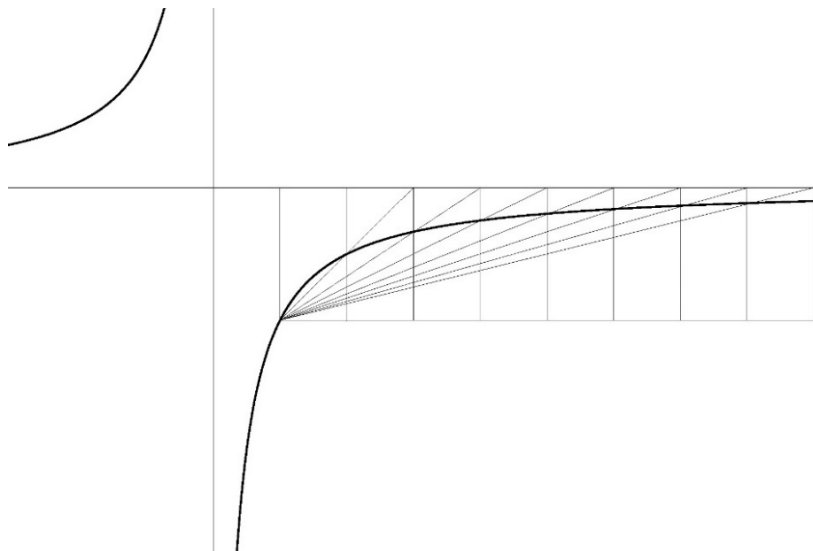


Tavola cronologica sinottica

Anno	Età	Luogo	Fatto	Progetti	Pubblicazioni
1624		Modena	Nasce a Modena		
1639	15	Modena	Entra nell'Ordine dei Teatini		
1639	15	Roma	Parte per Roma. Casa dei Teatini: San Silvestro al Quirinale. Chiesa dei Teatini: Sant'Andrea della Valle.		
1647	23	Modena	Ritorna a Modena		
1648	24	Modena	Riceve l'Ordinazione presso l'Ordine dei Teatini		
1648	24	Modena	Viene nominato revisore dei conti per la fabbrica di San Vincenzo di Modena		
1649	25	Modena	Viene nominato sovrintendente alla costruzione della fabbrica di San Vincenzo		
1650	26	Modena	Viene nominato tesoriere della fabbrica di San Vincenzo.		
1650	26	Modena	Diventa professore di filosofia		
1653	29	Modena	Viene nominato procuratore della Casa dei Teatini		
1653	29	Modena		Progetto di una cupola in legno rivestito di piombo per San Vincenzo a Modena	
1655	31	Modena	È nominato preposito della Casa dei Teatini		
1655	31	Modena	Guarino rinuncia alla carica di preposito.		
1656	32	Parma	Accettato come membro alla casa dei Teatini		
1656	32	Guastalla	Invia una lettera al duca di Modena		
1657	33	Modena			
1660	36	Messina		Facciata della Chiesa della Santissima Annunziata, probabile progetto per la Casa dei Teatini, Chiesa di San Filippo.	La Pietà Trionfante
1662	38	Modena	Visita la madre morente		
1662	38	Parigi	Insegna teologia a Parigi.	Chiesa di Sant'Anna	
1663	39	Parigi	Il progetto di Guarini accettato dal capitolo parigino		
1665	41	Parigi	Bernini visita la cappella il cantiere della chiesa di Sant'Anne		Placita philosophica

Anno	Età	Luogo	Fatto	Progetti	Pubblicazioni
1666	42	Parigi	Guarini accusa Camillo Sanseverino di aver falsificato i conti. Parte per Torino in ottobre		
1666	42	Torino	Arriva a Torino		
1666	42	Torino		Chiesa di San Lorenzo	
1668	44	Torino	Nominato ufficialmente ingegnere della cappella della Sacra Sindone		
1671	47	Torino		Chiesa di S. Filippo a Casale Monferrato	Euclides adauctus et methodicus mathematicaque universalis
1674	50	Torino			Il modo di misurare le fabbriche
1675	51	Torino			Compendio della sfera celeste
1676	52	Torino		Progetto per la Porta di Po	Trattato di fortificazione, che hora si usa in Fiandra, Francia, & Italia
1677	53	Torino	Guarini lascia Torino, per Venezia e Modena a causa di dissensi con padre Virle, priore dell'ordine dei teatini a Torino		
1678	54	Torino	Proposito della Casa dei Teatini di Torino. Entra al servizio di Emanuele Filiberto di Carignano.	Racconigi: facciata verso il giardino del palazzo reale. Torino: il Santuario della Consolata, il Palazzo Carignano, il Santuario di Oropa	Leges temporum et planetarum
1679	55	Torino		Chiesa di S. Maria di Ettinga di Praga, Chiesa di S. Filippo in Torino, Palazzo Carignano	
1679	55	Torino	Inizio della costruzione di Palazzo Carignano		
1679	55	Torino		Collegio Gesuitico dei Nobili	
1680	56	Torino	Prima messa celebrata da Guarini nella chiesa di San Lorenzo		
1680	56	Torino		Chiesa di S. Maria della Divina Provvidenza di Lisbona	
1681	57	Modena	Dirige i lavori del Palazzo Ducale		
1681	57	Torino	Richiamato da Madama Reale Giovanna Battista attraverso una lettera al duca di Modena		

Guarino Guarini, un inquadramento biografico e scientifico

Anno	Età	Luogo	Fatto	Progetti	Pubblicazioni
1682	58	Torino	Completamento della cupola della Cappella della Sacra Sindone, a seguito del pagamento per la prestazione del pittore Carlo Giuseppe Cortella		
1683	59	Milano			Coelestis mathematica
1683	59	Milano	Muore il 6 Marzo 1683		
1686		Torino			Disegni d'architettura civile et ecclesiastica
1694		Torino	Conclusione delle fasi costruttive della cappella della Sacra Sindone dopo il trasporto del sudario all'interno		
1737		Torino			Architettura civile

I sistemi generativi per la modellazione digitale

Una storia della programmazione visuale

*“He taught her
 He taught her how to split and define
 But if you study the logistics
 And heuristics of the mystics
 You will find that their minds rarely move in
 a line
 So it's much more realistic
 To abandon such ballistics
 And resign to be trapped on a leaf in a vine”¹*

Se la recente letteratura² ha esplorato il percorso di nascita e crescita dell'architettura digitale parametrica, nella accezione di “definita-da-parametri”, l'indagine sugli strumenti e le metodologie è sempre stata ridotta a banale utilizzo di software³. Tra i programmi più utilizzati, attualmente Grasshopper⁴ riscuote il maggior successo ed un pubblico sempre più ampio. In una delle rare apparizioni in pubblico, David Rutten⁵, suo ideatore e principale sviluppatore, definisce la sua opera “*a visual programming interface*”⁶. Quale sia il significato di questa espressione è l'oggetto di questo capitolo, che intende inoltre delineare la storia e lo sviluppo di un particolare settore della programmazione (FIG. 23), che ad oggi è riconosciuto con il nome di *Visual Programming Language* (VPL)⁷. Il percorso descrittivo procederà esplorando in una prima sezione la definizione del problema, quindi in una seconda parte analizzerà gli usi e le applicazioni ed infine, in una terza ed ultima, fornirà una riflessione critica sull'utilizzo del sistema. L'analisi così strutturata aiuterà a chiarire le motivazioni che hanno portato la tesi qui presentata ad usare questo strumento per lo studio della “ortografia gettata” guariniana⁸.

¹ Brian Eno, *Backwater, Before and After Science*, 1977

² Per il tracciamento delle vicende che hanno portato alla architettura digitale parametrica, tranne qualche accenno sporadico, si veda D. Davis, *A History of Parametric*, s.d. <http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/> (pagina consultata il 21/12/2017).

M. DeLanda, *Philosophy and Simulation: The Emergence of Synthetic Reason*, 2011.,

J. Frazer, *Parametric computation: History and future*, in *Architectural Design*, n. 86, 2, 2016, pp. 18–23.

³ Si ritiene sia un pericoloso errore quello di relegare a tecnicismo il linguaggio che sta alla base dell'uso di software commerciali quali Grasshopper, Generative Component e, più recentemente, DynamoBIM.

⁴ Grasshopper è un celebre *graphical algorithm editor*, il cui funzionamento è implicitamente associato a Rhinoceros. Per una definizione più completa si veda *Grasshopper - algorithmic modeling for Rhino*, s.d. <http://www.grasshopper3d.com/> (pagina consultata il 21/12/2017).

⁵ A. Association, *David Rutten - Computing Architectural Concepts: Grasshopper Stories - YouTube*, s.d. <https://www.youtube.com/watch?v=KaJfUPk1qNs> (pagina consultata il 21/12/2017).

⁶ Letteralmente Interfaccia di programmazione visuale, una forma personale di definizione di programmazione visuale.

⁷ M. M. Burnett, M. J. Baker, *A classification system for visual programming languages*, in *Journal of Visual Languages and Computing*, 1994.

⁸ Alla base di questa ricerca è fondamentale comprendere il rapporto tra programmazione e psicologia cognitiva. Walz Curtis, in una storia di tale rapporto, commenta la mancanza di supporto metodologico

La ricerca ha riguardato le necessità e le occasioni che programmatori e scienziati hanno perseguito, in un periodo di circa cinquanta anni, dalla fine degli anni Sessanta alle applicazioni attuali. Si è posto come inizio il 1966, anno in cui al MIT, William Robert Sutherland⁹ pubblica una tesi di dottorato dal titolo *The On-line graphical specification of computer procedures*¹⁰. L'interesse della tesi di Sutherland consiste nel trovare un linguaggio grafico per la descrizione univoca delle procedure da assegnare al calcolatore. Il testo risulta così antesignano per gli scopi prima introdotti. Sutherland infatti sceglie di astrarre le comunicazioni tra uomo e macchina attraverso un semplice grafico, diversamente dal ricorso a istruzioni testuali. Per la costruzione di tale grafico, l'autore introduce alcune fasi: la costruzione di operazioni di base (*working primitives*), la costruzione di simboli per la descrizione delle azioni (*icons*), la costruzione di uno spazio in cui assemblare le istruzioni in modo da creare un flusso (*flow*) di dati (FIG. 22).

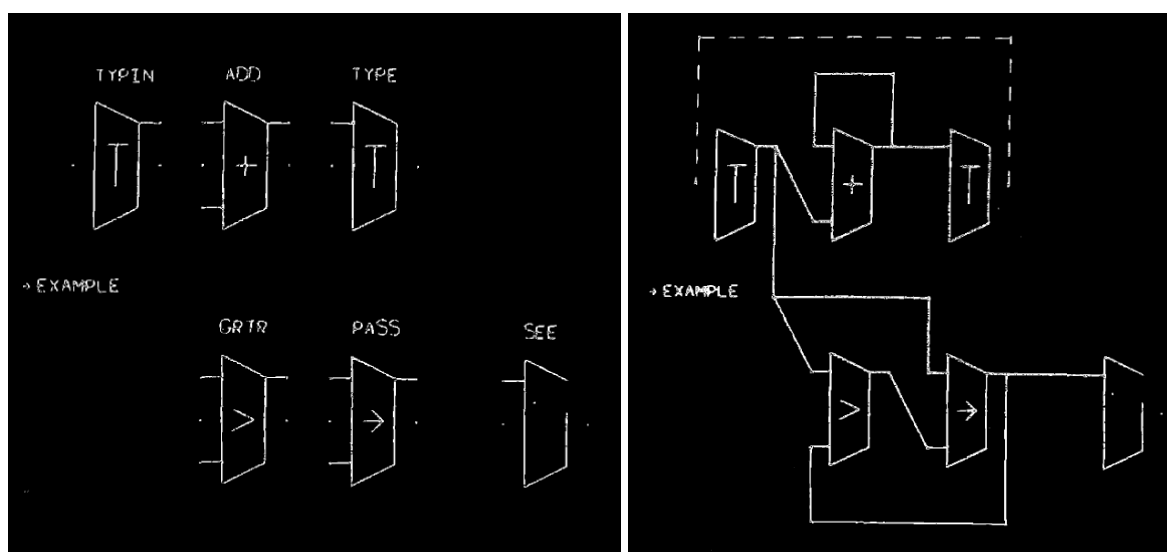


FIG. 22

W. R. Sutherland, *The On-line graphical specification [...]*, 1966, p.12. A sinistra creazione del sistema di icone associato ad un sistema testuale di descrizione delle operazioni, a destra esempio di assemblaggio.

nelle esperienze di programmazione degli anni Sessanta e Settanta. Tale lacuna ha generato criticità e risultati sperimentali spesso contraddittori. All'interno di queste falle, l'autore inserisce l'utilizzo di diagrammi di flusso in comparazione alla programmazione per liste. B. Curtis, D. Walz, *Psychology of Programming, Psychology of Programming*, Academic Press, Londra 1990. Per studi più recenti si veda anche T. R. G. Green, M. Petre, *Usability Analysis of Visual Programming Environments: A 'Cognitive Dimensions' Framework*, in *Journal of Visual Languages & Computing*, n. 7, 2, 1996, pp. 131–174.

⁹ Ivan Sutherland (1938), ricercatore e programmatore americano, è l'autore di Sketchpad, descritto in bibliografia come il primo CAD della storia, un software che introdusse una interfaccia utente per la rappresentazione di entità geometriche quali punti, linee, testi, etc.

¹⁰ W. R. Sutherland, *The On-line graphical specification of computer procedures*, Massachusetts Institute of Technology.

Considerare Sutherland come primo esponente di un modello di programmazione aiuta da subito a delineare una distinzione importante di tipo semantico. Da un lato risulta continuativo l'utilizzo di tecniche grafiche per rappresentare un programma: a questo fa riferimento l'espressione *visual programming*, già introdotta. In questo senso, il termine visuale è usato per differenziare un linguaggio grafico da quello tipico testuale della programmazione. Altro è invece il riferimento al modello di funzionamento, che oggi è definito come *programming paradigm*, in bibliografia presente anche come *data-flow*. Come un sistema idraulico, il modello è così visualizzato come un flusso di dati che scorre attraverso le funzioni, attivandole. È chiaro al lettore come in questa ricerca, il funzionamento operativo e gli aspetti grafici siano tra loro fortemente dipendenti: ciò ha portato a concepire i due termini come sinonimi dello stesso sistema quando indicano concetti differenti¹¹.

Tracciare una storia della programmazione visuale non pone quindi solo questioni semantiche o temporali, ma anche un'indagine tra produzioni accademiche e avanzamenti industriali privati, spesso difficilmente verificabili. Ne è un esempio Paul Morrison, il quale sostiene l'autorialità di un metodo che ora definiremmo 'programmazione visuale', da lui stesso chiamato FBP¹² (*Flow-Based Programming*). In ogni caso, le sue pubblicazioni spiegano coerentemente i vantaggi del nuovo modello di flusso: l'attenzione della programmazione è spostata verso l'assemblaggio di pezzi preesistenti ('isole'), in luogo della costruzione di un nuovo algoritmo ad ogni nuovo progetto. Le 'isole' del diagramma sono collegate da fiumi (*stream*) informativi. Si vedrà in seguito che la caratteristica di assemblaggio e coordinamento di pezzi di codice rende questa tecnica particolarmente vantaggiosa per la tesi in questione. Si giunge così alla definizione di sistemi di flussi di dati (*data flows systems*), costituiti da una interfaccia grafica di assemblaggio, indicata anche come "driver", e da una libreria di componenti, singole entità-funzione, a volte descritte dal termine "*black-box*", poiché compilate con linguaggio testuali tradizionali¹³.

¹¹ Risulta quindi più corretto utilizzare l'espressione di Hils, data-flow visual programming languages D. D. Hils, *Visual Languages and Computing Survey: Data Flow Visual Programming Languages*, in *Journal of Visual Languages and Computing*, n. 3, 1, 1992, pp. 69–101.

¹² L'autore sostiene che tale metodo fu sviluppato all'interno degli uffici di IBM Canada a partire dalla fine degli anni Sessanta J. P. Morrison, *Flow-Based Programming, Prologue Quarterly Of The National Archives*, van Nostrand Reinhold 1994.

¹³ Sia Morrison che Upson più tardi, aggiungono elementi tecnici, per noi di poco interesse descrittivo, ad un *data flows systems*. Tra questi un ambiente di sviluppo di componenti, e un sistema di estensioni del software che permette di interagire con sistemi differenti. C. Upson, *Visual Programming in Data Flow Environments*, s.d. <https://www.youtube.com/watch?v=uhJWhaun7iY..>

È tuttavia solo nella seconda metà degli anni Ottanta che vengono prodotte le prime applicazioni commerciali¹⁴. Allo stesso tempo si rileva un picco delle pubblicazioni scientifiche: è questo un periodo di una prima codifica dei termini, dei sistemi e degli utilizzi. Viene perso il ricorso agli elementi diagrammatici, spostando l'attenzione sugli aspetti visuali. Ad esempio, nel 1990 Ichikawa e Hirakawa già delincono uno sviluppo strutturato della programmazione visuale (allora definita *iconic programming*), mostrandone criticità e opportunità¹⁵.

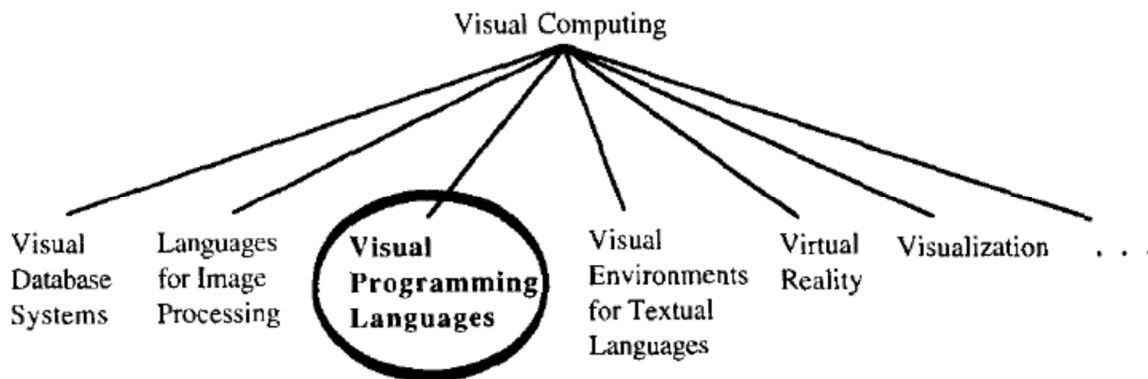


FIG. 23
M. M. Burnett, A classification system for visual programming languages, 1944. La posizione dei Visual Programming Languages all'interno del Visual Computing.

¹⁴ Tra i software che hanno sempre mantenuto un ambiente visuale di sviluppo, è possibile citare Houdini (Side Effects Software). Fin dal primo sviluppo, con il nome di PRISMS nel 1987, il software presentava la programmazione visuale a supporto della modellazione tridimensionale, denominato ICE, Interactive Compositing Environment. Ringrazio Alessio Bortot per l'importante segnalazione.

¹⁵ Per una analisi storica dell'origine degli algoritmi si veda D. Link, *Archaeology of Algorithmic Artefacts*, Univocal, Minneapolis 2016.

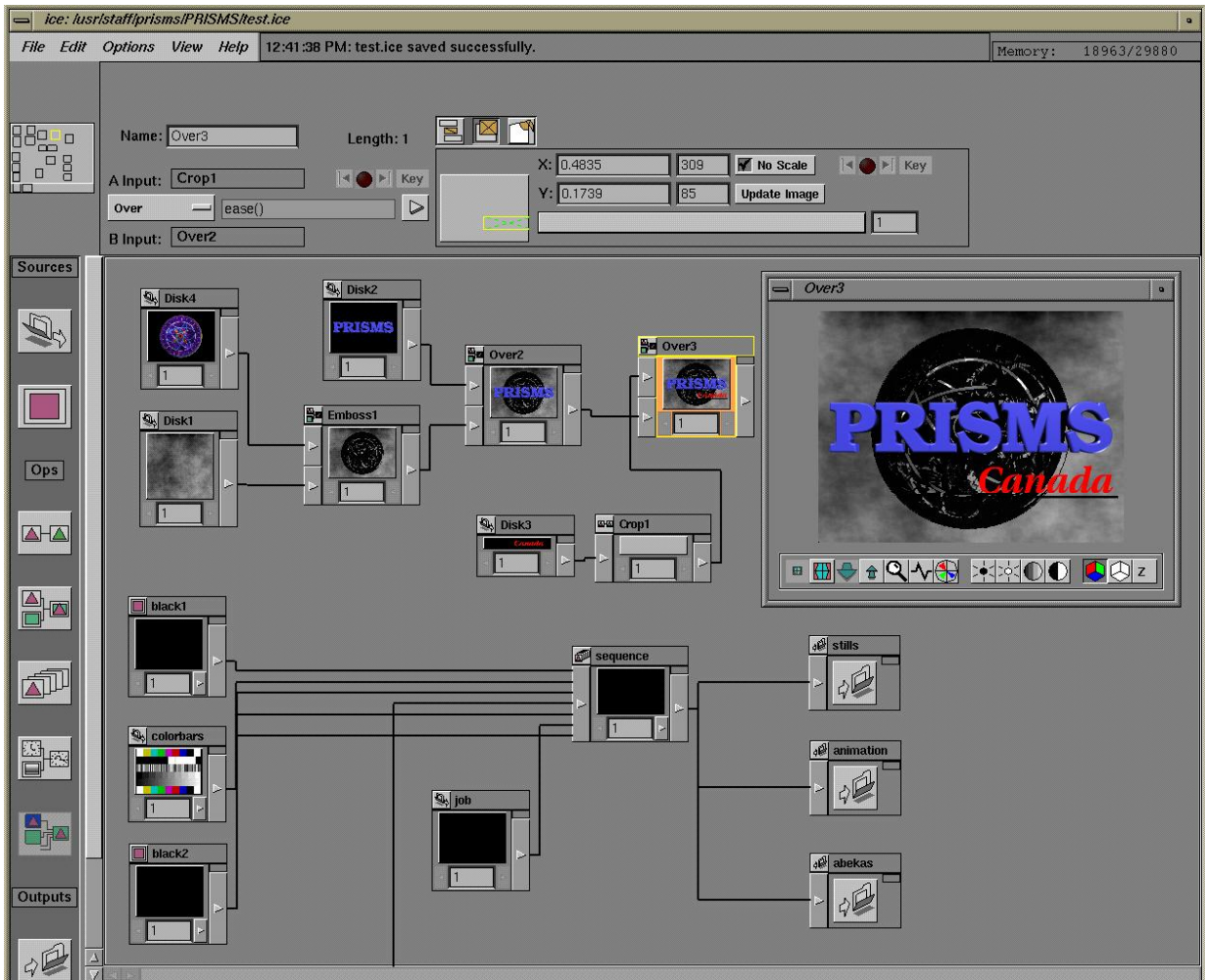


FIG. 24
ICE (*Interactive compositing environment*)
presente nella prima edizione di PRISMS,
software per la modellazione
tridimensionale

Si viene a identificare come ‘visuale’ la programmazione che permette all’utente di specificare un programma in due o più dimensioni¹⁶. Ciò esclude sia la programmazione tradizionale, nella forma di un unico flusso testuale di istruzioni e notazioni, sia quei sistemi che usano la programmazione tradizionale per generare immagini¹⁷. Anche la letteratura più recente¹⁸ individua come centrale nella definizione di programmazione visuale, la differenza tra la programmazione monodimensionale testuale e una pari “espressione visuale”, che invece è pluridimensionale, poiché può rappresentare indifferentemente diagrammi, icone, immagini, relazioni spaziali e consequenziali¹⁹. Fin dalla prime esperienze, la multidimensionalità viene dimostrata dalla possibilità di abilitare, in alcuni punti all’interno del programma, alcuni *screens* per visualizzare i dati creati fino a quello specifico nodo, a cui è connessa la visualizzazione²⁰ (FIG. 30).

Nelle intenzioni di ricerca, lo scopo di rendere grafica la costruzione degli algoritmi testuali è storicamente duplice: da un lato il pubblico non educato alla programmazione giunge ad una più completa comprensione dell’algoritmo, dall’altro i programmatori beneficiano di un processo che riduce tempi ed errori, semplificando le procedure²¹. Il primo è necessario tanto al fine di dare strumenti adatti alla programmazione anche ai non professionisti, quanto di rendere partecipativo il processo di progettazione. Infatti, procedendo in analogia al successo della visualizzazione delle informazioni in ambito chimico e biologico²², la rappresentazione di oggetti e relazioni complesse fu un punto cardine per l’avanzamento tecnologico delle discipline. Nel caso della programmazione, rappresentare il funzionamento di parti di codice è necessario per la buona realizzazione di qualunque progetto²³, in termini di verifica e mantenimento degli algoritmi²⁴.

¹⁶ Un celebre esempio di programmazione visuale è Microsoft Excel

¹⁷ “*Visual Programming (VP) refers to any system that allows the user to specify a program in a two (or more) dimensional fashion. Conventional textual languages are not considered since [...] it as a long, one-dimensional stream. [...] It does not include systems that use conventional (linear) programming languages to define pictures. This eliminates most graphics editors, like Sketchpad.*” B. A. Myers, *What are Visual Programming, Programming by Example, and Program Visualization?*, in *Proceedings of Graphics Interface and Vision Interface '86*, Canadian Man-Computer Communications Society, Toronto, Ontario, Canada 1986, pp. 62–65.

¹⁸ M. Burnett, *Visual programming*, in *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, n. 32, 1–3, 1999, pp. 275–283.

¹⁹ “*Visual programming (VP) is programming in which more than one dimension is used to convey semantics*”

²⁰ D. D. Hils, *Visual Languages and Computing Survey: Data Flow Visual Programming Languages*, cit.

²¹ Una vasta letteratura presenta un tema inverso di ciò che descriviamo, ovvero la visualizzazione di un algoritmo (entità e relazioni) a conclusione del processo produttivo.

²² S. Turkle, *Il disagio della simulazione*, Ledizioni, Milano 2011.

²³ Una delle criticità presenti in letteratura risiedeva nella cattiva interpretazione dei requisiti dell’utente finale, da parte del programmatore. La visualizzazione dell’algoritmo prevede la comprensione del suo funzionamento e abilita la partecipazione dell’utente all’interno del progetto.

²⁴ È importante citare come nella fase iniziale la programmazione visuale aveva scopi astratti al pari della programmazione testuale. Tuttavia, a differenza di quest’ultima, necessitava di un’interfaccia grafica per la sua corretta esecuzione.

Dal punto di vista metodologico, Burnett individua quattro qualità indispensabili della programmazione visuale: concretezza quale caratteristica opposta ad astrattezza; essenzialità, riducendo a poche operazioni le azioni da compiere; evidenza, al fine di una chiara visualizzazione del funzionamento e, infine, immediatezza del risultato espresso²⁵.

Tuttavia, nei risultati studiati, al fine della produzione del codice, la programmazione visuale si dimostra efficace per codici di prova, ma poco espandibile per la complessità media degli algoritmi di allora²⁶. Ichikawa e Hirakawa riportano espressioni quali “*iconic programming may be good for beginner, but not for computer professionals*”, relegando l’utilizzo di questi ambienti di sviluppo in ambito didattico, e “*iconic programming may be good for small programs, but not for large*”, in quanto, occupando lo schermo, costringevano gli sviluppatori ad usare operazioni di spostamento, ingrandimento e riduzione che sarebbero stati poi tipici dei programmi CAD.

Di conseguenza, da elemento sostitutivo, la programmazione visuale diventa supporto alla programmazione tradizionale, dedicando ad essa solo quelle parti di codice in cui la visualizzazione di entità e relazioni si presenta strettamente necessaria²⁷. “*Iconic programming [...] can offer much to developers if used with, not as a replacement for, traditional textual languages*”²⁸.

²⁵ M. Burnett, *Visual programming*, cit.

²⁶ B. A. Myers, *Taxonomies of visual programming and program visualization*, in *Journal of Visual Languages and Computing*, n. 1, 1, 1990, pp. 97–123.

²⁷ Poco importante in questa trattazione, la programmazione visuale è ancora disponibile per i cosiddetti Visual Programming Environment.

²⁸ T. Ichikawa, M. Hirakawa, *Iconic Programming: Where to Go?*, in *IEEE Software*, n. 7, 6, 1990, pp. 63–68.

```

row: &rows
  treeLoc:
    x: 1
  xLoc:
    from: -5
    to: 5

loft: &roof
  addprofiles: *rows.splines

--- !row
unit: &rowOfUnits
  treeLoc: !treeLoc
  unitLoc:
    x: !xLoc
    y:
      from: -5
      to: 5
      visible: 0

spline: !splines
  addpoints: *rowOfUnits.col
...

--- !unit
point: !treeLoc
point: !unitLoc
visible: 0

vector: &toTree
  start: *unitLoc
  end: *treeLoc
  visible: 0

double: &height (10/(*toTree.

line: !column
  start: *unitLoc
  direction:
    x: 0
    y: 0
    z: *height
...

class column:
  def __init__(self, location, tree):
    distance = rs.Distance(location, tree);
    height = 10 / (distance + 1)
    self.topPt = Rhino.Geometry.Point3d(location,
    self.topPt.Z = height;
    self.line = Rhino.Geometry.Line(location, s

  def getTopPt (self):
    return self.topPt

  def draw(self, doc):
    doc.Objects.AddLine(self.line)

class columnRow:
  def __init__(self, x, tree):
    self.columns = list()
    pts = list()
    for i in range(10):
      self.columns.append(column(Rhino.Geometry
      pts.append(self.columns[i].getTopPt())
      self.curve = rs.AddInterpCurve(pts)

  def getProfileGUID(self) :
    return self.curve

  def draw(self, doc):
    for col in self.columns:
      col.draw(doc)

tree = Rhino.Geometry.Point3d(0, 0, 0)

rows = list()
profiles = list()
for i in range(10):
  rows.append(columnRow(i, tree))
  profiles.append(rows[i].getProfileGUID())

rs.AddLoftSrf(profiles)

doc = Rhino.RhinoDoc.ActiveDoc

for row in rows:
  row.draw(doc)

doc.Objects.AddPoint(tree)

```

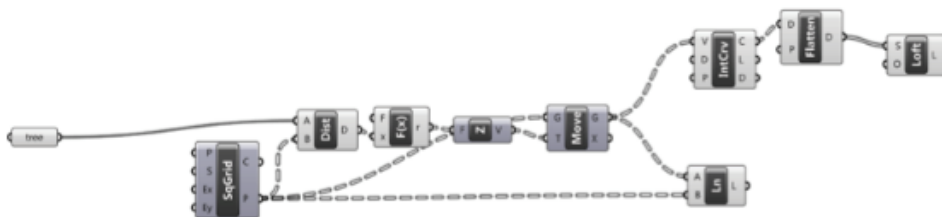


FIG. 25
 D. Davis, *Modelled on Software Engineering [...]*, 2013. Esempio di programmazione in Yeti (a sinistra), Python (a destra), Grasshopper (in basso)

Ad esempio, uno degli ambienti allora creati, Pict, permetteva all'utente di usare icone (componenti, o scatole) per comporre parti di codice, ciascuna delle quali era scritta in linguaggio Pascal²⁹. La similitudine con i sistemi attuali per la modellazione generativa è evidente: i blocchi per la realizzazione di uno script visuale sono forniti dal produttore del software e, da questo, descritti in linguaggio testuale. Inoltre, è subito sembrato conveniente associare la programmazione tradizionale e quella visuale in ambienti di sviluppo che già possedevano un carattere grafico, quali, per citarne alcuni, sistemi di disegno automatizzato CAD, videogiochi, software di simulazione per l'ingegneria. All'interno di questa evoluzione appare chiaro come la maggiore criticità sia lo sviluppo di una interfaccia utente efficace³⁰, il driver descritto fin dall'inizio da Sutherland e Morrison. Ritorna così nuovamente attuale la ricerca di modelli di utilizzo: la visualizzazione delle relazioni era sensibilmente migliorata grazie all'adozione di modelli a diagrammi di flusso (*data flow program graphs, DFD*³¹).

Come già anticipato, a fondamento di questi vi è l'equivalenza proporzionale tra nodi e funzioni (computation), linee di collegamento e azioni (data)³²: linee entranti in un nodo indicano dati in ingresso, linee uscenti da un nodo (funzione) ne mostrano il risultato³³. Presto i nodi vengono sostituiti dalle cosiddette 'box' (FIG. 26, FIG. 29), in modo da permettere una maggiore chiarezza nel caso di più collegamenti in entrata o in uscita. Il ricorso a diagrammi di flusso permetteva inoltre di comporre alcuni di questi in codici sempre più ampi, al fine di completare un problema articolato, che avrebbe richiesto un codice testuale parimenti complesso. Anche questa caratteristica permane allo stato attuale: in fase di progetto, l'utente può scomporre lo script in più diagrammi autonomi, al fine di semplificare il flusso di dati, aumentando la comprensione del codice.

²⁹ E. P. Glinert, S. L. Tanimoto, *Pict: An Interactive Graphical Programming Environment*, in *Computer*, n. 17, 11, 1984, pp. 7–25.

³⁰ Solo recentemente divenuto ambito di interesse multidisciplinare, per un approfondimento sulle numerose tematiche di *interactive design* e *user interface*, si veda F. Bergamo, *Verso un'estetica ecologica per il design dell'interazione*, 2013, pp. 1–142.

³¹ A. L. Davis, R. M. Keller, *Data Flow Program Graphs*, in *Computer*, n. 15, 2, 1982, pp. 26–41.

³² "A mental image of this behavior is suggested by representing the program as a directed graph in which each node represents a function and each (directed) arc a conceptual medium over which data items flow. Phantom nodes, drawn with dashed lines, indicate points at which the program communicates with its environment by either receiving data from it or sending data to it" Ibid.

³³ D. D. Hils, *Visual Languages and Computing Survey: Data Flow Visual Programming Languages*, cit.

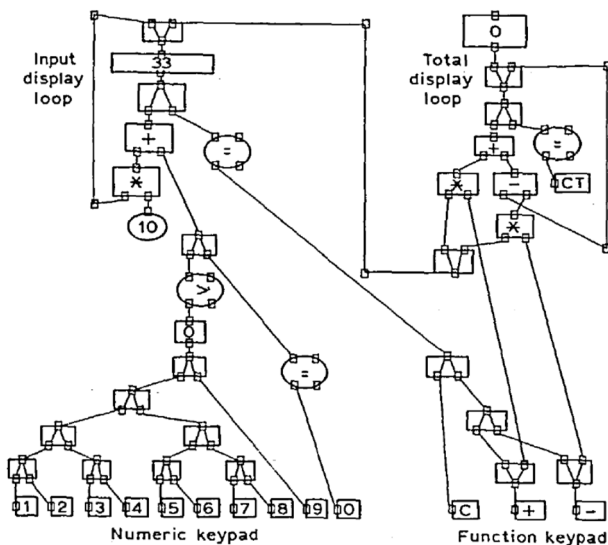
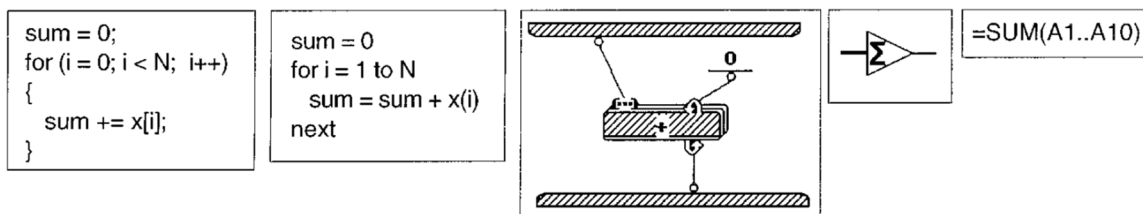


FIG. 26
Descrizione della somma tra linguaggi di programmazione differenti. Da sinistra: C, Basic, LabVIEW (VPL), foglio di calcolo.

FIG. 27
Operazioni di somma e sottrazione con il programma InterCONS.

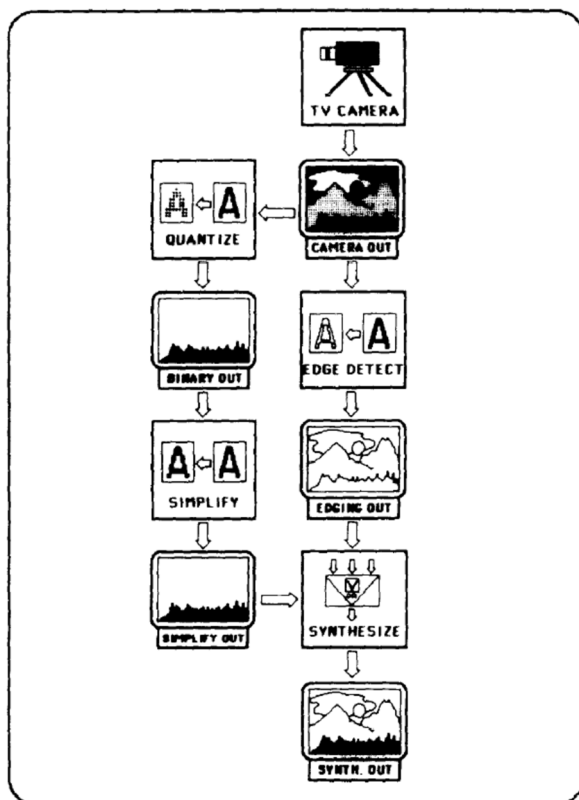


FIG. 28
Script di produzione video dall'acquisizione dei dati da una videocamera in HI_VISUAL

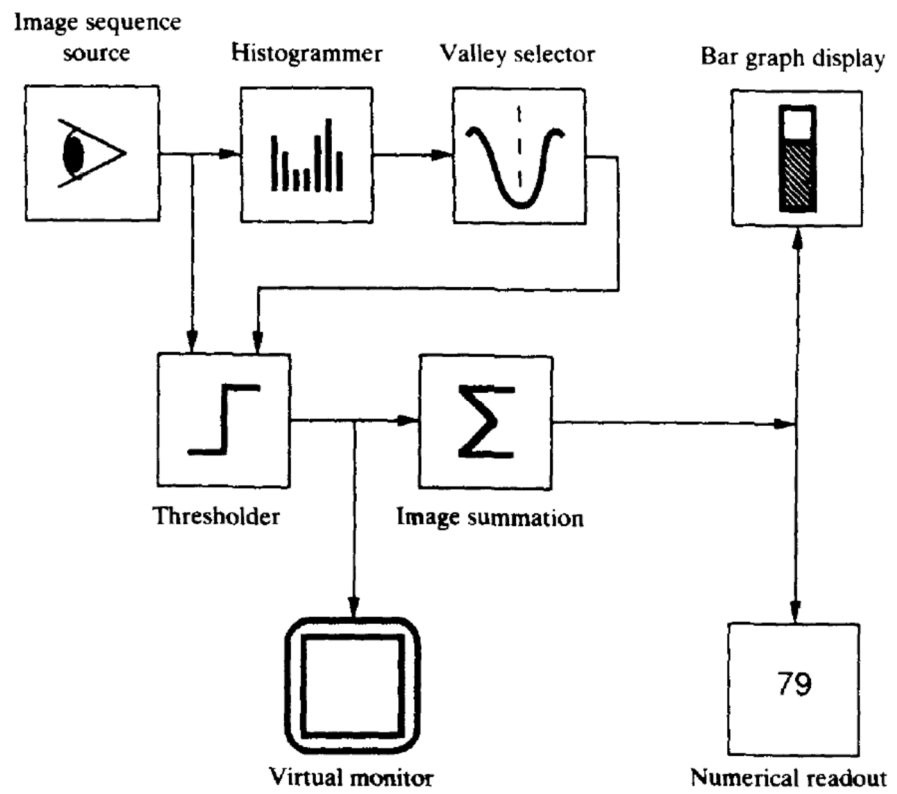
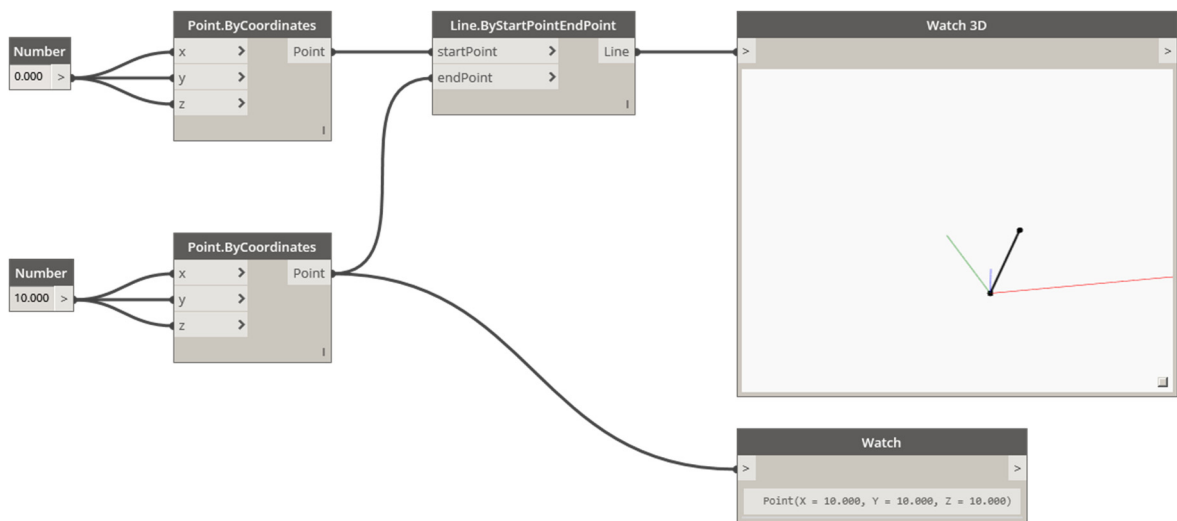


FIG. 29
Programmazione
visuale nel software
VIVA.

FIG. 30
Costruzione di una
linea mediante cinque
blocchi,
visualizzazione della
grafica creata e dei dati
uscanti
(DynamoBIM).
Elaborazione digitale.



Una volta creata l'organizzazione per il funzionamento e la visualizzazione, quali erano i domini di applicazione utilizzati in passato? Al 1992 ne risulta una statistica di utilizzo del tutto eterogenea³⁴. I linguaggi visuali venivano utilizzati per il controllo dei sintetizzatori musicali (Hookup), per la costruzione di interfacce utenti (Fabrik), per il processamento di immagini e video (HI-VISUAL) (FIG. 28), per l'analisi di dati e le successive rappresentazioni in campo scientifico (LabVIEW) e per la grafica tridimensionale (ConMan)³⁵. Pare essere proprio quest'ultimo l'antesignano dei software attualmente utilizzati per la composizione dei sistemi generativi³⁶ (FIG. 31). Come affermato precedentemente, il funzionamento previsto è allineato con la letteratura: gli sviluppatori utilizzano tecniche testuali tradizionali per la definizione di componenti (nodi o scatole), mentre gli utenti utilizzano un linguaggio visuale nell'applicazione stessa. Paul Haeberli ne descrive caratteristiche, modalità, e opportunità con le stesse espressioni utilizzate nel dibattito contemporaneo nell'uso dei software³⁷. "Often we think of a user interface toolkit as a set of facilities that a developer can use to shape the feel of an application. [...] But after the developer compiles an application, the user is left with a static user-interface that reflects the developer's vision"³⁸. Simile alle istruzioni di montaggio di un arredo, alla base del software ci sono dei componenti precostituiti che l'utente assembla per la generazione di grafiche digitali e oggetti tridimensionali. In un esempio, la produzione di una superficie di rivoluzione, una coppa martini, è ottenuta come output dall'assemblaggio di un profilo, definito graficamente dall'utente, e due valori numerici rappresentanti l'angolo iniziale e finale di *sweep* iniziale (FIG. 32)³⁹.

³⁴ Per una tassonomia più recente si veda M. Boshernitsan, M. Downes, *Visual Programming Languages: A Survey*, in Computer Science Division (EECS), December, 2004.

³⁵ P. Haeberli, *ConMan: a visual programming language for interactive graphics*, in ACM SigGraph Computer Graphics, n. 22, 4, 1988, pp. 1–51. In questo scritto, aggiunge una inusuale descrizione della programmazione visuale, comparandola alla produzione di un panino: se la programmazione tradizionale presenta all'utente un sandwich pronto da mangiare, ConMan conferisce all'utente gli ingredienti, lasciando ad esso la possibilità di assemblarne uno secondo i propri gusti.

³⁶ Come anticipato precedentemente, dalle fonti ritrovate sembra che PRISMS fosse sul mercato nel 1987, quindi precedentemente a ConMan di Haeberli. Non è tuttavia obiettivo di questa tesi stabilire primati. A riguardo si segnala che non esistono articoli scientifici che comprovino l'esistenza di PRISMS.

³⁷ Paul Haeberli è ricercatore e programmatore nell'ambito della computer grafica, autore del software ConMan, per la produzione grafica attraverso programmazione visuale. Ha curato una rivista online, GRAFICA Obscura, nella quale venivano articoli e appunti circa aspetti della rappresentazione digitale. Si segnalano studi su illuminazioni e teoria delle ombre, composizione e *merging* di immagini. P. Haeberli, *Grafica Obscura*, s.d. <http://www.graficaobscura.com/> (pagina consultata il 21/12/2017).

³⁸ P. Haeberli, *ConMan: a visual programming language for interactive graphics*, cit.

³⁹ Il procedimento appena descritto, che oggi appare banale per ogni software di computer grafica, tuttavia bene rappresenta la normale complessità delle operazioni descritte da Guarino Guarini, per "distendere" le superfici. Ne si vedrà l'applicazione nel capitolo seguente

FIG. 31
P. Haerberli,
ConMan,
modellazione
algoritmica di
una coppa
martini.

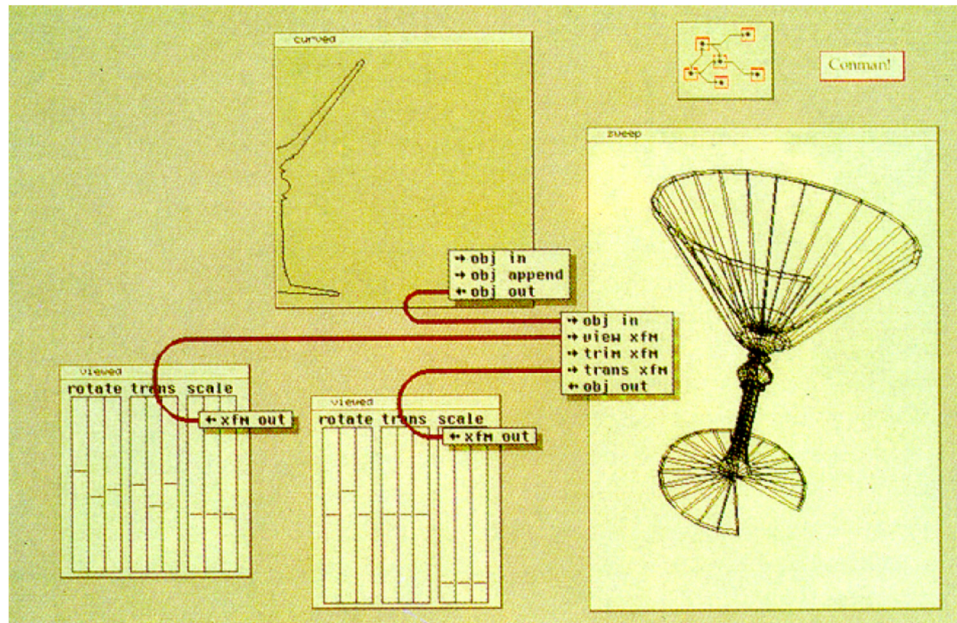
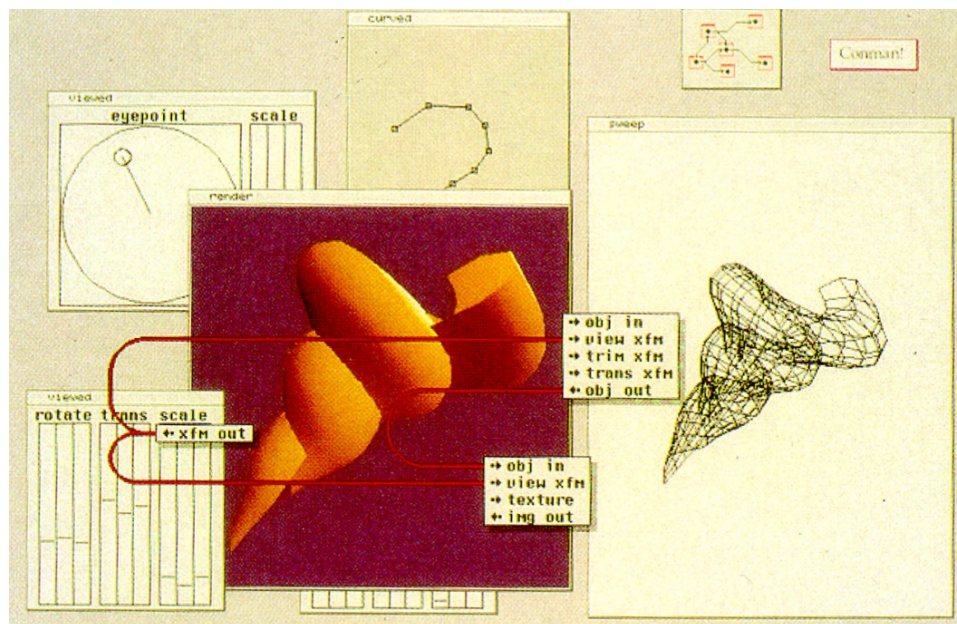


FIG. 32
P. Haerberli,
ConMan,
operazione di
sweep di profilo
assegnato rispetto
ad una elica
definita
parametricament
e



A conclusione di questo paragrafo appare importante illustrare come lo sviluppo stesso della tesi abbia posto costanti questioni sull'utilità dell'operazione di traduzione delle operazioni geometriche stereotomiche in script visuali.

Vi è innanzitutto un problema epistemologico, legato al valore delle operazioni all'interno del sistema più ampio della ricerca nella storia dei metodi. Drew Daniel, applicando un'astrazione all'ambito musicale e quindi definendo cosa sia un *digital sound object*, cerca di individuare una relazione tra *Object-Oriented Programming* (programmazione), *Object Oriented Ontology* (filosofia)

e scripting (metodo progettuale)⁴⁰. Nella sua trattazione, *Object Oriented Software*⁴¹ e *Object Oriented Ontology* condividono il concetto di “*black box*”: gli oggetti, eventualmente anche gli oggetti-relazioni, pur presentandosi in maniera relazionale all’interno di reti, rimangono di fatto inaccessibile. L’utilizzo di Max/MSP (FIG. 33), un ambiente di sviluppo musicale, fondato proprio sull’uso dello scripting visuale⁴², permettendo la massima personalizzazione delle operazioni per la creazione di un oggetto musicale, dovrebbe aiutare gli autori a produrre un oggetto musicale autonomo. Tuttavia ciò è reso impossibile poiché alcune componenti del programma sono talmente complesse da rappresentare, per l’utente non-creatore, una “*black box*”.

Comparato al caso espresso da Daniel, la ricerca prevede di sostituire l’uso di algoritmi generativi in ambito di verifica dell’apparecchiatura stereotomica, in luogo di progetto, e di enti geometrici, in sostituzione degli oggetti musicali. In generale, il pericolo di incorrere in oggetti inaccessibili all’utente non educato alla programmazione non solo è molto alto, ma invaliderebbe la ricerca stessa. Come specificato precedentemente, il ricorso ad un *visual programming language* si propone di slegare la trattazione geometrica dalle *black-box* dei software commerciali e dei procedimenti personali del particolare ricercatore. Invece, la semplicità delle operazioni geometriche descritte nei trattati di stereotomia permette di equiparare il processo alle tipiche operazioni manuali di disegno. È proprio la facile comprensibilità delle operazioni a non permettere l’oscuramento, in scatole inintelligibili, dei risultati della programmazione.

⁴⁰ D. Daniel, *What is a digital object?*, in O-Zone, 1, 2014. Il merito di questo collegamento non è del sottoscritto ma di Francesco Bergamo. Drew Daniel è Associate Professor presso la Johns Hopkins University e membro del duo di musica elettronica Matmos.

⁴¹ Object Oriented Software o per meglio dire Object Oriented Programming (programmazione ad oggetti), è una caratteristica di evoluzione dei linguaggi di programmazione. Ogni oggetto è un’istanza di una classe (*classes*), avente determinate proprietà (*attributes*) e funzioni/operazioni/procedure/attività operanti su di esse (*methods*). Una proprietà fondamentale degli oggetti è l’ereditarietà: questa permette di costruire nuove classi di oggetti derivandole da quelle vecchie, modificandone i metodi per adattarli alla nuova classe. *programmazione a oggetti*, in *Enciclopedia della Matematica*, s.d. La programmazione ad oggetti è alla base della modellazione BIM, come si vedrà nei successivi capitoli.

⁴² Si veda la somiglianza grafica tra la e la appartenenti ad ambiti disciplinari differenti.

Una seconda problematica riguarda la pubblicazione del codice ai fini della sua comprensione: se la programmazione visuale nasce proprio dall'esigenza di comprensione di un funzionamento, ad oggi, in fase di progetto, lo script risulta spesso illeggibile, per cui incomprensibile (. Lo script riportato (FIG. 34) rappresenta la modellazione di una rampa elicoidale della scala di Palazzo Mannajoulo a Napoli. Il problema non risiede solo nella dimensione di stampa, piuttosto pare come un problema di maggiore entità, come già specificava Daniel in riferimento alla *Object Oriented Ontology* (FIG. 33)⁴³. Nuovamente si pone la questione dell'oscurità del codice, che determina di per sé una debolezza nell'esposizione, e contraddice la necessità di trasparenza per lo studio delle operazioni geometriche precedenti alla codifica dei metodi.

L'applicazione nel campo stereotomico ha dimostrato – come vedremo – in che modo la comprensione delle rappresentazioni proto-proiettive risulti complessa poiché, se le relazioni tra le entità geometriche sono spesso evidenti grazie alle tavole esplicative, di contro il sistema delle funzioni-relazioni consequenziali, che sono descritte da un sistema di notazione differente, ovvero il riferimento testuale del trattato, è spesso complesso, carente, lacunoso⁴⁴.

Da questa constatazione deriva l'opportunità di uno studio in un'area di intersezione tra *visual programming language*, geometria e stereotomia, in particolare in relazione all'esplicitazione delle entità geometriche, delle relazioni che insistono tra di esse, delle azioni consequenziali per determinarle, e alla verifica del risultato bidimensionale raggiunto in comparazione con il calcolo computazionale tridimensionale.

⁴³ Già Green dichiarava come la notazione secondaria fosse una criticità e individuava nello sviluppo di tecniche di colorazione, raggruppamento, commento e modularità una possibile risoluzione al problema. T. R. G. Green, M. Petre, *Usability Analysis of Visual Programming Environments: A 'Cognitive Dimensions' Framework*, cit.

⁴⁴ Gli autori seicenteschi hanno usato alcuni di questi metodi per proteggere l'autorialità delle proprie trovate scientifiche.

FIG. 33
Composizione
algoritmica in
ambiente di
modellazione
Max/MSP.

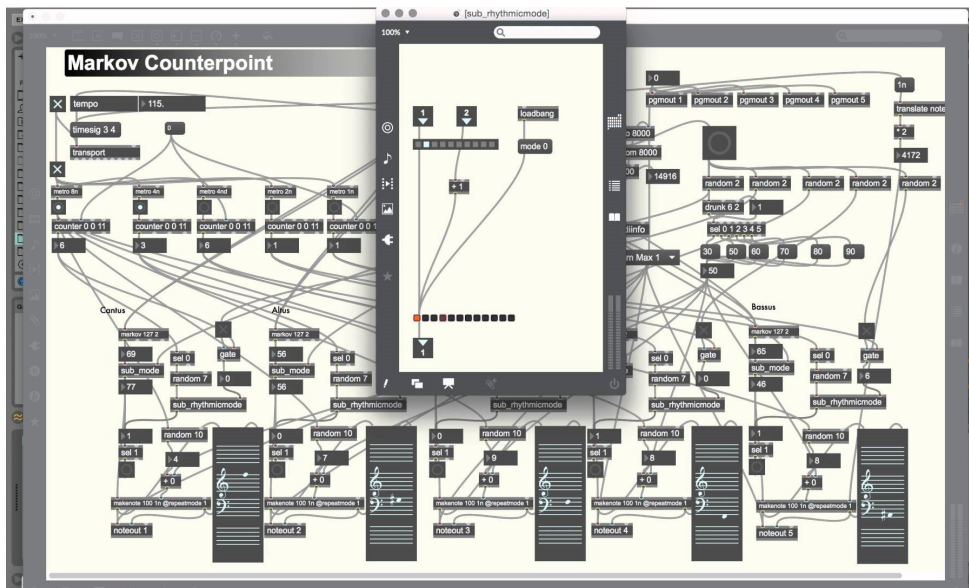
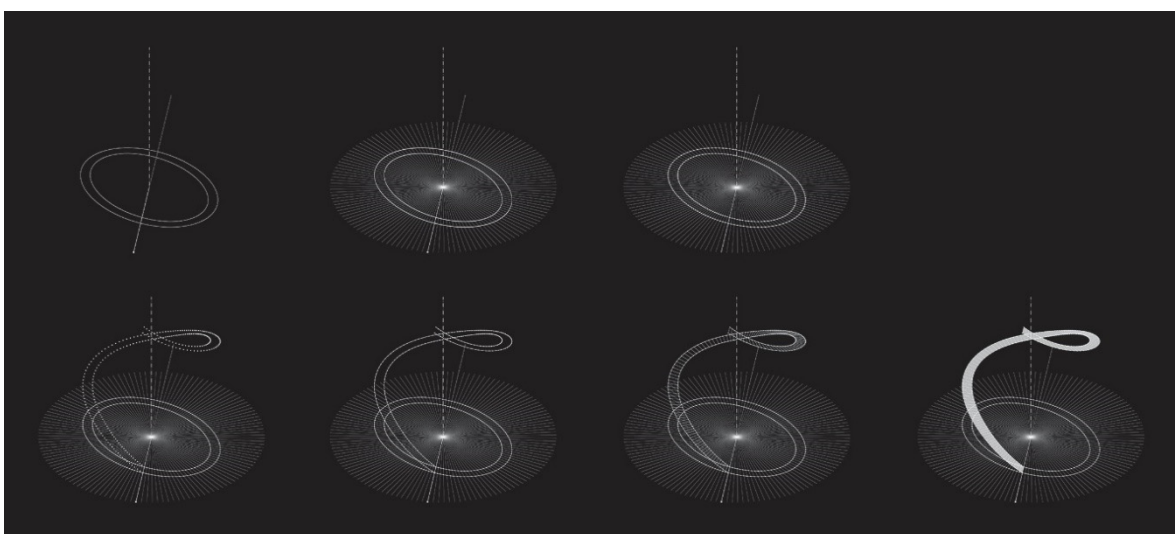
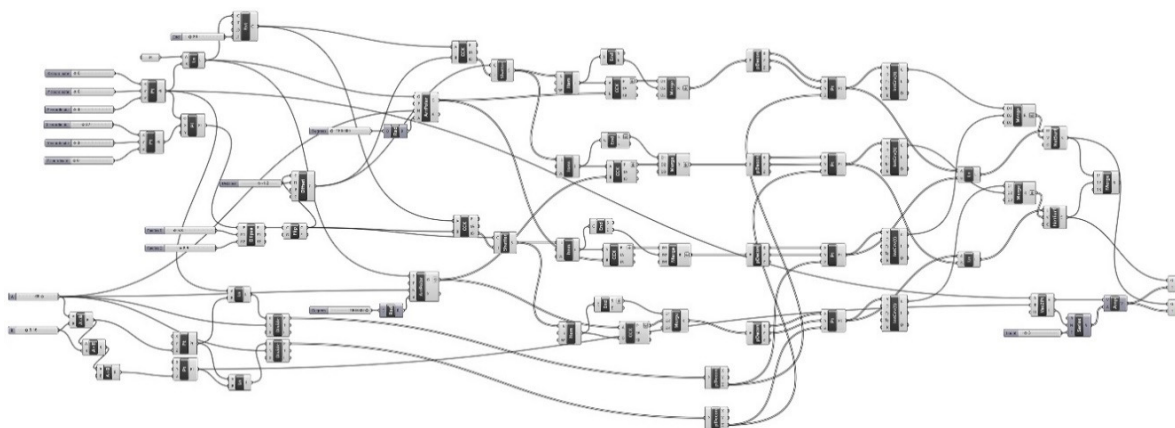


FIG. 34
Script per la
modellazione
della scala
elicoidale di
Palazzo
Mannajuolo a
Napoli.
Elaborazione
digitale.



I sistemi generativi per la modellazione digitale

—

Continuità tra trattati stereotomici e sistemi generativi

“Programming is writing algorithms that either build models or work as update algorithms in their own right. Both construction and programming are foreign to most designers. The last half of the 20th Century saw a dramatic decline in teaching the closest geometric topic, descriptive geometry; and a modest and erratic introduction of programming. Parametric modeling and contemporary design conspire to demand both of these skills”⁴⁵

La citazione di apertura introduce il significato di questo capitolo e di parte della ricerca effettuata.

È stato più volte riportato come Joseph-Louis Lagrange, professore presso l'École normale di Parigi, reagì con freddezza alle lezioni di geometria descrittiva di Gaspard Monge. Il matematico affermò, certo elegantemente, di ignorare di conoscere la geometria mongiana⁴⁶. Questo fatto mette chiaramente in luce quale fosse la distanza, alla fine del XVIII secolo, tra architettura, ingegneria e matematica⁴⁷. Il capitolo intende comprendere il valore della multidisciplinarietà tecnico-matematica per lo studio dei metodi della rappresentazione, per la scienza stereotomica in sé e per lo studio e le ricadute di questa nella ricerca contemporanea.

⁴⁵ R. Woodbury, *Elements of Parametric Design*, 2010.

⁴⁶ Come riportato in J. Sakarovitch, *Epures d'architecture: De la coupe des pierres a la géométrie descriptive XVI - XIX siècles*, Birkhäuser Basel, Basel 1998., nota numero 3

⁴⁷ Ad oggi la distanza è incolmabile e chi scrive è sicuro che le applicazioni di programmazione che si trovano in questo studio facciano 'sorridere' professionisti e ricercatori più di quanto fece Lagrange.



FIG. 35
Philibert
Delorme, trompe
dell'Hôtel de
Bullioud, Lione

Ci siamo allora chiesti cosa significhi nella seconda metà del XVII secolo costruire un trattato di geometria applicata alla stereotomia. Se da un lato, anche per Guarino Guarini, è presente la volontà di disseminazione delle note opere francesi, alle quali apertamente si ispira, dall'altro è innegabile come gli autori utilizzino i trattati come strumenti di produzione architettonica e ricerca matematica personale. Il trattato infatti, per sua natura, può comprendere solo parte della conoscenza acquisita dall'esperienza personale, poiché tende a sistematizzare quella codificata precedentemente. In questa declinazione strettamente utilitaristica, il trattato è definibile da un insieme di regole, descritte in via testuale, accompagnate da un secondo sistema di notazione grafica, secondo i codici del *trait*⁴⁸. I due sistemi descrittivi sono chiaramente interdipendenti, rappresentando quello che si chiamerebbe oggi un ambiente di sviluppo, in cui intervengono istanze stilistiche, strutturali, costruttive, strumentali, che rimangono spesso oscure al lettore non educato alla progettazione in pietra da taglio. Solamente in rarissimi casi in letteratura, la geometria del taglio delle pietre è messa a sistema con il funzionamento statico ad essa sotteso: il riferimento è chiaramente alle volte a *trompe*⁴⁹, quali elementi di maggiore effetto scenico in relazione al loro apparente funzionamento a mensola incastrata nella muratura di base (FIG. 35)⁵⁰.

Al contempo, l'attualità dei software di modellazione digitale è governata da una serie di termini, spesso di difficile interpretazione, seppure vocativi: modellazione generativa, modellazione parametrica, modellazione algoritmica, algoritmi computazionali, design generativo, etc. La mancanza di definizioni accurate permette a molti di usare questi termini in modo inadeguato, e offrire solo spunti di ricerca al variare del termine utilizzato⁵¹.

La ricerca intende indagare anche gli effetti di uno studio di un trattato stereotomico attraverso script di modellazione automatizzata. L'uso della modellazione tridimensionale per la verifica e rappresentazione degli apparati stereotomici è ormai fatto scontato: il modellatore CAD assume il ruolo di *tailleur de pierre* digitale, replicando le azioni descritte dal trattatista attraverso semplici operazioni booleane⁵² (FIG. 36). D'altra parte alcune costruzioni geometriche tipiche del Barocco sono già state investigate attraverso il loro processo di genesi formale: proprio il *cestello* della Cappella della Sacra Sindone è stato oggetto di uno studio tramite scripting⁵³. Il presente studio si propone invece di creare un ambiente di sviluppo più ampio per l'analisi delle apparecchiature stereotomiche. Lo script, partendo da input grafici pari a quelli del trattato⁵⁴,

⁴⁸ G. Fallacara, *Digital stereotomy and topological transformations: reasoning about shape building*, in Proceedings of the Second International Congress on Construction History [Volume 1], 2006, pp. 1075–1092.

⁴⁹ S. L. Sanabria, *From Gothic to Renaissance Stereotomy: The Design Methods of Philibert de l'Orme and Alonso de Vandelwira*, in Technology and Culture, n. 30, 2, 1989, pp. 266–299.

⁵⁰ AA.VV., *Philippe de la Hire*, cit.

⁵¹ Si veda in appendice il dizionario di riferimento.

⁵² Per un tentativo di comprensione delle tecniche di modellazione digitale quando applicate alla stereotomia si veda G. Fallacara, *Verso una progettazione stereotomica*, Aracne s.d.

⁵³ A. Saunders, *Baroque parameters*, in Architectural Design, n. 79, 1, 2009, pp. 132–135.

⁵⁴ La nomenclatura dei casi stereotomici è codificata solo in lingua francese e spagnola (tra l'altro è una codifica di lungo corso che ad esempio Frézier chiama "*en terms de l'art*"). Non a caso Guarini gli preferisce una nomenclatura strettamente geometrica. In questo caso, per input grafici, si intendono le

sviluppa parimenti le operazioni bidimensionali e tridimensionali che sottendono l'apparecchiatura. Si ritorna ad avere una duplice descrizione: un testo codificato, anche se in termini visuali come si vedrà successivamente, e una rappresentazione associata, in cui le operazioni bidimensionali sono verificate da quelle nel corpo digitale dell'apparecchiatura stereotomica, e viceversa. A differenza del trattato, testo e rappresentazione si confondono e sono il sistema di notazione l'uno dell'altro. Si tratta in questo senso di script spesso banali, che poco fanno se non ripetere le operazioni manuali che vengono demandate al lettore. Essi tuttavia aiutano il disegnatore a generalizzare la procedura geometrica in due modi differenti: da un lato lo script, come il testo, rappresenta la consequenzialità delle azioni che sono elencate compiutamente senza omissioni; dall'altro l'astrazione delle operazioni, esattamente come la struttura del trattato, permette l'isolamento delle costruzioni geometriche ripetitive, per una successiva applicazioni in apparecchiature appartenenti allo stesso autore o comuni ad autori differenti, manifestandone le relazioni. La struttura deduttivo-assiomatica, di derivazione euclidea, appartenente alla moltitudine dei trattati seicenteschi di taglio delle pietre, è così facilmente integrabile all'interno della struttura informativa. L'obiettivo principale è infatti quello della percezione, comprensibilità e intelligibilità non solo dei problemi - fatto spesso banale grazie all'esperienza - ma soprattutto della loro risoluzione.

Dal punto di vista epistemologico, è importante sempre tenere a mente i possibili problemi derivanti dell'uso di diagrammi a fini analitici⁵⁵. In un sistema spesso autoreferenziale, a causa del fatto che l'autore del sistema analitico è anche il suo utente, è infatti tanto semplice quanto pericoloso inserire ipotesi, parametri iniziali e un processo che giustificano una conclusione predeterminata, se non a volte scontata.

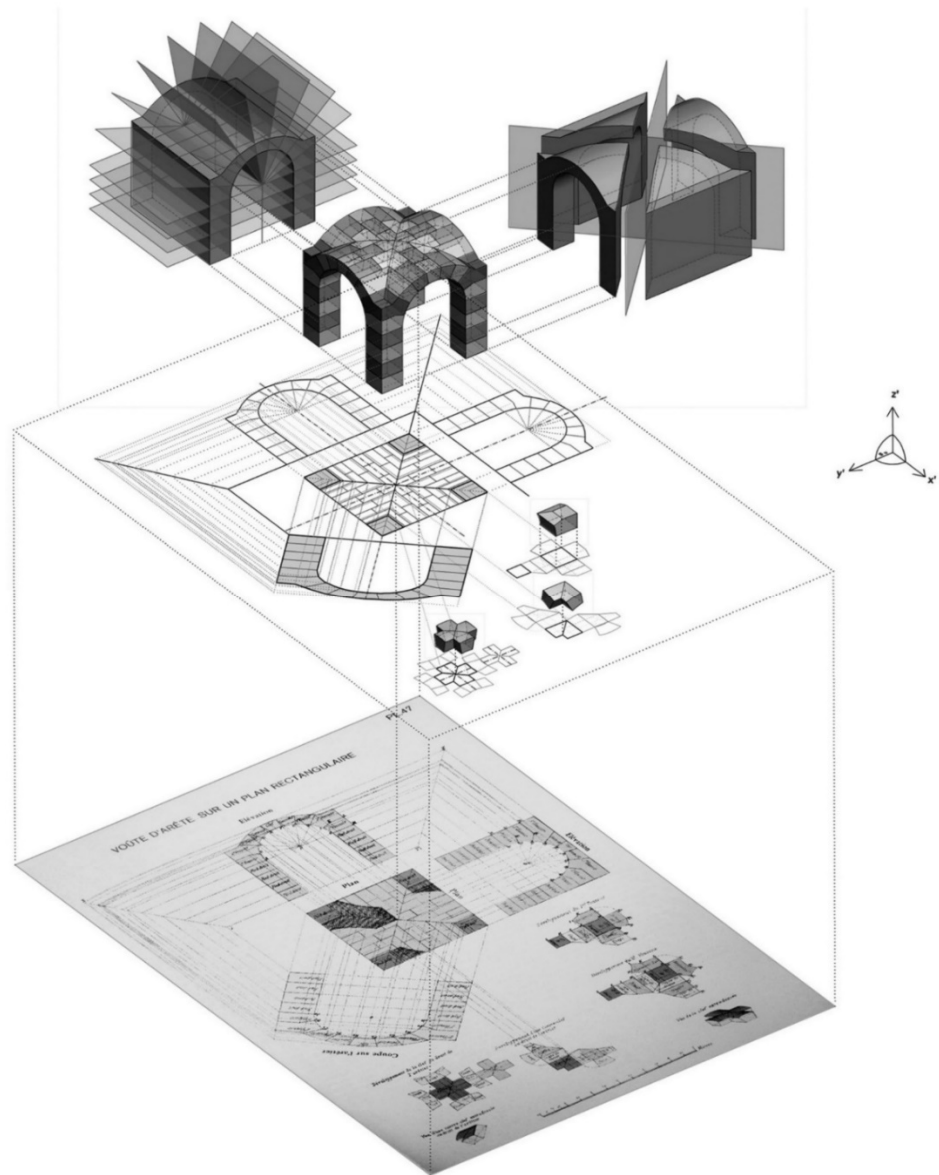
All'interno di questo particolare intendimento del processo di modellazione parametrica si inserisce la ricerca di Mark Ericson il quale cita opportunità e criticità della curva di apprendimento, tra l'altro ben note a chi si occupa di produzione di scripting: “[...] its ease of initial entry can lead to a bypassing of the basics of programming. A user might be able to assemble a set of components quickly to produce a seemingly complex and variable geometric figure, but that user will soon reach a limit imposed by a lack of understanding of the way in which information is stored and sorted, and will require a more thorough understanding of fundamental concepts such as lists and indices”⁵⁶.

condizioni iniziali del problema. Ad esempio, Frézier parla di “*Berceau, ou porte biaise & en talud*”, che rappresenta come è noto una volta a botte avente le generatrici inclinate non perpendicolari all'asse muratura, inclinata questa rispetto alla verticale (a scarpa). Gli input geometrici, a seconda della scelta presente nel trattato, sono il raggio e l'altezza della direttrice dell'arco di imposta, la larghezza e l'inclinazione della muratura.

⁵⁵ M. Kemp, *La scienza dell'arte: prospettiva e percezione visiva da Brunelleschi a Seurat*, 1994.

⁵⁶ M. Ericson, *Review: Grasshopper Algorithmic Modeling for Rhinoceros 5*, in *Journal of the Society of Architectural Historians*, n. 76, 4, 2017, pp. 580–583.

FIG. 36
 F. Bergamo, G.
 Liva.
 Rielaborazioni
 digitali da L.
 Monduit
*Théorique et
 pratique de la
 Stéréotomie au
 point de vue de la
 coupe de pierres* (in
 F. Bergamo, G.
 Liva, *Stereotomia.
 Dalla pietra al
 digitale*, 2010).



L'autore afferma che gli aspetti computazionali – in questo caso si riferisce agli aspetti cognitivi e ai processi relativi al calcolo – sono da sempre presenti nel mondo delle costruzioni, abbinati agli strumenti che ne permettono l'applicabilità. Si riferisce ovviamente ai metodi della rappresentazione, l'applicazione dei quali è fondata sull'utilizzo ripetitivo di regole geometriche, per produrre risultati variabili. A partire dall'indagine di Bernard Cache⁵⁷ sull'opera trattatistica di Albrecht Dürer, Ericson ritrova nell'opera di Caramuel de Lobkovitz e Guarino Guarini strutture cuneiformi (da cui il termine *wedge*) che i trattatisti utilizzano in forma generativa, definite incidenze storiche della computazione⁵⁸. Queste non sono elementi della rappresentazione, ma strumenti grafici per calcolare proporzioni, usate all'interno di sistemi di proiezioni ortogonali. In particolare l'autore analizza la figura 3 della lastra XIV, tavola XLII, associata all'Osservazione intitolata, “Del modo di ridurre in piano le superficie d'una sferoide segata con ellissi ineguali, cioè l'una sia maggiore dell'altra” (FIG. 37). Nel caso delle volte non-sferiche, la mancanza di equivalenza tra l'immagine geometrica e frontale, costringe Guarini a usare uno strumento per comprendere, in modo proporzionale, la distanza dal centro dell'ellisse fino alla superficie dell'ellissoide per punti⁵⁹.

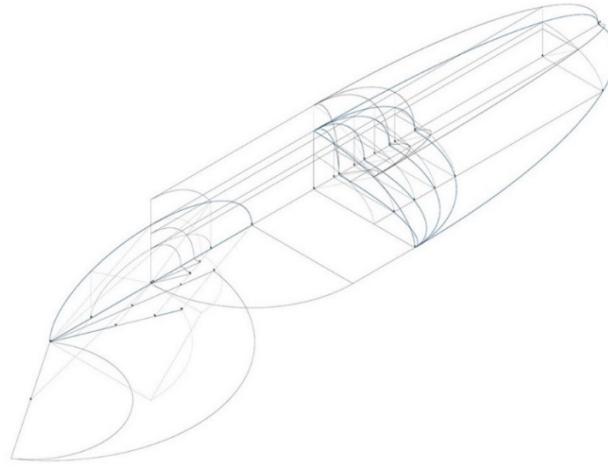
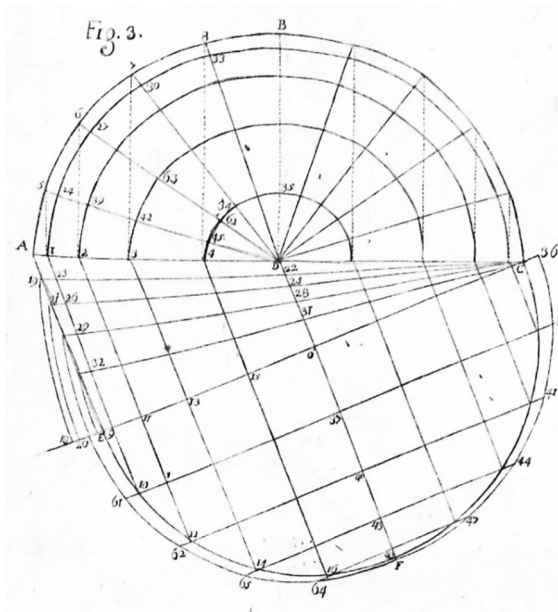
Il procedimento di astrazione che è reso possibile dalla creazione di script, è una possibile chiave di interpretazione dell'intera ricerca. La comprensione del livello di astrazione delle procedure geometriche di Guarini rende possibile avvicinarlo, o meno, alla figura di Gaspard Monge⁶⁰. L'astrazione dei processi logici mongiani assume una duplice declinazione: da un lato si tratta di rendere immateriali gli elementi costruttivi, dall'altro è importante rendere il procedimento grafico distante dalle strumentazioni del cantiere. Ad oggi, lo stesso atteggiamento di distacco da casi particolari e di matematizzazione del processo di rappresentazione e simulazione è offerto da sistemi generativi.

⁵⁷ B. Cache, *Instruments of Thought: Another Classical Tradition*, *Cornell Journal of Architecture*, s.d. <http://cornelljournalofarchitecture.cornell.edu/read.html?id=76> (pagina consultata il 10/12/2017).

⁵⁸ M. Ericson, *Euclid's Wedge - A History of computational Drawing*, 2014, pp. 125–134.

⁵⁹ A riguardo si veda il capitolo 3

⁶⁰ V. Cardone, *Gaspard Monge, padre dell'ingegnere contemporaneo*, DEI - Tipografia del Genio Civile, Roma 2017.



In senso orario:

FIG. 37
G. Guarini,
Architettura Civile,
1737. Figura 3, Lastra
XIV. Nella parte
centrale è presente il
“cuneo
computazionale” come
individuato da Ericson.

FIG. 38
M. Ericson,
assonometria del
funzionamento del
meccanismo di riporto
delle misure per il
disegno di una volta
ellissoidica a partire dal
cuneo computazionale.

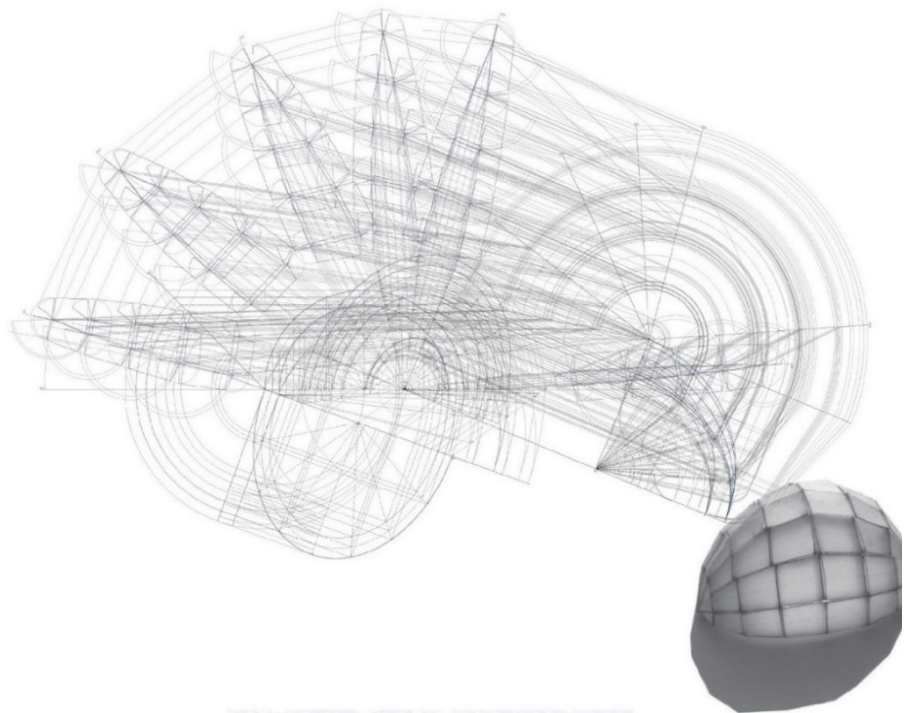


FIG. 39
M. Ericson, proiezioni
ortogonali, sviluppo e
assonometria di una
volta ellissoidica.

“The basis of stonecutting was the trait. Traits were layout drawings used to enable the precise cutting of component masonry blocks for complex architectural forms, especially vaults. Thereby accurate fabrication of parts could be achieved prior to construction. [...] Stereotomy was at the very edge of architecture. It was also at the edge of mathematical geometry, at the edge of technical drawing, of structural theory, practical masonry, and military engineering”⁶¹.

La stessa descrizione di stereotomia fornita da Evans apre una molteplicità di relazioni tra la stereotomia e la contemporanea modellazione parametrica.

Una prima relazione è descritta dal richiamo alla complessità della forma, che nel contemporaneo è ben rappresentata dal *parametricism*, termine divenuto celebre dopo l'utilizzo fattone da Patrik Schumacher: lo studio di algoritmi per la generazione di forme è noto da tempo⁶². La visione della modellazione parametrica come esclusivo linguaggio formale è pericolosa: essendo infatti concepita come un metodo per gestire la complessità di un progetto, altrimenti difficilmente possibile. Allo stesso modo, volte coniche per la gestione del passaggio da un tamburo poligonale ad una cupola, sono presenti certo prima della codifica della stereotomia nel Cinquecento⁶³. Tuttavia, è difficile pensare alla complessità di alcune *trompe*, senza la trattatistica dedicata⁶⁴.

Il riferimento al pensiero di Evans è evidente, e apre ad una seconda relazione, tanto attuale nel mondo della modellazione e progettazione assistita dal computer. Sono state specificate tre invarianti che individuano compiutamente un'opera stereotomica: l'invariante pre-figurativa, quale capacità di definire la superficie progettata attraverso proiezioni; l'invariante tecnico-geometrica, quale l'abilità di sapere riprodurre la forma del concio fino alla sua realizzazione; l'invariante statica, definita dall'attitudine ad offrire, al sistema assemblato, adeguata resistenza a gravità⁶⁵. La stereotomia si configura come uno strumento avanzato di innovazione matematica, architettonica, costruttiva e procedurale all'interno del processo edilizio⁶⁶.

Risulta importante chiedersi se sia valido anche il ragionamento *a contrario*: senza la stereotomia, i miglioramenti tecnologici negli altri campi sarebbero avvenuti ugualmente? La risposta è positiva. Un banale esempio è il celebre caso studio della trave incastrata di Galileo. È tuttavia sensibilmente differente un procedimento che è basato su aspetti geometrici, metrici,

⁶¹ R. Evans, *Drawn Stone*, in *The Projective cast*, 2000, pp. 179–239.

⁶² M. Carpo, *Parametric notations*, in *Architectural Design*, 2016, pp. 24–29.

⁶³ S. L. Sanabria, *From Gothic to Renaissance Stereotomy: The Design Methods of Philibert de l'Orme and Alonso de Vandelvira*, cit.

⁶⁴ In riferimento alla relazione tra trattatistica e sviluppo dei risultati della pittura seicentesca si veda A. De Rosa, *Quadraturismo in exergo*, (s.d.). È chiaro che questa conclusione è valida solo dopo un'analisi accurata dei meccanismi di divulgazione e sperimentazione seicentesca.

⁶⁵ Le invarianti così definite sono un elemento caratterizzante dell'intera ricerca, che non potrebbe esistere senza l'eventualità che gli archi costituenti la Cappella della Sacra Sindone torinese abbiano valenza strutturale. Se così fosse, sarebbe possibile definire il 'cestello' una delle più ampie e complesse apparecchiature stereotomiche mai costruite.

⁶⁶ R. Evans, *Drawn Stone*, cit.

grafici e rappresentativi⁶⁷, tale da permettere l'integrazione di più discipline all'interno dello stesso ambiente di sviluppo. Pari ruolo pare oggi essere assunto proprio da sistemi generativi, attraverso la sottesa procedura composta dall'individuazione di parametri iniziali (astrazione), il successivo sviluppo di un processo di determinazione di forme e relazioni (algoritmo), la creazione di varianti formali e funzionali (computazione), la scelta della migliore alternativa (ottimizzazione). Ne consegue che sarebbe errato, nel caso degli script presentati in questa tesi, parlare di algoritmi o software. Ogni apparecchiatura stereotomica è implicitamente un'alternativa che autonomamente 'rappresenta' criteri di ottimizzazione altri, siano essi spaziali e strutturali⁶⁸. Il riferimento più accurato è quello della volta polimorfica dell'*hotel de ville* di Arles⁶⁹, oppure i casi di meraviglia strutturale identificati da una *trompe*. Appare in aggiunta utile citare le quattro diverse apparecchiature che Frézier illustra per una volta *en cul de four*. Alla più ovvia spiegazione del metodo a disposizione orizzontale, "voute en cul-de-four, par assises de niveau", aggiunge due casi per le "voute sphérique composée de rangs de voussoirs de différentes directions", che corrispondono ad un arrangiamento a base poligonale (di per sé altamente variabile), ed infine il caso di quelle "voutes sphériques faisant le plan d'une voute d'arête", che prevede archi terminanti in chiave di volta, in numero pari al poligono inscritto. Per ogni apparecchiatura, Frézier presenta vantaggi e svantaggi, esponendo le procedure di taglio utili *par équarrissement, par panneaux, par panneaux flexibles*⁷⁰. Questi procedimenti non implicano un procedimento automatico, ma lo sottendono se si determinano *ex ante* quelle considerazioni di valore descritte dall'autore. Egli si preoccupa della velocità, precisione e semplicità di esecuzione, della quantità di scarto lapideo, etc. Sono di fatto tematiche costanti nel mondo delle costruzioni: in particolare lo stesso sistema di valori di cui si parla ad oggi per la modellazione digitale BIM e la fabbricazione digitale dei componenti architettonici.

A riguardo sembra opportuno citare l'opera di Philippe Block⁷¹: da una lettura approfondita delle motivazioni del suo lavoro per il calcolo e la fabbricazione di elementi voltati a secco, si determinano gli stessi valori che preoccupavano i trattatisti stereotomici del passato. La correlazione di un ambiente di calcolo basato su costruzioni grafiche e un ambiente di visualizzazione tridimensionale, ha permesso ai ricercatori del Block Research Group di giungere

⁶⁷ C. Chen, *Information visualization*, in Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, n. 2, 4, 2010, pp. 387–403.

⁶⁸ R. A. Etlin, P. Delorme, *Stereotomy: The Paradox of an Acrobatic Architecture*, (s.d.).

⁶⁹ G. Fallacara *et al.*, *The Vault of the Hôtel de Ville in Arles*, in Nexus Network Journal, n. 13, 3, 2011, pp. 599–629; L. Tamborero, J. Sakarovitch, *The vault of Aries City Hall: A carpentry outline for a stone vault?*, in Proceedings of the First International Congress on Construction History, Madrid, 20th-24th January 2003, ed. S. Huerta, Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, ETSAM, A. E. Benvenuto, COAM, F. Dragados, 2003, January, 2003.

⁷⁰ M. Salvatore, *Prodromes of Descriptive Geometry in the Traité de stereotomie by Amédée Francois Frézier*, in Nexus Network Journal, n. 13, 3, 2011, pp. 671–699; C. Trevisan, *Per una storia della stereotomia*, s.d.

⁷¹ L. Lachauer *et al.*, *Form Finding to Fabrication: A digital design process for masonry vaults*, in Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2010, Il, 2010.

a risultati davvero neo-stereotomici, senza avere alcuna particolare preparazione alle tecniche antiche (FIG. 40 e FIG. 41). Ogni rimando alla tecnica del *trait* risulterebbe superfluo, poiché sarebbe anacronistico in riferimento alla produzione attraverso le macchine a controllo numerico. D'altra parte, a sostanziale differenza della stereotomia, la forma finale non è predeterminata, ma ottimizzata a partire da una configurazione iniziale e dai vincoli descritti nell'ambiente di modellazione digitale. Le procedure codificate dal Block Research Group sono pertanto implicitamente generative: il metodo di calcolo grafico del poligono funicolare⁷² viene trasferito nella tridimensionalità grazie alle possibilità di calcolo di un processore. La geometria riveste nuovamente un ruolo fondamentale all'interno dei più virtuosi sviluppi contemporanei.

⁷² Si ricorda che il metodo di calcolo della funicolare è scoperta seicentesca. A riguardo si veda A. Ageno *et al.*, *Theory And History Of The Thrust Line For Masonry Arches. A brief account*, in Proceedings of 4th International Conference on Arch Bridges, 1840, 2004, pp. 1–10; D. Capecchi, *Storia della Scienza delle costruzioni 1600-1800. La resistenza delle travi*, cit.; A. Sinopoli, *Il problema dell'equilibrio da Aristotele a Varignon*, cit.

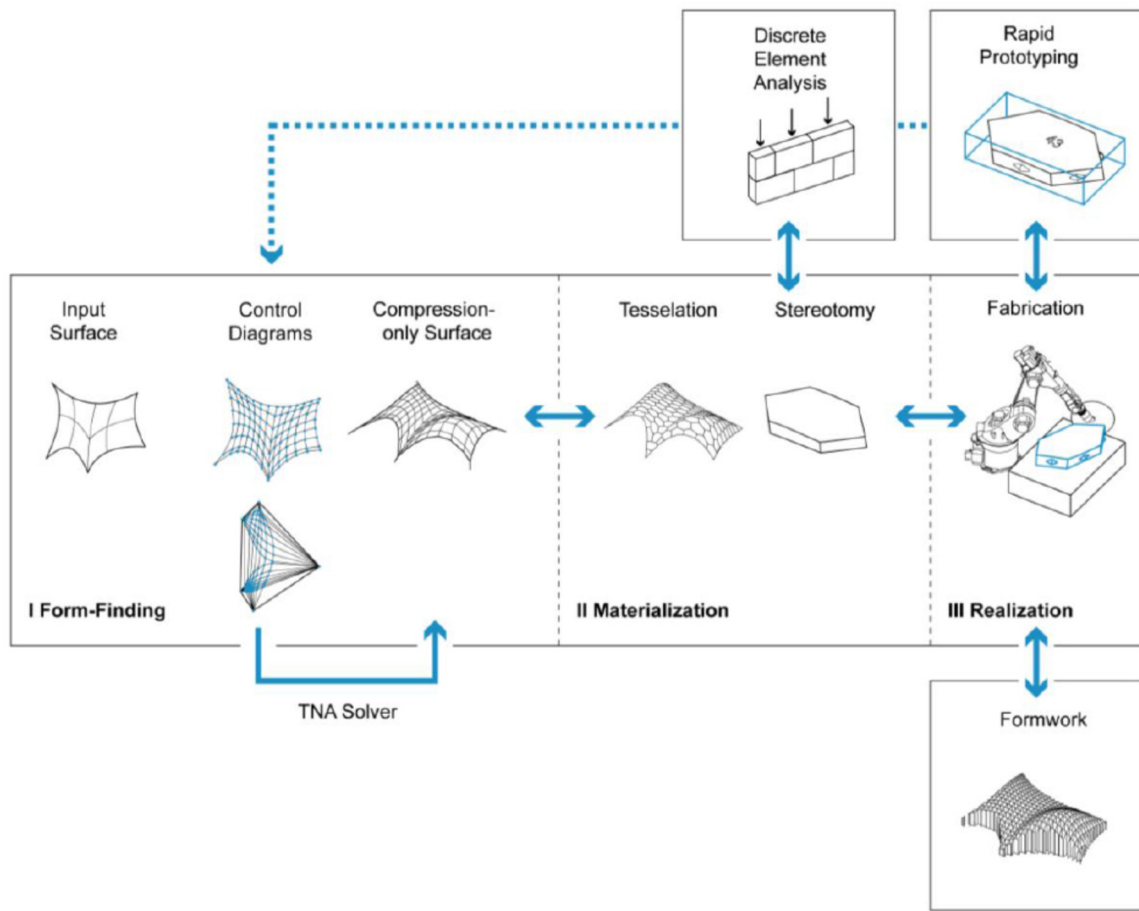
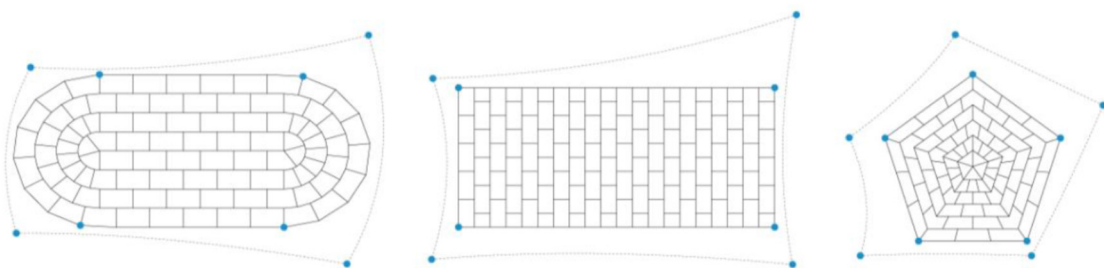


FIG. 40
 Processo digitale per il passaggio dall'ideazione alla costruzione di elementi voltati. La disposizione dei tagli delle pietre non è determinata a priori, ma deriva dagli aspetti computazionali.

FIG. 41
 Ricerca della topologia di riferimento grazie all'analisi dei bordi e del numero di supporti.

In L. Lachauer *et al.*, *Form Finding to Fabrication*, cit.



Si crede che stia proprio nell'atteggiamento fideistico verso la geometria, il sentimento di nostalgia, descritto da Antoine Picon⁷³ come elemento invariante nelle recenti applicazioni di fabbricazione digitale, verso un recupero delle pratiche costruttive integrate. La continuità tra stereotomia e sistemi generativi si applica infine nella ricerca della validità delle antiche pratiche nell'industria delle costruzioni contemporanea. Il termine preferito in letteratura per indicare tale modellazione è quello di *discrete geometry modeling*. È questo il processo computazionale per indicare il passaggio da una geometria per superfici o solidi, a un insieme di parti attraverso un algoritmo di discretizzazione. Si tratta di stabilire una relazione tra la parte e la superficie iniziale e i sistemi di collegamento tra ogni parte, certo non immaginabili dai rigidi trattatisti francesi. Tipiche applicazioni di questo tipo oggi si ritrovano da tempo nella produzione di facciate continue, ma si pensa saranno sempre più frequenti nella produzione edilizia, grazie allo sviluppo della cosiddetta stampa tridimensionale a grande formato⁷⁴.

Espletato forse troppo rapidamente l'ambito costruttivo e strutturale, all'interno del parallelismo tra stereotomia e sistemi generativi per la produzione architettonica, sembra doveroso discutere l'opera di Luigi Moretti. Studioso del linguaggio formale barocco⁷⁵, Moretti è da molti indicato⁷⁶ come il primo autore ad usare l'espressione *architettura parametrica* ad indicare come fosse necessario uno o più parametri quantizzabili tali da esprimere la relazione tra spazio e funzione⁷⁷ (FIG. 42, FIG. 43). In particolare Moretti afferma la necessità di individuare "soluzioni incentrate sui «parametri» quantizzabili, dei fenomeni che costituiscono le funzioni per le quali cerchiamo le forme; «parametri» che di conseguenza, singolarmente e nelle loro interrelazioni, anche esse quantizzabili, fissano i limiti entro i quali si individuano, si disegnano, le forme che quelle funzioni esaudiscono"⁷⁸. Pare facile in questa occasione invocare il significato dell'opera di Moretti a giustificazione degli scopi cercati in questa tesi. Tuttavia Moretti più avanti nel testo specifica il ricorso a "*computers, [...] per le possibilità che hanno di esprimere in serie cicliche autocorrettive le soluzioni probabili dei valori dei parametri e delle loro relazioni. Allo sviluppo di questa impostazione e alla nuova metodica e teoria [...] diedi il nome di «Architettura Parametrica»*"⁷⁹.

⁷³ AA.VV., *Fabricate rethinking design and construction*, UCL PRESS, London 2017.

⁷⁴ AA.VV., *Fabricate: making digital architecture*, UCL PRESS, Londra 2011; *Fabricate: negotiating design & making*, UCL 2013; *Fabricate rethinking design and construction*, cit.

⁷⁵ L. Moretti, *Strutture e sequenze di spazi*, cit.

⁷⁶ D. Davis, *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, February, 2013, pp. 243.

⁷⁷ L. Moretti, *Ricerca matematica in architettura e urbanistica*, in *Moebius*, n. 1, 4, 1971, pp. 30–53. Si tratta di un articolo in forma epistolare a Giulio Roisecco, in cui viene citata la figura di August Ferdinand Möbius (1790-1868): "Onore al santo, del quale la rivista porta il nome".

⁷⁸ *Ibid.*

⁷⁹ In questo senso, Moretti fa derivare le proprie idee del concetto di struttura e di relazione tra strutture differenti da Évariste Galois (1811-1832), matematico e autore della Teoria di Galois. Il piglio logico di Moretti sembra essere nella possibilità di interpretare la realtà attraverso modelli astratti Cecilia Rostagni, *Moretti teorico. Matematica e la rivista «Spazio»*, in *Luigi Moretti 1907-1973*, Electa 2008.

La *bi-disciplinarietà* tra matematica e architettura fu delineata nel 1945 con la partecipazione del matematico Mario De Benedicty, e realizzata più tardi con l'esperienza dell'IRMOU⁸⁰ (FIG. 44).

In conclusione, si nota che le espressioni 'parametrico', 'algoritmico', 'computazionale' sono ad oggi indicative di ciò che la stereotomia ha prodotto. Anche la pluralità di termini certo non deve stupire, il termine *stereotomie* venne usato per la prima volta da Jacques Curabelle, un *appareilleur*, nel 1644⁸¹; nel 1561 Philibert Delorme parlava di *trait e nouvelles inventions*; Guarino Guarini nel IV trattato, *dell'Ortografia Gittata*, cita la parola pietra una sola volta e si riferisce a sviluppi, "modi di stendere", proiezione, etc. Si tratta tuttavia di un nuovo corso, in parte già codificato, ma che, con le parole di Evans, rappresenta "*the very edge of architecture*"⁸² (FIG. 45 - FIG. 50).

⁸⁰ Istituto Nazionale per la Ricerca Matematica e Operativa per l'Urbanistica. Sebbene più semplice determinare l'esistenza del termine "parametro" in urbanistica, l'esperienza dell'istituto è singolare per la multidisciplinarietà del progetto. Tra gli altri erano presenti infatti matematici, Mario De Benedicty, Ezio De Felice, Bruno De Finetti; fisici, Anna Cuzzer, Aroldo De Tivoli, Franco Lepri; psicologi, Vittorio Castellano; statistici, Raffaele D'Addario; esperti in geometria, Giuseppe Pompily; esperti in topologia, elettronica, cibernetica, architettura. AA.VV., *Luigi Moretti: architetto del Novecento*, Gangemi 2011.

⁸¹ J.-M. Pérouse de Montclos, *L'architecture a la francaise*, 1982.

⁸² Ritengo sia utile precisare come la nuova frontiera sia chiaramente già visibile da i lettori che ritengono il termine generativo usitato e antico, pertanto poco adatto a rappresentare un limite. Si pensa d'altra parte che fenomeni quali Autodesk DreamCatcher preveda un tale allontanamento dalla multidisciplinarietà intrinseca della produzione architettonica da non poter essere preso in considerazione. Pare più importante invece citare esperienze di multidisciplinarietà di diverso tipo: David Correa e Achim Menges per gli esperimenti di superfici cinetiche per forma D. Correa, A. Menges, *Fused filament fabrication for multikinematic-state climate responsive aperture*, in A. Menges et al. (a cura di), *Fabricate: Rethinking Design and Construction*, ULC Press, Londra 2017, pp. 190–195., Skylar Tibbits con gli oggetti auto-assemblanti si veda S. Tibbits, K. Cheung, *Programmable materials for architectural assembly and automation*, in *Assembly Automation*, n. 32, 3, 2012, pp. 216–225.

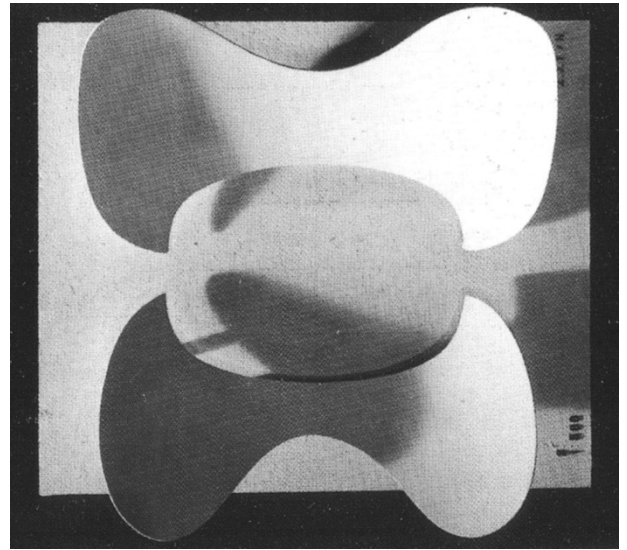
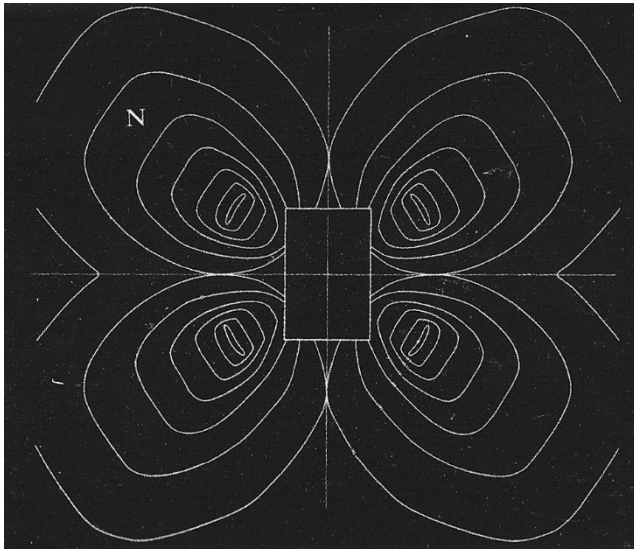


FIG. 42
L. Moretti. Diagramma delle curve di eguaglianza di appetibilità visiva per uno stadio calcistico.

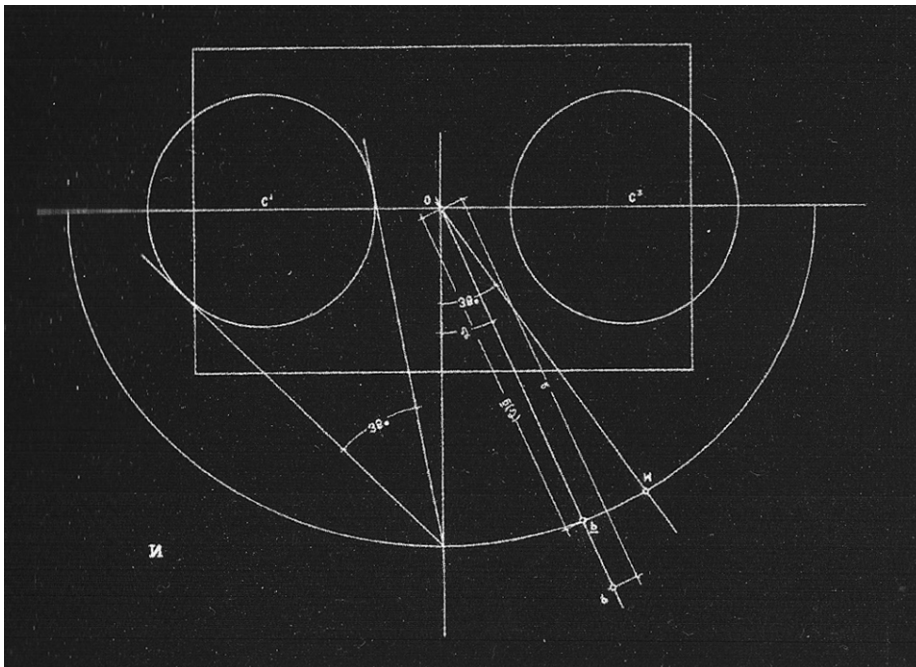


FIG. 43
L. Moretti. Modello tridimensionale di stadio progettato grazie alle curve parametricamente definite.

FIG. 44
L. Moretti. Schema geometrico per la determinazione del parametro "appetibilità visiva".

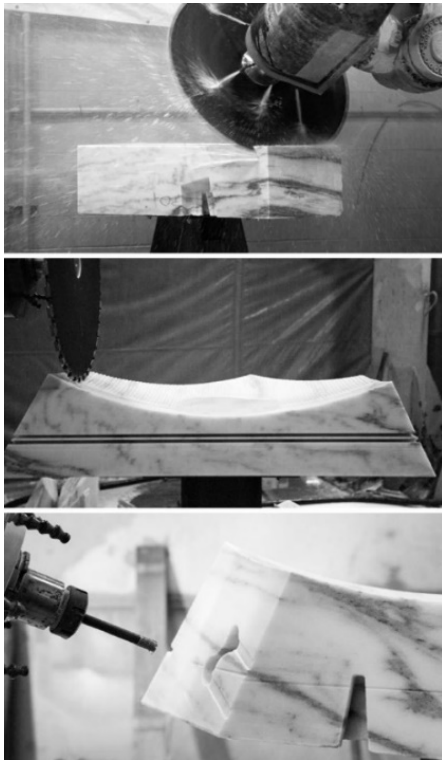


FIG. 45
I. Ariza, *Robotic fabrication of stone assembly details*, 2017. Operazioni di taglio di solidi marmorei attraverso bracci robotizzati.

FIG. 46
S. Peters, *Precast concrete shells a structural challenge*, 2017. Assemblaggio di elementi a doppia curvatura in calcestruzzo armato.

FIG. 47
M. Self, E. Vercruyssen, *Infinite variations, radical strategies*, 2017. Trave reticolare ottenuta assemblando porzioni di albero. I giunti legno-legno sono realizzati attraverso il taglio delle estremità da parte di un braccio meccanico.



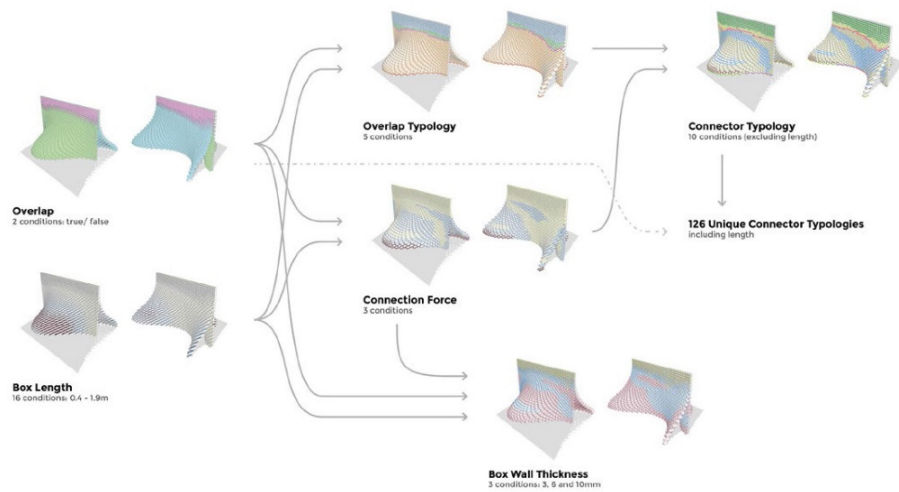


FIG. 48
J. Kingman, *The 2016 Serpentine pavilion: a case study in largescale GFRP structural design and assembly*, 2017. Suddivisione per geometria, vincoli, connessione dei blocchi cavi plastici.

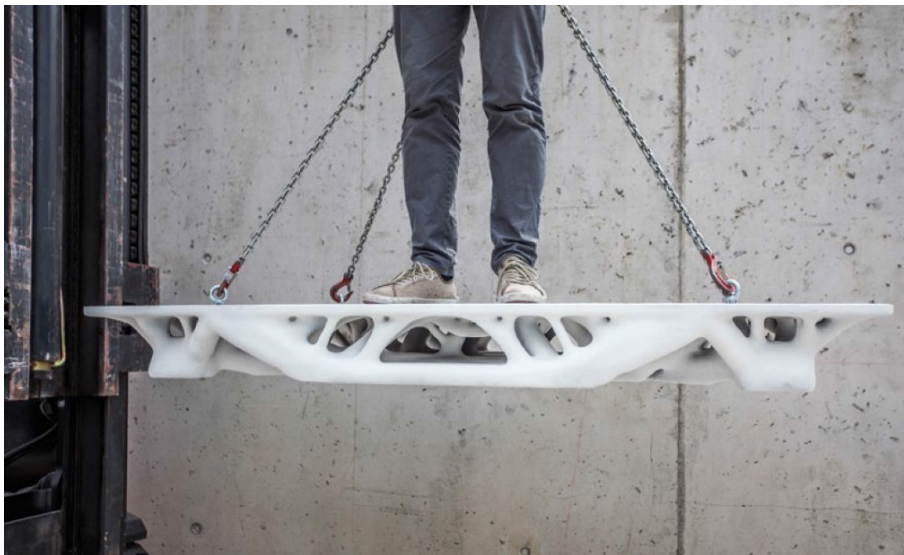


FIG. 49
M. Aghaei Meibodi, *The smart takes from the strong 3d printing stay-in-place formwork for concrete slab construction*, 2017. Prototipo di solaio di materiale composito ottenuto attraverso un processo digitale sottrattivo. Prova di carico.

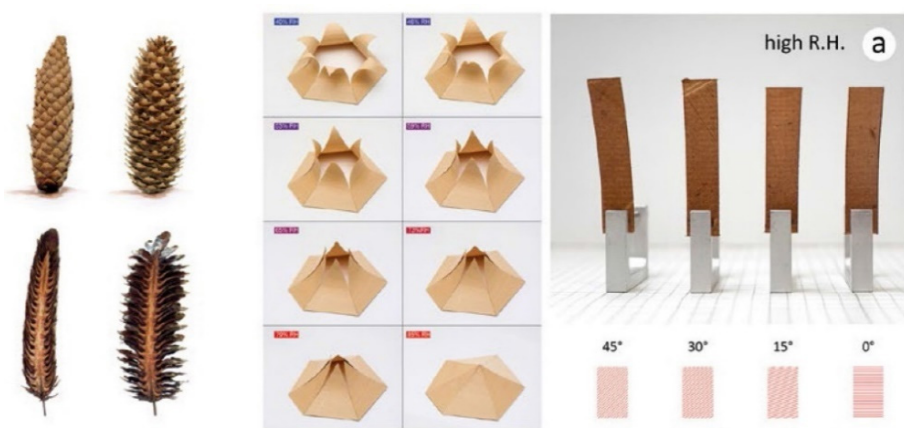


FIG. 50
D. Correa, A. Menges, *Fused filament fabrication for multi-kinematic-state climate-responsive aperture*, 2017. Cambiamento della direzione di piegatura in relazione alla disposizione del materiale di produzione.

I trattati di geometria, comparazione e analisi

L'Architettura civile e l'Euclide Adauctus, analisi dei metodi stereotomici

“Nei disegni del Guarini il modo stereotomico
è valore estetico”¹

Werner Müller conclude con queste parole uno degli studi più accurati sulla stereotomia di Guarino Guarini. Esse derivano dall'analisi di più aspetti dell'opera scritta e architettonica di Guarini e bene descrivono l'ambiguità della figura del teatino che si nota non solo in ambito stereotomico. Il testo a seguire illustra alcuni caratteri di tale enigmaticità.

Come specificato dalla letteratura esistente, la stereotomia di Guarini è definita attraverso due note opere, il trattato² XXXII *De superficibus corporam in planum redigentis* de l'*Euclides adauctus et Methodicus Mathematicaque Universalis*³, e nel trattato IV de l'*Architettura civile*⁴ intitolato *Dell'Ortografia Gettata*⁵, dove distingue due procedimenti geometrici, l'Ortografia gettata' o depressa dall'Ortografia elevata'.

“Due sorte di ortografia deve speculare l'architetto; l'una che presuppone il piano, e da esso solleva il suo disegno; l'altra che non presuppone alcun disegno sul piano, ma quello che si disegna in alto, che poi si deve gettare in piano, e vedere qual parte vien occupata da esso: però due sono le ortografie, una si dirà elevata, l'altra si chiamerà depressa.”⁶

Pur dichiarando entrambi gli strumenti validi e necessari all'architetto, in quanto il primo, inversamente alla Ortografia elevata, “i corpi in alto sospesi con linee perpendicolari riduce in piano per istendere la loro superficie”. In questo caso come in altri, il testo di Guarini, nella sua semplicità, esprime il principio generale in cui è fondato il suo procedimento deduttivo. Ne si deduce pertanto che il trattato IV non si riferisce né alla *stereotomie* né ad un manuale di *coupe de pierres*. Si tratta di un metodo geometrico, che come si vedrà nel capitolo, porta in modo consequenziale o coordinato - purtroppo sempre alternativamente - alla proiezione ortogonale delle superfici progettate per ottenere il loro sviluppo.

Per quanto riguarda l'utilizzo di queste pratiche a fini costruttivi, alla lettura si scopre solo qualche accenno. L'uso stesso della parola 'pietra', come quello di 'concio', è assai limitato, preferendone il termine 'parte'⁷. Lo si ritrova sostanzialmente in tre parti del trattato, specificando nell'introduzione: “Perché adunque per tagliare le pietre e ritrovare le giuste forme è necessario sapere quali siano le loro superfici, acciocché fatte e tagliate secondo quelle, quando si pongono in opera, si assetino al suo luogo, e convengano colle altre [...]”, indicando la pratica stereotomica come un'operazione di ingegneria inversa, per simulare le operazioni costruttive.

¹ W. Müller, *Guarini e la stereotomia*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970.

² Il termine trattato è usato in questo caso in riferimento alla struttura del volume, organizzata in 35 trattati, da intendere quindi come sezioni, parti o capitoli d'opera.

³ G. Guarini, *Euclides adauctus et methodicus mathematicaque universalis*, cit.

⁴ G. Guarini, *Architettura civile*, cit.

⁵ Nella prosecuzione del testo, si abbrevierà con *Architettura* il testo *Architettura Civile*, con *Euclides* il testo *Euclides Adauctus et Methodicus Mathematicaque Universalis*.

⁶ G. Guarini, *Architettura civile*, cit.

⁷ W. Müller, *Guarini e la stereotomia*, cit.

Nell'osservazione II del Quinto capitolo, fornendo la spiegazione dello sviluppo in piano di porzioni di superficie sferica a coprire ambienti a pianta triangolare o pentagonale⁸, invece precisa alcuni scopi legati allo scopo del trattato: “[...] siccome la nostra intenzione non è solamente d'insegnare come vestire si possa qualunque superficie coprendola di carta, o di altra simile materia, per darle la forma, ma di più dare qualche cognizione per formare le volte, tagliare le pietre, ed esporre altre indispensabili proprietà dell'ortografia [...]”⁹. In questo passaggio viene inoltre aggiunto come le operazioni descritte nel trattato non siano riferite solamente alla costruzione litica, ma possano essere utilizzate anche per la produzione di superfici in laterizio¹⁰: “osservando solamente di far tagliar le pietre per tali volte nel modo che diremo, e quando fossero di matoni di mettergli in opera nella stessa maniera, come si collocerebbono le pietre lavorate a scarpello”. Più avanti nel medesimo capitolo, esponendo una procedura simile alla precedente per ambienti a pianta rettangolare, ripete quanto già detto: “ma da tutto ciò non si ricava che la maniera di vestire una sfera d'una superficie molle, cioè di carta, o di simile materia; però essendo la nostra idea d'insegnare la maniera di tagliare le pietre, acciocché servino per fare volte, archi, e simili, di maravigliosa e forte struttura [...]”¹¹.

Il titolo stesso del XXXII trattato dell'*Euclides* è, in questo senso, nuovamente esplicativo: *De superficibus corporum in planum redigentis*, la descrizione delle superfici dei solidi su un piano¹². Nella sua introduzione Guarini collega quanto dirà con il trattato XVI, *De proiecturis*. Lo sviluppo della superficie di un corpo è una procedura connessa alla sua proiezione: “Proiectio superficierum corporearum, que in planum extenduntur [...]”.

Il rimando permette di chiarire la posizione di Guarini sul significato di proiezione. In apertura al trattato XVI, il teatino dichiara la diffusione delle applicazioni delle proiezioni citando la gnomonica, l'astronomia, la cosmografia, l'architettura. Da ultima, viene ricordata la rappresentazione prospettica, con esplicito riferimento alla percezione visiva.

In una prima definizione, il termine proiezione è per Guarini sinonimo dell'azione meccanica di impressione. “La Ortografia non è altro [...] che una impressione, terminazione, vestigio notato nel piano di una superficie ad esso normale, la quale circonda un'altra elevata dal detto piano; dal qual vestigio così normalmente impresso si conosca, qual parte copra ed occupi del piano medesimo.”

⁸ Tale operazione è geometricamente assurda. Guarini tuttavia dà per implicita la riduzione della sfera ad un insieme di superfici piane, oppure ad una serie di porzioni di superfici coniche.

⁹ G. Guarini, *Architettura civile*, cit.

¹⁰ Tra le applicazioni da sviluppare a seguito dello studio dei trattati, era stato valutato lo studio delle superfici guariniane in laterizio, si pensi ad esempio alla Real chiesa di San Lorenzo. È chiaro tuttavia quanto sia complesso portare a termine una ricerca di questo tipo, che prevede il rilievo dell'estradosso degli ambienti voltati o la rimozione degli intonaci.

¹¹ G. Guarini, *Architettura civile*, cit.

¹² Quando presente in italiano senza altra specifica, il testo è tradotto dall'autore. La traduzione dei trattati XVI e XXXII è invece presente in C. Bianchini, *La scienza della rappresentazione nella concezione di Guarino Guarini*, Gangemi Editore Spa, Roma 2008.

Secondo ciò che Funkenstein definisce *divieto della metabasi* di origine aristotelica¹³, fondamento che nega la similitudine nella tipologia di grandezze diverse, viene ammesso come solo gli enti-superfici possono essere trasferite su un piano, poiché gerarchicamente equivalenti per entità. La definizione di proiezione diventa pertanto “l’immagine di una qualsiasi superficie impressa su un piano, la quale ne avvolga un’altra”. L’azione meccanica è applicata su una superficie che avvolge il volume da rappresentare. Guarini divide il sistema delle proiezioni in ‘Ortografia’, in cui la superficie viene proiettata secondo una direzione perpendicolare al piano ‘proiettorio’, e ‘Stereografia’, definita come l’immagine su un piano di una superficie conica o piramidale, avente il vertice nel centro di proiezione, la quale avvolge il volume che si vuole proiettare¹⁴.

Ponendo attenzione sull’operazione ortografica, Guarini, rifiutando l’astrazione delle proiezioni da un punto di vista infinitamente distante¹⁵, giustifica il parallelismo dei raggi proiettivi con l’azione meccanica di impronta, che permette di descrivere la collocazione dei solidi come se fossero mossi dal loro peso. I raggi di proiezione sono pertanto simili ai vettori sottesi al movimento di un corpo sottoposto alla forza attrattiva di gravità.

Approfondendo il raffronto tra i due trattati guariniani, la letteratura fino alla prima metà del Novecento ha descritto l’*Euclides* come un’opera di rilievo matematico e geometrico, particolarmente nell’ambito della Geometria Descrittiva¹⁶. È stata pertanto analizzata la sovrapposizione, a livello di titoli e di alcune procedure, tra l’*Euclides* e l’*Architettura*. L’analisi, che si ritrova nella Appendice B, mostra una sovrapposizione pressoché totale tra i due trattati, tanto nell’impostazione quanto nelle rappresentazioni¹⁷. L’analisi dei casi mostrerà invece quanto l’*Euclides* sia più accurato nelle notazioni grafiche.

Lo studio delle fonti e dei riferimenti di Guarini per la stesura dei due trattati è stato tema di ricerca ampiamente sviluppato seppur con esiti ritenuti non univoci per utilità dello studio complessivo. Carboneri, ad esempio, nella sua edizione dell’*Architettura* del 1968, dichiarava

¹³ A. Funkenstein, *Teologia e immaginazione scientifica dal Medioevo al Seicento. Traduzione di Aldo Serafini*, cit.

¹⁴ A riguardo delle fonti guariniane per la suddivisione delle proiezioni in Ortografia e Stereotografia, Loria cita Aguilon e Vitruvio. G. Loria, *Storia della geometria descrittiva dalle origini sino ai giorni nostri*, Hoepli, Milano 1921.

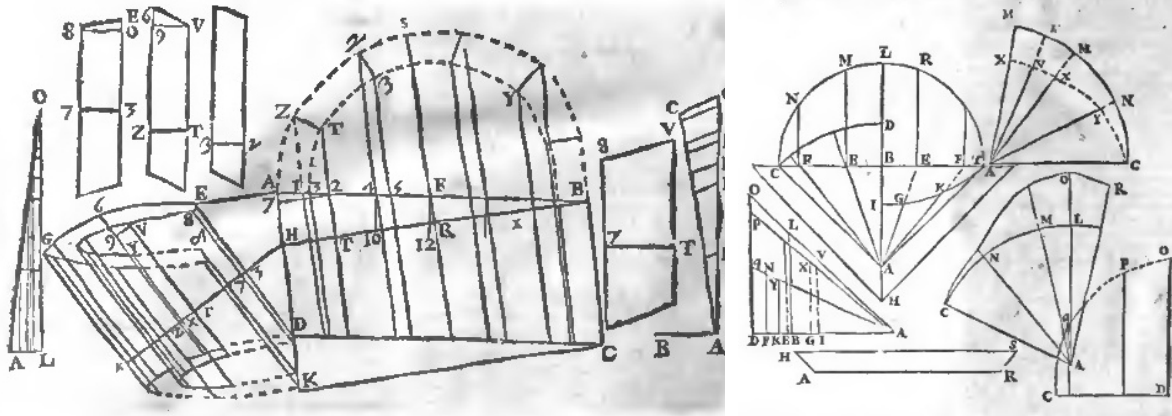
¹⁵ Sebbene Guarini possedesse la bibliografia per comprendere le teorie kepleriane, cita Aguilon affermando l’impossibilità che i raggi visivi siano paralleli. Essi sono infatti sempre legati al sistema della visione: ipotizzata l’esistenza di raggi paralleli, la distanza dell’osservatore dall’oggetto sarebbe infinita, di conseguenza l’oggetto percepito si rivelerebbe nullo, per la diminuzione degli oggetti all’aumento della distanza visiva.

¹⁶ A riguardo si veda G. Loria, *Storia della geometria descrittiva dalle origini sino ai giorni nostri*, cit. “Ancor più importante è il XXXII dei trattati di Guarini; esso, come dà a vedere il titolo [...] insegna lo svolgimento sopra un piano di alcune superfici, epperò, per usare la parola d’un grande, può considerarsi quale un capitolo della nostra geometria descrittiva. Notiamo, finendo, che GUARINI scrisse anche di astronomia ed architettura civile e militare” e M. Chasles, *Aperçu Historique sur l’origine et le développement des méthodes en Géométrie...*, cit.

¹⁷ Si veda più compiutamente l’appendice B. La sovrapposizione venne comunque già verificata in W. Müller, *The Authenticity of Guarini’s Stereotomy in His «Architettura Civile»*, in *Journal of the Society of Architectural Historians*, n. 27, 3, 1968, pp. 202–208.

questa attività inutile, in quanto avrebbe potuto concludersi senza un risultato concreto. In questo paragrafo si cercherà pertanto di raccogliere le varie istanze ed ipotesi e confrontarle con le citazioni dirette. Nel IV capitolo dell'*Architettura*, non viene nominato alcun autore di riferimento, a differenza di quanto fatto precedentemente; trattando di ottica infatti viene citato François d'Aguilon, mentre altrove i "maestri" di prospettiva sono individuati in Guidobaldo Dal Monte e Ignazio Danti, le cui teorie, secondo Guarini, sono comprovate dall'esperienza di John Wallis, Franciscus de le Boë e Antonio Molinetti. Altri trattatisti sono invece richiamati più volte all'interno dell'opera. Oltre agli ovvii Vitruvio, Palladio e Serlio, di nostro interesse sono Philibert Delorme e François Milliet De Chales. In particolare quest'ultimo inserisce nel secondo tomo del suo *Cursus seu mundus mathematicus*¹⁸, il trattato *De Lapidum sectione* (FIG. 51, FIG. 52). Va segnalato però che l'opera è del 1674, mentre l'*Euclides* lo anticipa di tre anni. Se l'*Architettura* non è che un estratto dell'*Euclides*, il Dechales non rappresenta una fonte di riferimento. Tuttavia, la vicinanza tra Guarini e Dechales non è solo cronologica, ma soprattutto geografica: il gesuita insegnò alla fine della sua carriera a Torino, dove morì il 28 marzo 1678, nello stesso anno in cui Guarini assunse la carica di 'preposito' della locale Casa dei Teatini.

¹⁸ C.-F. M. Dechales, *Cursus Seu Mundus Mathematicus. Tomus secundus*, in *Cursus seu mundus mathematicus...*, Lugduni : ex officina anissonina 1674.

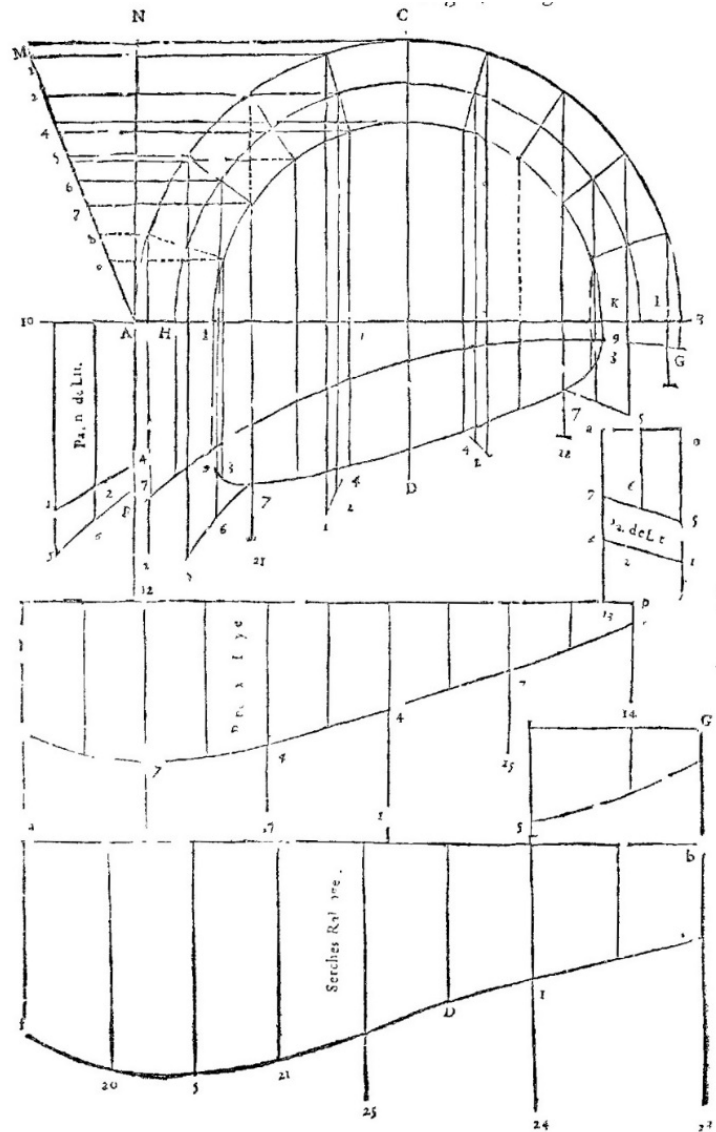


In senso orario:

FIG. 51
C.-F. M. Dechaux, *Cursus Seu Mundus Mathematicus*, 1674. Propositio XXIV, *Arcus obliquus inclinatus per projectionem*.

FIG. 52
C.-F. M. Dechaux, *Cursus Seu Mundus Mathematicus*, 1674. Propositio V, *Testudo conica, cujus ichnographia circularis convexa, vel concava*.

FIG. 53
M. Jousse, *Secret d'architecture*, 1642. *Porte en tour Ronde biaize avec son Berceau & Cintre*.



D'altra parte, una riflessione nel trattato di Amédée François Frézier comincia a chiarire l'origine del lavoro di Guarini¹⁹. Frézier afferma che il *De Lapidum sectione*, nonostante fosse tra i pochi testi ad aver aggiunto alcune dimostrazioni ai casi stereotomici oramai tradizionali, rappresenta in realtà un compendio del trattato di François Derand, *L'Architecture des voûtes, ou l'Art des traits et coupe des voûtes*²⁰. L'analisi della struttura dei due trattati dimostra chiaramente quanto dichiarato da Frézier. Dechaies compone il trattato attraverso una struttura geometrica per apparecchiature di archi e volte a base cilindrica e a base conica (*trompe*) seguite dalle principali tipologie di volte, in cui sono comprese anche le superfici sferiche, per concludere con le superfici atte a coprire ambienti di collegamento quali scale e rampe. La struttura del trattato di Derand è simile a quella scelta da Dechaies, anche se manca una tassonomia geometrica, alla quale viene preferita una classificazione architettonica. Una tale differenza è spiegabile col fatto che *L'Architecture des voûtes* è dedicata ad uso di architetti e scalpellini, mentre quella di Dechaies è un'opera matematica.

Ciò che stupisce in questa analisi è l'evidente volontà di Guarini di evitare ogni citazione derandiana: in particolare se si pensa quanto il manuale di Derand fosse una fonte di riferimento conosciuta e diffusa in campo stereotomico nella seconda metà del XVII secolo. Come precedentemente esposto, non ha molto significato tentare di rispondere alla possibilità biografica che Guarini leggesse i trattati a lui contemporanei. Peraltro il teatino dimostra di avere a disposizione molti riferimenti²¹. Il raffronto dei casi e delle rappresentazioni con *L'Architecture des voûtes* è sufficiente a chiarire la questione: la verifica è ovvia per casi semplici quali possono essere l'apertura arcuata d'angolo o in una muratura cilindrica, e si mantiene coerente anche nelle costruzioni dei casi più complessi²².

Sono stati individuati tre esempi piuttosto evidenti di sovrapposizione: le costruzioni grafiche sono talmente simili tra loro da non poter negare una influenza di Derand sull'opera guariniiana. Nel trattato di Derand si trova l'apparecchiatura del capitolo XVIII denominata *Descente en talut, biaise devant & derrière, ayant son plein cintre, & par testes égales en son devant, ratchetant un berceau*²³ (FIG. 54). L'esercizio guariniano equivalente è proposto dalla proposizione XIII, problema XI, dell'Euclides (FIG. 55), "proiettare in piano la superficie di un semicilindro la cui sezione piana

¹⁹ A. F. Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction (Tome premiere)*, 1737.

²⁰ F. Derand, *L'Architecture des voûtes, ou l'Art des traits et coupe des voûtes*, S. Cramoisy, Parigi 1643.

²¹ Si veda il già citato esempio del *Magnes Sive De Arte Magnetica Opus Tripartitum* di Athanasius Kircher.

²² Le somiglianze metodologiche al progredire della difficoltà della casistica affrontata non sono al contrario riscontrabili in trattati stereotomici parimenti famosi, come ad esempio quello di Mathurin Jousse di un anno antecedente al trattato derandiano ()

²³ Passaggio in discesa su muro a scarpa, le cui superfici anteriori e posteriori sono inclinate rispetto alla direzione del passaggio nel piano XY, avente come direttrice un arco a tutto sesto, che si collega ad una volta a botte (ortogonale).

inclinata ed obliqua sia nota e che sia tagliato dall'altra parte da un cilindro ortogonale all'asse"²⁴ e alla osservazione duodecima dell'Architettura "Modo di ridurre in piano la superficie d'un cilindro segato da una parte da una superficie obliqua ed inclinata, e dall'altra da un cilindro perpendicolare". Il caso guariniano è leggermente più semplice in quanto non presenta la differenza di quota tra l'arco frontale e quello di uscita²⁵.

Un successivo esempio è rappresentato dalla *trompe* da impostare su un muro a scarpa, la cui costruzione si ritrova nel X capitolo di Derand (FIG. 56), e diventa: "trovare la superficie di un dato cono concavo tagliato da una superficie piana non perpendicolare tuttavia all'asse" (FIG. 56, FIG. 57).

In molti hanno provato a comprendere il rapporto dell'opera di Guarini con la corrente di pensiero desarghesiana e bossiana²⁶, rappresentante una vera avanguardia geometrica e procedurale nella seconda metà del Seicento. La questione appare già correttamente smentita da Pérez Gómez²⁷ con riferimento alle posizioni epistemologiche di Guarini, in particolare al postulato di non convergenza delle linee parallele, al rifiuto di un punto di vista posto all'infinito e alla posizione geocentrica.

Allo stesso modo, lo studio delle procedure geometriche che seguono nel capitolo, dimostrano un approccio distante dalla generalizzazione geometrica di Desargues²⁸. Piuttosto è presente una astrazione geometrica della nomenclatura, non riscontrabile in trattati simili, che non sembra apportare però alcun contributo in termini di innovatività all'ambito della geometria descrittiva già in essere.

²⁴ Per una maggiore precisione e accuratezza grafica già segnalata nel testo, le tavole dell'Euclides vengono riportate a modello per individuare quali possano essere le fonti di Guarini per la stesura del trattato sulle proiezioni e sviluppi di superfici.

²⁵ I casi della prima sezione del trattato di Durand sono indicati come "*descente*". Tale termine specifica una differenza di quota tra la sezione di ingresso e di uscita del passaggio. Si accenna ad una associazione tra i casi stereotomici francesi e quelli presenti in Guarini. "Bias", termine che esprime l'inclinazione del passaggio rispetto alla normale passante per la superficie muraria, supposta verticale, corrisponde al guariniano "inclinato"; "en talut", inclinazione della sezione muraria rispetto alla verticale (muro a scarpa), corrisponde a "obliquo".

²⁶ A. Bosse, *La pratique du trait à preuves, de Mr Desargues Lyonnois, pour la coupe des pierres en l'architecture. Par A. Bosse, graveur en taille douce, en l'isle du Palais, à la Roze rouge, devant la Megisserie*, L'imprimerie de Pierre Des-Hayes, Parigi 1643.

²⁷ A. Pérez-Gómez, *Architecture and the Crisis of Modern Science*, cit.

²⁸ W. Müller, *Guarini e la stereotomia*, cit.

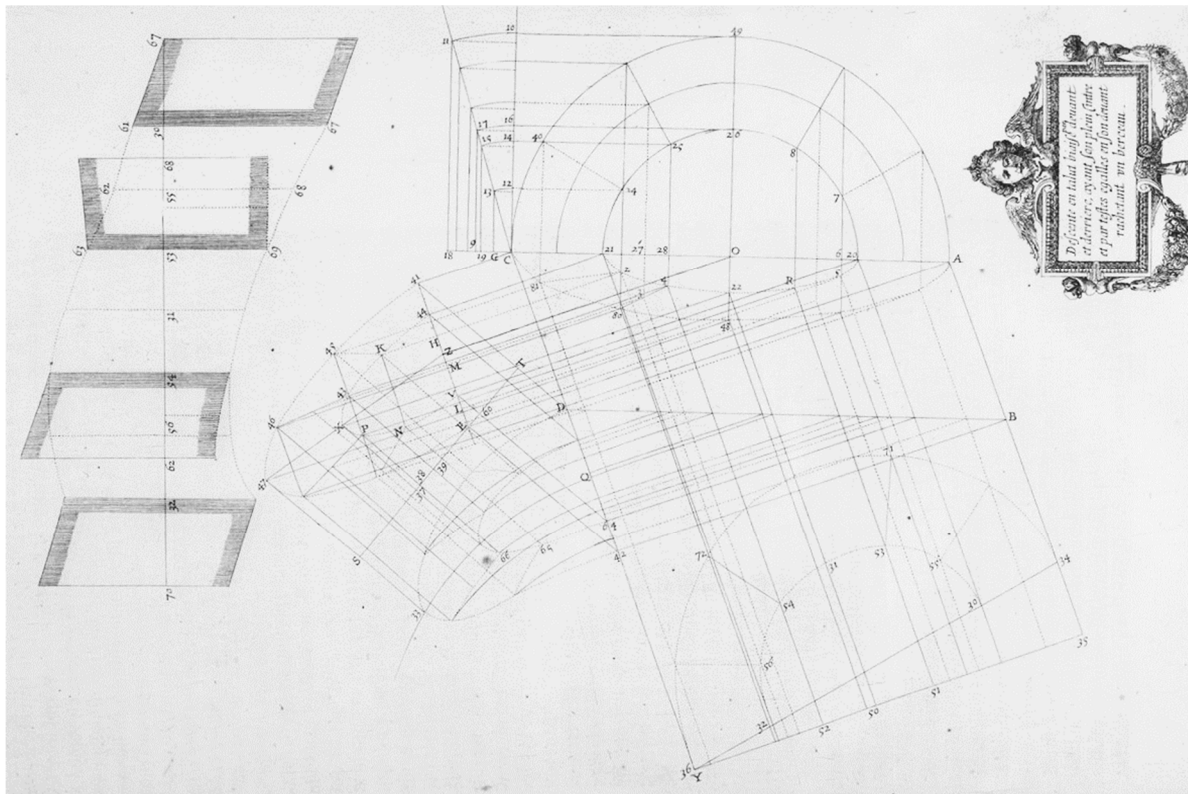


FIG. 54
F. Derand, *L'Architecture des voûtes*, 1643. Chapitre VIII. *Descente en talut, braise devant & derrière, ayant son plein cintre, & par testes égales en son devant, rachetant un berceau.*

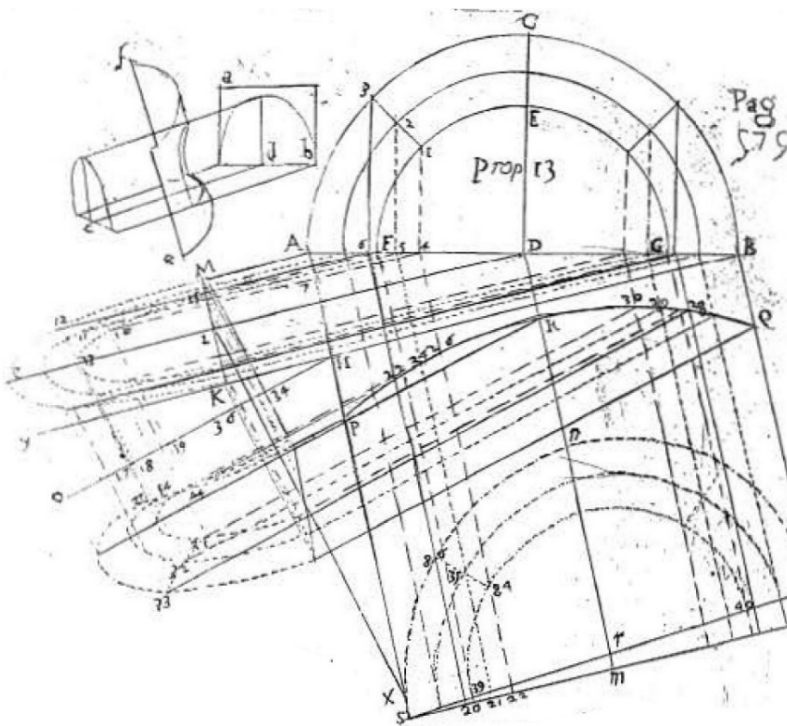


FIG. 55
G. Guarini, *Euclides adauctus*, 1671. Problema 11, Proposizione 13. Proiettare in piano la superficie di un semicilindro la cui sezione piana inclinata ed obliqua sia nota e che sia tagliato dall'altra parte da un cilindro ortogonale all'asse.

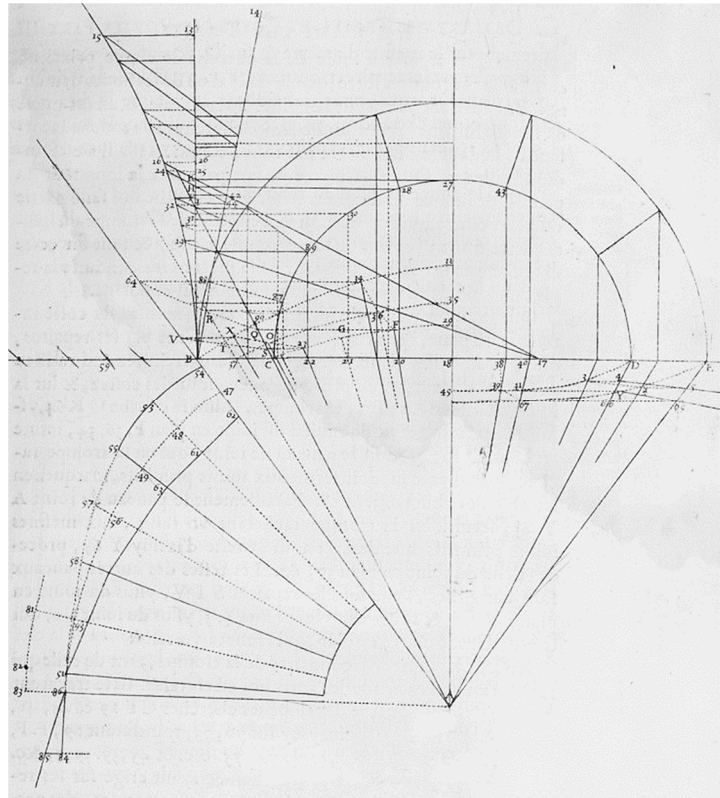


FIG. 56
 F. Derand,
L'Architecture des voûtes, 1643.
 Chapitre X. Trompe
 sur un angle aigu,
 rachetant un berceau.
 La même rachetant un
 talut

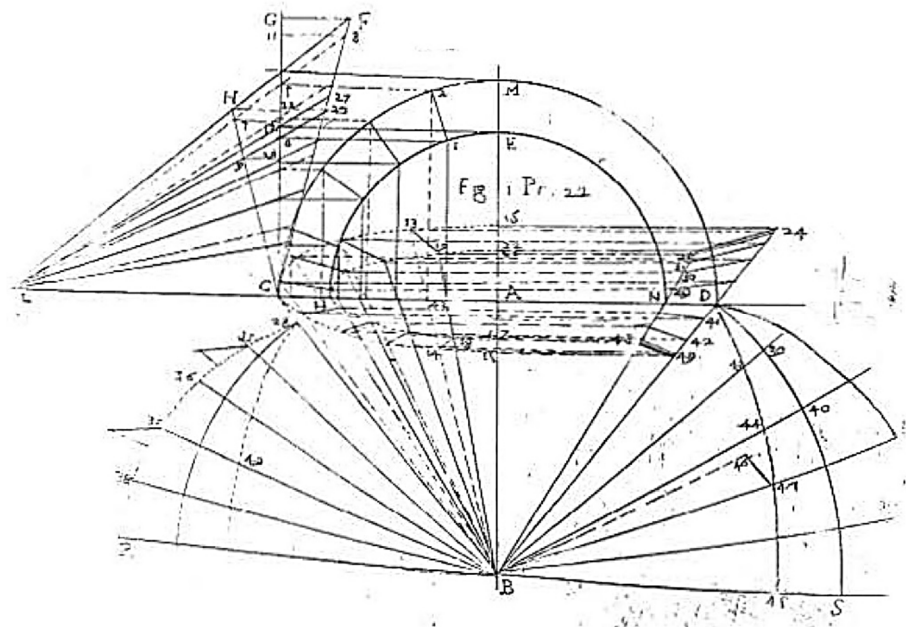


FIG. 57
 G. Guarini, *Euclides
 adauctus*, 1671.
 Problema 7
 proposizione 22
 Trovare la superficie
 di un dato cono
 concavo tagliato da
 una superficie piana
 non perpendicolare
 tuttavia all'asse.

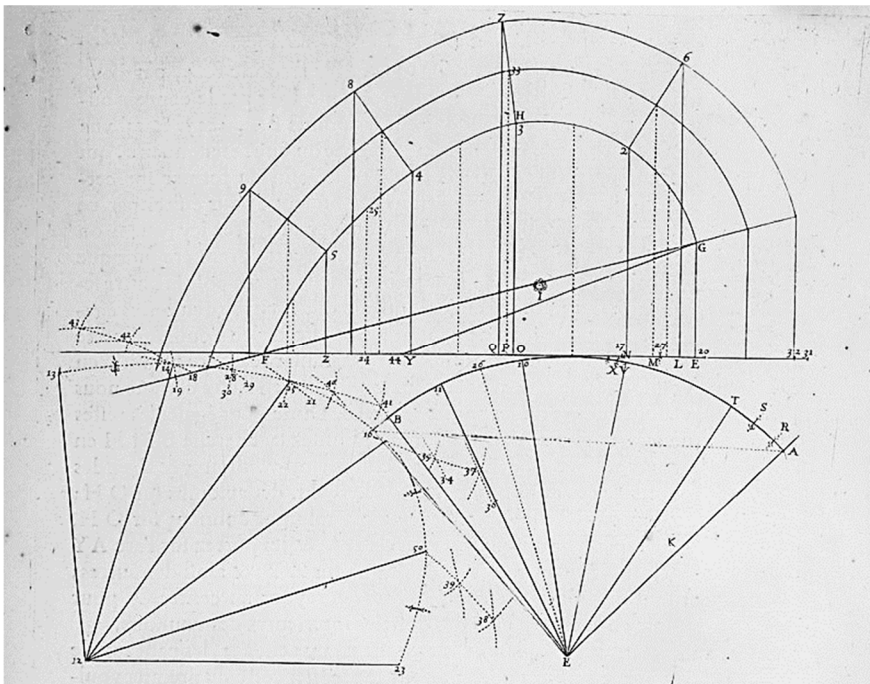


FIG. 58
F. Derand,
*L'Architecture des
voûtes*, 1643. Chapitre
XIX. Trompe rampante,
ayant tel plan & telle
montée que l'on voudra,
faite sans lignes de pente,
& ayant les testes égales

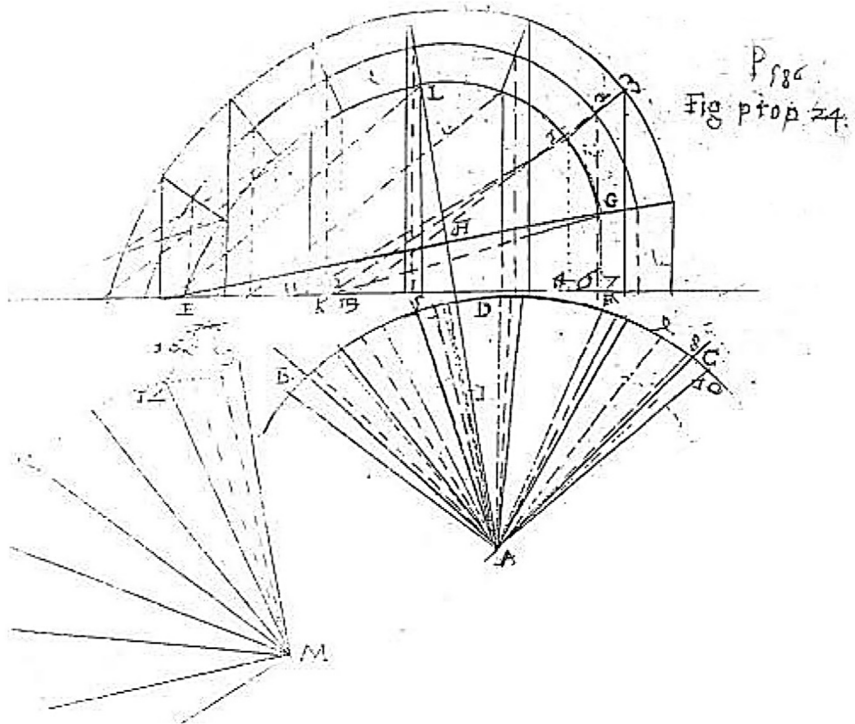


FIG. 59
G. Guarini, *Euclides
adauctus*, 1671.
Problema 9,
Proposizione 24
Proiettare in piano la
superficie di un cono
concavo, la cui base sia
lenticolare,
semicircolare o di
qualunque altra forma,
sezionato da una
superficie cilindrica.

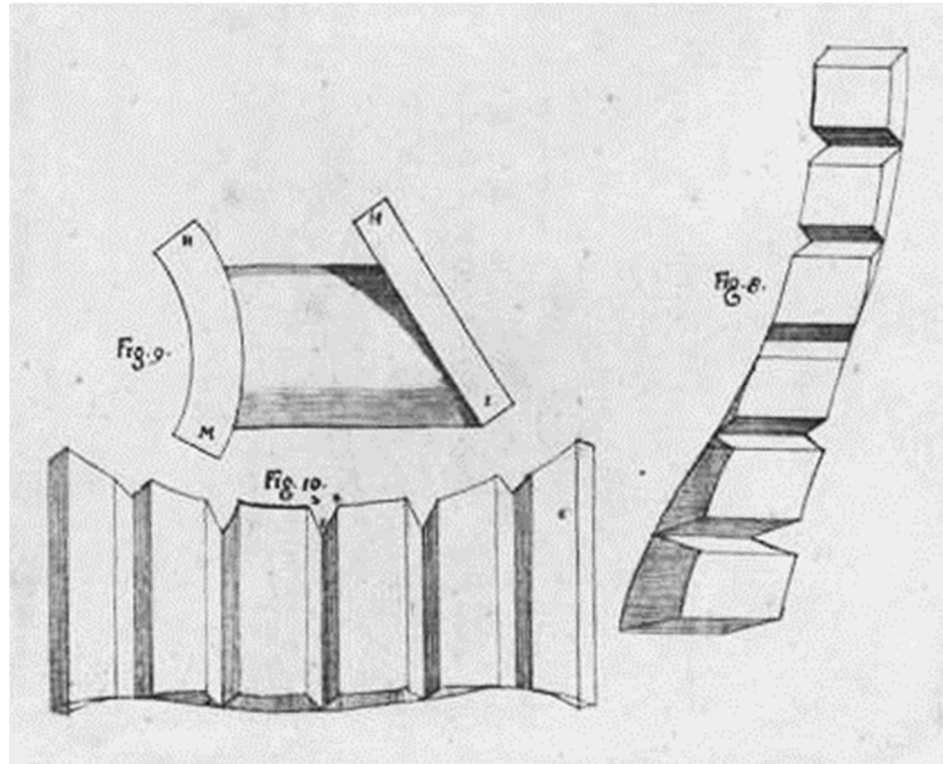


FIG. 60
G. Guarini,
Architettura civile,
1737. Diagrammi
per lo sviluppo di
archi appartenenti
a superfici
cilindriche.

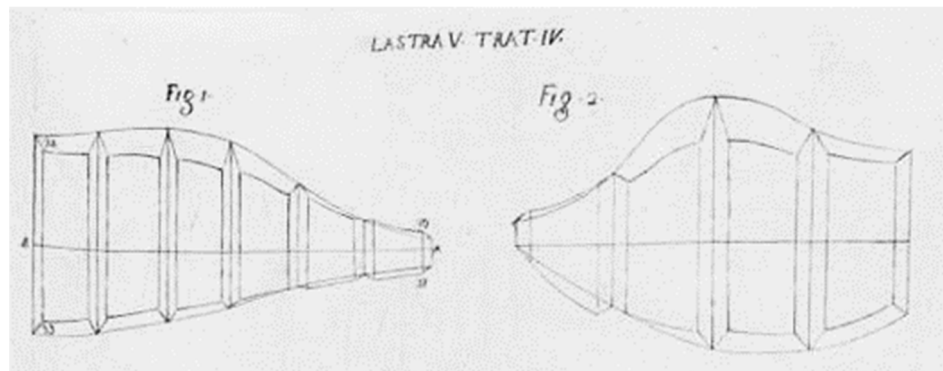


FIG. 61
G. Guarini,
Architettura civile,
1737. Diagrammi
per lo sviluppi
di archi appartenenti
a superfici
coniche.

Pur presentano evidenti similitudini, i trattati di Dechaies e di Derand appena citati sono analogamente equidistanti da quelli guariniani.

Il teatino appare algido, in primo luogo trattando le apparecchiature senza alcun riferimento ad elementi architettonici, e chirurgicamente evitando di rappresentare strumenti da *tailleur de pierre* e conci, nonché esempi di solidi scavati, come da consuetudine della manualistica coeva. Müller ha fatto notare anche la costante mancanza dei conci di chiave nelle apparecchiature²⁹. A costo di rendere questa argomentazione banale, tale scelta, peraltro assunta da un autore come Guarini il quale, avvalendosi dell'esperienza, si dichiara un costruttore, è talmente assurda da un punto di vista costruttivo da apparire imputabile ad una questione di praticità di rappresentazione e trattazione.

Il confronto tra i due trattati guariniani evidenzia la presenza, solo nell'*Architettura*, di diagrammi che appaiono al lettore rappresentazioni assonometriche, o forse prospettiche, dei conci (FIG. 60, FIG. 61), uno dei fattori che probabilmente hanno indotto a definire Guarini come uno dei precursori della geometria descrittiva e un trattatista stereotomico³⁰.

Si tratta invece di un sistema grafico, che nulla ha a che fare né con i metodi di taglio delle pietre, né con metodi di geometria descrittiva. Müller li definisce superflui per il taglio delle pietre, assegnandone un valore pedagogico-educativo. In questo senso fu un successo: i diagrammi, tuttora visivamente attraenti, vennero replicati in altri trattati, tra cui il prestigioso *Art de Bâtir* di Jean-Baptiste Rondelet. È evidente che lo scopo fosse quello di una 'tridimensionalizzazione' della rappresentazione delle proiezioni ortogonali, i diagrammi infatti rappresentano la sovrapposizione di due sviluppi differenti, quello della superficie di intradosso (*döele*) e quello della superficie di estradosso.

Tuttavia dal punto di vista della tecnica stereotomica in effetti, essi non solo risultano superflui, ma potenzialmente dannosi. Guarini infatti chiede al lettore di individuare in primo luogo lo sviluppo dell'estradosso, diviso per conci, in un modo largamente utilizzato nella stereotomia seicentesca. Poi, in un sistema qui definito *cartesiano*, perché costruito da una direzione orizzontale, definita asse X, e una verticale, vengono descritti gli sviluppi delle curve di intersezione, determinati a partire dalla necessaria rappresentazione ortografica. Alla direzione Y invece vengono assegnati i relativi spessori dell'elemento di studio, ottenendo così lo sviluppo dell'intera superficie. Questa parte rappresenta il corretto svolgimento dei casi come da letteratura. Una volta terminato l'estradosso, Guarini afferma di voler ripetere l'operazione per l'intradosso, avendo però cura di posizionare lo sviluppo del singolo concio in asse con lo sviluppo del corrispondente concio di estradosso. Quelli che i francesi chiamerebbero *joint de lit* (FIG. 62), poiché rappresentano la superficie di trasferimento del peso da un'entità all'altra, sono rappresentati con segmenti rettilinei di congiunzione tra i vertici degli sviluppi di cui sopra, anche nel caso in cui fossero la proiezione di curve sghembe nello spazio. Parlare di errore guariniano non sarebbe corretto, poiché non vi è un modello di rappresentazione di riferimento grazie al quale stabilirlo, ma è certo che per l'azione di taglio delle pietre non aiuta alla comprensione dei metodi impiegati.

Tuttavia la metodologia proposta da Guarini apre a questioni alquanto interessanti.

²⁹ Ibid.

³⁰ Ibid.

Innanzitutto, per quali ragioni e finalità Guarini decide di sviluppare la superficie di estradosso? Tale procedura in generale è inutile: queste superfici sono ‘a perdere’ nel corpo d’opera, non sono visibili nei passaggi, nelle volte o nelle scale. Sono visibili infatti solo nelle *trompe* e negli archi in rilievo, ma si tratta di casi poco frequenti. Al contrario, i sistemi guariniani di linee strutturali per archi intrecciati spesso invece costringono se non a determinare la superficie di estradosso, almeno a definirne la curva di intersezione superiore. Ad esempio, gli archi a direttrice sghemba che caratterizzano il passaggio dall’aula al tamburo nella cappella della S. Sindone mostrano, per la loro configurazione, la superficie superiore (FIG. 64).

In secondo luogo va compreso il ruolo geometrico delle operazioni di sviluppo nella pratica stereotomica. È noto come lo sviluppo delle superfici sia una pratica necessaria per l’apparecchiatura nel metodo *par panneaux*. Tale metodo presuppone l’uso di dime che rappresentino le curve di intersezione e le superfici, per cui sono necessari gli sviluppi, e di strumenti di riporto di angoli, tramite i *biveaux*, per i quali sono invece necessarie le proiezioni.

È inoltre chiaro che, per le superfici planari, l’operazione di sviluppo e di proiezione su un piano sono coincidenti. Questo aiuta Guarini, come gli altri trattatisti, a non dover specificare ulteriormente la procedura di taglio, poiché evidente a prima vista.

Frèzier invece, nel descrivere la pratica di taglio *par panneaux* nel caso della volta a botte, specifica come altri trattatisti abbiano riportato una procedura errata³¹. Preso a riferimento il sistema di pannelli per la determinazione di un concio cilindrico di una volta botte (FIG. 63) Frèzier indica di misurare, per la definizione del pannello di intradosso di forma rettangolare, la corda sottesa all’arco direttore che sottende l’arco di circonferenza del concio.

Altri autori invece, secondo il teorico francese, prendono a riferimento la somma delle corde di ciascuna metà dell’arco di circonferenza. In questo modo si genera un errore geometrico e procedurale: se si tratta di intradosso, la superficie sarebbe troppo grande, poiché lo sviluppo di una superficie concava è sempre maggiore della proiezione sul piano della corda sottesa all’arco direttore. È chiaro che la differenza tra sviluppo e proiezione, per le lunghezze dei conci, è spesso risibile, tanto da portare anche gli autori più accorti a confondere le due operazioni. Ed è ciò che fa anche Guarini per le rappresentazioni tridimensionali di cui sopra: si dimostrerà come la modellazione digitale permetta di ricostruire le scelte fatte dal teatino, che apparentemente, risultano corrette e efficaci.

Tornando all’operazione geometrica, lo sviluppo così determinato, da un punto di vista procedurale, avrebbe un’utilità di sola verifica al completamento del taglio, mentre si tratta di eseguire la prima operazione di taglio. Ne consegue che l’operazione di sviluppo è certo opportuna

³¹ “Il faut aussi remarquer que les auteurs des livres de la coupe de pierres, au lieu des cordes des arcs de tête prennent celles de leurs moitiés, pour approcher d’avantage de la rectification de ces arcs dans leurs développements, mais cette pratique est très-mauvaise, parce qu’élargissant le panneau plus quel la dœle plate, il ne peut être fait qu’avec une matière flexible, comme du carton ou du fer blanc, & ne doit être appliqué que dans une surface creuse, qu’il faut déjà supposer faite, laquelle est cependant à faire, de forte qu’un tel panneau ne peut servir qu’à terminer une portion cylindrique, déjà faite à propos, mais qui seroit trop large ou trop longue, ce qui est très-inutile dans le trait dont il s’agit.” Tratto da A. F. Frèzier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction (Tome second)*, in *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voûtes et autres parties des bâtiments civils & militaires, ou Traité de stéréotomie, à l’usage de l’architecture*, 1737a.

per la pratica della stereotomia ma per la prima operazione è necessaria una proiezione su un piano, che equivale al piano di intervento nel caso del procedimento *par panneaux*. Nel parallelismo di cui abbiamo parlato nel capitolo 2, tra stereotomia e logica algoritmica, questo comporta un errore nella prima operazione di taglio che invalida tutte le soluzioni successive da essa derivate.

Frezièr tuttavia prevede la correttezza del procedimento esposto se viene previsto un cambiamento nel materiale di realizzazione (“il ne peut être fait qu’avec une matière flexible, comme du carton ou du fer blanc”), osservazione che permette di interpretare in altro modo l’atteggiamento guariniano. Lo stesso Guarini, nelle frasi citate all’inizio di questo capitolo in cui fornisce descrizioni materiche all’interno della definizione dell’Ortografia gettata, accenna a forme ricoperte di carta.

Se si pensa al ruolo post-delormiano dell’architetto nella pratica stereotomica, la ‘carta’ qui citata rappresenta l’insieme di rappresentazioni, quali proiezioni e sviluppi, necessari a fornire gli *epure* agli operai. Essa può riferirsi invece ad una declinazione guariniana della stereotomia per la produzione di modelli di progetto cartacei, costruzioni che lo aiutavano a comprendere la configurazione spaziale e la realizzabilità del progetto prima della sua messa in opera. È inoltre testimoniato come lo stesso teatino abbia presentato il suo primo progetto, una cupola lignea per risolvere problemi di peso della chiesa teatina di Modena, proprio attraverso un modello di cartone. Tale supposizione spiegherebbe, ad esempio, i diagrammi dai quali è iniziato questo approfondimento. Collegati attraverso l’estradosso, i conci di cellulosa prenderebbero la forma di quanto rappresentato da Guarini³².

In questi termini risulta più comprensibile il ruolo del capitolo XXXII dell’*Euclides* e dell’*Ortografia Gettata* in generale. Assieme a quello di Delorme, il trattato di Guarini è l’unica opera che inserisce nel suo corpus la stereotomia, sebbene entrambi per motivi diversi non la nomino in questo modo, all’interno dello schema tradizionale di un trattato architettonico.

Le motivazioni che portarono Delorme a inserire nel *cursus studiorum* la nuova pratica sono legate tanto alla volontà di rendere note una metodologia e alcune proprie invenzioni, quanto a un rinnovamento nel rapporto di forza, politico ed economico, tra progettisti e costruttori³³.

Guarini invece sembra essere mosso da intenti legati sia alla pratica progettuale personale, sia all’utilità della previsione della costruzione per il controllo della fattibilità e dei costi³⁴. Ecco quindi che in tale ottica perdono di importanza gli strumenti per le lavorazioni, i conci non avendo connotazione materica e strutturale e i metodi stereotomici essendo sostituiti da ‘modi di stendere’. Ciò che ha valore per il nostro autore è un metodo geometrico di ampio spettro, efficace nell’individuazione delle curve di intersezione tra solidi e nella creazione di conci di carta o di pietra.

³² Si ricorda che i diagrammi sono presenti per i casi di superfici regolari cilindriche e coniche. Egli infatti non le rappresenta né per la *trompe* sottesa ad una superficie ondulata, né tantomeno per le superfici sferiche e di rotazione, le quadratiche quali ellissoidi, paraboloidi e iperboloidi ellittici.

³³ J. Calvo-López, *From Mediaeval Stonecutting to Projective Geometry*, in *Nexus Network Journal*, n. 13, 3, 2011, pp. 503–533.

³⁴ In maniera simile, nel capitolo 4, la modellazione digitale BIM aiuterà a comprendere le fasi costruttive del cestello della cappella della S. Sindone, in un ambiente che prevedere simulazione strutturale e fasi realizzative.

Rimane valido invece quanto dichiarato da Guarini stesso in apertura del IV trattato ossia la volontà, e il merito, di presentare in ambito italiano, quella *ortografia* “poco conosciuta dalla Italiana Architettura, solamente dalla Francese in molte occasioni egregiamente adoperata”, senza tuttavia l’uso di un adeguato metodo citazionale nei confronti dei trattati precedenti e degli sviluppi della stereotomia spagnola³⁵.

La struttura della trattazione delle operazioni stereotomiche guariniane è portata avanti attraverso gradi di difficoltà crescenti, per preparare adeguatamente il lettore. Il IV trattato dell’Architettura civile è composto da 8 capitoli (capi), ciascuno poi comprendente più osservazioni, che spesso corrispondono anche al numero di casi stereotomici effettivamente trattati. Dopo che nel primo capitolo Guarini affronta i principi dei metodi che andrà a descrivere, nel secondo spiega come proiettare e sviluppare le superfici piane. Il terzo capitolo, formato da 10 casi, tratta delle superfici cilindriche³⁶, il quarto, con 8 casi, tratta delle superfici coniche, il quinto e il sesto si occupano delle superfici chiamate da Guarini ‘sferoidi’, ovvero sfere e ellissoidi, con 7 casi, il settimo delle superfici di rivoluzione, in cui inserisce le cosiddette ‘conoidi’, rappresentate da iperboloidi e paraboloidi di rotazione, presenta 3 casi e infine l’ultimo capitolo mostra un caso di volta anulare. Il progetto di questo capitolo prevede l’approfondimento di tre casi specifici: il caso 4.3.4, “Modo di ritrovare la superficie interna di un cilindro concavo, segato rettamente da due superfici angolari, e parallele”, che equivale ad un arco a tutto sesto in una torre angolare³⁷, e delle successive generalizzazioni del metodo; il caso 4.3.8, “Del modo di stendere in piano la superficie d’un semicilindro concavo segato da una parte da una superficie piana ed obliqua, e dall’altra da un cilindro parimente obliquo”, nel mondo francese una volta a botte che termina in un verso in un muro inclinato e nell’altro in una torre cilindrica; il caso 4.4.6 “Modo di gettare in piano la superficie d’un cono, il cui apice finisce in una linea retta, che sia segato da una superficie cilindrica retta all’asse del cono”, che ha pochi riferimenti in ambito costruito, trovando tipologicamente queste superfici (conoidi obliqui orizzontali) a livello di piattebande (*arrière-voussure de Montpellier*) e non di varchi nelle murature, a sviluppo verticale. Infine è utile precisare alcuni termini per la comprensione dei capitoli trattati: il primo usato da Guarini è *gettare*, che equivale per il teatino all’operazione proiettiva di cui abbiamo discusso precedentemente, il secondo è *stendere*, che prevede una operazione di sviluppo della superficie nel piano, l’ultimo è l’indicazione, presente soprattutto come intento dell’esercizio stereotomico, *ritrovare la superficie*, che prevede quella serie di operazioni di proiezione, riporto meccanico di misure e sviluppi, spesso non coordinati e non appartenenti ad un procedere sistematico.

³⁵ Le ipotesi sulle possibili fonti guariniane per l’ideazione delle volte intrecciate, hanno portato alcuni autori a pensare alla conoscenza da parte del teatino dell’architettura medievale di origine araba presente nel sud della Spagna. D’altra parte una possibile esperienza *de visu* dell’architettura spagnola è stata smentita grazie a ricerche biografiche. L’unico spagnolo che Guarini cita nell’Architettura Civile è il cistercense Juan Caramuel de Lobkowitz, come “un certo, che ha scritto nella favella Spagnuola di architettura”; la presenza di Caramuel negli scritti guariniani è motivata dalla presenza in Italia con carica vescovile.

³⁶ Non c’è alcun riferimento al fatto che questi possano essere archi oppure volte.

³⁷ Nel trattato di Louis Monduit *Théorique et pratique de la Stéréotomie au point de vue de la coupe de pierres* (1889) è il riferimento ex-post al quale ci si è riferiti per i casi stereotomici.

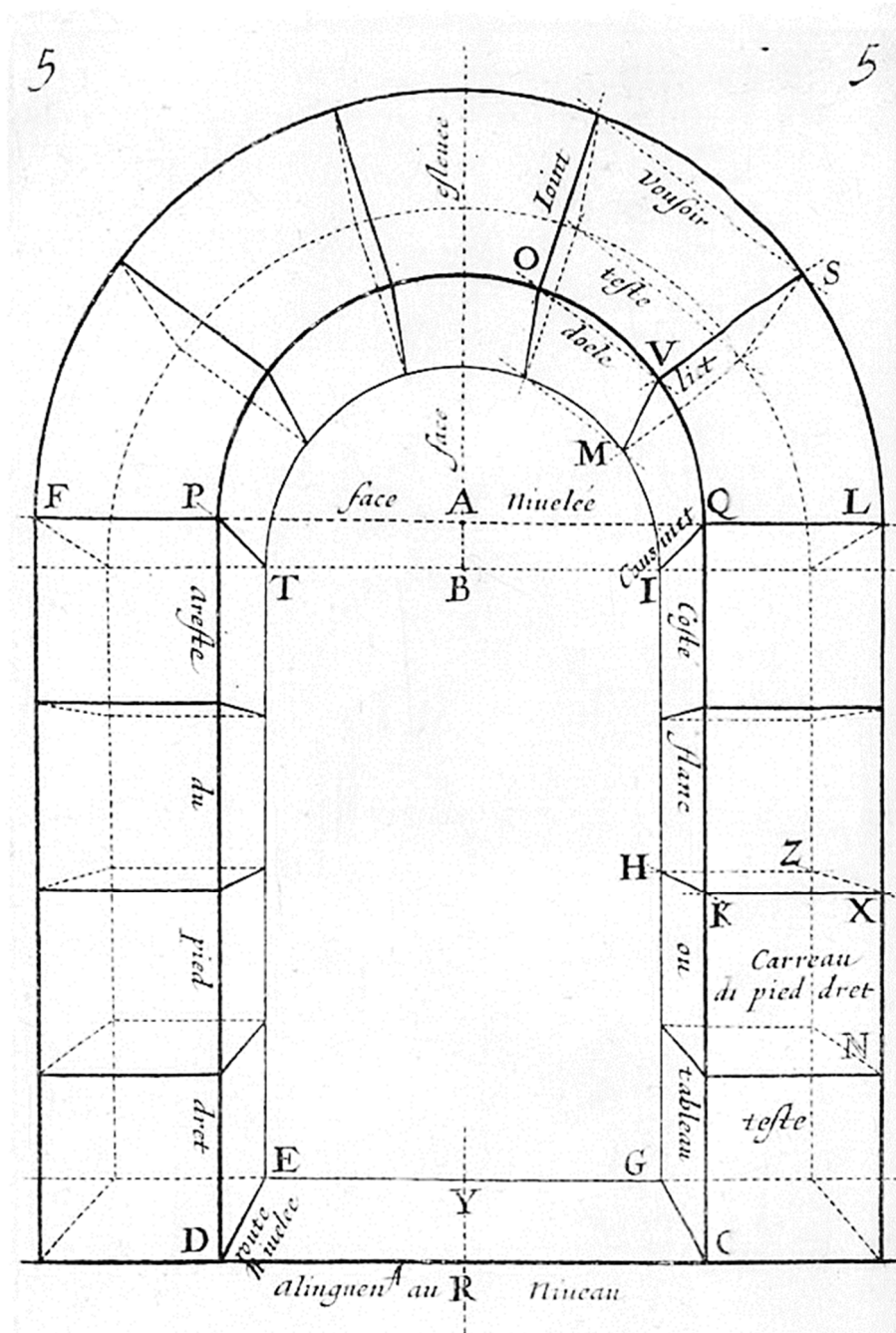
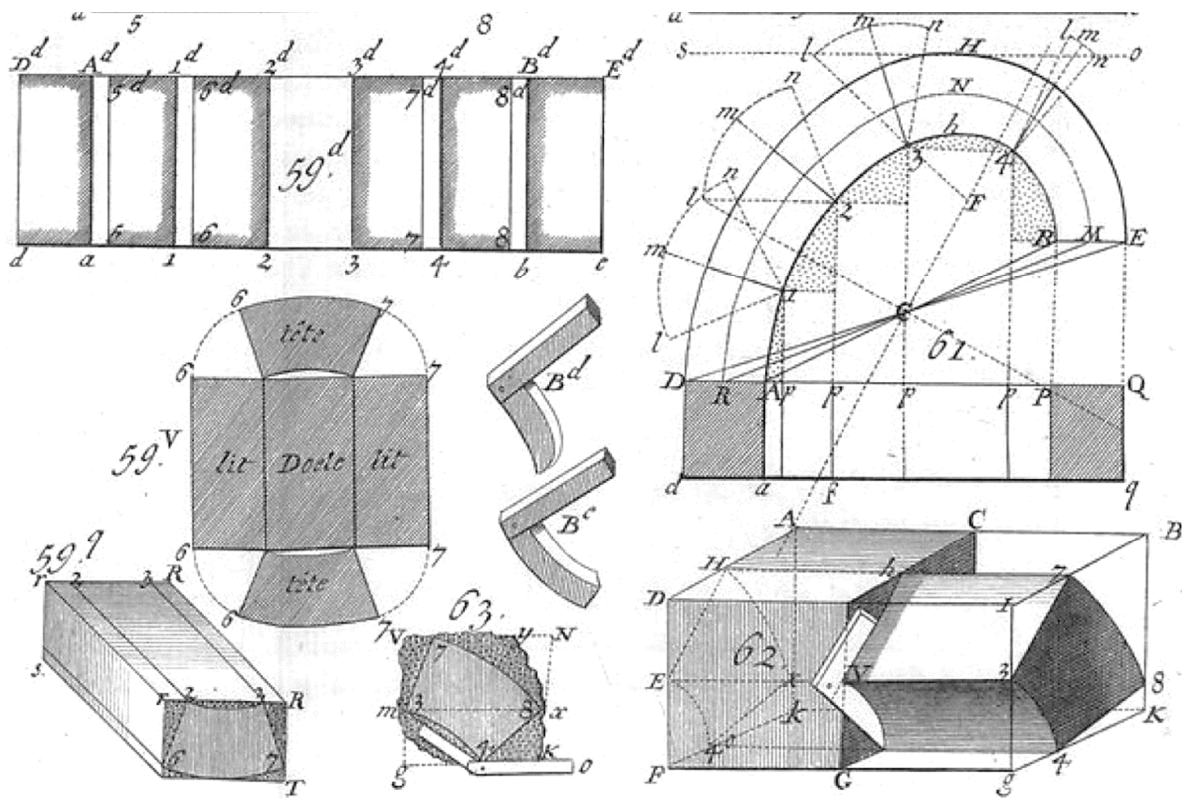


FIG. 62
A. Bosse, *La pratique du trait à preuves* [...], 1643. Nomenclatura delle parti di un sistema arcuato.

Nella pagina seguente:
FIG. 63
A. F. Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres*, 1737. Taglio "par panneaux" di una volta a botte, nella rappresentazione 59^v viene presentata la differenza tra lo sviluppo delle superfici e la geometria della proiezione dell'intradosso.

FIG. 64 Una delle tre arcate che delineano la transizione tra l'aula della Cappella della Sacra Sindone e il tamburo.



Capitolo III, osservazione IV. Cilindro, piano

L'intera trattazione delle superfici cilindriche si deve riportare all'introduzione del terzo capitolo sull'Ortografia gettata, nella quale Guarini afferma come non si possa ridurre in piano una circonferenza, "il tondo non s'aggiusta col piano", allineandosi con quella visione matematica che non considerava possibile la quadratura del cerchio. La prima osservazione del capitolo di conseguenza contiene la regola che sta alla base di ogni risoluzione (FIG. 65). Secondo Guarini ogni cilindro, se suddiviso in una serie di superfici piane inscritte in esso, avrà la superficie uguale ad una in cui le stesse superfici rettilinee sono disposte in un piano³⁸. Nonostante questo assunto sembri banale, esso è fondamentale ai principi usati nella compilazione delle istruzioni per gli script che si andranno a creare.

L'osservazione quinta corrisponde al secondo caso proposto da Guarini: l'esercizio prevede di trovare la superficie interna di un semicilindro sezionato da due superfici piane non parallele, entrambe perpendicolari al piano di base del semicilindro. La descrizione pur corretta, senza un riferimento ad un consolidato vocabolario architettonico, risulta di difficile lettura: si tratta infatti del più semplice esempio francese denominato "arc sur l'angle dans un mur à plomb". Ciò che interessa è tuttavia come Guarini proceda per analogia dalle osservazioni precedenti, applicando la stessa procedura dell'esercizio dell'intradosso di un arco all'interno di un muro a sviluppo circolare (FIG. 66).

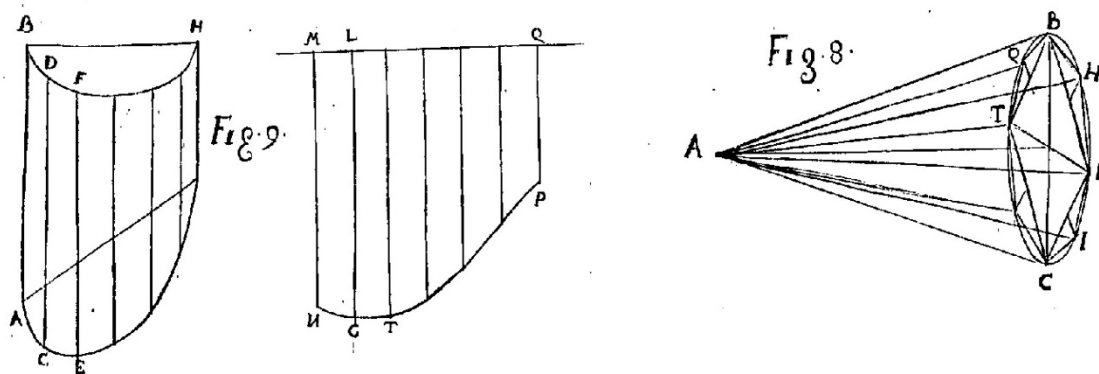


FIG. 65
G. Guarini, *Architettura civile*, 1737.
Figure 8 e 9. Lastra I. Trattato IV. A sinistra il principio di uguaglianza tra le aree delle superfici planari inscritte in un cilindro. A destra il procedimento di suddivisione dell'area di un cono in piramidi inscritte ad esso.

³⁸ G. Guarini, *Architettura civile*, cit.

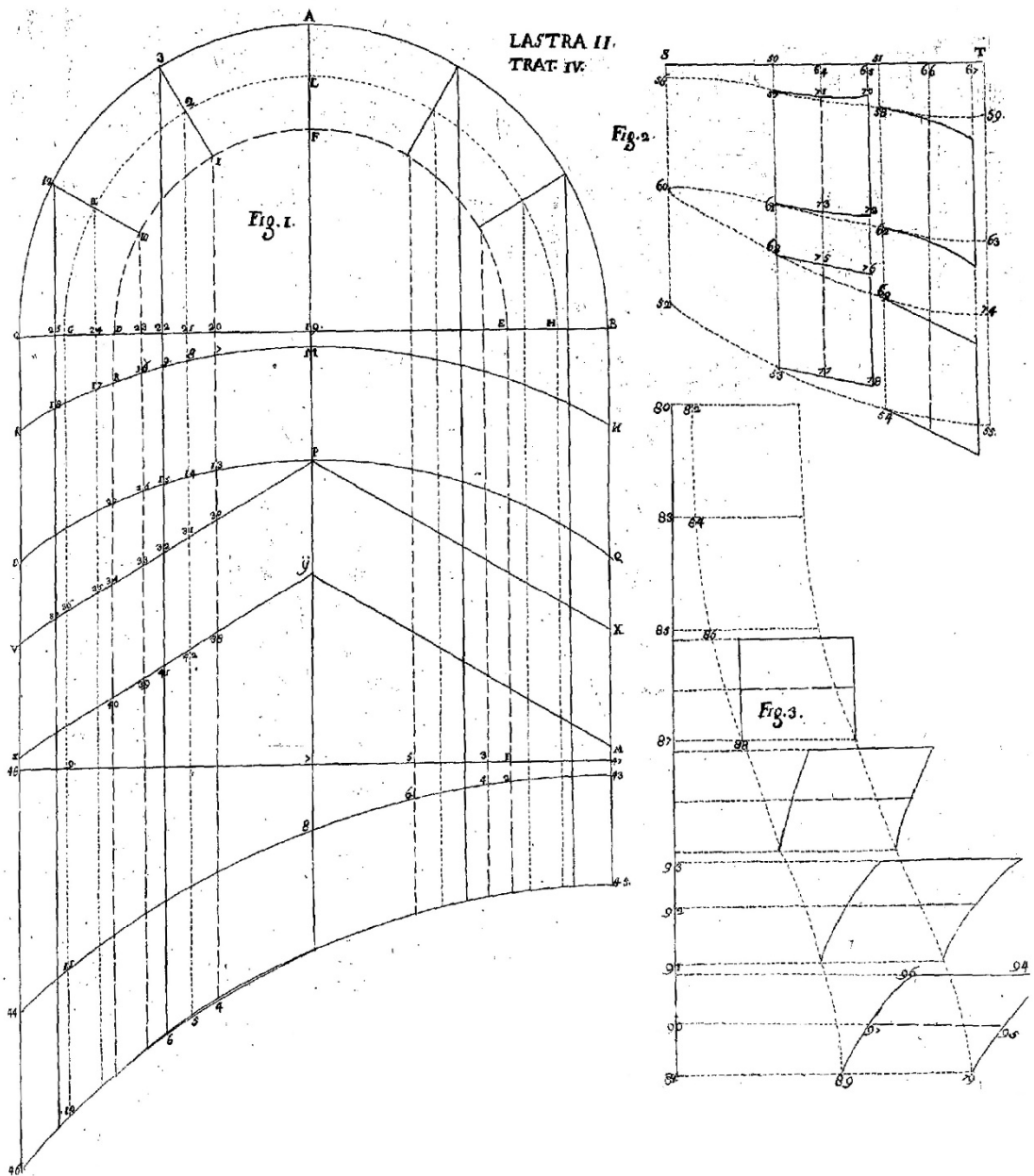


FIG. 66
 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737.
 Lastra II. Trattato IV. Tramite questa
 tavola vengono esemplificati 3
 apparecchiature stereometriche differenti, a
 seconda della differenza della geometria
 del muro su cui scarica l'arco a tutto sesto.

L'insieme delle regole per la determinazione dell'esercizio è descritto dal diagramma UML presentato³⁹ (FIG. 67). Nonostante sia progettato per essere esplicativo di per sé, nella declinazione UML delle procedure stereotomiche, l'*attore* diventa il disegnatore e le componenti del software diventano le viste, dalle quali reperire informazioni, che hanno la forma numerica delle lunghezze, quali distanze misurate nelle viste stesse. Le azioni vanno così lette in senso verticale, nella sequenza in cui vengono svolte.

Il diagramma è una astrazione dello script, il quale - anche se per definizione *visuale* - è certamente poco comprensibile. Lo script serve da strumento, in cui fissare il ragionamento e verificare i risultati, tramite la visualizzazione e il confronto di essi⁴⁰. Esattamente come il lettore del trattato, anche lo script necessita dei dati di partenza, la dimensione dell'arco iniziale, le tracce delle superfici planari sulla superficie di imposta, il numero di conci desiderati. A partire da questi dati lo script genera la rappresentazione bidimensionale guariniana, e gli equivalenti solidi digitali: la presenza di entrambe le descrizioni, permette così di avere un raffronto finale del dato raggiunto. L'astrazione dello script visuale permette il passaggio logico da *comandi* del software di modellazione a *istruzioni*, garantendo sia all'utente sia al lettore di comprendere tutti le operazioni che vengono richieste da Guarini per lo svolgimento dell'esercizio.

³⁹ I diagrammi di sequenza sono dei diagrammi basati sullo standard internazionale UML. Sono stati creati per mostrare le interazioni tra le classi di un sistema, ordinandole però temporalmente, dall'alto verso il basso.

⁴⁰ Si vuole specificare come sia indubbio che l'analisi delle procedure geometriche sia indipendente dallo strumento utilizzato, ma in questo caso è stato progettato un processo che potesse sia mantenere le operazioni in un unico ambiente sia dare la possibilità, in futuro, a produrre simulazioni strutturali e generare automaticamente le istruzioni per il taglio meccanico dei conci.

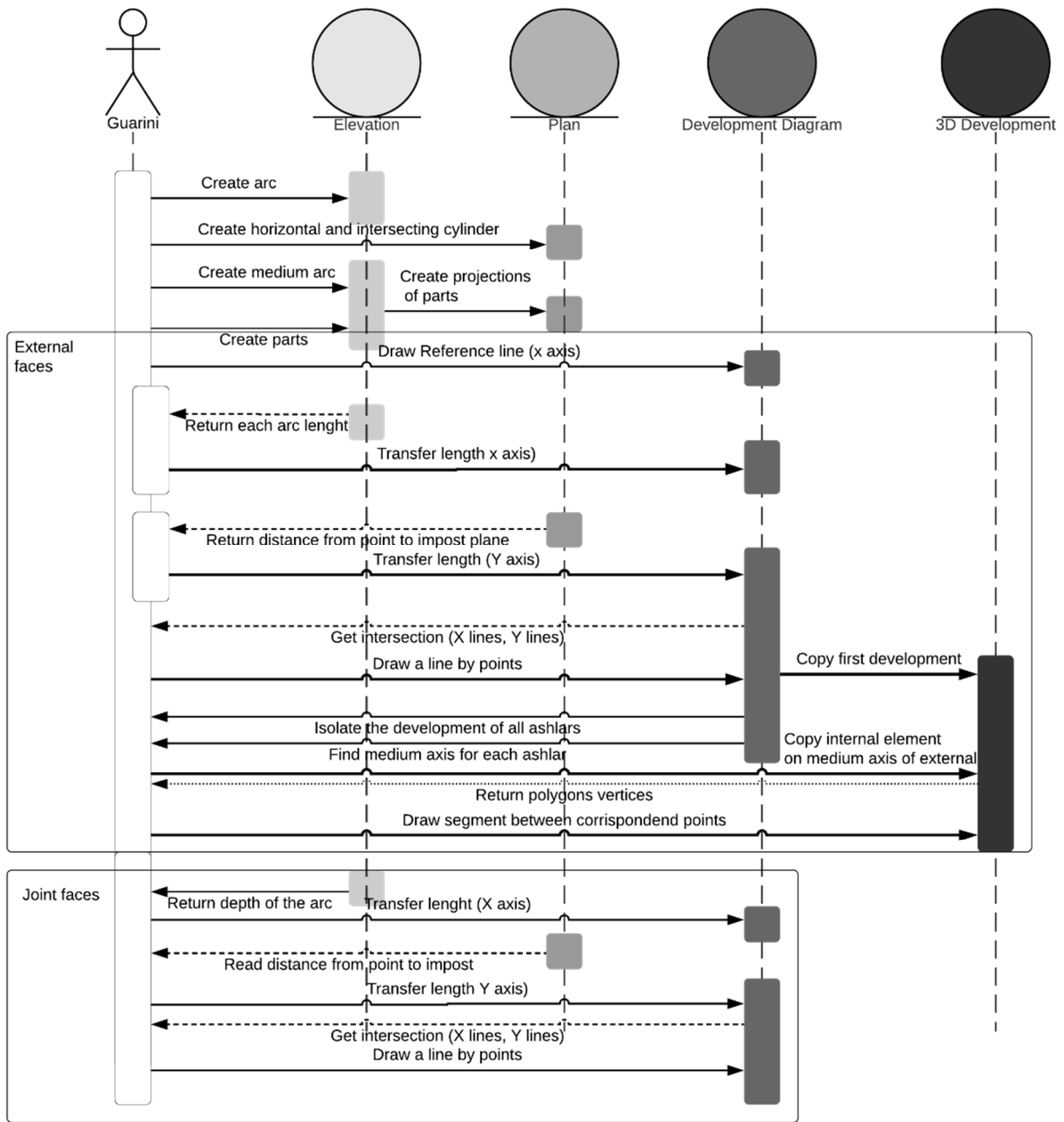


FIG. 67
 Diagramma UML di sequenza che indica le operazioni da svolgere per il completamento dell'esercizio stereotomico. Elaborazione digitale.

Guarini trasforma le curve di intradosso e di estradosso dell'arco all'interno di un grafico che è possibile definire 'cartesiano'. Nella trattazione stereotomica vengono infatti stabiliti due segmenti tra loro ortogonali, sui quali riportare rispettivamente due insiemi di distanze, che sono definiti in due viste differenti della superficie da sviluppare. Come avviene sul piano cartesiano matematico, ogni punto sintetizza il valore delle coordinate x e y (FIG. 66, in alto a destra, FIG. 67). Guarini dunque riporta sull'asse delle ascisse la lunghezza dell'arco di ogni concio, "misurandolo con parti piccole al possibile". Lungo l'asse delle ordinate, leggendo da quella che consideriamo oggi la prima proiezione del caso⁴¹, riporta la distanza tra una retta di riferimento qualsiasi, appartenente per comodità al piano di appartenenza di una delle due facce del cilindro, e i punti di intersezione tra la prima proiezione dei conci e la prima proiezione delle superfici che formano il muro angolare. Svolgendo lo stesso processo per l'intradosso e l'estradosso, sul piano cartesiano è possibile individuare una serie di punti come intersezione tra valori in ascissa e ordinata. "Se dunque per detti punti ritrovati [...] si condurrà una curva, sarà da ogni parte terminata la superficie [...] la quale sarà quella che coprirà e vestirà l'interno del cilindro [...] segato dalla superficie angolare suddetta".

Nelle proprie rappresentazioni, Guarini usa uno stile di linea differente per l'arco avente raggio medio tra la circonferenza di intradosso e quella di estradosso. Il raggio medio è necessario per concludere l'esercizio dal punto di vista della produzione dei conci: segnatamente per individuare lo sviluppo delle facce di trasferimento del carico, i giunti denominati *joint de lit*. Guarini riconosce che ciascuna di queste superfici piane è delimitata da due segmenti, appartenenti alle generatrici interna ed esterna del cilindro di base, e da due curve, nello specifico porzioni di ellisse. Il processo di condurre le linee "adeguatamente per punti" viene ripetuto, avendo tuttavia bisogno di un terzo punto, ottenuto tramite l'aggiunta di un arco 'di mezzo'. Come nella tradizione della trattatistica stereotomica, Guarini riporta il disegno delle facce laterali sul medesimo grafico individuato precedentemente: in questo trova i tratti delle generatrici dell'intradosso e dell'estradosso disegnati precedentemente, dai quali fa iniziare un secondo processo. A partire da ogni valore delle ascisse, sviluppo degli archi interni, riporta lungo lo stesso asse due distanze, pari allo spessore e alla metà dello spessore stesso, mentre lungo le ordinate riporta, come fatto in precedenza, le distanze misurate dal piano di riferimento, ortogonale all'asse del cilindro. Nuovamente è possibile individuare un insieme di coppie di coordinate, ovvero punti, per quali far passare una curva. L'esercizio è così formalmente concluso, avendo ottenuto le quattro superfici principali di taglio e dando per scontate le facce anteriori e posteriori di ogni concio. Guarini conclude il caso con una rappresentazione tale da rendere la tridimensionalità degli oggetti (FIG. 69).

⁴¹ Per chiarezza di esposizione, da questo momento in poi si useranno i termini prima e seconda proiezione intendendo la proiezione degli oggetti su un piano orizzontale e verticale. Il significato di questi termini non allude a caratteristiche proto-mongiane delle procedure descritte da Guarini.

È questo un processo bizzarro, errato da un punto di vista geometrico-descrittivo. Le operazioni che compie sono le seguenti: disegna lo sviluppo dell'intero estradosso dell'arco, poi copia lo sviluppo dell'intradosso di ciascun concio, ottenuto in precedenza, e lo posiziona in mezzera di ciascun concio dell'estradosso, mantenendo però la distanza di questi lungo l'asse delle ordinate e infine collegando i vertici con quattro segmenti rettilinei. La possibilità di governare in modo coordinato, attraverso lo script digitale, il risultato bidimensionale e il modello tridimensionale ad esso equivalente (FIG. 70, FIG. 71) ha reso semplice comprendere questa operazione. In questo modo, Guarini sta disponendo i conci rovesciati su un piano, mantenendoli però legati lungo lo spigolo di estradosso. Cosa sbaglia? Pur rinvenendo, come anche in altri trattatisti francesi, una confusione tra la lunghezza sviluppata e quella proiettata degli archi direttori, l'errore maggiore riguarda la semplificazione della rappresentazione delle facce laterali: la loro proiezione è presentata attraverso segmenti, e non tramite archi di ellissi, ottenuti attraverso la proiezione sul piano verticale delle ellissi di intersezione del cilindro con piano obliqui.

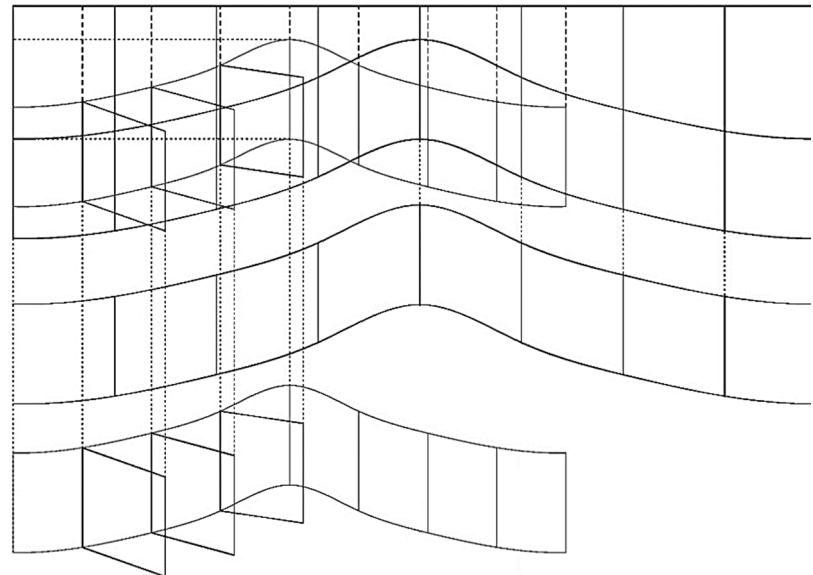
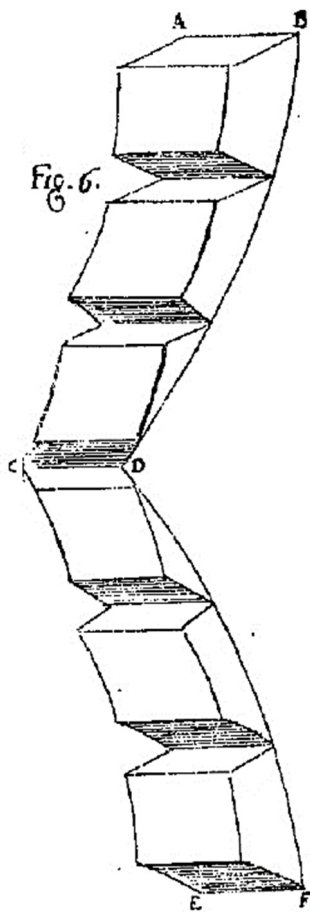


FIG. 68
Procedimento geometrico di creazione dello sviluppo delle superfici di intradosso ed estradosso. In basso la creazione delle facce laterali. Elaborazione digitale

FIG. 69
G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Figura 6. Lastra III. Trattato IV. Rappresentazione guariniana 'tridimensionalizzante' dei conci componenti l'apparecchiatura descritta.

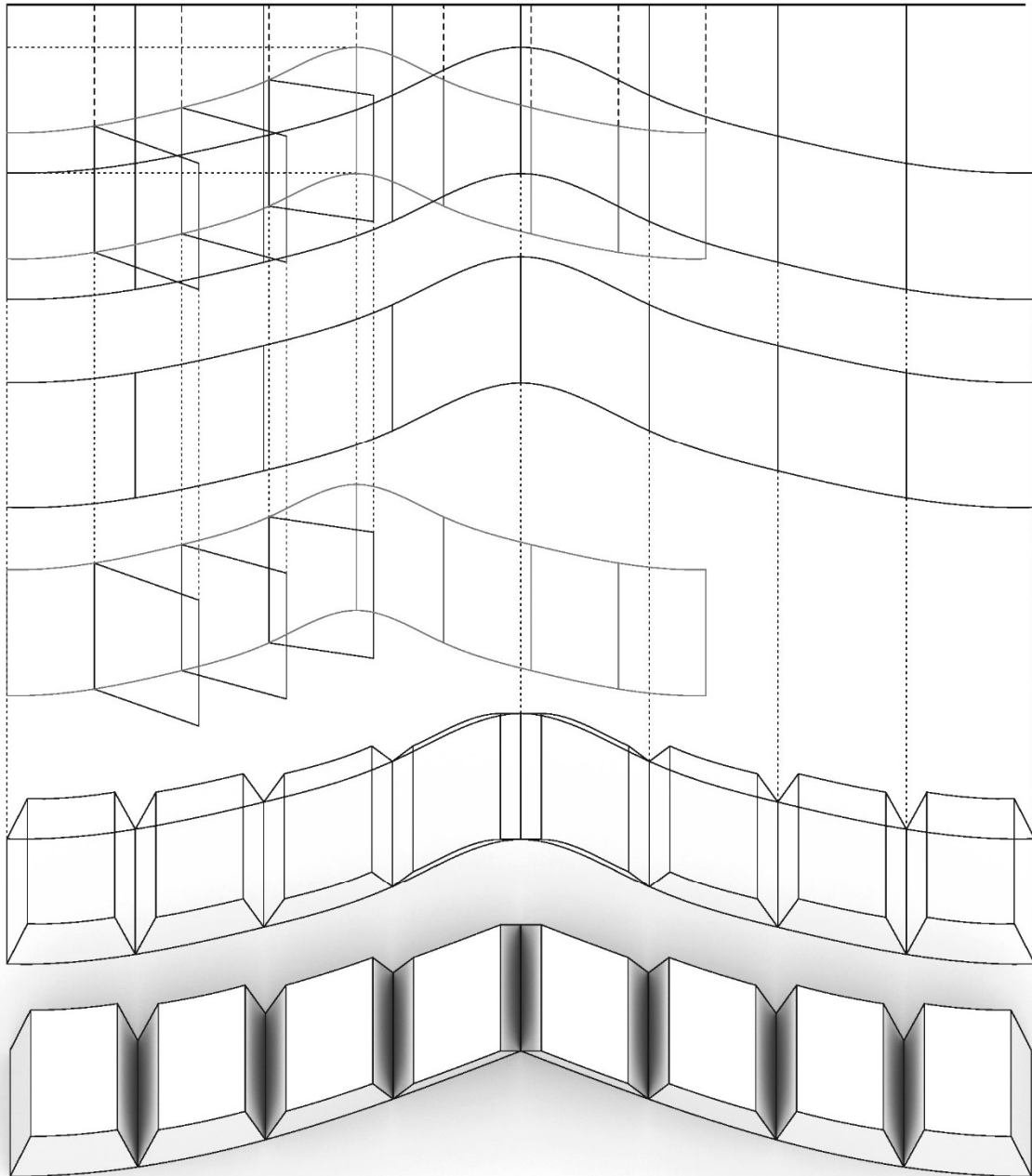
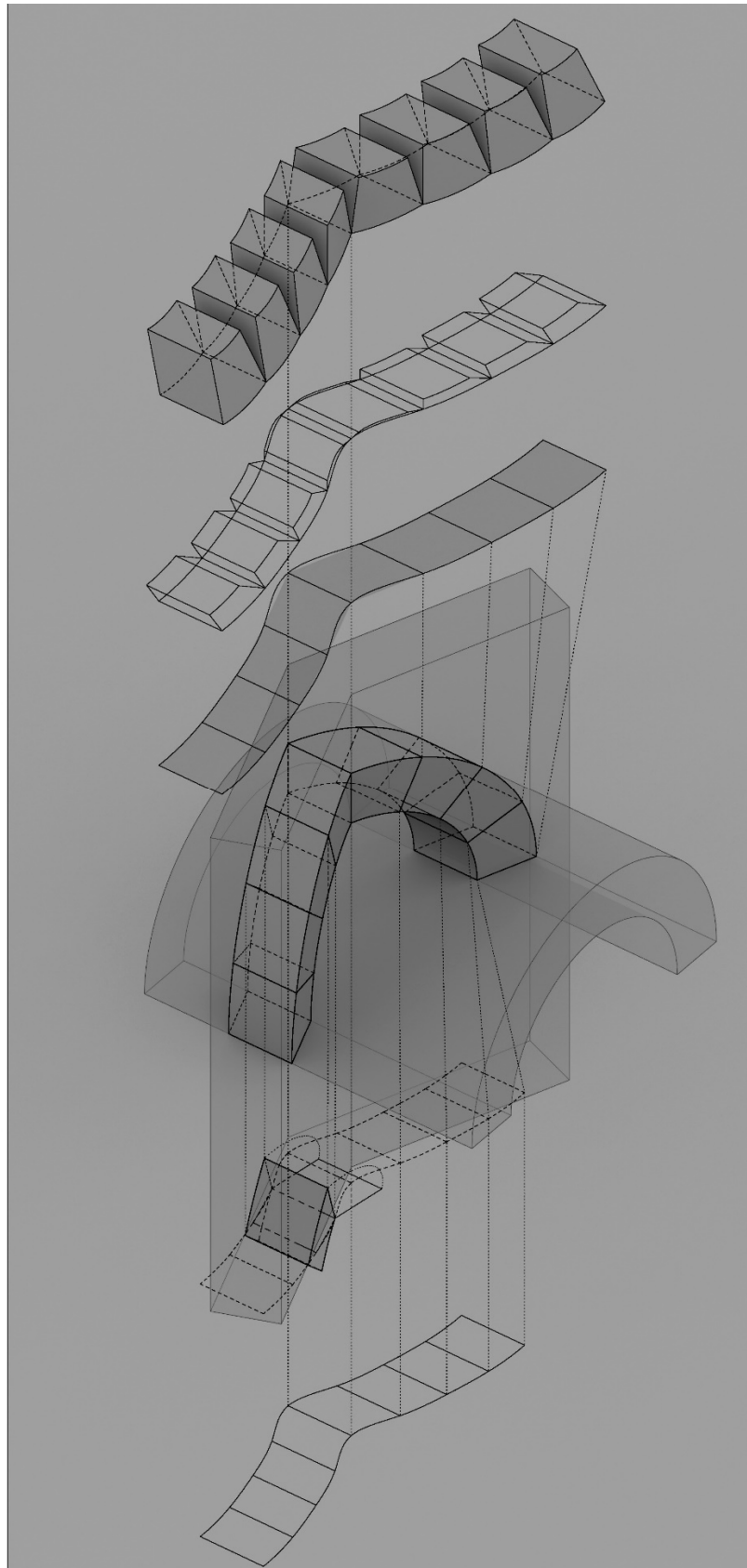


FIG. 70 In sequenza dall'alto: lo sviluppo della superficie di estradosso dei conci, lo sviluppo della superficie di intradosso e di intradosso dei conci medesimi, assemblaggio delle curve come da procedura guariniana. Vista planimetrica dei conci come fossero 'distesi' su un piano. Elaborazione digitale.

FIG. 71

Esploso assometrico. Dal centro verso l'alto: sviluppo della superficie esterna, rappresentazione guariniana, rappresentazione dei conci come se disposti su un piano.

Dal centro verso il basso: sviluppo dell'intradosso e delle facce laterali dei conci, quest'ultima operazione descritta attraverso l'operazione di ribaltamento della faccia laterale sul quadro. Elaborazione digitale.



Il metodo descrittivo adottato ha permesso di usare degli algoritmi di sviluppo delle superfici di intradosso e estradosso, in modo da sovrapporle a quelle individuate da Guarini per un controllo visivo (FIG. 71). Nei casi di superfici cilindriche e coniche, l'algoritmo è stato sviluppato nello stesso ambiente dei precedenti: la procedura studiata, a partire dalla porzione di superficie da analizzare, e dalla direzione della sua generatrice, divide le superfici in parti, in modo da essere confuse con la superficie a singola curvatura, per poi ricomporle e unirle su un piano prescelto. Il controllo dell'esattezza dell'operazione è offerto dal rapporto tra la dimensione della superficie ottenuta e quella di partenza. È facile comprendere come gli sviluppi guariniani e quelli creati *ad hoc* siano fondati entrambi sul principio di riduzione del cilindro ad un prisma, e che siano entrambi intrinsecamente corretti. La possibilità di rendere il processo computazionale permette soltanto di ottenere una precisione maggiore del risultato finale.

Per la determinazione della rappresentazione proto-proiettiva guariniana è stata invece simulata la disposizione dei conci, uno di seguito all'altro e aventi gli spigoli appartenenti alla stessa generatrice dell'estradosso. Nella esperienza quotidiana, Guarini potrebbe trovarsi di fronte ad una serie di conci di cartone, quali modelli in scala dell'apparecchiatura mostrata. In una prima fase assembla ogni concio di carta a partire dalle proprie *boundary surfaces*, ognuna ottenuta attraverso le procedure descritte nel trattato. In una seconda fase costruisce l'arco e, mantenendo ogni concio in contatto attraverso la porzione di generatrice del cilindro di estradosso, appoggia l'arco sul piano del tavolo di lavoro.

Si crede sia importante specificare in conclusione errori e possibilità del processo attraverso *scripting* fino ad ora utilizzato. È evidente che la procedura adottata da Guarini sia facilmente replicabile per gli altri casi: il teatino si distacca dal rigore geometrico di individuare – e descrivere – curve di intersezione fra superfici e le immagini di esse. La geometria, e la matematica sottesa, vengono così 'banalizzate' se confrontate con le pari soluzioni della Geometria Proiettiva, poiché le entità vengono discretizzate attraverso i vertici dei conci, per i quali tracciare adeguate curve. L'equivalente digitale delle curve 'adeguatamente disegnate' da Guarini è rappresentato dalle cosiddette *Spline*⁴². Vale la pena spendere qualche parola a riguardo. Le curve *Spline* (FIG. 72) sono una formalizzazione matematica di alcuni modelli fisici nel campo aeronavale: si trattava, ad esempio, di usare aste lignee o metalliche piegate (*spline* per l'appunto)⁴³, in modo da essere vincolate ad alcuni punti prestabiliti (*ducks, rats, dogs*)⁴⁴. L'invenzione di un modello matematico

⁴² In particolare, sarebbe in questo caso più corretto parlare della semplificazione delle Spline in B-Spline (basic spline) *B-Splines and Geometric Design*, s.d. <https://users.wpi.edu/~pwdavis/sinews/spline17.htm>.

⁴³ La derivazione materiale della curva ha delle ripercussioni nella sua definizione matematica viene usata un parallelismo tra la curva e il comportamento di una trave soggetta a sforzi di flessione (teoria della trave di Bernoulli Eulero) J. Ahlberg *et al.*, *The theory of splines and their applications, Mathematics in Science and ...*, Academic Press, New York; London 1967.

⁴⁴ Guarini stesso non era insensibile alle pratiche di costruzione navale. Nonostante sottolinei di essere il primo ad aver utilizzato in architettura quella superficie di "un cono che termina in una linea", la sua invenzione spetta a John Wallis (1616-1703), geometra e matematico inglese che aveva pubblicato un manuale navale in cui era teorizzato l'utilizzo del cono cuneo in ambito navale J. Wallis, *Cono-cuneus: or the shipwright's circular wedge [...] in a letter to the honorable Sir Robert Morey, Knight*, in *A treatise of algebra, both historical and practical...*, Richard Davis, Oxford 1684.

in luogo di curve polinomiali - o coniche – passanti per i punti, rappresentò un'innovazione nella costruzione degli apparecchi: come nella pratica attuale, da un lato era necessaria ai fini della digitalizzazione del processo progettuale; dall'altro rispondeva alle esigenze di produzione, declinando il funzionamento di elementi fisici in oggetti matematici (FIG. 73).

L'utilizzo di un tipo di *Spline* per la descrizione geometrica delle curve di Guarini è al contempo una soluzione e una criticità: le curve NURBS passanti per i punti – *knots* – sono perfettamente aderenti sia a quelle richieste da Guarini, sia alle curve richieste dalle operazioni di sviluppo e proiezione. D'altra parte, si riscontra un problema di generalizzazione: Guarini, per rendere il procedimento più astratto, produce i diagrammi per un mezzo dell'arco da costruire. Per questo il teatino necessita di escludere la chiave di volta, rendendo la costruzione instabile. Lo script quindi produce un errore evidente nello sviluppo della curva, in particolare nella parte centrale, in cui la tangenza orizzontale, determinata dalla simmetria della figura, non prevede il punto spigoloso necessario (FIG. 70).

FIG. 72
 G. Farin, *A History of Curves and Surfaces in CAGD*, 2002.
 Formalizzazione di una spline quadratica per punti di controllo e nodi.

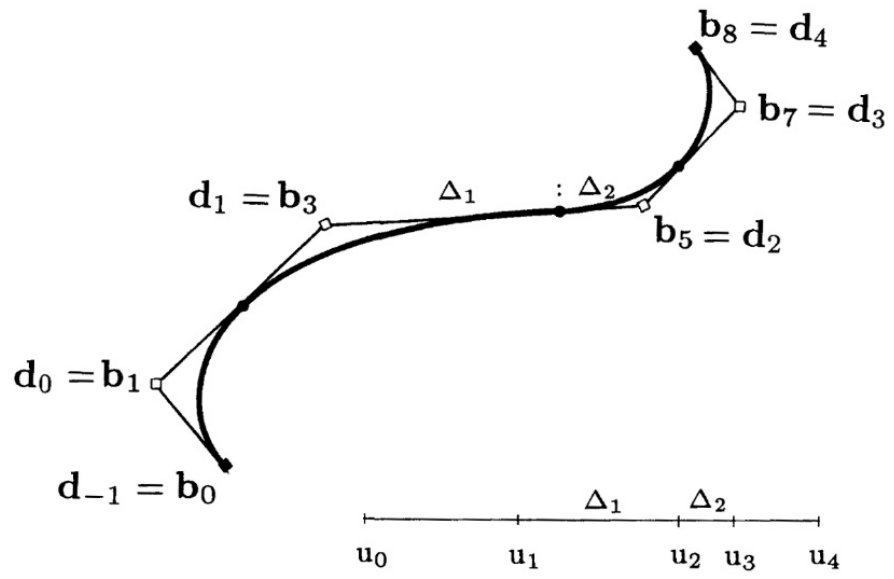
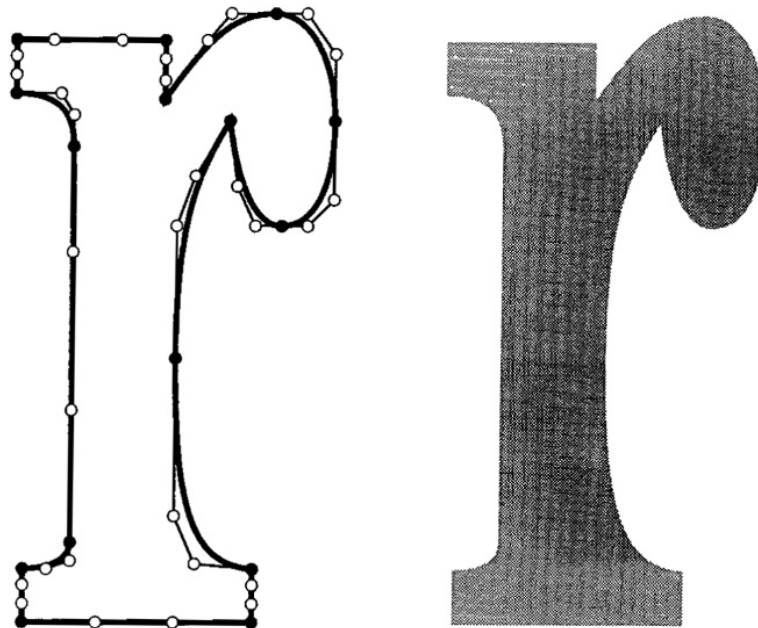


FIG. 73
 Progetto della lettera r di un carattere attraverso curve cubiche di Bézier.



Capitolo III, osservazione VIII. Cilindro, cilindro

Il secondo esercizio che viene proposto riguarda un ulteriore caso di volta cilindrica, all'osservazione ottava del terzo capitolo (4.3.8) "Del modo di stendere in piano la superficie d'un semicilindro concavo segato da una parte da una superficie piana ed obliqua, e dall'altra da un semicilindro parimenti obliquo" (FIG. 75)⁴⁵. Nella pratica costruttiva, si tratta del caso corrispondente ad una volta a botte impostata da un lato su un muro non perpendicolare al suo asse – *biaise* – dall'altro su una volta a botte, il cui asse non è perpendicolare al primo. Nell'organizzazione derandiana (FIG. 74), questo caso è nominato, al capitolo XIV, "Descente biaise par devant et par derriere, rachetant un voute berceau, en plein cintre, par testes égales, e par porfil"⁴⁶.

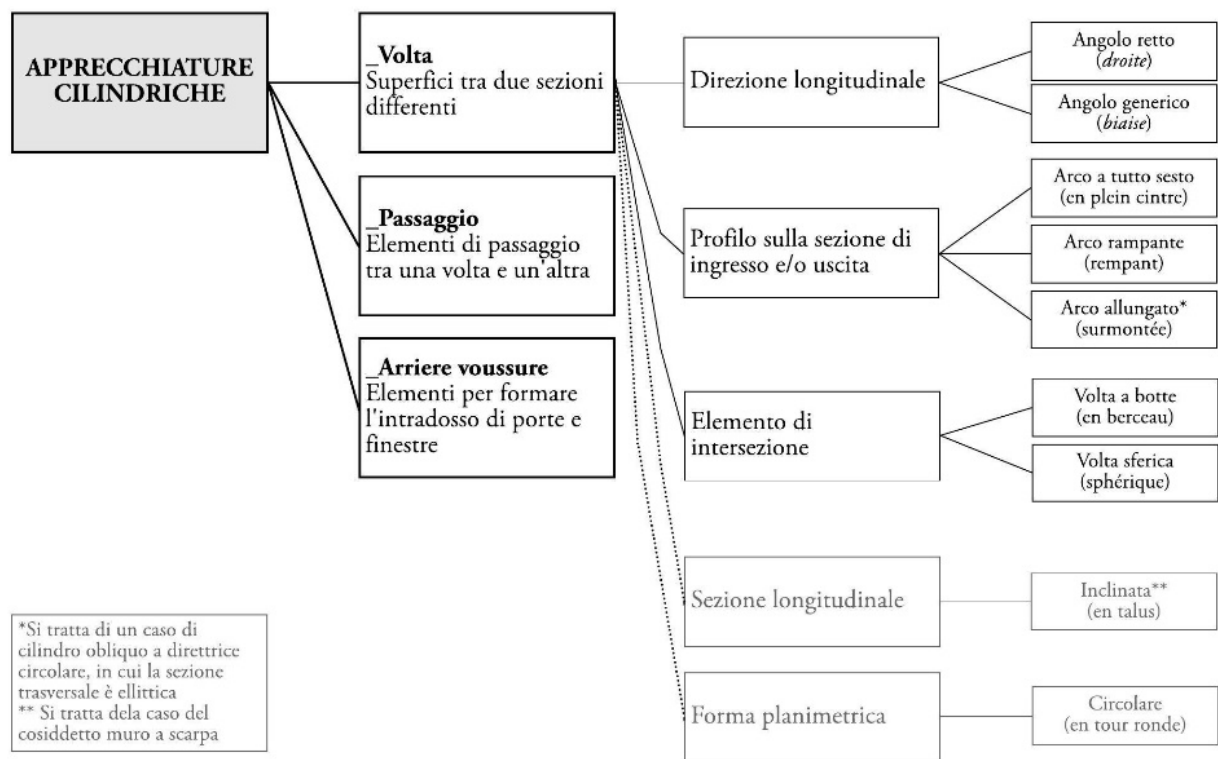


FIG. 74
Struttura geometrica di composizione dei casi di superfici cilindriche come dalla tradizione stereotomica francese.

⁴⁵ G. Guarini, *Architettura civile*, cit.

⁴⁶ F. Derand, *L'Architecture des voûtes, ou l'Art des traits et coupe des voûtes*, cit.

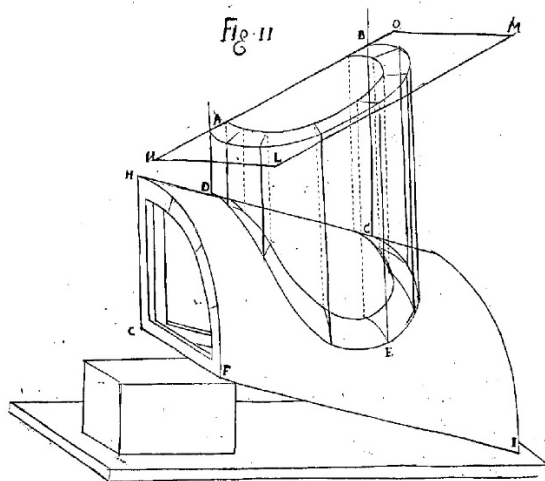
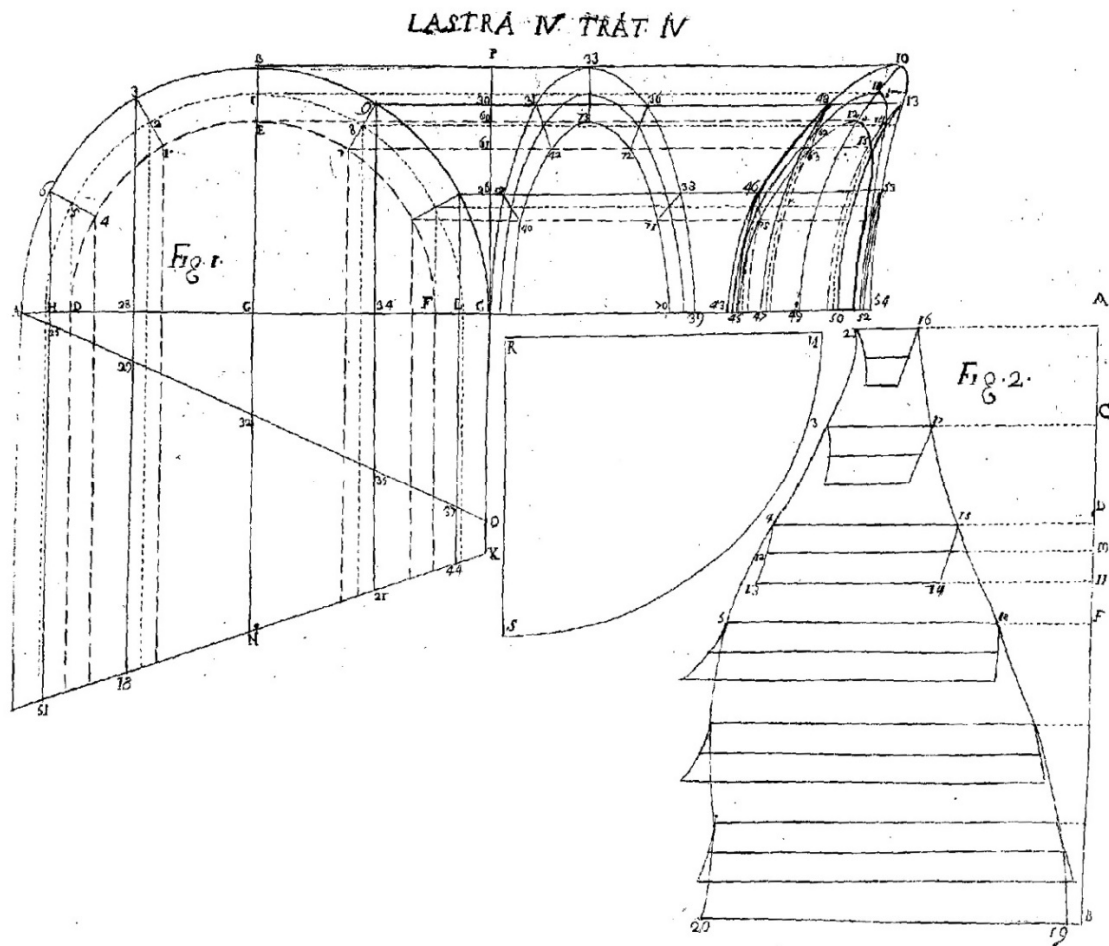


FIG. 75
G. Guarini, *Architettura civile*,
1737. Figura 11. Lastra I. Trattato
IV. Rappresentazione guariniana
del caso 4.3.8

FIG. 76
G. Guarini, *Architettura civile*,
1737. Lastra IV. Trattato IV.
Processo di proiezione del solido,
proiezione delle sezioni e sviluppo
della superficie cilindrica compresa
tra una superficie verticale qualsiasi
e una superficie conica
generalmente inclinata.



Al contrario della tradizione, nella logica guariniana gli esercizi stereotomici sono in numero minore. Il caso oggetto di questo capitolo è seguito da un esercizio simile, in cui viene assegnata una sezione circolare obliqua del cilindro, che è quindi anche retto e a direttrice ellittica, poi questo viene intersecato da un cilindro di diametro maggiore, il cui asse è posto ortogonalmente al primo⁴⁷. Lo stesso tema è presente anche in un'osservazione successiva, la dodicesima, "Modo di ridurre in piano la superficie d'un cilindro segato da una parte da una superficie obliqua ed inclinata, dall'altra da un cilindro perpendicolare"⁴⁸, con cui Guarini si simenta con l'inclinazione della sezione iniziale data dalla presenza di un muro a scarpa.

Lo sviluppo di questo caso avviene in modo simile rispetto al primo: una prima parte riguarda il *gettare in piano*, una seconda lo *stendere sul piano* (FIG. 76). Il meccanismo ormai è noto: vengono misurate le distanze lungo le generatrici del cilindro: tuttavia non tutte sono note all'assegnazione del problema, venendo così introdotta una rappresentazione ausiliaria. Guarini disegna il semicilindro di base oggetto dello studio, e segnatamente la vista frontale, in cui vengono tracciati i raggi di suddivisione e la circonferenza mediana; la vista planimetrica e la proiezione laterale, in un'impostazione solo apparentemente mongiana. Alla vista planimetrica aggiunge due dati fondamentali allo script: la traccia del piano di sezione anteriore, e la rappresentazione di quella generatrice del cilindro intersecante che giace sul piano di imposta, assunto come limite esterno della proiezione del cilindro stesso. L'autore non conosce la prima proiezione dell'intersezione tra i due cilindri, pertanto userà un metodo *par profil*, come correttamente annuncia Derand nel titolo dell'apparecchiatura equivalente⁴⁹, che consiste nel disegnare le sezioni ellittiche del cilindro, di dimensioni note, contenute in una successione di piani proiettanti.

Per la proiezione dell'ellisse, sezione del cilindro retto con un piano generico proiettante, il procedimento per punti ricalca il procedimento mongiano del riporto delle distanze tra la traccia del piano di imposta in prima proiezione e i punti sulle generatrici ottenuti dall'intersezione con il piano secante (FIG. 77) a distanza viene riportata sulla proiezione laterale, prestando attenzione nel segnare la misura sulla linea ad essa corrispondente. Sono questi gli aspetti dai quali si deduce la volontà didattico-educativa del teatino⁵⁰, che invita il lettore a differenziare le linee attraverso tratti differenti (FIG. 76), per non produrre inutili errori. Le diverse tipologie di linee sono così applicate anche alle linee di costruzione verticali e orizzontali.

⁴⁷ Osservazione sesta del terzo capitolo del quarto trattato (4.3.6)

⁴⁸ Entrambi questi ultimi casi sono stati esaminati in dettaglio da Werner Muller nell'articolo che apriva allo studio della stereotomia di Guarini: lo studioso tedesco ne ha già trovato i vizi principali, e pertanto non vengono affrontati in questa trattazione. W. Müller, *The Authenticity of Guarini's Stereotomy in His «Architettura Civile»*, cit.

⁴⁹ Si veda il titolo precedentemente citato in F. Derand, *L'Architecture des voûtes, ou l'Art des traits et coupe des voûtes*, cit.

⁵⁰ Questo linguaggio grafico non è presente, ad esempio, in Derand

Ne deriva una serie di punti grazie ai quali disegnare ‘destramente’ tre linee. Nonostante non ci sia alcuna precisazione sulla natura geometrica di queste linee e nessun rimando alla loro natura ellittica e alle relative proprietà proiettive, non sono presenti errori. Questa osservazione mette in crisi l’assunto secondo cui l’eredità degli studi sulle sezioni coniche, gli scritti di Apollonio di Perga, di Euclide e i dei *modernes*, sia servita quale base fondamentale, teorica e geometrico-pratica, per lo sviluppo della stereotomia⁵¹.

La produzione della proiezione della curva gobba di intersezione tra i due cilindri segue lo stesso processo. Il funzionamento si basa sull’uso di una serie di piani ausiliari verticali, paralleli alla generatrice del primo cilindro, per un numero pari al numero di generatrici⁵², in modo da individuare univocamente i punti di intersezione. Guarini assegna così l’ellisse, sezione del cilindro intersecante, “del quale resta necessario farsene un modello di carta che regga, o di cartone sottile, o d’altra materia soda”⁵³. La distanza tra il piano di riferimento, assunto in corrispondenza di quello di imposta dell’arco di ingresso, e la prima generatrice del cilindro intersecante, viene riportata, a partire dalla traccia dello stesso piano di riferimento su quello laterale, sulla traccia del piano di imposta. Si determina così per ogni generatrice la posizione dell’estremità dell’asse maggiore della sezione ellittica. Sarà sufficiente infine spostare la porzione di ellissi per ritrovare, all’intersezione con le linee provenienti dalla proiezione verticale, i punti necessari a disegnare correttamente la linea. La procedura così descritta, per quanto macchinosa, è corretta e può essere replicata ad oggi con il disegno digitale (FIG. 79).

⁵¹ S. L. Sanabria, *From Gothic to Renaissance Stereotomy: The Design Methods of Philibert de l’Orme and Alonso de Vandelwira*, cit.

⁵² Il numero di generatrici dei problemi stereotomici è dipendente dal numero di divisioni scelto dalla divisione radiale

⁵³ G. Guarini, *Architettura civile*, cit.

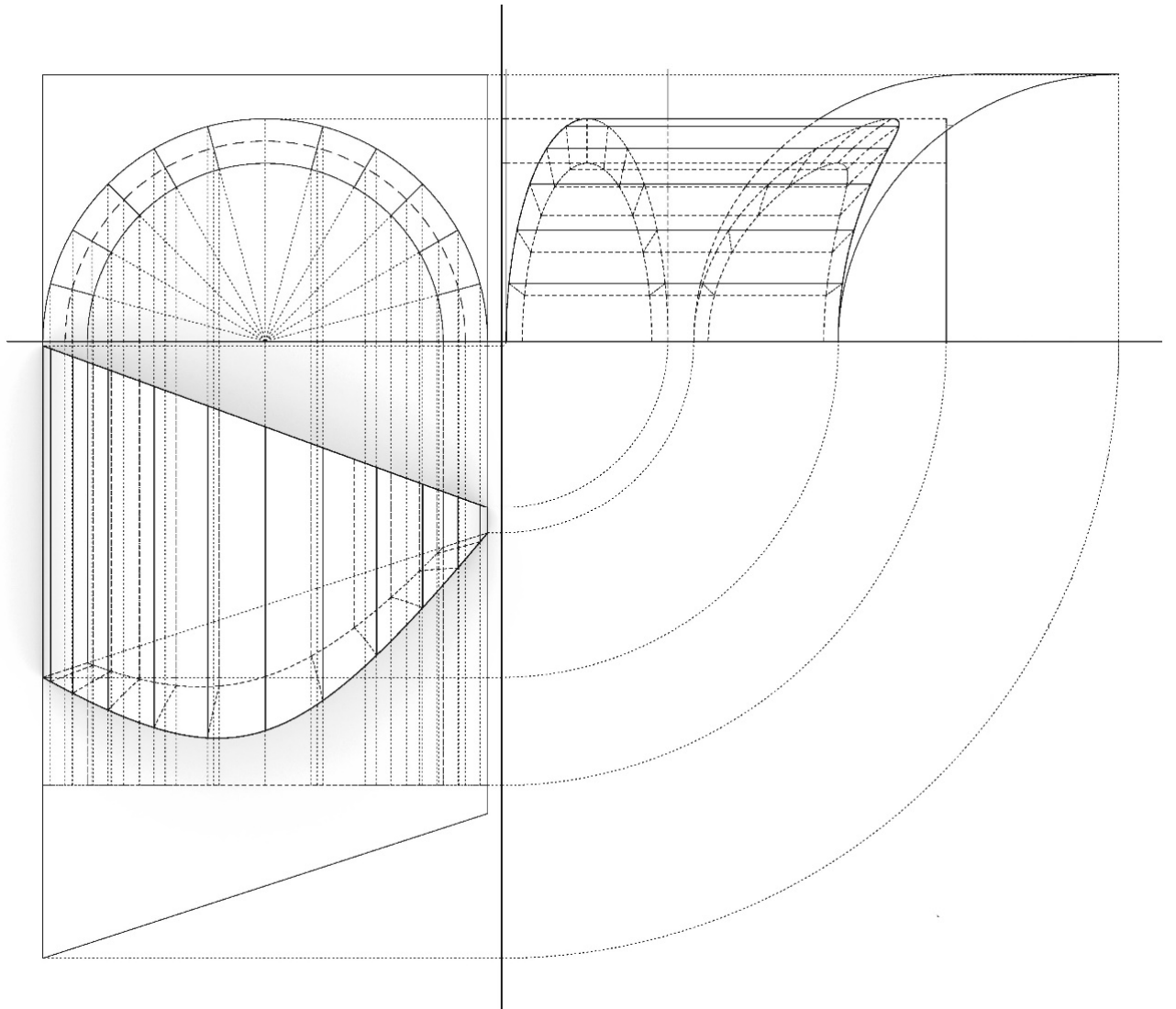


FIG. 77
Proiezioni ortogonali del caso 4.3.8.
Elaborazione digitale.

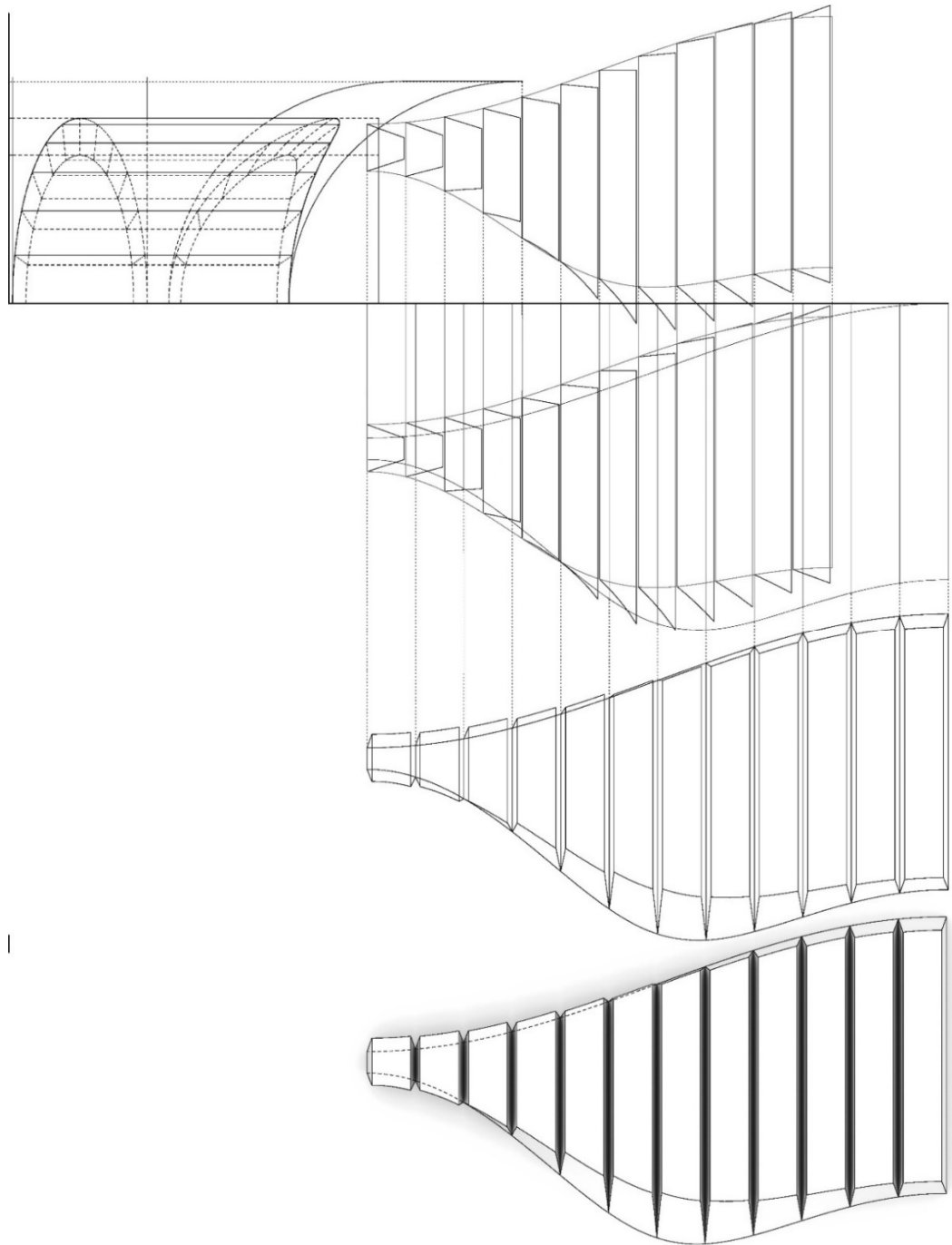


FIG. 78
Grafico 'cartesiano' esplosivo. Dall'alto la proiezione ortogonale, origine delle distanze, lo sviluppo dell'intradosso dell'arco e dei giunti laterali dei conci, lo sviluppo dell'estradosso dell'arco, resa grafica proposta da Guarini quale proiezione verticale dei conci come fossero disposti su un piano.

Terminata questa operazione, l'utente ha un grafico di lettura delle distanze tra i punti appartenenti ad una stessa generatrice. Come d'abitudine, Guarini descrive come 'stendere' in piano la superficie dell'intradosso (FIG. 78): presenta nuovamente un grafico cartesiano, in cui lungo le ascisse riporta la lunghezza degli archi di ogni concio, pari al numero di generatrici, lungo le ordinate, per ogni elemento, una coppia di misure. Queste corrispondono, per ogni generatrice, alla distanza tra la traccia tra la proiezione laterale e quella verticale, e i punti delle intersezioni sulla proiezione laterale. Per questi punti verrà disegnata una curva che corrisponde allo sviluppo della superficie richiesta.

Anche lo sviluppo delle 'superfici congiuntive' laterali (FIG. 78), ovvero le *joint du lit*, segue pedissequamente quanto già descritto nel capitolo precedente all'Osservazione Quarta, in una rappresentazione senza soluzione di continuità. Guarini termina l'esercizio, al solito, con la produzione della vista allusiva della tridimensionalità, unendo la superficie interna con quella esterna (FIG. 80).

Lo script ricalca il procedimento logico descritto. Come già accennato nella breve disamina storica, una capacità fondamentale della programmazione visuale resta la possibilità di enucleare una parte del processo, rendendolo uno script autonomo, un nuovo blocco multifunzionale, utilizzabile per altre applicazioni. In questo modo, si costruisce un supporto reale ad un nuovo studio delle applicazioni stereotomiche. Il caso qui analizzato poco aggiunge in termini geometrici, ma d'altra parte dimostra il procedimento modulare del trattato. Dunque Guarini aggiunge, per necessità, uno di questi moduli, che possiamo chiamare 'proiezione laterale', utilizzandone due provenienti dai casi precedenti, quello per la produzione del grafico cartesiano di sviluppo e quello per l'allineamento della superficie interna con quella esterna.

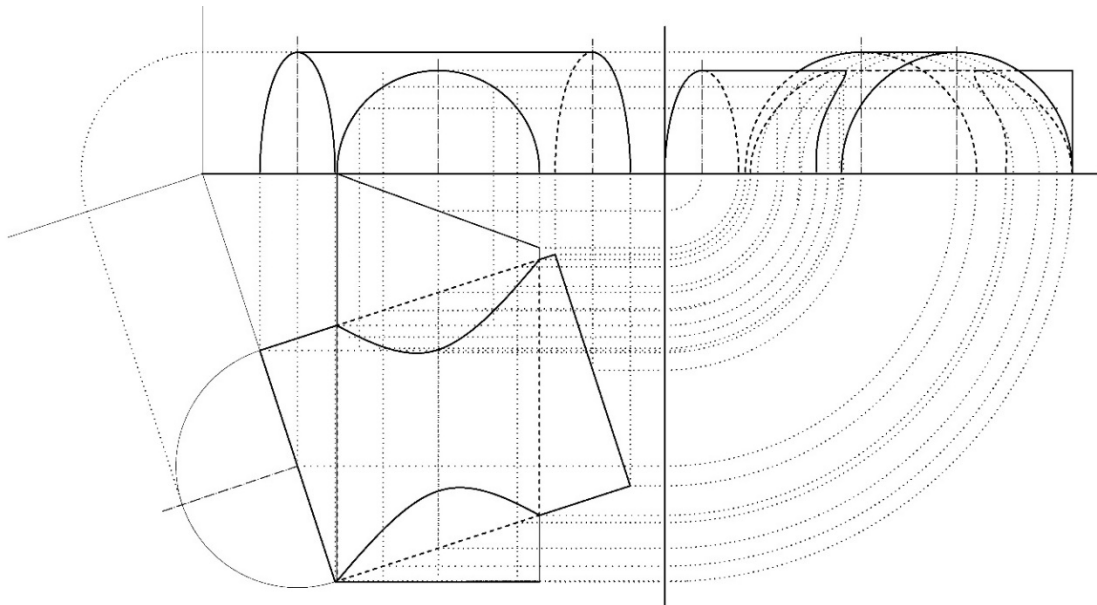


FIG. 79
Sistema equivalente nel metodo di Monge. Metodo per intersezione tramite piani proiettanti.

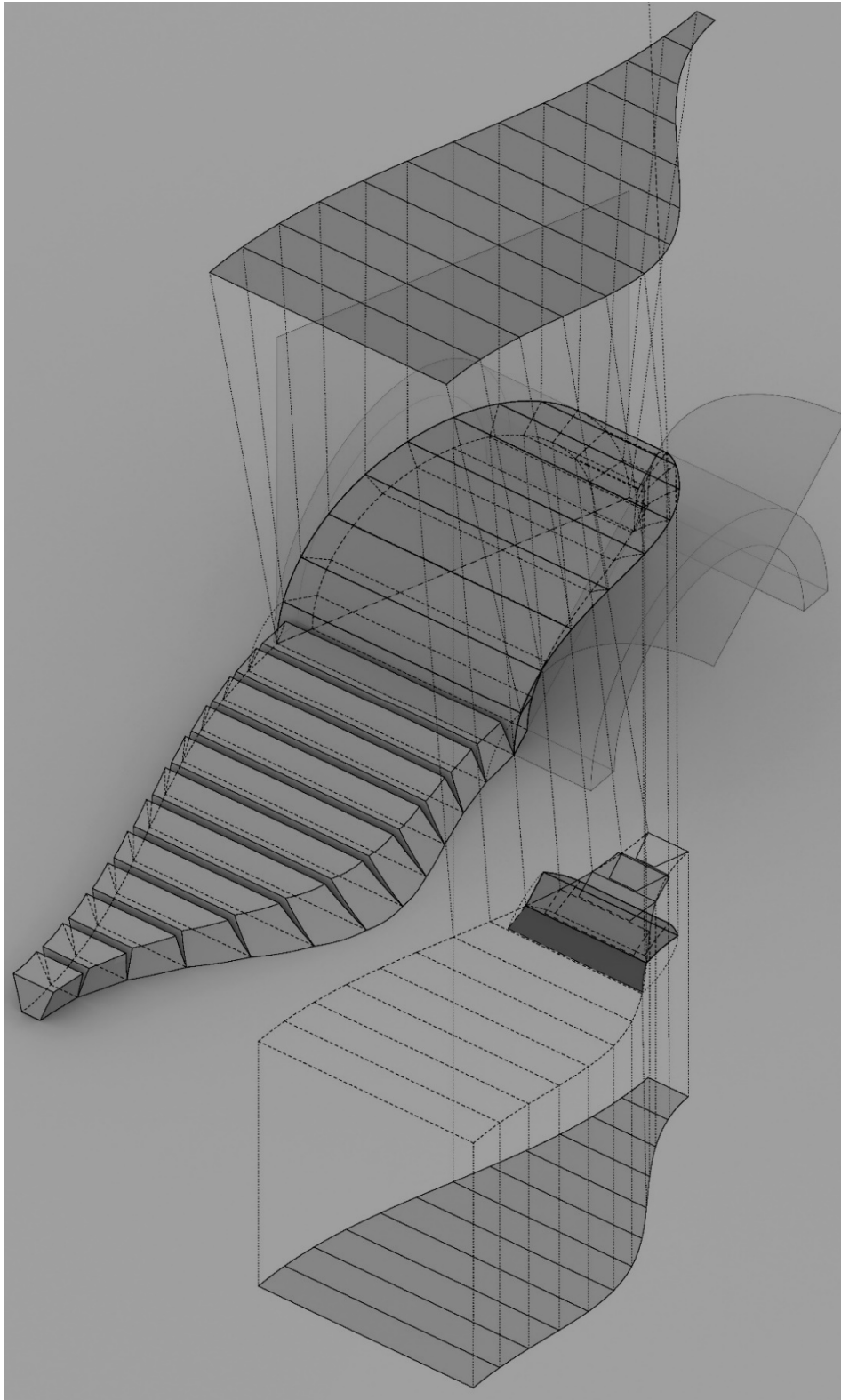


FIG. 80
Esploso assometrico dei
conci dell'arco risultante.
Dal centro: verso l'alto
sviluppo della superficie di
estradosso; verso il basso
sviluppo dell'intradosso e
della superficie laterale. Al
centro, assometria
dell'arco con i conci verso
l'alto, 'distesi' su un piano
orizzontale, per descrivere le
rappresentazioni guariniane.
Elaborazione digitale.

Capitolo IV, osservazione VI. Conoide, cilindro

Il terzo esempio utile a dimostrare l'utilità dello studio dei trattati stereotomici attraverso *scripting* visuale è contenuto nel capitolo IV del trattato dell'ortografia 'gittata' o 'depressa', in cui Guarini si dedica alle volte generate da superfici coniche, "corpi a somiglianza d'una piramide, ma tonda". È proprio questa 'somiglianza' gli consente di fondare lo sviluppo di un cono assimilandolo ad una piramide, così come al cilindro viene sostituito un prisma poligonale retto. In effetti, il capitolo IV tratta di due superfici differenti: il cono, con delle basi circolari, ellittiche o irregolari, e il cono-cuneo di Wallis⁵⁴.

Nella pratica stereotomica, il cono è legato alla figura della *trompe*, detta *pechinas* nella tassonomia spagnola⁵⁵. L'origine di questa superficie deriva dall'uso di archi ausiliari utilizzati nell'architettura bizantina e medievale: in linea con un 'procedimento' inverso alla quadratura del cerchio, l'intento consisteva nella possibilità di raccordare murature di un ambiente quadrato con una copertura a base circolare (FIG. 90). La mediazione geometrica era dunque operata da un arco posto in angolo, tale da permettere la trasformazione di un quadrato in un ottagono, consentendo di impostarvi una calotta sferica⁵⁶. È lecito quindi considerare le volte coniche come un'evoluzione della suddetta soluzione costruttiva, laddove ad un arco viene aggiunto un pennacchio conico, elemento più complesso, che opportunamente sezionato con una superficie verticale, può dare origine ad una moltitudine di soluzioni spaziali e strutturali (FIG. 81, FIG. 82).

Circa questa struttura voltata, Derand elenca 33 tipologie di apparecchiatura, i casi indicati da Guarini sono ridotti a 8. Di questi, uno presenta una decisiva particolarità: non si tratta di un cono, ma di una forma particolare di conoide retto (FIG. 93). Guarini aveva già introdotto questa superficie nella organizzazione dei sistemi voltati, riferendosi a volte che "nascono dal cono che finisce in una linea"⁵⁷. La stessa superficie ci dice essere oggetto anche di una osservazione dell'*Euclides adauctus*, in cui ne descrive la proprietà principale, ovvero che a partire dalla base circolare, le sezioni diverse dalla prima sono ellissi⁵⁸.

⁵⁴ A. Sgrosso, *La rappresentazione geometrica dell'architettura. Applicazioni di geometria descrittiva*, UTET, Torino 2000.

⁵⁵ C. J. Palacios, *Trazas y cortes de cantería en el renacimiento español*, Industrias Gráficas España, Madrid 2003.

⁵⁶ S. L. Sanabria, *From Gothic to Renaissance Stereotomy: The Design Methods of Philibert de l'Orme and Alonso de Vandelwira*, cit.

⁵⁷ Il riferimento è il capitolo 26 del trattato III in G. Guarini, *Architettura civile*, cit.

⁵⁸ Ad ogni modo, Guarini fa bene a pensare di essere il primo ad usare questa superficie in architettura, soprattutto nell'uso delle volte. Recentemente l'architettura industriale ne ha vista l'applicazione in forma di copertura, ma nella variante 'distesa', in cui la direttrice rettilinea appartiene ad un piano orizzontale.

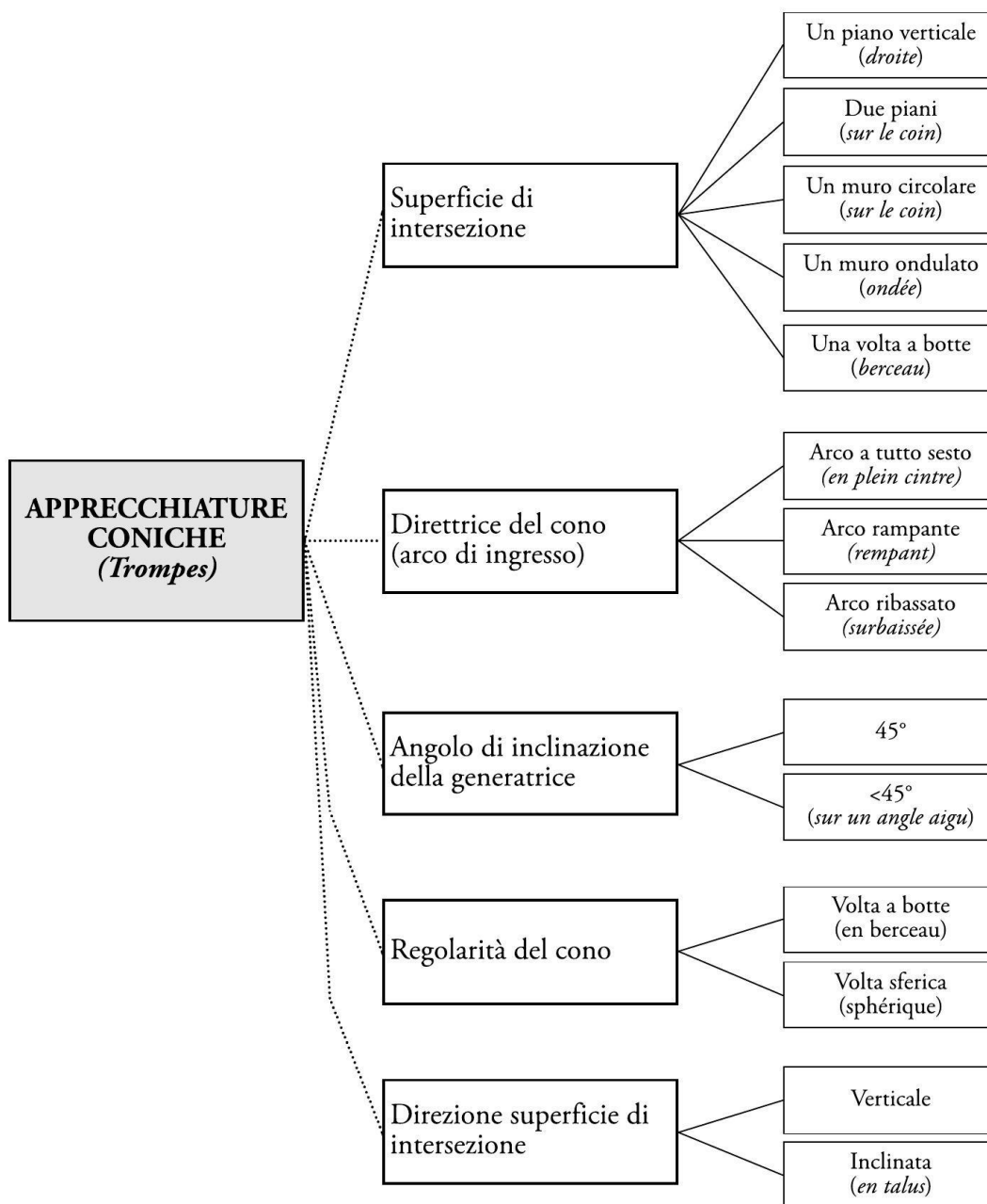
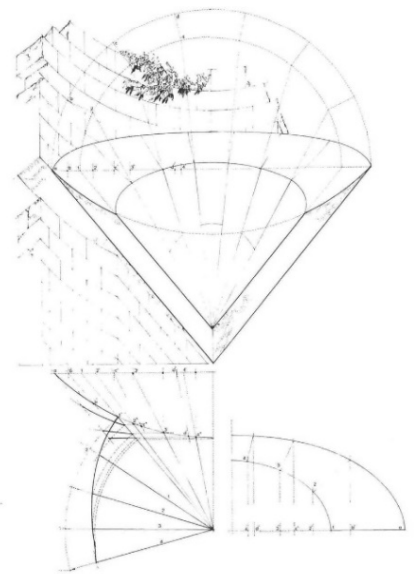
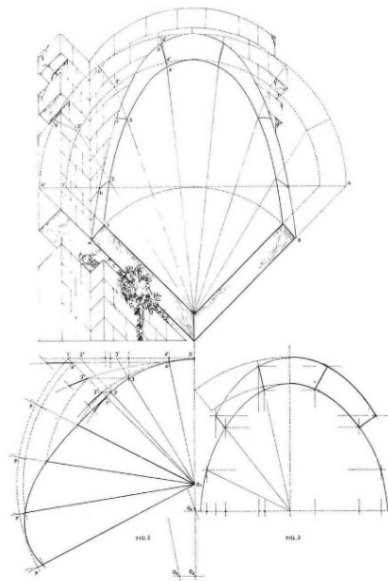
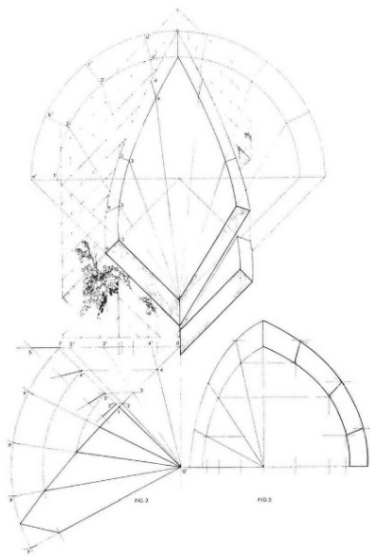
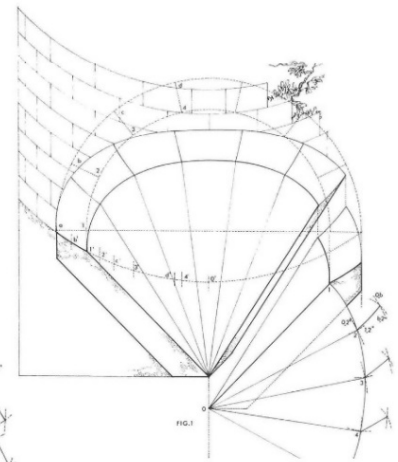
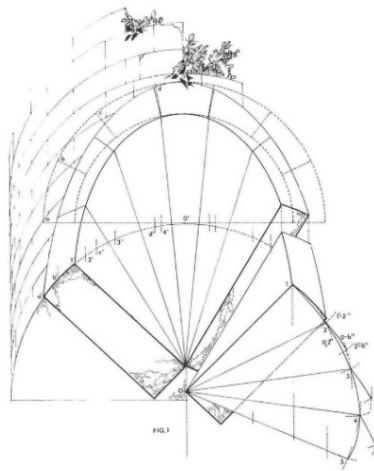
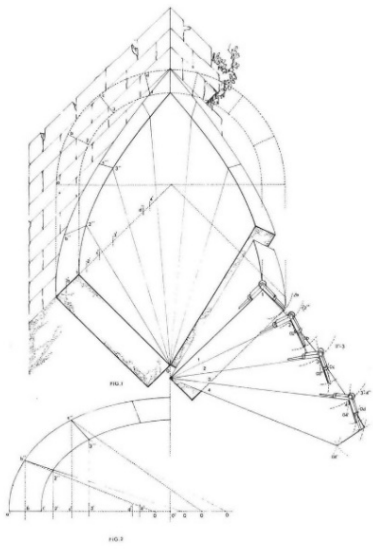
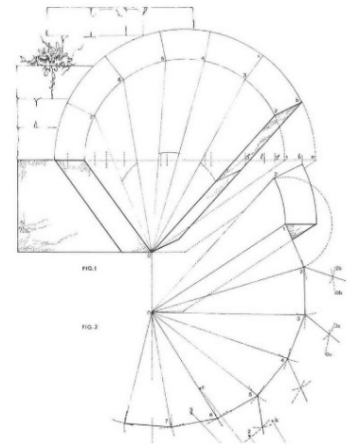
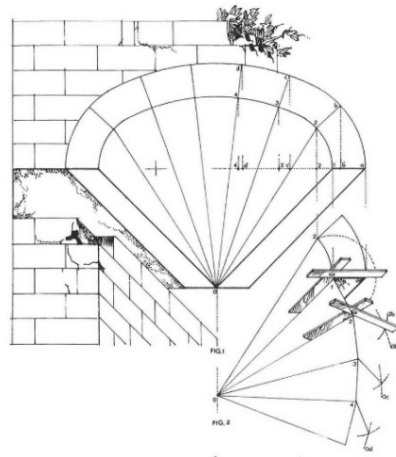
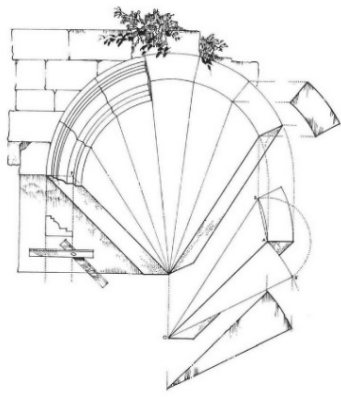


FIG. 81 Classificazione delle apparecchiature stereotomiche basate sulla superficie conica.

Alla pagina seguente:
FIG. 82 Casi stereotomici nella tradizione stereotomica spagnola. Elaborazione digitale delle rappresentazioni di Carlos José Palacios.



La superficie presa in considerazione è una superficie rigata, conosciuta con il nome di cono-cuneo di Wallis (FIG. 83), caratterizzata da una direttrice curvilinea e da due rettilinee.

“La direttrice curvilinea è un cerchio (o un semicerchio), quelle rettilinee sono una retta parallela al piano del cerchio, contenuta in un piano ad esso ortogonale e passante per il centro, e la retta impropria (giacitura) dei piani normali alla prima direttrice rettilinea: le generatrici si appoggiano a quest'ultima, al cerchio e sono parallele a un piano”⁵⁹ (FIG. 84).

Come già osservato, la superficie è legata alle costruzioni navali⁶⁰, in particolare grazie all'opera del matematico John Wallis⁶¹, ampiamente citato da Guarini nella propria produzione scientifica, con il nome Giovanni Walleo o Uvaleo. Il teatino usa invece il termine conoide secondo la tradizione archimedea⁶², quale superficie generata dalla rivoluzione di una curva attorno ad una retta. Allo stesso modo avevano fatto ad esempio prima di lui Keplero con il suo ‘conoide iperbolico’ e poi Hooke con il ‘conoide cubico-parabolico’.

La caratteristica più importante di questa superficie, oltre a quella individuata da Guarini, risiede nel fatto che le rette generatrici sono parallele al piano di imposta e la sua più utile applicazione nel campo architettonico è nelle aperture arcuate all'interno di murature circolari, per la similitudine con la volta a botte (FIG. 85). Guarini individua nel conoide la sintesi tra le caratteristiche stereotomiche del cilindro (con i giunti a direzione parallela al piano di imposta) e del cono (per le proprietà ottiche e percettive).

D'altra parte è utile precisare da subito come Guarini non consideri affatto che il cono-cuneo non sia una superficie sviluppabile: la condizione necessaria dipende dalla appartenenza ad un piano di due generatrici consecutive, che non viene rispettata. Va tuttavia confermato come l'assito di legno, dal quale la superficie è materialmente ordita, riesce ad assolvere al criterio inverso di rivestire la superficie sulle tre direttrici, grazie alle proprietà elastiche del materiale.⁶³

Di conseguenza, sebbene l'operazione di ‘stendere’ la superficie sia un processo geometricamente scorretto, a fronte di un errore marginale, è possibile costruire la superficie con questo metodo. Questa condizione è tanto rispettata quanto più ci si allontani dalla direttrice rettilinea, come mostra l'analisi della curvatura gaussiana (FIG. 91).

⁵⁹ A. Sgrosso, *La rappresentazione geometrica dell'architettura. Applicazioni di geometria descrittiva*, cit.

⁶⁰ Il cono-cuneo di Wallis è un caso particolare del conoide retto a base circolare, in cui la direttrice rettilinea è verticale, proprio a partire dalla sua applicazione navale.

⁶¹ J. Wallis, *Cono-cuneus: or the shipwright's circular wedge [...] in a letter to the honorable Sir Robert Morey, Knight*, cit.

⁶² A. Funkenstein, *Teologia e immaginazione scientifica dal Medioevo al Seicento. Traduzione di Aldo Serafini*, cit.

⁶³ Il sistema è tanto valido all'aumentare del numero di assi, o di generatrici. Si ricorda che negli esercizi stereotomici, il numero di assi è pari al numero di divisioni dell'arco direttore.

CONO-CUNEUS .

In senso orario:

FIG. 83

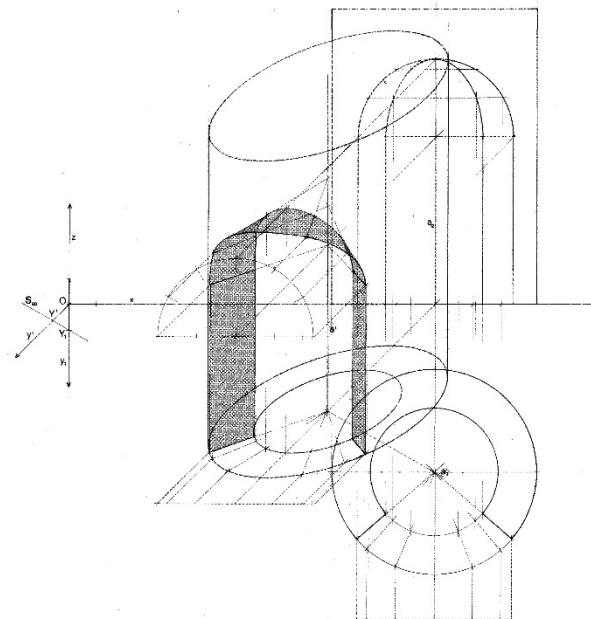
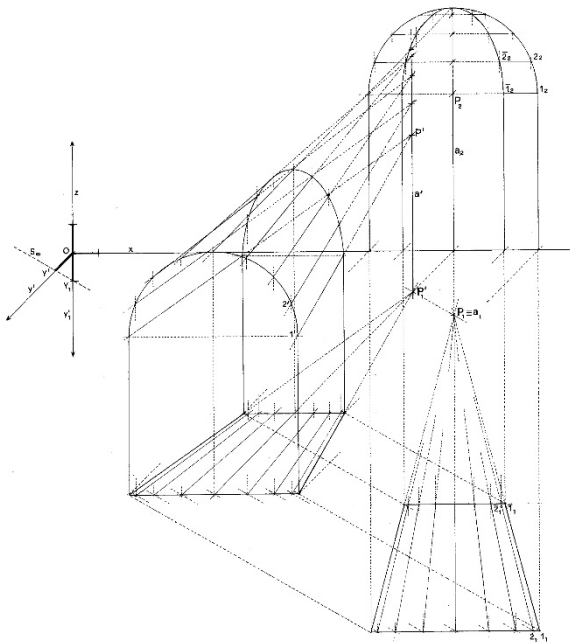
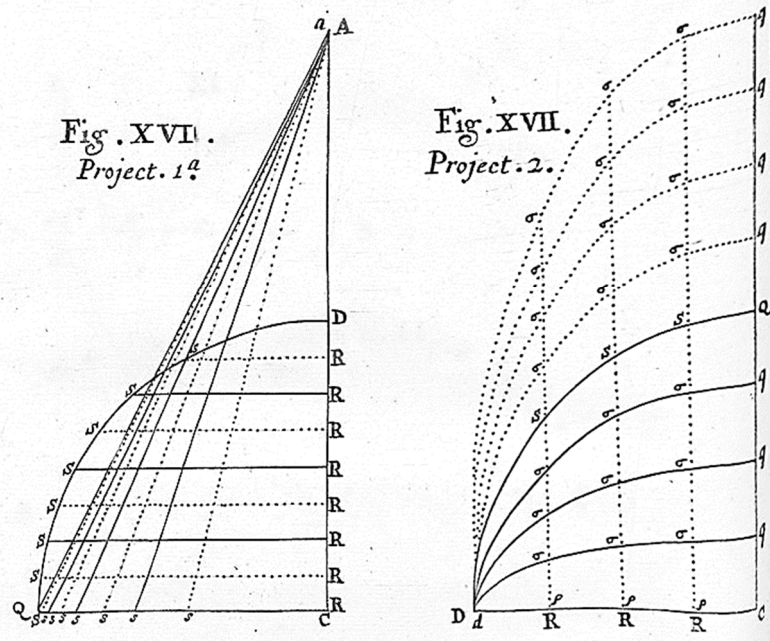
J. Wallis, *Cono-cuneus: or the shipwright's circular wedge [...]*, 1684.
 Cono-Cuneus, rappresentazione della qualità delle sezioni.

FIG. 84

A. Sgrosso, *La rappresentazione geometrica dell'architettura*, 2000.
 Assonometria di un'apertura circolare in una torre cilindrica.

FIG. 85

A. Sgrosso, *La rappresentazione geometrica dell'architettura*, 2000.
 Assonometria della superficie nota come cono-cuneo di Wallis.



L'esercizio segue per la prima parte quanto già discusso nei casi precedenti: Guarini rappresenta la proiezione dell'oggetto sul piano frontale con un solo quadrante del solido, la corrispondente proiezione sul piano orizzontale, aggiungendo la proiezione del piano laterale. Nonostante il solido sia liberamente interpretato nelle tre proiezioni (FIG. 86), nelle quali non vi è coordinamento, è presente una consapevolezza maggiore della relazione tra le viste. Guarini infatti per la prima volta allinea la proiezione laterale con quella sul piano orizzontale, tracciando delle linee parallele, equivalenti alle mongiane linee di proiezione, mantenendo la corrispondenza tra le due immagini ricorrendo ad una differenziazione del tratto grafico. L'esercizio, insieme con le due proiezioni del solido cilindrico verticale, è così univocamente definito.

La primitiva relazione tra viste differenti si realizza poi con il disegno, sul piano laterale, dell'intersezione tra le superfici del conoide e del cilindro. Guarini, dai punti di intersezione delle generatrici di entrambe le superfici, traccia delle rette orizzontali fino all'intersezione con la proiezione sulla vista laterale delle linee "della stessa natura". Nuovamente, questo determina una serie di punti per i quali disegnare in totale 6 curve, intersezione tra 3 superfici conoidiche e 2 cilindriche (FIG. 86).

Come ormai è abitudine, il passo successivo alla proiezione è rappresentato dallo sviluppo della superficie in oggetto: il processo adottato da Guarini per le superfici cilindriche viene qui adeguato a quelle coniche e conoidiche. La descrizione della superficie sviluppata avviene attraverso una procedura iterativa: il grafico 'cartesiano' che avevamo citato precedentemente ora cambia forma, ampliandosi non più nelle direzioni parallele agli assi, ma radialmente. È proprio l'ambivalenza del conoide a dover gestire un sistema misto (FIG. 87). A partire da un'origine, Guarini riporta lungo l'asse delle ascisse la lunghezza della direttrice rettilinea e la posizione dei punti intermedi in cui terminano le generatrici. Lungo l'asse delle ordinate vengono invece riportate le lunghezze delle generatrici, le quali, poiché parallele al piano di proiezione, sono rappresentate in vera forma. A questo punto il sistema muta, diventando radiale e iterativo: a partire dal primo punto dell'asse delle ascisse, i successivi punti, corrispondenti alla circonferenza di base, vengono determinati dall'intersezione di due circonferenze. La prima, con raggio pari alla lunghezza della generatrice del concio successivo e centro nel secondo punto delle ascisse; l'altra, con apertura pari allo sviluppo dell'arco del concio e centro nella ascissa individuata precedentemente. L'iterazione ennesima porta a completamento il sistema di punti, per i quali disegnare una curva. Il contorno esterno della superficie 'sviluppata' è dato dalla curva appena descritta, dal segmento che unisce l'estremità della precedente e il punto di sviluppo della retta della conoide lungo l'asse delle ascisse, dalla porzione di quella stessa asse e dalla porzione di asse y , fino alla lunghezza della prima generatrice.

FIG. 86
G. Guarini,
Architettura civile,
1737. Figura 4 e 5.
Lastra IX. Trattato IV.
Proiezioni del conoide
e intersezione con un
cilindro ad asse
verticale

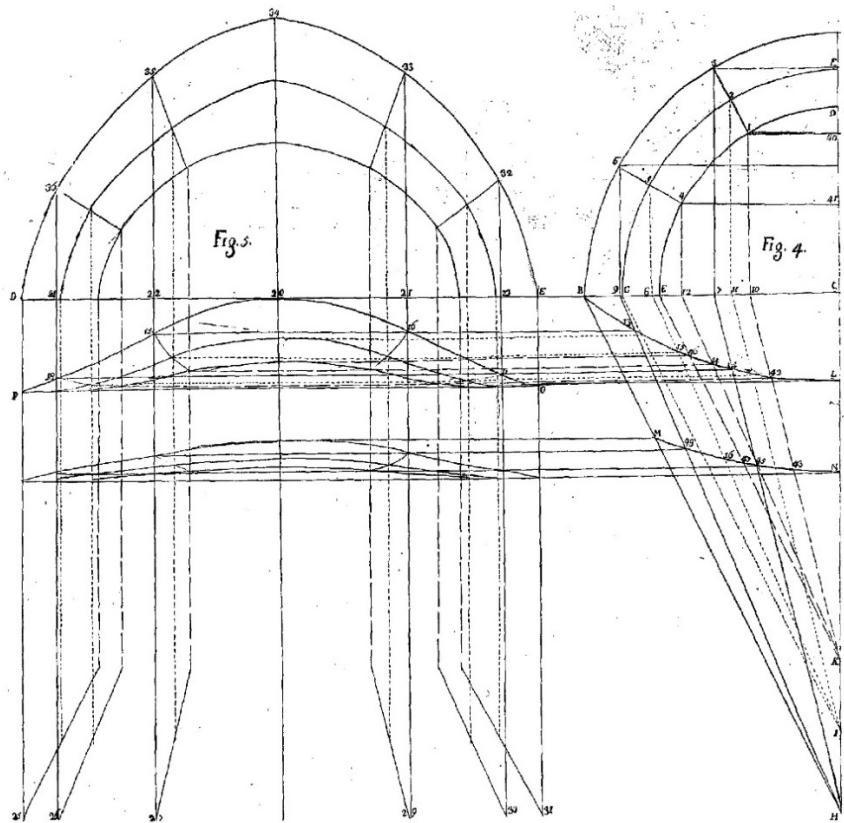
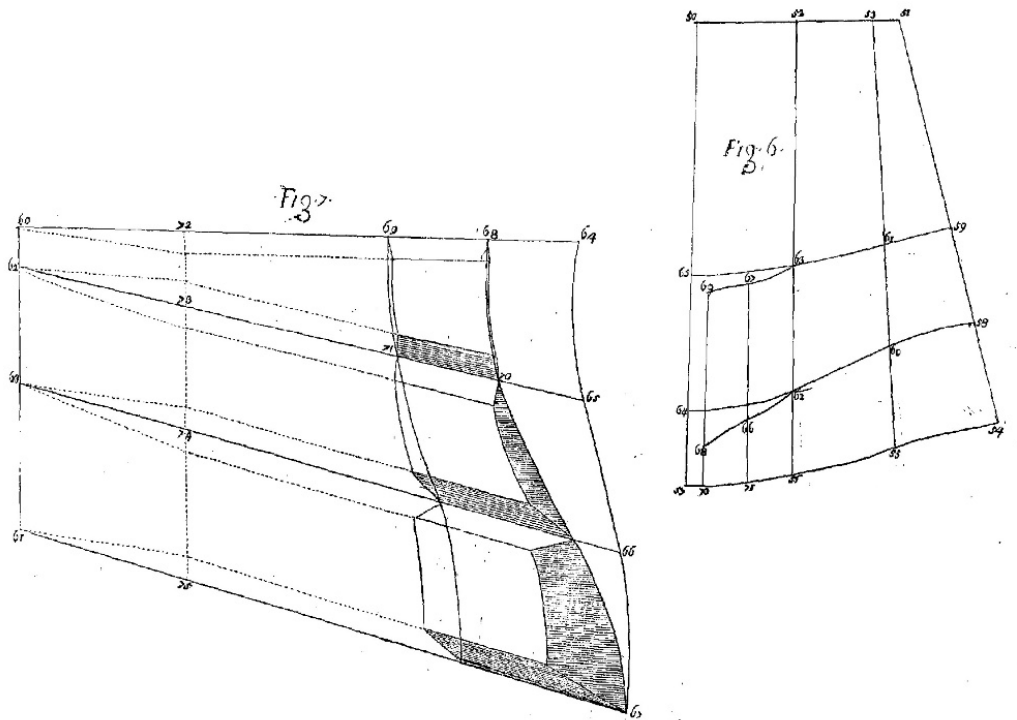


FIG. 87
G. Guarini,
Architettura civile,
1737. Figura 6 e 7.
Lastra IX. Trattato IV.
Sviluppo della
superficie di intradosso
e della superficie di
appoggio (a destra),
resa tridimensionale (a
sinistra)



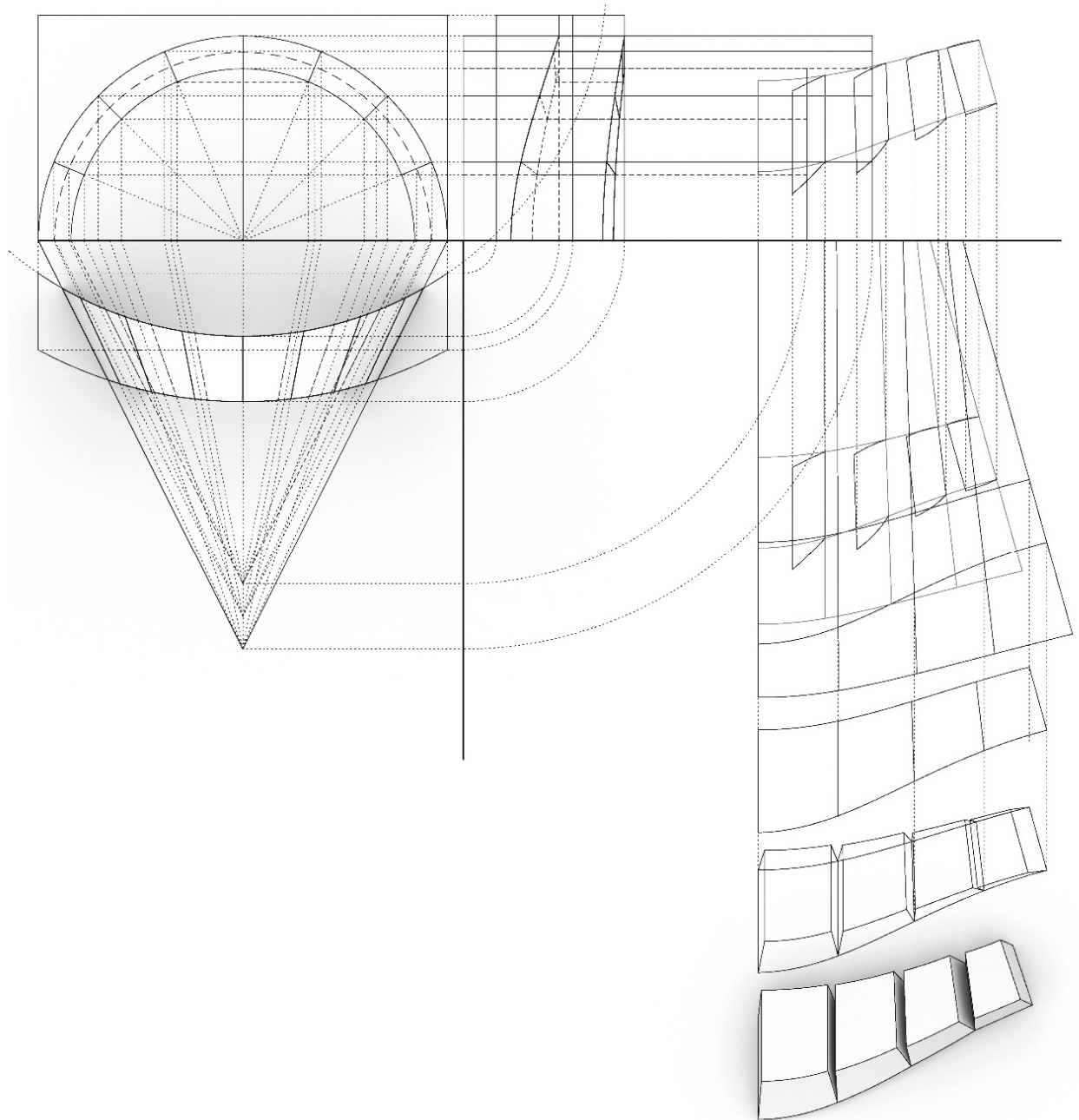


FIG. 88 Proiezioni ortogonali del caso svolto. A destra sviluppi della superficie interna ed esterna, della superficie laterale. In basso i conci come se fossero distasi su un piano. Elaborazione digitale.

Come anticipato, questa è una operazione errata da un punto di vista geometrico: permane tuttavia nella pratica dei cantieri aeronavali la necessità di usare elementi metallici tali da avvolgere, ad esempio, la superficie di uno scafo. In riferimento al cono-cuneo di Wallis, in realtà si tratta del medesimo procedimento ma con la sostituzione del materiale ligneo con quello metallico, e dal conseguente aggiornamento tecnologico-dimensionale. Ne deriva quindi la necessità di produrre elementi piani tali che, posti in opera nella realtà del cantiere navale, diventino delle superfici non sviluppabili, contemplando minime deformazioni. Tale processo ha generato degli algoritmi all'interno dei software CAD i quali, per via iterativa, 'stendono in piano' generiche superfici.⁶⁴

Contemporaneamente al processo bidimensionale, l'esercizio è completato da Guarini con la rappresentazione della superficie compresa tra le due superfici cilindriche: si tratta di riportare, lungo le generatrici appena trovate, le distanze tra la direttrice rettilinea (asse x) e i punti di intersezione, sul piano orizzontale, tra le generatrici e la proiezione delle superfici cilindriche (FIG. 87).

Come da schema generale, Guarini trova le superfici laterali di ogni concio, per poi produrre la resa tridimensionale dei conci disposti su un piano. Come la precedente, anche questa operazione è impossibile: assegnato il vincolo di corrispondenza dei tratti di generatrice di estradosso, i conci non possono rimanere in appoggio sul piano (FIG. 88).

Quali sono state le applicazioni di questo arco all'interno dell'opera guariniana? A livello stereotomico, l'applicazione più evidente è quella dell'arco nella muratura di separazione tra la cappella della Sacra Sindone e l'abside della cattedrale di San Giovanni Battista (FIG. 96). La cappella si imposta su un ambiente a base circolare, mentre la proiezione dell'arco sul piano verticale tangente alla circonferenza è un'ellisse⁶⁵. Franco Rosso ha dimostrato, attraverso un rilievo personale, che le generatrici dell'arco appartengono a piani orizzontali: ne si ricava quindi una porzione di conoide, il cui piano di imposta è spostato verso il pavimento dell'aula.

L'analisi del rilievo ad alta definizione di uno degli archi ellittici che compongono il 'cestello' della cupola, porta a ipotizzare anche per la loro configurazione un'origine conoidica, tale argomento verrà approfondito nel quarto capitolo.

⁶⁴ Attraverso un processo di scambio informativo è stato previsto il passaggio automatizzato delle informazioni dall'ambiente Autodesk Dynamo, il quale non possiede alcun tool di sviluppo avanzato, al plugin Grasshopper per Rhinoceros. In questo software la superficie è stata sviluppata nel piano con lo strumento *Unroll*. La superficie risultante conterrà inevitabilmente delle discrepanze percentuali rispetto alla superficie originale. Per il caso di esempio, questa risulta maggiore di un valore pari a 4.6%.

⁶⁵ F. Rosso, *Guarino Guarini stereotomista*, in G. Dardanella *et al.* (a cura di), *Guarino Guarini*, Umberto Allemandi & C., Torino 2006, pp. 309–321.

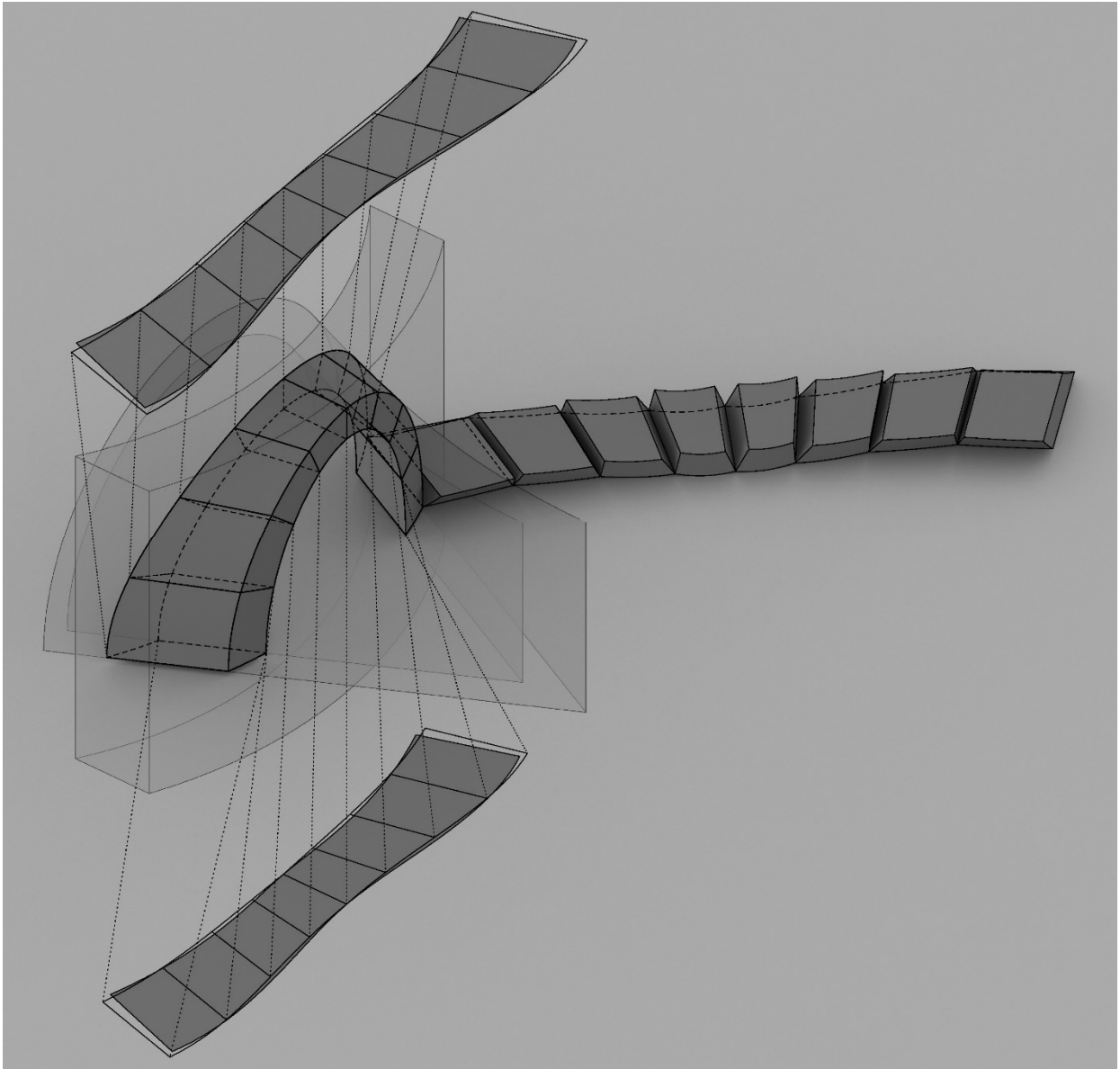


FIG. 89 Esploso assometrico del caso 4.4.6. Dal centro, arco ad intradosso conoidico, ottenuto dall'intersezione di un conoide con un cilindro perpendicolare al suo asse. In alto e in basso sviluppo di estradosso e intradosso e confronto con la superficie ottenuta tramite strumento CAD. A destra i conci come se fossero distasi su un piano orizzontale.

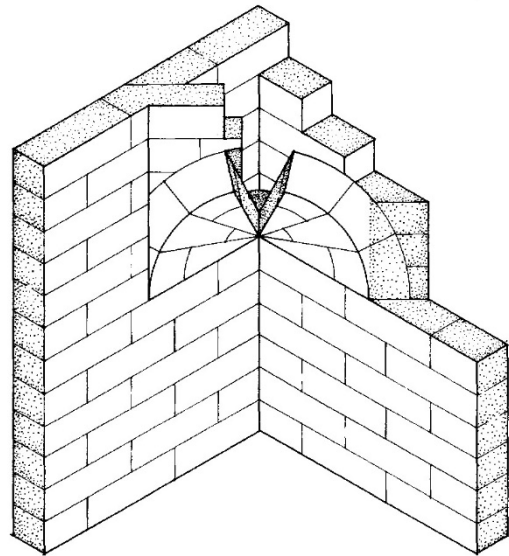
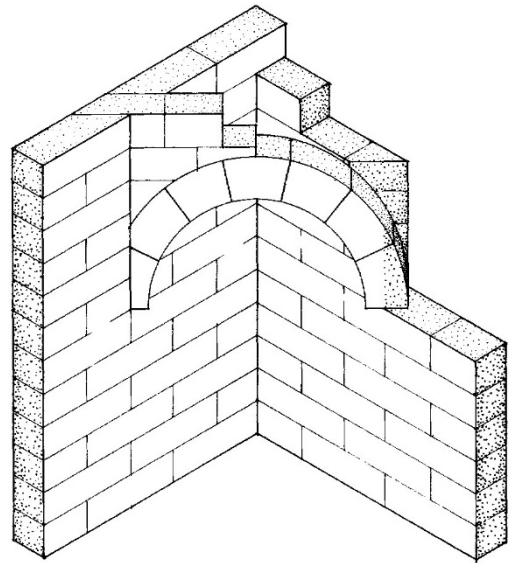


FIG. 90 S. L. Sanabria, *From Gothic to Renaissance Stereotomy* [...], 1989.
Trasformazione da arco angolare a pennacchio conico (*trompe*)

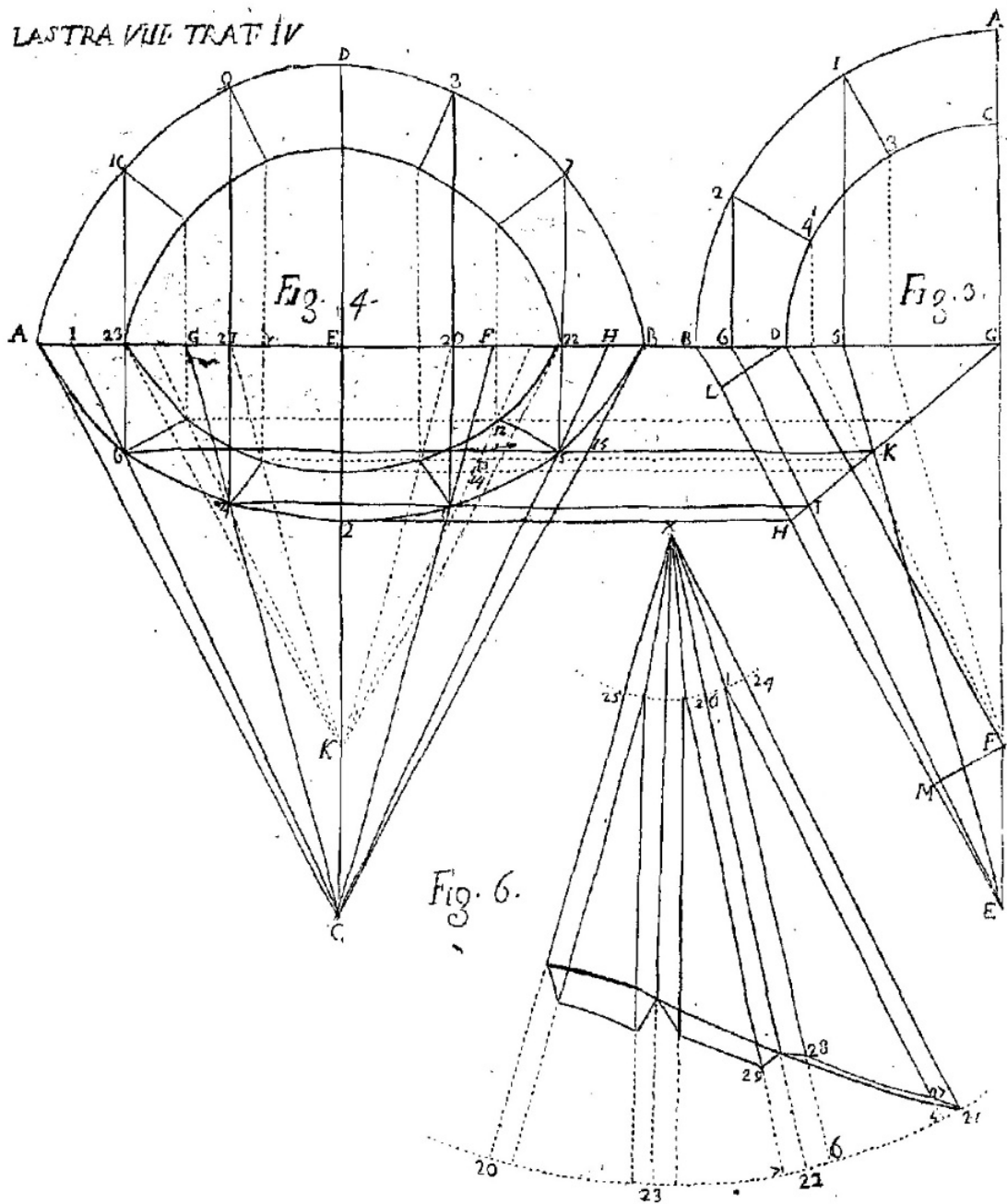


FIG. 91
 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737.
 Lastra VII. Trattato IV. Caso
 stereotomico di un cono intersecato da
 una superficie verticale. Esempio di
 sviluppo della superficie conica attraverso
 un sistema di orientamento radiale.

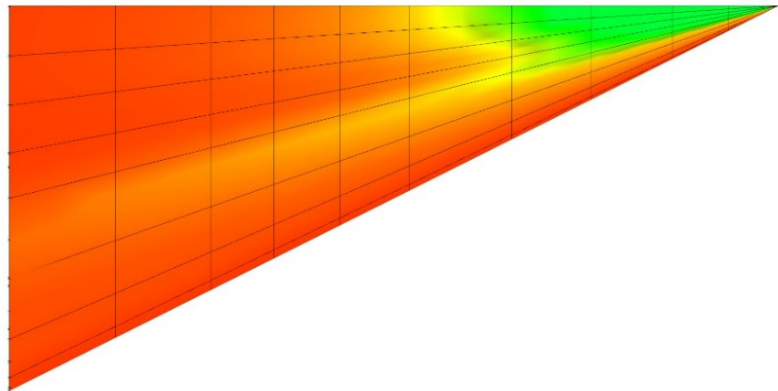
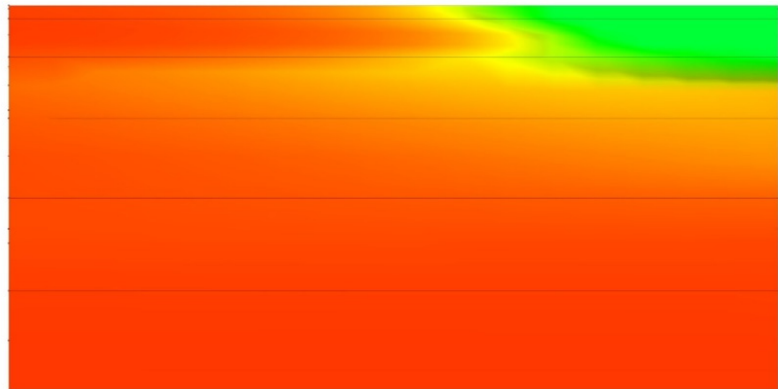
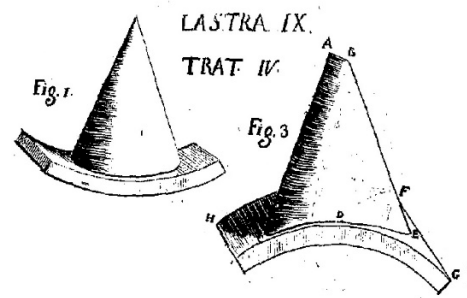
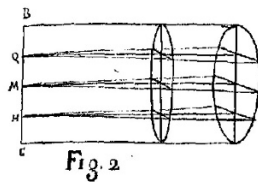


FIG. 92
 Analisi della curvatura
 Gaussiana per la superficie
 esterna del conoide studiata nel
 caso presentato. La variazione
 maggiore è presente in
 prossimità della direttrice
 rettilinea.

FIG. 93
 G. Guarini, *Architettura civile*,
 1737. Lastra IX. Trattato IV.
 Visualizzazione del “cono che
 termina su una linea” e dei casi
 stereotomici descritti nel
 trattato.



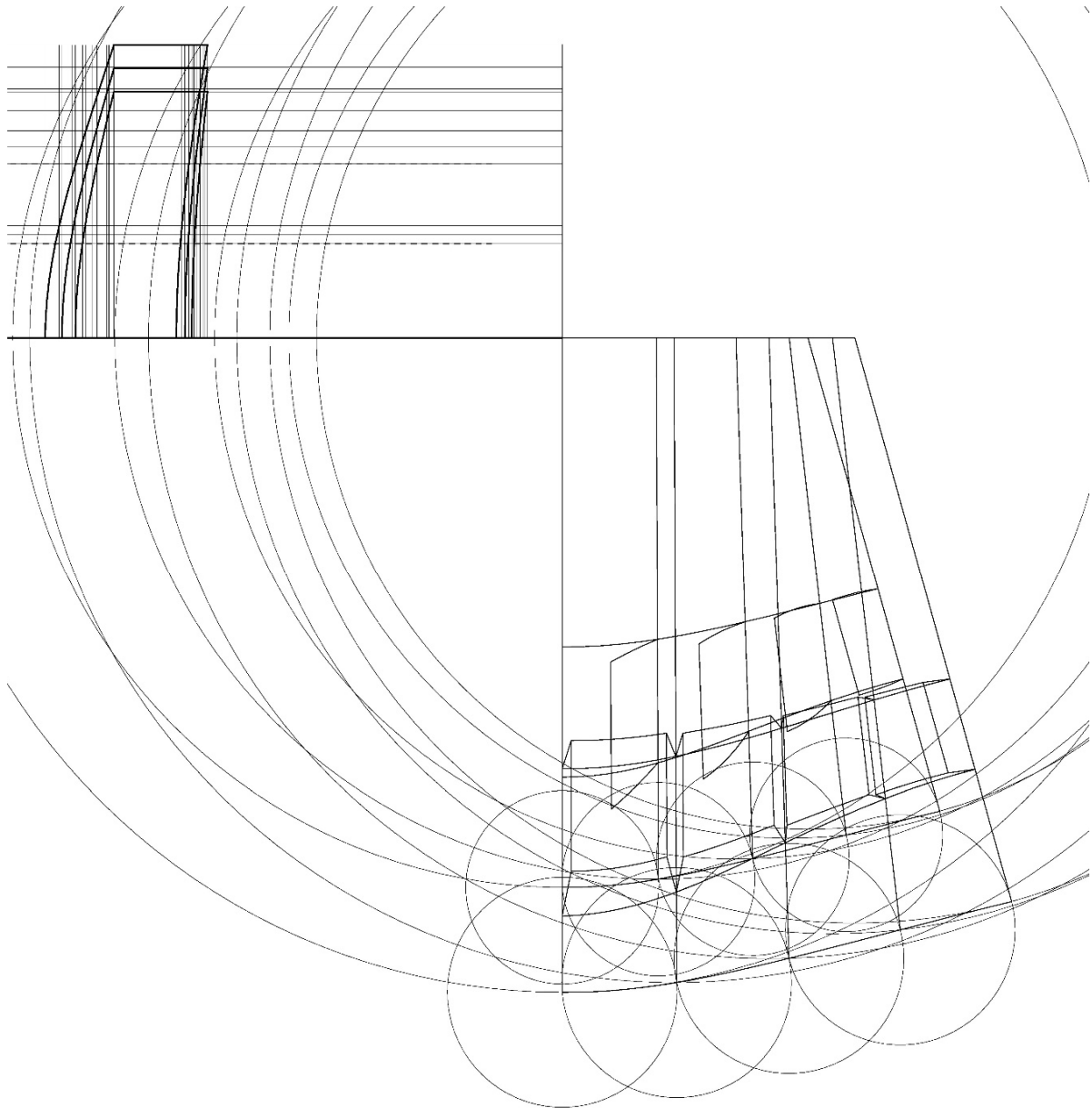


FIG. 94
Visualizzazione del risultato dello script durante il suo funzionamento. A destra il grafico cartesiano 'misto' in cui vengono calcolati gli sviluppi della superficie interna e esterna all'intersezione di due serie di circonferenze. Elaborazione digitale.

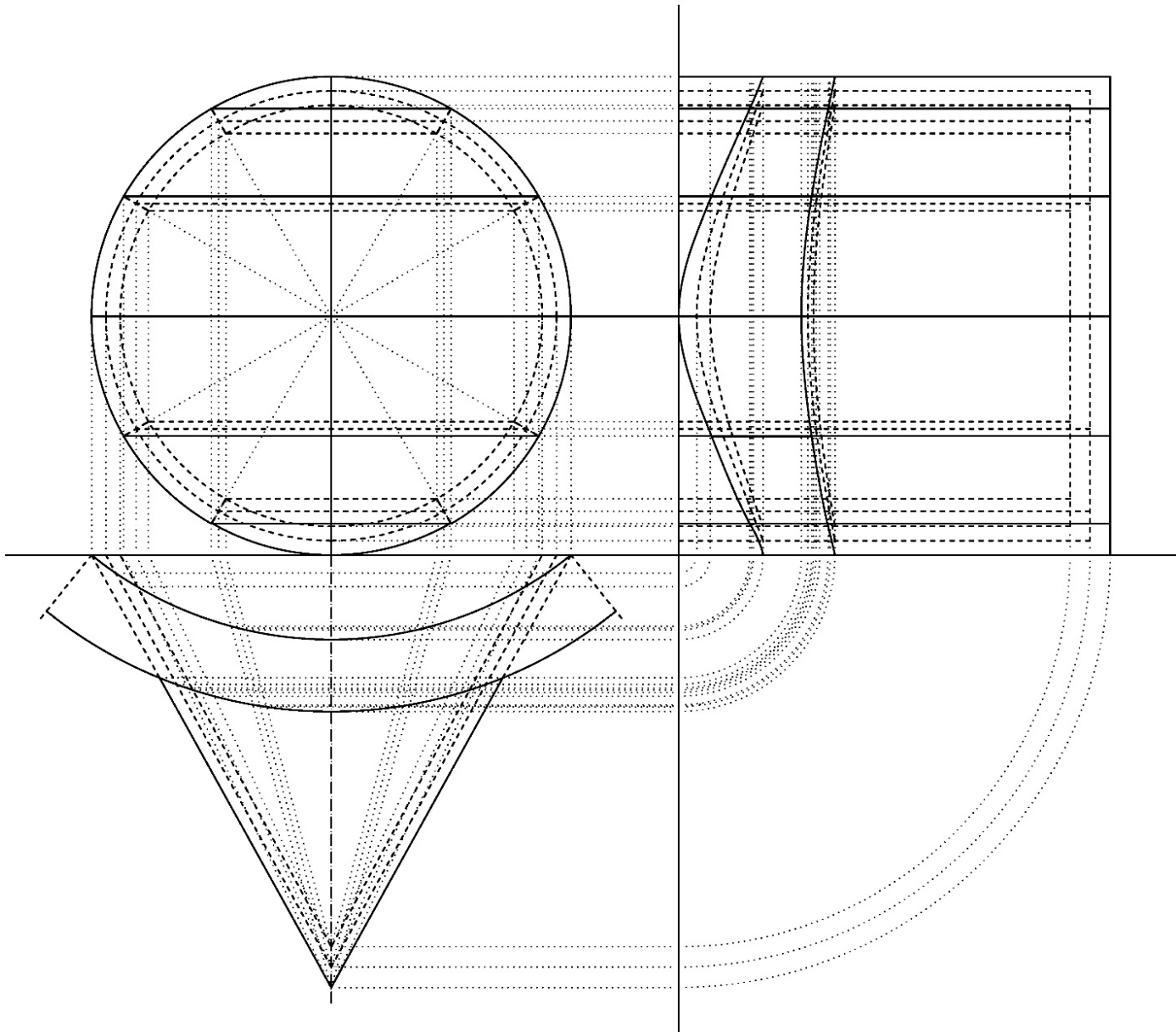


FIG. 95
Proiezioni ortogonali di un conoide la cui
base appartiene al piano verticale,
intersecato con due superfici cilindriche,
ad asse verticale.

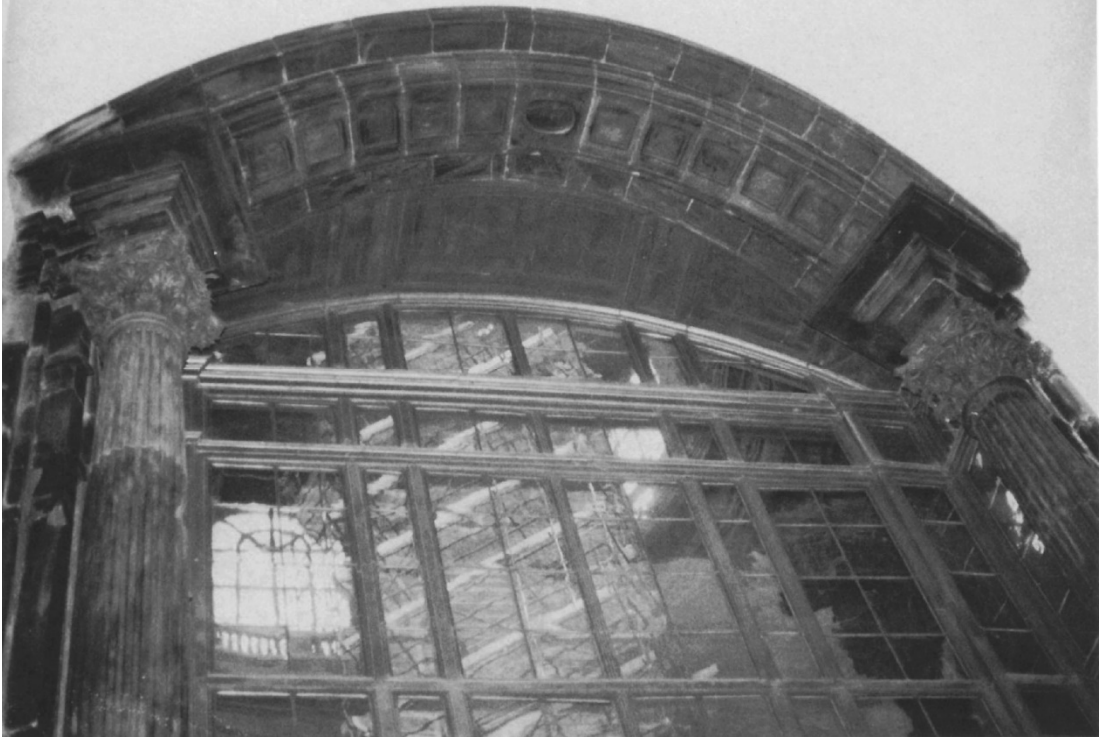


FIG. 96
J. B. Scott, Cappella della Sacra Sindone,
vista dell'arco di passaggio a intradosso
conoidico tra l'abside della cattedrale e la
cappella guariniana.

Il cestello della Cappella della Sacra Sindone in Torino



FIG. 97
Orcorte, E., c. 1993. Vista interna della
cappella della Sindone, Torino.

Il quarto capitolo di questo lavoro vuole sintetizzare gli approfondimenti teorici e metodologici dei capitoli precedenti. È qui individuata un'opera di Guarini che fosse rappresentativa della sua complessa personalità. Tale opera è indubbiamente la cappella della Sacra Sindone (FIG. 97), in cui il teatino riassume la questione geometrica quale 'strumento totale' della sua logica. L'attenzione analitico-matematica si concentra inevitabilmente sul celebre dispositivo chiamato 'cestello', che è anche l'unico episodio, ad oggi esistente, in cui l'autore ha applicato tecniche stereotomiche. Eppure individuare una definizione che faccia capo ad una nomenclatura geometrico-matematica consolidata in architettura non è semplice: infatti non è una 'cupola' poiché non presenta una continuità tale da giustificare una superficie voltata, essendo piuttosto generata, all'interno, dall'involuppo di teorie di archi; archi che si configurano pertanto come elementi di discontinuità che, pur permettendo alla luce di penetrare al suo interno, generano per Guarini una vera e propria 'querelle' strutturale, alla quale è possibile collegare una lettura simbolica e numerologica¹. Il ragionamento appena svolto assume valore anche se letto inversamente, diventando, simbolismo e numerologia, strumenti progettuali². Il teatino torna ad essere disorientante, e costringe a tornare sui nostri passi.

Qualsiasi sia l'interpretazione condivisa, l'edificio ha come cardine la geometria che in questo caso diventa 'taumaturgica': il meraviglioso offerto dal contrasto tra luce e archi marmorei porta con sé una novità³. Essa è anche la narrazione cattolica della figura del Cristo, con particolare riferimento alla sua morte. La sovrapposizione tra edificio e funzione è totale: la cappella nasce proprio per contenere una tra le più celebri reliquie della tradizione cristiana, il sudario con il quale il Cristo sarebbe stato avvolto nel sepolcro prima del più grande 'miracolo', la sua Resurrezione.

Per i fedeli il Sudario è un oggetto che diventa documento "[...] avendo per autore lo stesso re del cielo, per carta il lino, per inchiostro il sangue e per carattere le immagini"⁴. Janine Debanné comincia il suo saggio a partire dal concetto di rappresentazione e proiezione contenuto nel Sudario⁵. Questo avvolge la figura di Cristo⁶ (FIG. 98) esattamente nello stesso modo in cui Guarini descrive la superficie dell'*epure* stereotomico. Pare inoltre esserci un forte legame tra Sindone e concezione cosmologica, legata soprattutto all'astronomia e allo zodiaco⁷. Si tratta di

¹ M. Fagiolo, *La sindone e l'enigma dell'eclisse*, cit.

² Ibid.

³ Brusatin illustra il concetto di meraviglia come un elemento centrale del Seicento, prendendo ad esempio le opere kircheriane *Arca Noë* e *Turris Babel*. "L'opera di Kircher è in assoluto l'opera più appariscente della cultura scientifica seicentesca, storicamente più fertile delle accademie galileiana e newtoniana proprio perché si svolge in un eccesso di meraviglia che crede al miracolo perché ne intuisce l'amplificato meccanismo e non crede alla scienza tanto da farne una religione" in M. Brusatin, *La macchina della meraviglia*, cit.

⁴ E. Tesauro, *Panegirici*, Zanatta, Torino 1659. Come riportato in AA.VV., *Il potere e la devozione: la Sindone e la Biblioteca reale di Torino*, Electa, Milano 2000.

⁵ J. Debanné, *Surface and appearance in Guarino Guarini's SS. Sindone Chapel*, in *Chora*, n. 3, 1999, pp. 45–77.

⁶ M. Bevilacqua et al., *Rigor Mortis and News obtained by the Body's Scientific Reconstruction of the Turin Shroud Man*, in *Forensic Sci Today*, 2018, pp. 001–008.

⁷ S. Mamino, *Carlo Emanuele I e lo Zodiaco della Sindone*, in V. Comoli, G. Giacobello Bernard (a cura di), *Il potere e la devozione: la Sindone e la Biblioteca reale di Torino*, Electa, Milano 2000, pp. 29–46.

una sintesi tra la volontà di confermare l'unicità della reliquia e il desiderio di consacrare, con una simbologia cristiana, lo Zodiaco, che era legato a una nomenclatura pagana. Gli studiosi hanno individuato come punto di contatto la medicina astrologica di origine medievale, secondo la quale le pratiche di cura sono collegate agli organi dell'uomo zodiacale⁸.

Nella volontà politica dei duchi di Savoia, invece, la Sindone era un oggetto da custodire, proteggere, gestire e mostrare tramite ostensione. Allo stesso tempo, la reliquia è un bene utile a legittimare il ruolo della dinastia all'interno del sistema europeo, in un processo di traslitterazione tra il significato del sepolcro e il letto trionfale principesco. Sono questi i presupposti che portarono la casa Savoia a pensare ad una soluzione architettonica in cui ospitare la reliquia, dopo averla trasportata a Torino da Chambery nel 1587⁹ (FIG. 99): prima si pensò ad un tempietto o una rotonda all'interno del Palazzo Reale, poi ad una probabile cappella all'interno della cattedrale di San Giovanni Battista, duomo di Torino, o ad una soluzione nella piazza del castello. Si optò per una cappella nella zona absidale, ritenuta soluzione ideale, in quanto permetteva di erigere un edificio nell'area di pertinenza del potere temporale, in contatto con gli edifici ecclesiastici. La cerimonia di ostensione invece si svolgeva all'aperto e in luoghi separati dal perimetro del Duomo (FIG. 101), ma in costante relazione alle strutture del potere. La visibilità della cappella divenne allora una condizione necessaria per la casa ducale e, pertanto, la sua cupola doveva avere un'altezza maggiore di quella del duomo.

Nel tempo, vennero sottoposti alla corte sabauda alcuni progetti: un primo di Ascanio Vitozzi (1539-1615) e Carlo di Castellamonte (1571-1640) (FIG. 103), a cui seguì quello del figlio di quest'ultimo, Amedeo di Castellamonte (1613-1683); ma fu la proposta di Bernardino Quadri (1625?-1695) (FIG. 104), scultore di formazione, quella su cui ricadde la scelta della casa sabauda, mentre la sovrintendenza dei lavori fu affidata ad Amedeo di Castellamonte. I lavori ebbero inizio nel 1660, con la demolizione di alcune realizzazioni appartenenti al progetto di Vitozzi e Castellamonte. Tuttavia è documentato come¹⁰, a partire dal 1665, iniziarono ad apparire i primi dubbi sulla fattibilità della cupola. Il requisito di altezza imponeva una cupola progettata in maniera tradizionale, che presupponeva forti sollecitazioni all'imposta muraria. Il progetto venne interrotto prima del 30 aprile 1667, giorno in cui venne commissionato un modello ligneo che seguisse un *nuovo* disegno. Si trattava del progetto del Guarini, giunto a Torino da Parigi nell'autunno del 1666.

⁸ Ibid.

⁹ G. Dardanello, *Progetti per le prime cappelle della Sindone a Torino*, in M. Masoero *et al.* (a cura di), *Politica e cultura nell'età di Carlo Emanuele I*, Olschki 1999, pp. 345–363.

¹⁰ L. Tamburini, *I luoghi della Sindone*, in V. Comoli, Gi. Giacobello Bernard (a cura di), *Il potere e la devozione: la Sindone e la Biblioteca reale di Torino*, Electa, Milano 2000, pp. 89–96.



FIG. 98
Giovanni Luigi Valesio, *Cristo adagiato
nella Sindone*, prima del 1615. Artstore,
The Illustrated Bartsch Collection.

Occorre quindi considerare che non si trattò di un progetto *ex-novo*, quanto di un intervento su un edificio in parte realizzato. La fabbrica della cappella fu impostata su base circolare, con murature di certo non adeguatamente dimensionate per resistere alle sollecitazioni di progetto. Già nella prima metà del Seicento, per rispondere adeguatamente a tali spinte vennero utilizzate regole grafiche desunte dall'esperienza cantieristica e strutturale. Una di queste è presente anche nel trattato stereotomico di François Derand. Occorre aspettare la fine del secolo, con Philippe de la Hire (1640-1718) e Pierre Varignon (1654-1722) per la prima introduzione del concetto di forza¹¹, e poi la formalizzazione del principio di composizione vettoriale¹².

Ma veniamo all'apporto operativo del Guarini: dei progetti precedenti mantenne una porzione delle murature e l'impianto delle colonne marmoree, in modo da rispondere in breve tempo alle esigenze costruttive dei principi. Nella transizione tra l'aula inferiore e il tamburo, al di sopra delle murature del primo livello, inserì tre archi ellittici, ottenuti dall'intersezione di una porzione di superficie toroidale, a sezione ellittica, e un cilindro, a direttrice ellittica. La quota di imposta di detti archi è di 12.60m. A quota 19.28m – dunque al di sopra degli archi – troviamo l'imposta del tamburo cilindrico, che si erge fino ad un'altezza di 12.82m e dove si aprono sei finestroni ad architrave circolare, che anticipano altrettante imbotti coniche verso l'esterno¹³. Se consideriamo le sei chiavi degli archi finestrati, queste formano, alla quota di 32.11m dalla pavimentazione della cappella, un esagono ideale, che risulta essere la base di un prisma contenente al suo interno sei archi ellittici, uno per lato. Questa è la prima di 6 teorie di archi ad altezza decrescente che portano alla creazione di ciò che viene nominato 'cestello'¹⁴ (FIG. 97). Si tratta di un nuovo tipo architettonico in ambito europeo, che permette di ridurre le sollecitazioni sulle murature ad ogni livello, anche grazie all'inserimento di un sistema di tiranti metallici, impostati su base esagonale, in grado di assorbire le spinte laterali; all'esterno, il sistema di archi litici viene affiancato da una muratura, su base circolare e a profilo sinusoidale, e da una serie di murature radiali dal profilo curvilineo (FIG. 102). Si ottiene così un sistema strutturale triplice, di difficile comprensione e traduzione tanto grafica quanto analitica. Per questo, il presente capitolo si concentrerà nella definizione delle attività di rilievo e di restituzione BIM del cestello, tali da permettere una organizzazione del modello sia su base geometrica che temporale, processo che nella pratica attuale è conosciuto come Virtual Design and Construction (VDC), in grado di ordinare le fasi costruttive dell'opera.

¹¹ AA.VV., *Philippe de la Hire*, cit.

¹² A. Sinopoli, *Il problema dell'equilibrio da Aristotele a Varignon*, cit.

¹³ F. Rosso, *Guarino Guarini stereotomista*, cit.

¹⁴ Il termine 'cestello' è un termine utilizzato soprattutto nelle pubblicazioni di ambiente piemontese. In particolare tale termine non si ritrova nelle monografie dedicate a Guarini di Mario Passanti e Nino Carboneri, ma viene citato invece per descrivere le coperture della chiesa di San Lorenzo e della cappella della Sindone da Cavallari Murat, in A. Cavallari Murat, *Struttura e forma nel trattato architettonico del Guarini*, cit. L'espressione risulta particolarmente adatta nel caso della cappella della Sindone in opposizione al vocabolo 'volta', che è legato ad una porzione di edificio, generalmente a profilo curvilineo, costituita da elementi in laterizio o materiale lapideo, determinanti il suo spessore.

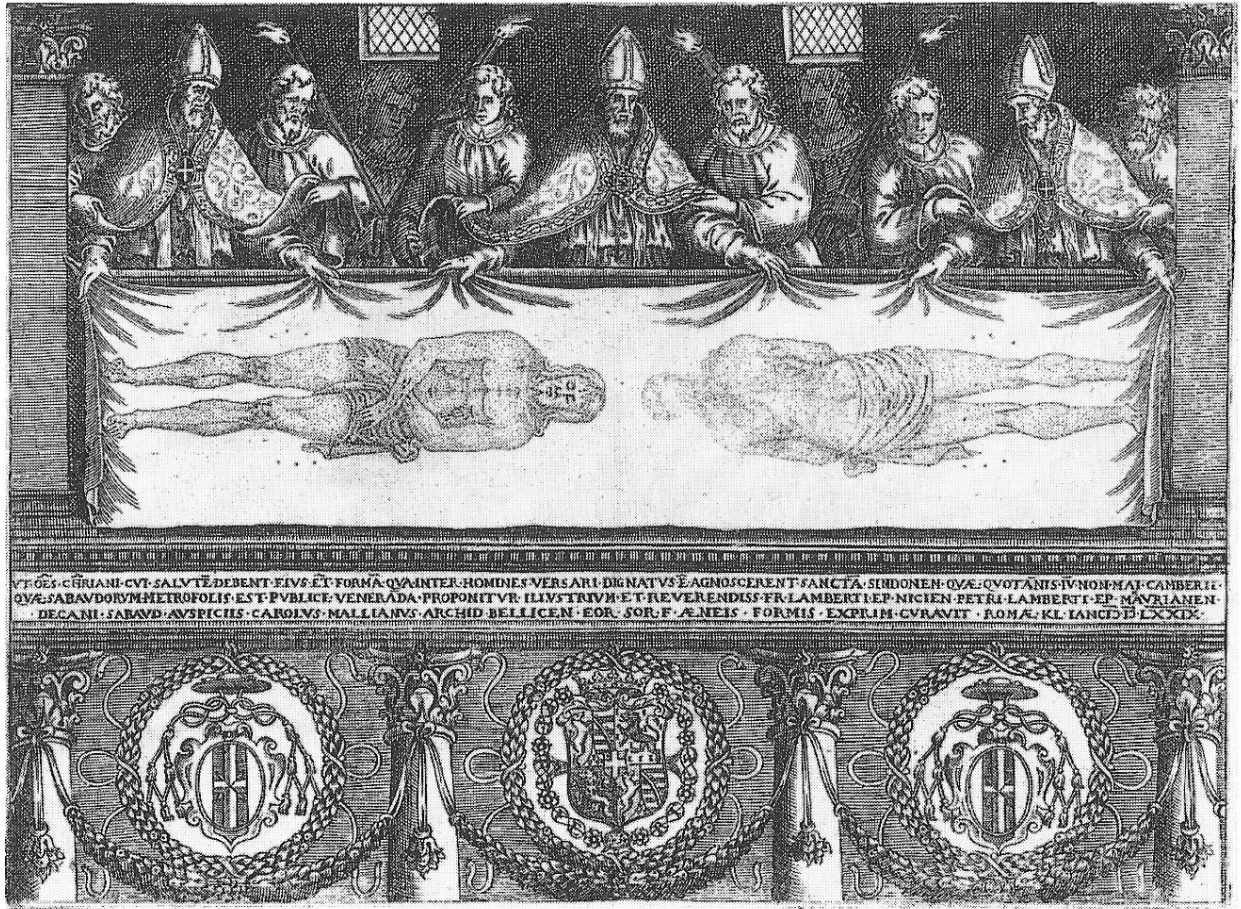


FIG. 99

Anonimo, *Ostensione della Sindone*, 1579.

La tavola intende celebrare la memoria dell'avvenimento dell'ostensione della Sindone, a Chambéry, il 4 maggio di ogni anno, prima dello spostamento a Torino.

Il cestello della Cappella della Sacra Sindone in Torino

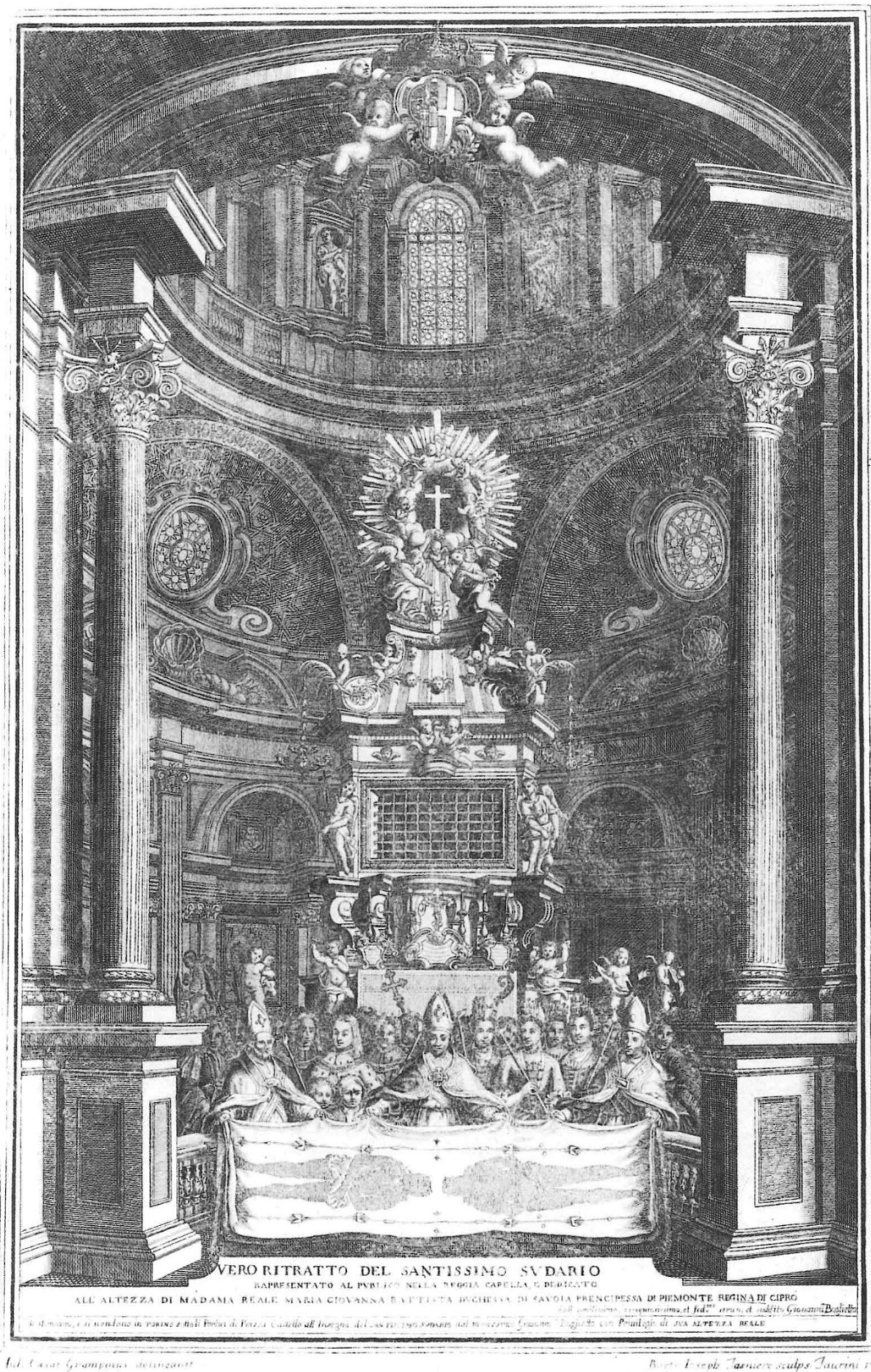
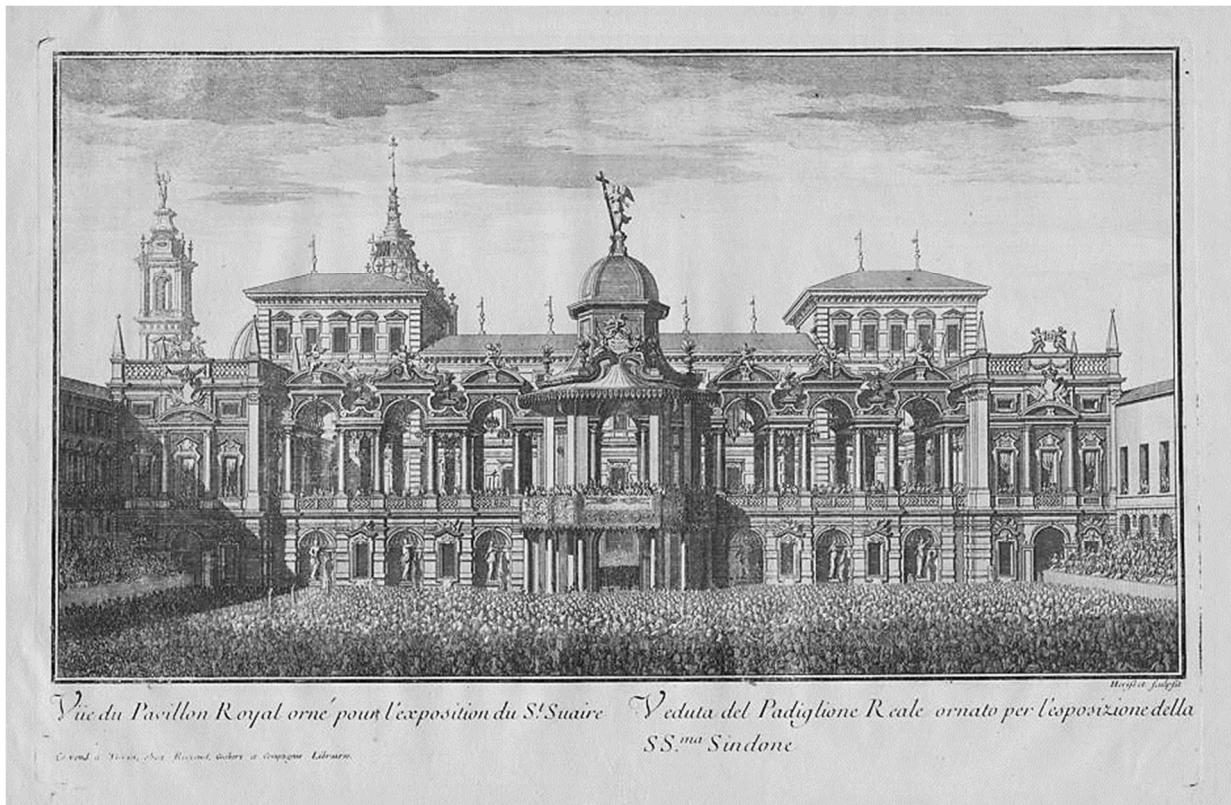


FIG. 100

Giuseppe Bartolomeo Tasnière (su disegno di Giulio Cesare Grampin), *Veduta dell'interno della cappella della Sindone in occasione dell'ostensione del 4 maggio 1703*. 1703. Biblioteca Reale, Torino, S II 80.

FIG. 101

Antoine Hérisset, *La Suntuosa Illuminazione della Città di Torino per l'Augusto Sposalizio delle Reali Maestà di Carlo Emmanuele Re di Sardegna e di Elisabetta Teresa Principessa Primogenita di Lorena con l'aggiunta della pubblica Esposizione della Santissima Sindone*. 1737. In particolare si veda come l'altezza della cappella della Sindone sia paragonabile con il campanile della cattedrale e non con la sua cupola.



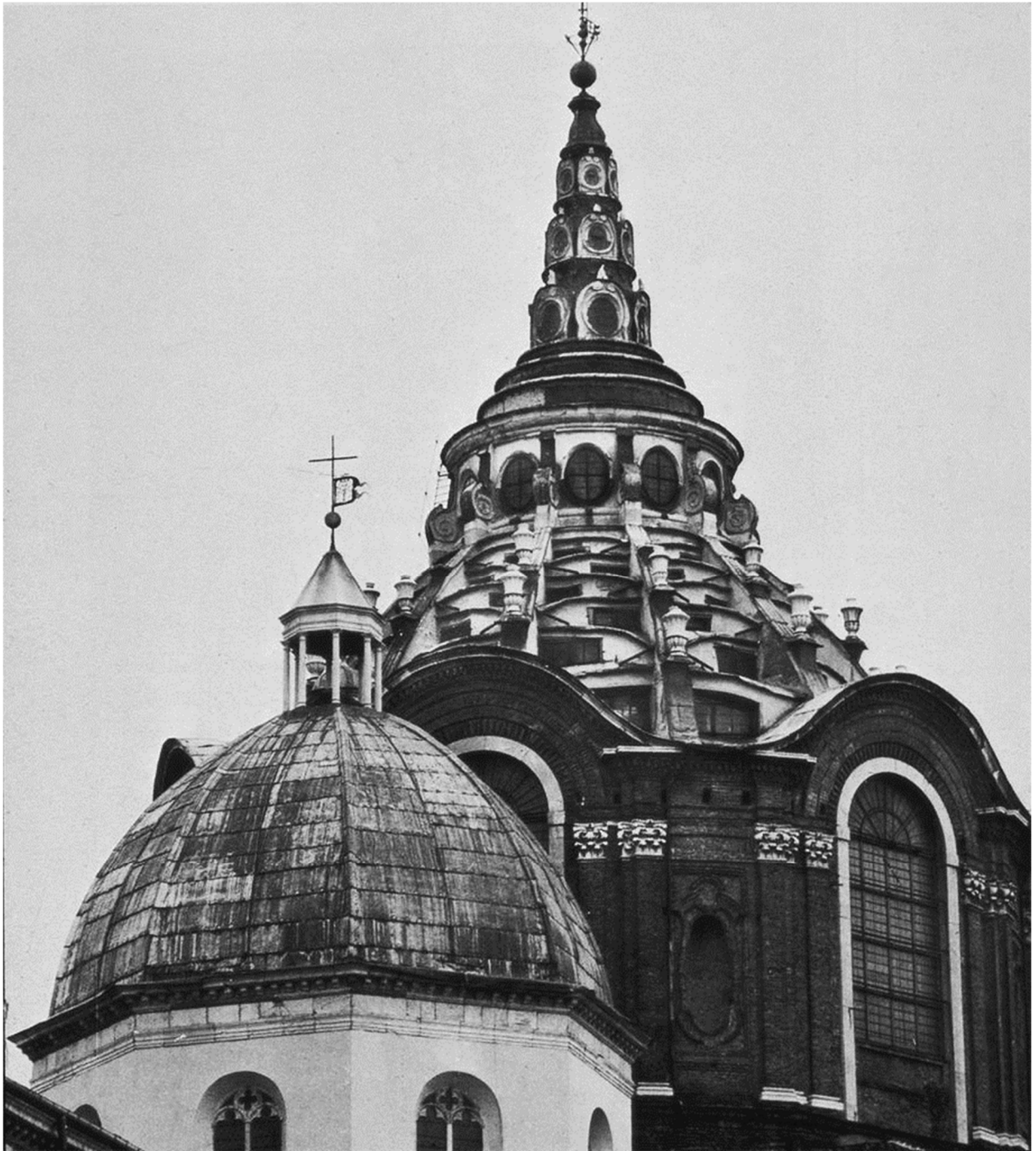


FIG. 102
Vista esterna della cappella della Sindone
a cui si antepone la cupola della cattedrale.

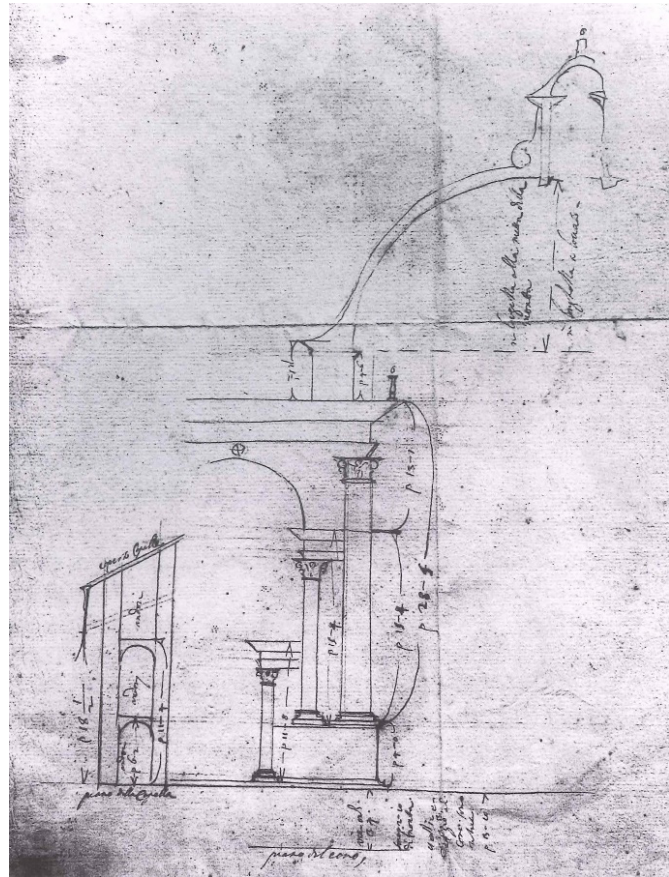


FIG. 103
Carlo di
Castellamonte,
*Sezione di progetto
della cappella della
Sindone, 1621.*
Fondazione
Umberto II e Maria-
Jose di Savoia,
Losanna.

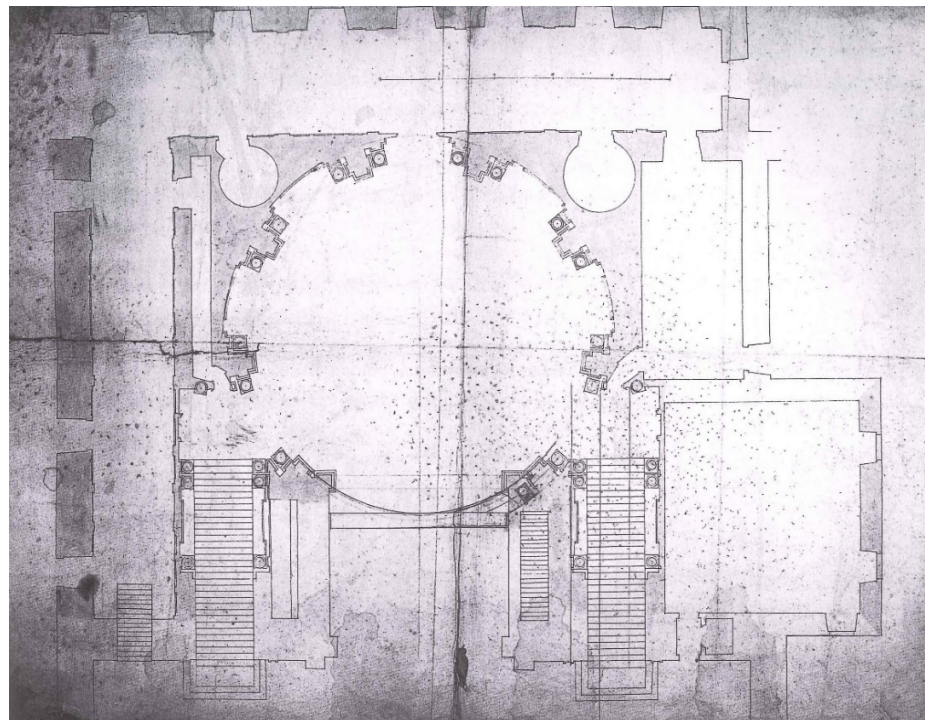


FIG. 104
Bernardino Quadri,
*Pianta del progetto
per la cappella della
Sindone,*
c. 1655. Biblioteca
Reale, Torino.

Il cestello della Cappella della Sacra Sindone in Torino

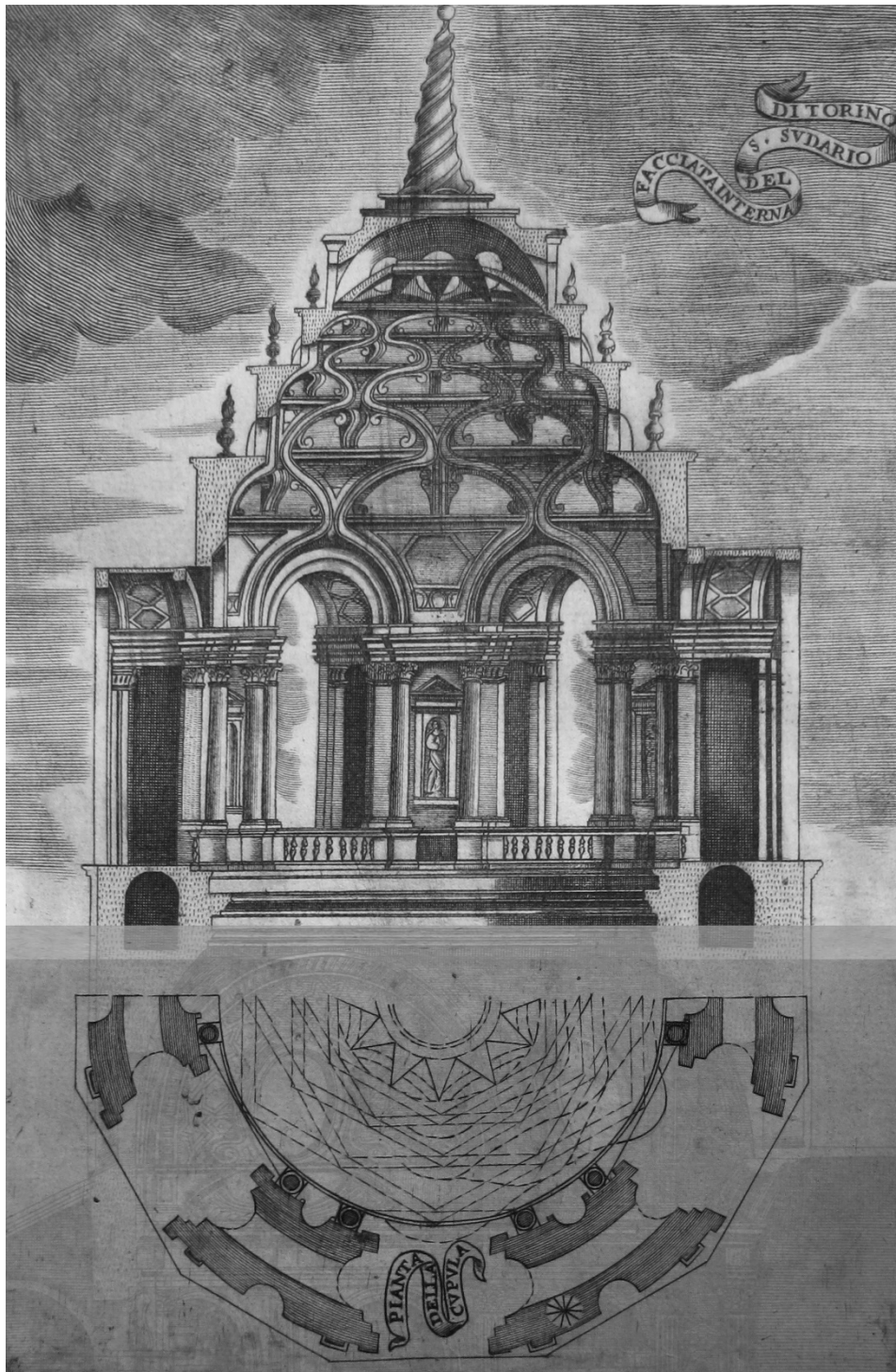


FIG. 105
Pianta e sezione della cappella della
Sindone, presi da G. Guarini, *Disegni
d'Architettura civile ed ecclesiastica*, 1686.
Biblioteca Reale, Torino.

Le informazioni sulla fabbrica della Sindone

L'incendio che ha colpito la cappella nell'aprile del 1997 ha reso impossibile un accesso diretto all'edificio, il cui restauro è in fase di completamento, al momento della stesura di questo capitolo. Di conseguenza non è stato possibile adeguare i rilievi analogici già disponibili alla precisione di quelli eseguibili con strumentazioni digitali, che garantirebbero una conoscenza accurata della geometria dell'edificio. Diventa così importante raccogliere i documenti e le restituzioni, che consentono l'accuratezza delle informazioni: l'edificio è infatti altrimenti di difficile interpretazione se non ricorrendo a molte sezioni orizzontali e verticali.

La documentazione grafica di progetto è allocata in tre diversi assi archivistici. Il primo è la pubblicazione dei disegni per il volume *Theatrum statuum regiae*¹⁵, in cui vengono rappresentati geometricamente i possedimenti sabaudi fino alla seconda metà del 600. Il volume viene pubblicato nel 1682 e presenta, tra le altre, una vista planimetrica (FIG. 106) e una sezione (FIG. 107) di Tommaso Beronio, accompagnate da una descrizione testuale. Le tavole riguardano una fase progettuale iniziale, probabilmente legata al modello ligneo prodotto nel 1666. Il sistema di archi su base esagonale è già presente, in numero di 7 file sovrapposte¹⁶, ma le differenze più evidenti risultano nella conclusione dello spazio superiore con lanterna e la forma ellittica delle finestre, in corrispondenza di ogni arco litico. Questa scelta progettuale pose indubbiamente molte criticità, in quanto non permetteva l'inserimento dell'elemento orizzontale di ogni arco presso cui installare la catena metallica.

Nel 1686, a tre anni dalla morte del teatino, viene pubblicata l'opera *Disegni d'architettura civile et ecclesiastica*, con 44 incisioni, che formeranno più tardi le illustrazioni de *l'Architettura Civile*, una volta integrate dei contenuti geometrici e stereotomici. La fase progettuale è qui certamente più avanzata, e la comunicazione visiva migliorata dalle proiezioni degli archi, sul piano orizzontale e con linea tratteggiata (FIG. 105). Nella planimetria che mostra i 3 accessi all'aula sono proiettate le 3 arcate di passaggio tra lo spazio di calpestio e il tamburo, mentre in una vista aggiuntiva è presentata una planimetria al livello delle finestre del tamburo, con il sistema di cinque file di archi e un oggetto stellato in sommità. L'elevato si presenta concorde con le indicazioni in pianta.

¹⁵ J. Blaeu, *Theatrum statuum regiae celsitudinis Sabaudiae ducis, Pedemontii principis, Cypri regis [...]*, hæredes Ioannis Blaeu, Amsterdam 1682.

¹⁶ John Beldon Scott ritrova come la descrizione parli di 5 ordini di archi nella cappella, mentre l'incisione presenta una situazione differente. J. Beldon Scott, *Seeing the Shroud: Guarini's Reliquary Chapel in Turin and the Ostension of a Dynastic Relic*, in *The Art Bulletin*, n. 77, 4, 1995, pp. 609–637.

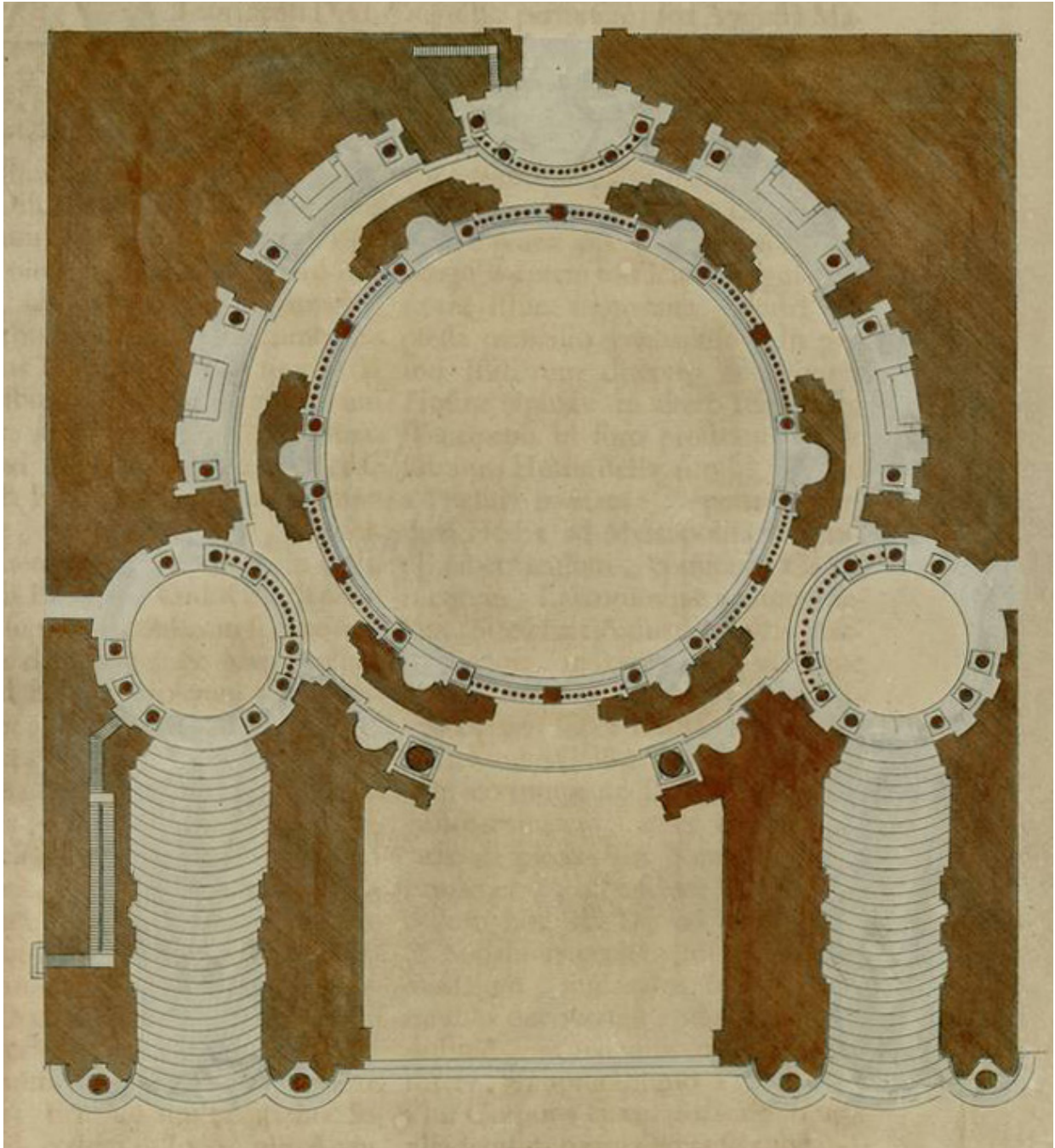
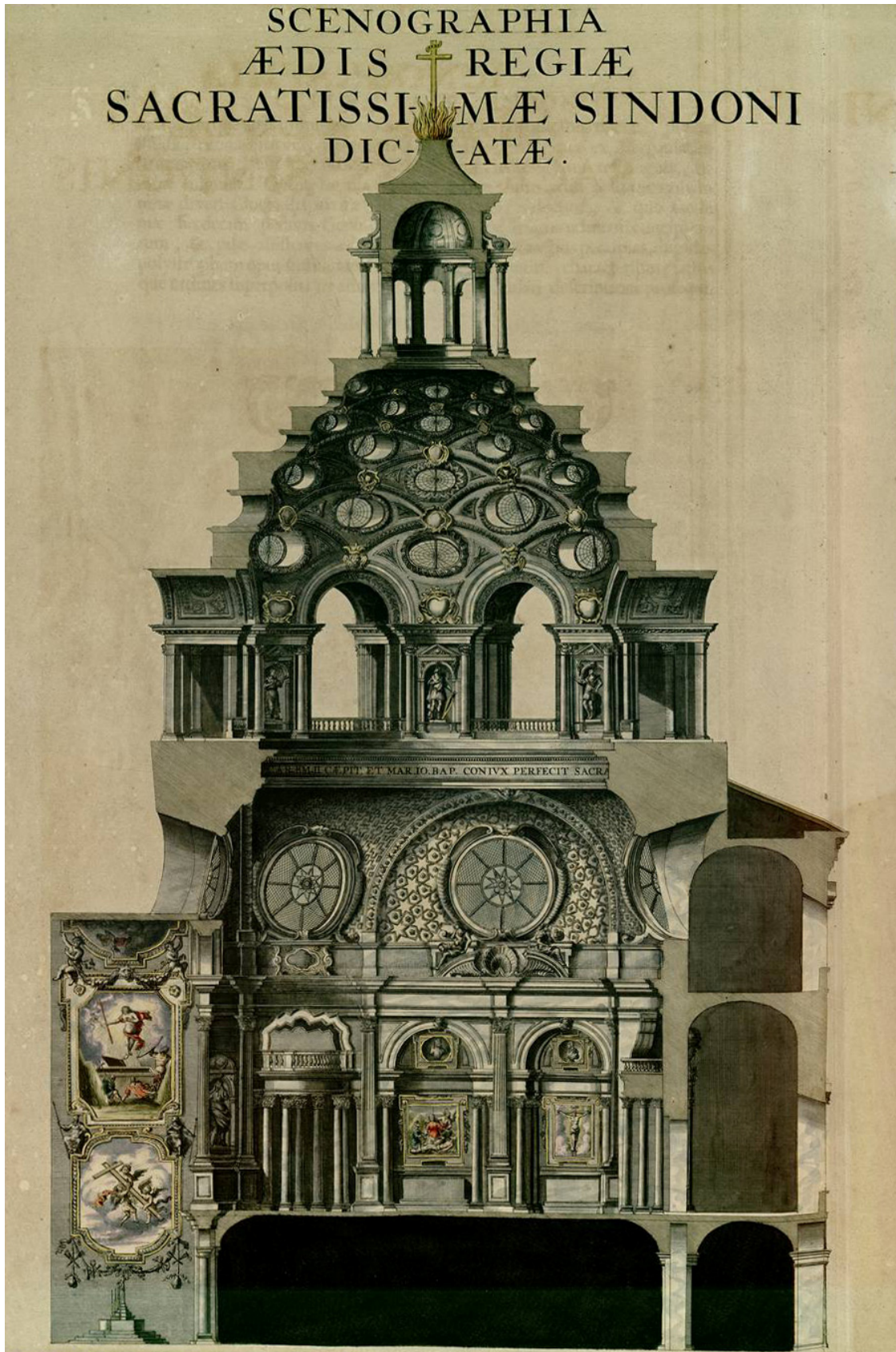


FIG. 106
Tommaso Bergonio, *Scenographia Aedis Regiae Sacratissimae Sindoni dicatae*, in *Theatrum statuum regiae [...]*, 1682.

FIG. 107
Tommaso Bergonio, *Incographia Aedis Regiae Sacratissimae Sindoni dicatae*, in *Theatrum statuum regiae [...]*, 1682.



Un'ultima e decisiva rappresentazione si trova invece in un documento autografo di Guarini¹⁷, in cui è esplicito – come già anticipato – il ragionamento ‘seriale’ con cui viene generato il sistema di archi¹⁸ (FIG. 108). Si tratta di un disegno geometrico preparatorio, su carta con inchiostro porpora, che illustra la proiezione sul piano orizzontale di una porzione del ‘cestello’ – un sesto – a partire dalla sezione di un finestrone del tamburo¹⁹. In corrispondenza della proiezione della chiave dell’arco di detto finestrone, si trova la proiezione del vertice di un triangolo, che sappiamo essere il punto di appoggio di due archi. Se immaginassimo di completare tale disegno, attraverso una reiterazione radiale di questa costruzione, la figura ottenuta sarebbe appunto quella di un esagono inscritto in una circonferenza di raggio pari al tamburo. Nella mezzeria dei due archi si trova un ulteriore arco, dalla cui chiave ne dipartono altri due, e così via, fino ad ottenere un totale di sei elementi. La lettura del sistema è agevolata dallo schizzo a matita di quello che potremmo considerare il ribaltamento sul piano orizzontale del secondo ordine di archi verticali, che costituiscono l’apertura ellittica²⁰ che va a reiterarsi per creare il ‘cestello’.

Ultimato nel 1693 l’altare centrale di Antonio Bertola (1647-1715) (FIG. 117), la cappella può dirsi completata. Come anticipato nell’introduzione, la scarsa fama di Guarini fino agli anni ‘30 del Novecento non ha permesso nessuna campagna di rilievi e studi sulle opere realizzate. Il primo rilievo a disposizione per il pubblico degli studiosi è presente nel volume di Mario Passanti²¹, in cui nel capitolo dedicato alla cappella, lo studioso presenta una serie di restituzioni: piante a vari livelli, una sezione, una serie di dettagli degli elementi costruttivi, quali porte, finestre, cornici architettoniche. Successiva a questa edizione, non ci sono altre pubblicazioni che rendano evidenti altre campagne di rilievo. Invece, sono molteplici gli studi che ne affrontano la consistenza geometrica.

¹⁷ J. Beldon Scott, *Architecture for the Shroud: Relic and Ritual in Turin*, 2003.

¹⁸ Il disegno guariniano è stato ampiamente analizzato e ridisegnato in G. Dardanello, *La costruzione della visione nella cappella della Sindone*, in G. Dardanello et al. (a cura di), *Guarino Guarini*, Umberto Allemandi & C., Torino 2006, pp. 59–85.

¹⁹ Nel disegno si può notare che il sistema geometrico basato su una suddivisione dell’angolo giro centrale coinvolge anche le colonne dei finestroni.

²⁰ Il disegno rappresenta il numero di archi come costruito, tuttavia la configurazione delle aperture è quella già descritta da Tommaso Bergonio per il J. Blaeu, *Theatrum statuum regiae celsitudinis Sabaudiae ducis, Pedemontii principis, Cyprici regis [...]*, cit.

²¹ M. Passanti, G. Guarini, *Nel mondo magico di Guarino Guarini*, cit.

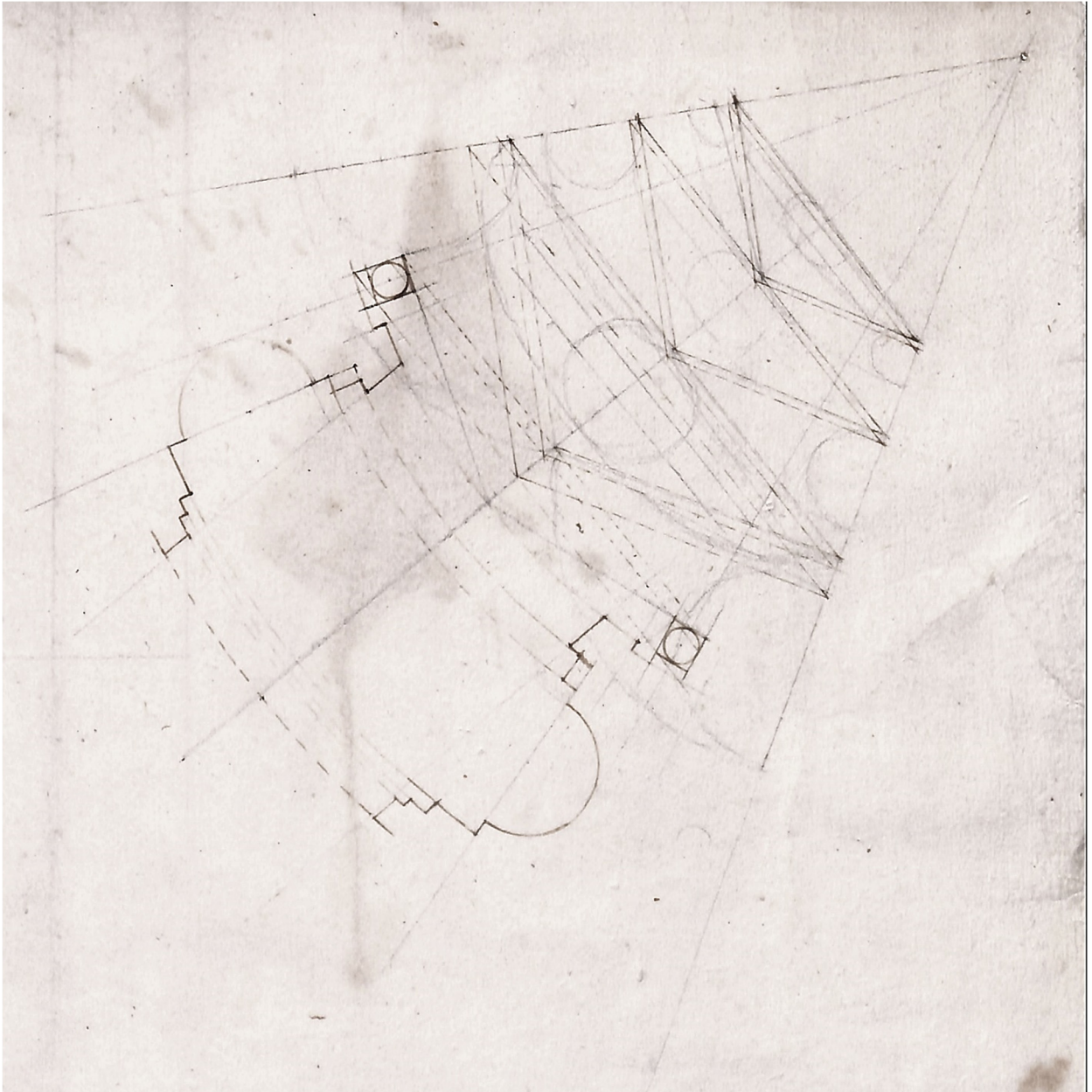


FIG. 108
G. Guarini, *Studio di un settore del tamburo e della cupola per la cappella della Sindone*, 1675. Archivio di Staio, Torino. Archivio Savoia, Carignano, cat. 95, mazzo 2, fase. 124.

Un rinnovato interesse scientifico è rintracciabile in alcune indagini operate con la tecnica fotogrammetrica analogica, per offrire una restituzione accurata e continua dell'edificio e delle sue parti²². Le campagne fotografiche diventano così un documento fondamentale per quanto riguarda la conoscenza dell'edificio, ultima testimonianza viva delle condizioni dell'edificio prima dell'incendio del 1997.

Queste rappresentano un'ulteriore occasione di studio. È stata svolta così una ricerca archivistica per recuperare un numero di immagini fotografiche adeguato da poter utilizzare in un approccio fotogrammetrico digitale. La fotogrammetria digitale è un tipico processo computazionale che trasla le operazioni di collimazione di uno stesso punto, presente in due scatti differenti, su un insieme vasto dei pixel di due immagini²³. Per completare l'operazione sono stati scelti due set di immagini differenti: un primo in banco ottico, eseguito prima del restauro degli archi del 'cestello', un secondo con camera calibrata Rolleiflex 6006 metric, la cui campagna si è conclusa nel marzo 1997²⁴. Entrambi gli insiemi di immagini sono stati ottenuti tramite scansione digitale del negativo fotografico. I processi di post elaborazione digitale non sono andati a buon fine per errori intrinseci al processo stesso, in particolare nel determinare il valore delle costanti per le equazioni di risoluzione²⁵, le quali dipendono dagli elementi di orientamento interno e dalle proprietà dell'ottica utilizzata. Nel caso del banco ottico, le costanti di calibrazione sono difficili da valutare, in quanto le immagini acquisite presentano aberrazioni prospettiche dovute ad operazioni di basculaggio e decentramento dell'ottica. Nel secondo caso, le problematiche sono probabilmente da attribuire all'imprecisione del punto principale, in seguito al processo di digitalizzazione delle immagini. Si sono tuttavia riscontrate alcune peculiarità che rendono critico ogni rilievo basato su ottiche fotografiche per la cappella della Sacra Sindone. In fase di restauro, il marmo di Frabosa viene levigato riportandone la lucentezza allo stato probabilmente originario, generando pertanto problematiche di riflessione differenziata tra le fotografie. Un'ulteriore complessità per l'allineamento delle immagini è costituita dal cambiamento delle condizioni di illuminazione durante le riprese: la posizione radiale e l'elevato numero di aperture renderebbero anche oggi il rilievo fotogrammetrico assai difficoltoso.

D'altra parte, il processo di allineamento manuale ha comportato un esame accurato dei conci degli archi. Il degrado degli elementi litici in un caso, e le venature marmoree, nell'altro, hanno permesso di riconoscere elementi ricorrenti per il posizionamento di punti noti. Come anticipato, entrambi i tentativi, con software e procedure fotogrammetriche differenti, sono stati oggetto dello

²² Le tracce hanno portato a identificare due rilievi nei laboratori dell'Università di Torino e dell'Università di Genova. Si veda in particolare R. Chiabrando, G. Garnero, *La restituzione fotogrammetrica della Cappella della S. Sindone: determinazione e sviluppo delle superfici di riferimento*, 1994; *Il rilievo per la conservazione. Il "cestello" della cupola della Sindone*, in *Recuperare l'edilizia*, 2003. Le cause di questi rilievi sono da ritrovarsi in alcuni distacchi di materiale che erano accaduti negli anni 90.

²³ L. De Luca, *La fotomodellazione architettonica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2011.

²⁴ Per il recupero di queste foto ringrazio il fotografo Ernani Orcorte (banco ottico Leica) e il laboratorio MARSC dell'Università di Genova (Rolleiflex 6006 metric) per avermi permesso di accedere al loro repertorio fotografico.

²⁵ K. Kraus, *Photogrammetry. Geometry from Images and Laser Scans*, Walter de Gruyter GmbH & Co., Berlino 2007.

studio, ma con risultati in ogni caso insoddisfacenti. L'insieme delle informazioni ottenute è allocato in un database e potrà essere recuperato per futuri approfondimenti.

Un'ulteriore base conoscitiva per la modellazione è rappresentata dal materiale reso disponibile dalla pubblica amministrazione²⁶ dopo l'incendio, grazie alle gare per gli interventi di restauro architettonico e strutturale. Tale materiale si compone di un repertorio fotografico, relazioni tecniche strutturali e costruttive, la restituzione CAD di un rilievo digitale a nuvola di punti successivo all'incendio, la restituzione dettagliata di alcuni conci litici. Va chiarito quindi, ancora una volta, come l'unica base di conoscenza geometrica disponibile al pubblico risulti essere la restituzione di Passanti anteriore al 1963.

Infine, una raccolta di informazioni della fabbrica della Sindone – fondamentali per questa ricerca – è il modello fisico in scala del 'cestello', progettato e realizzato da Gianpiero di Lella con la consulenza scientifica di Franco Rosso²⁷. La ragione che ha spinto l'autore a creare questo modello è stata la necessità di visionare il complesso del modello in una scala minore, e di controllarne le ipotesi costruttive. La produzione del modello è esemplare nel suo processo: esso è stato fabbricato in scala con le stesse tecniche di costruzione della fabbrica. I conci litici sono stati sostituiti da elementi in gesso, realizzati sulla scorta di ragionamenti del tutto stereotomici, basati sull'analisi del trattato guariniano e dell'opera di Frèzier. È grazie alle operazioni di taglio della pietra che è stato ipotizzato, ad esempio, il taglio del primo concio di pietra di ogni arco²⁸, che subisce una rotazione di 30° tale da permettere la transizione geometrica tra due lati contigui dell'esagono generatore. Il modello, per alcuni anni lasciato in custodia dell'Archivio di stato di Torino, è stato di recente ricostruito²⁹, accostando ad esso un rilievo fotografico delle operazioni di montaggio, e un rilievo fotogrammetrico di alcune fasi costruttive. Le informazioni raccolte sono alla base della strutturazione delle informazioni del modello BIM prodotto in questa ricerca.

²⁶ Il materiale è stato distribuito dal Ministero per i Beni e la Attività Culturali, Direzione regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici del Piemonte.

²⁷ I due hanno collaborato attivamente per il rilievo della cappella della Sindone a ridosso dell'incendio. La collaborazione e il risultato di una ricerca coordinata è stata pubblicata nell'articolo F. Rosso, *Guarino Guarini stereotomista*, cit. Il lavoro di Di Lella, mai pubblicato, è presente nella tesi G. Di Lella, *La Cupola della Cappella della S.S.Sindone. Aspetti strutturali e costruttivi*, cit.

²⁸ F. Rosso, *Guarino Guarini stereotomista*, cit.

²⁹ Ringrazio Gianpiero Di Lella per l'opportunità e la disponibilità a condividere le informazioni della sua lunga ricerca sul 'cestello': Giulio Ventura per aver fornito la base del modello e la strumentazione; Enrico Piccoli e Maria Paola Niccoli per il coordinamento e la volontà di dare una nuova visibilità al modello.

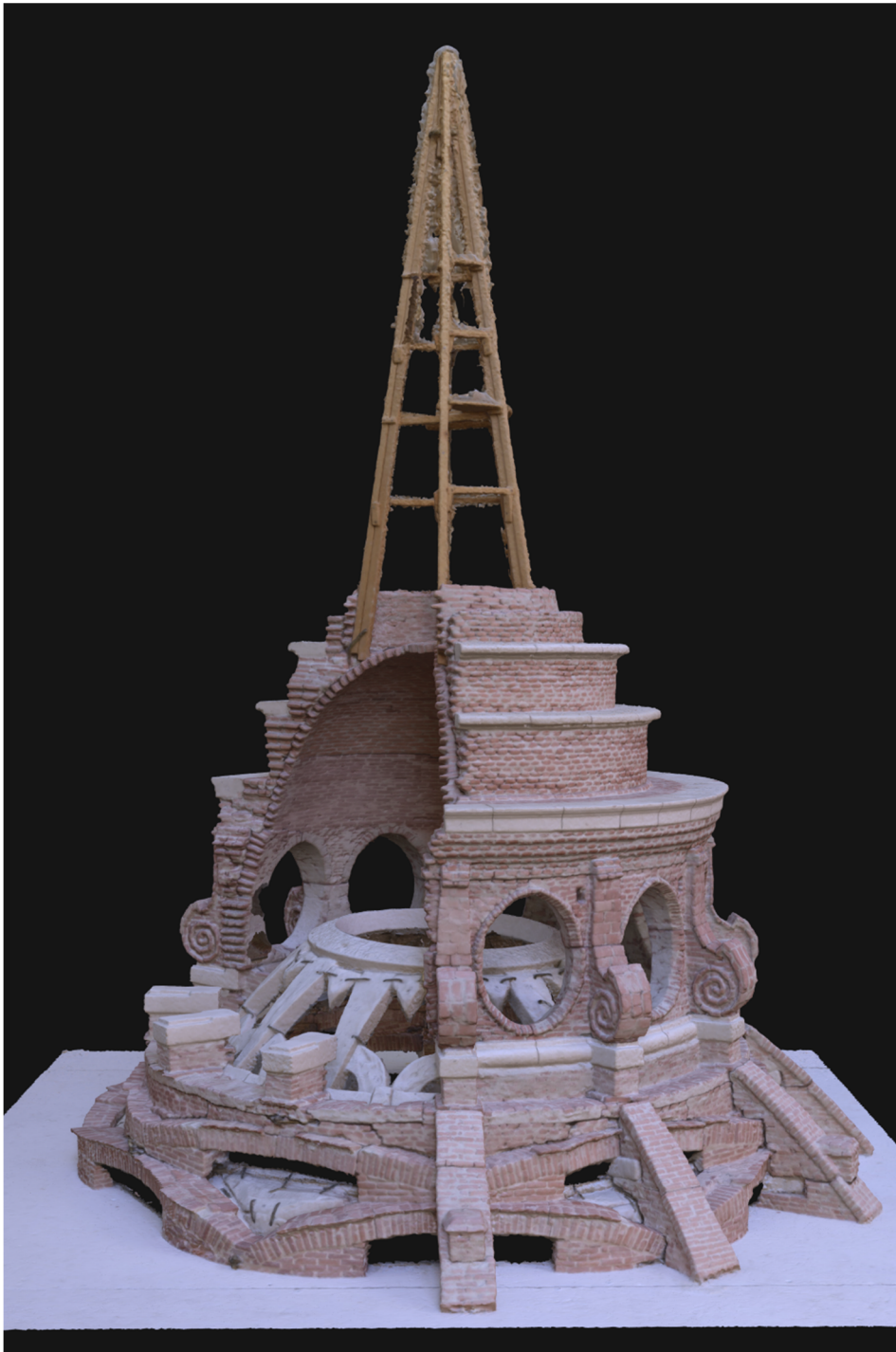


FIG. 109
G. Di Lella, Modello della cappella della Sindone. Gli ultimi due ordini di arcate, la zona di passaggio con la stella litica e la cupola ellissoidica conclusiva, sopra la quale è posta la torre finale.

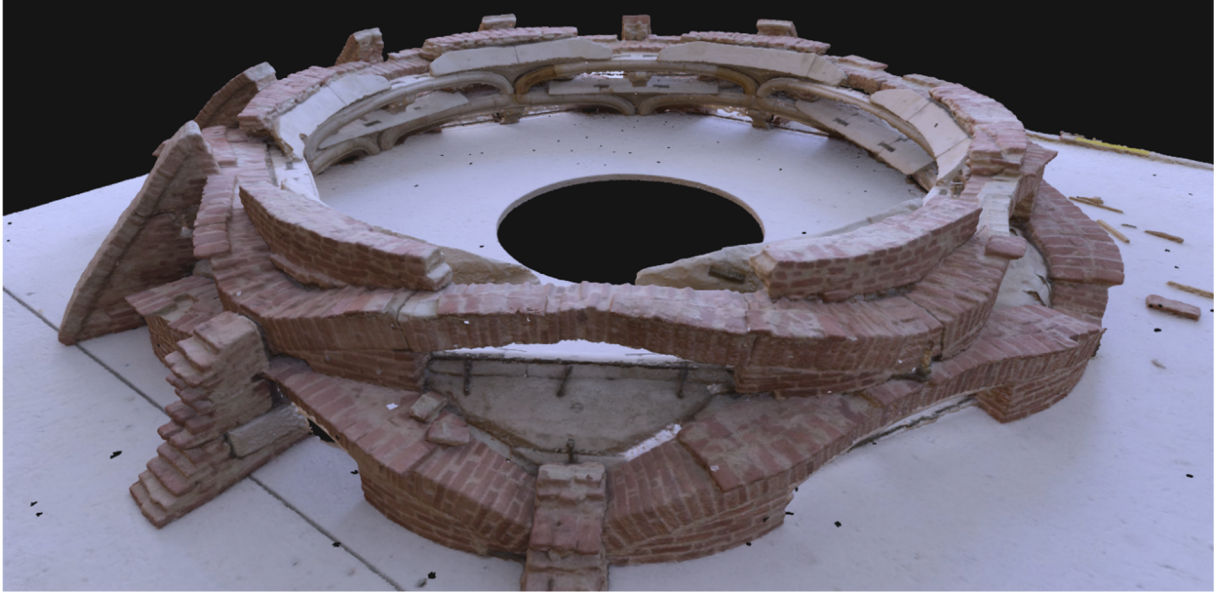
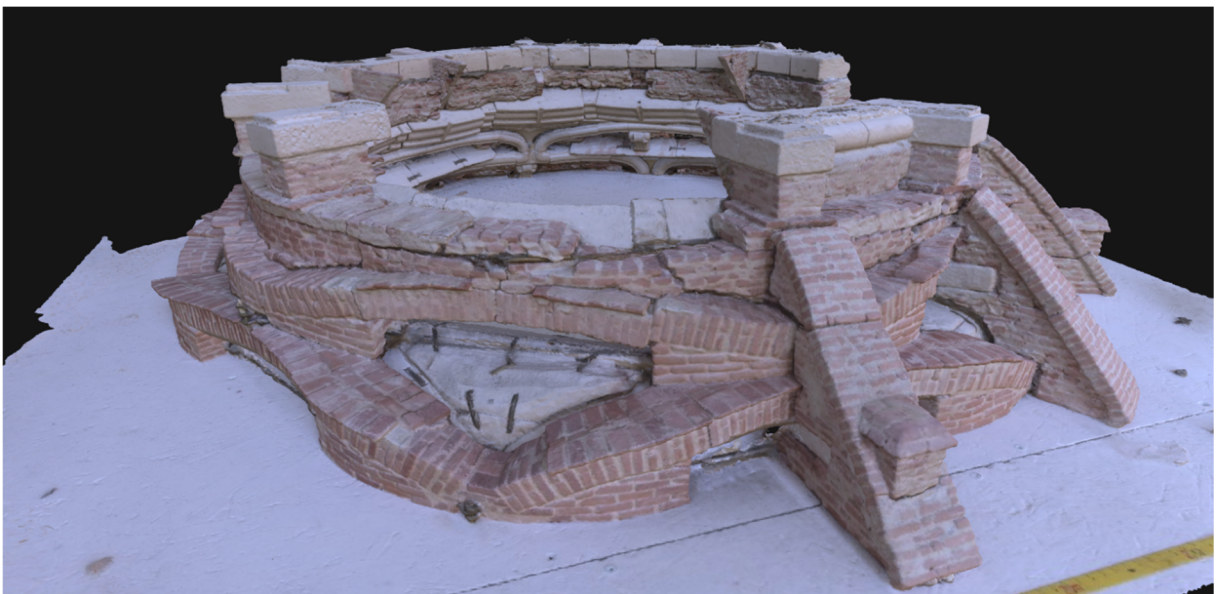


FIG. 110
G. Di Lella, Modello della cappella della Sindone. Dettaglio della costruzione del quinto e sesto livello di archi.

FIG. 111
G. Di Lella, Modello della cappella della Sindone. Dettaglio dell'imposta della stella litica.

Nella pagina successiva:

FIG. 112
E. Orcorte, Vista del cestello al livello del secondo ordine di archi, c. 1992.



Il cestello della Cappella della Sacra Sindone in Torino

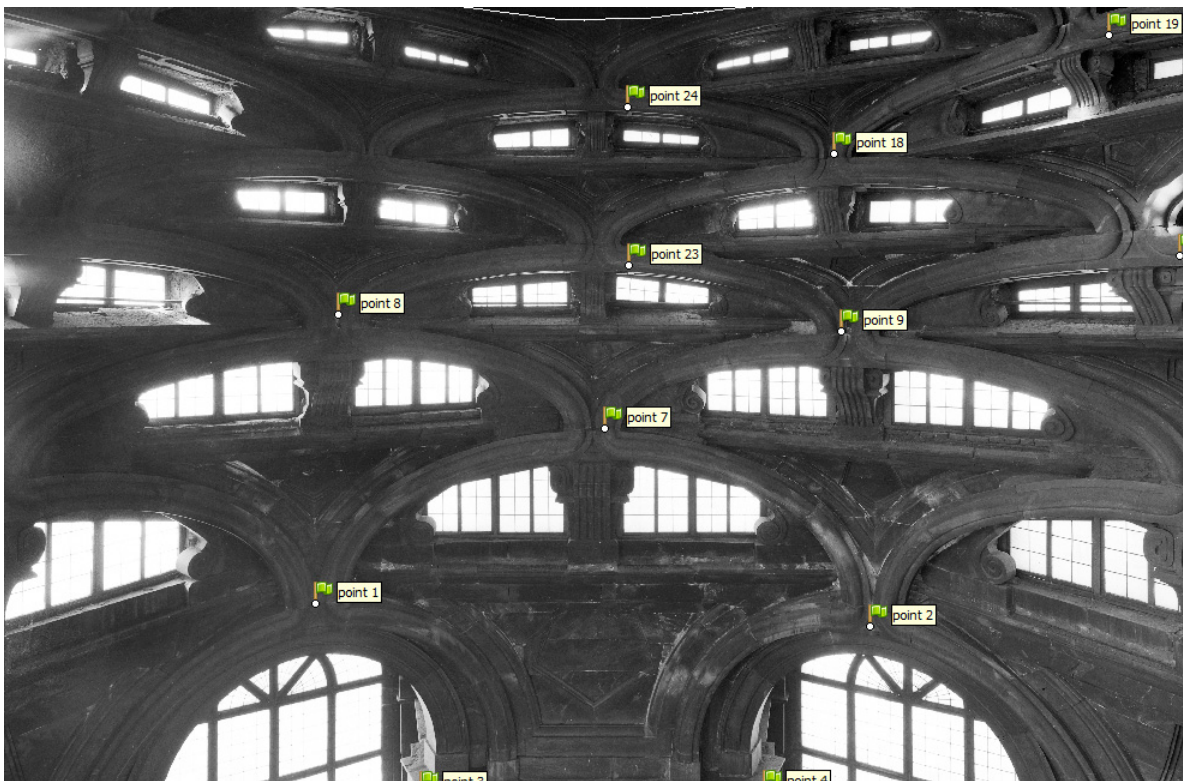


FIG. 113
E. Orcorte, c. 1992. Vista
del tamburo e della volta
conica decorata di
collegamento tra le
murature interna ed esterna
del tamburo.

FIG. 114
E. Orcorte, c. 1992. Vista
del sistema di archi
dall'imposta del 'cestello'.

FIG. 115
E. Orcorte, c. 1992.
Veduta interna della
successione di archi.

FIG. 116
Inserimento di vincoli
puntuali per il calcolo
automatico delle costanti in
Agisoft Photoscan.



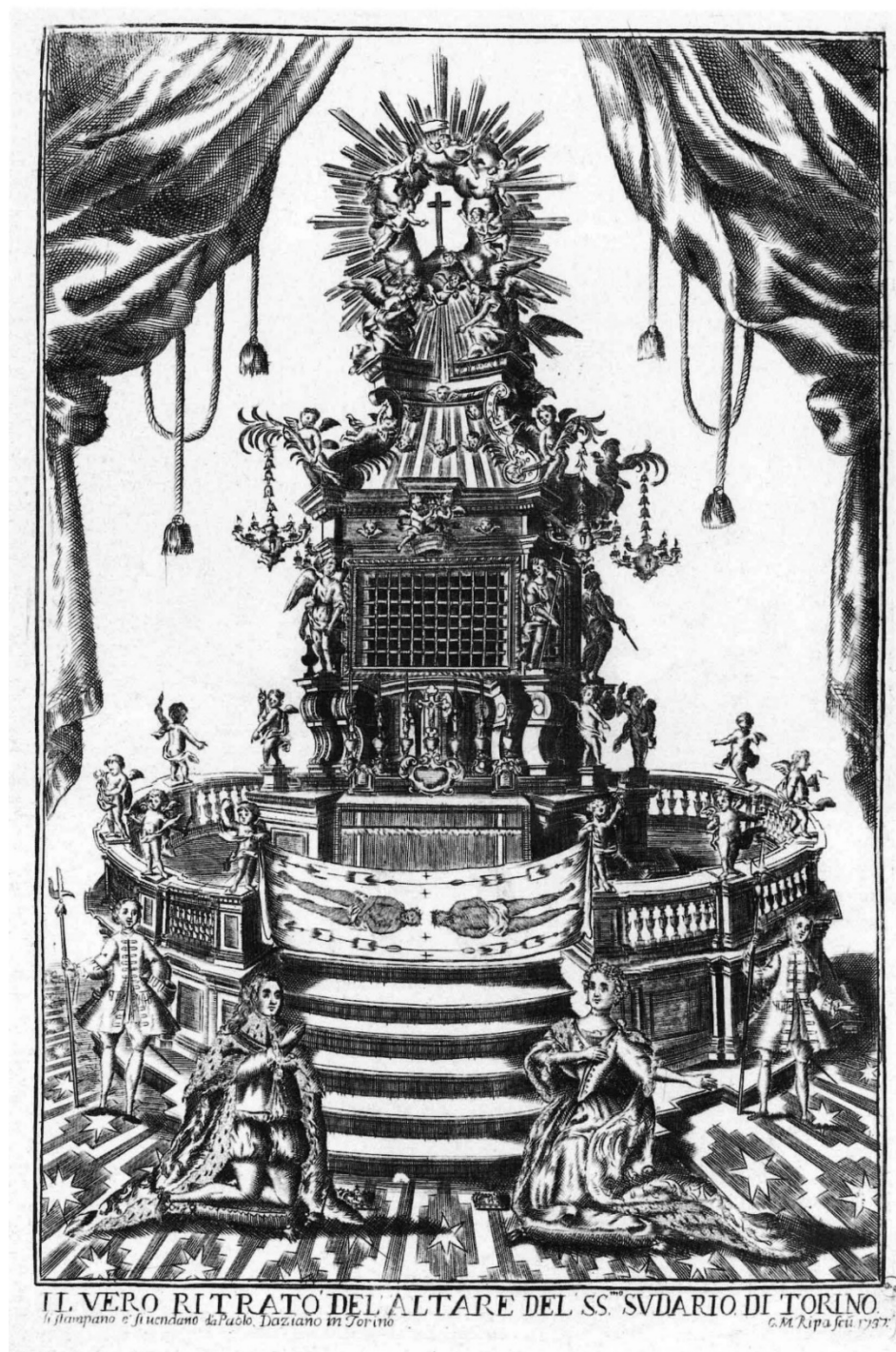


FIG. 117
Il vero ritratto dell'Altare del SS.mo Sudario di Torino, 1737. Torino, Biblioteca Reale.

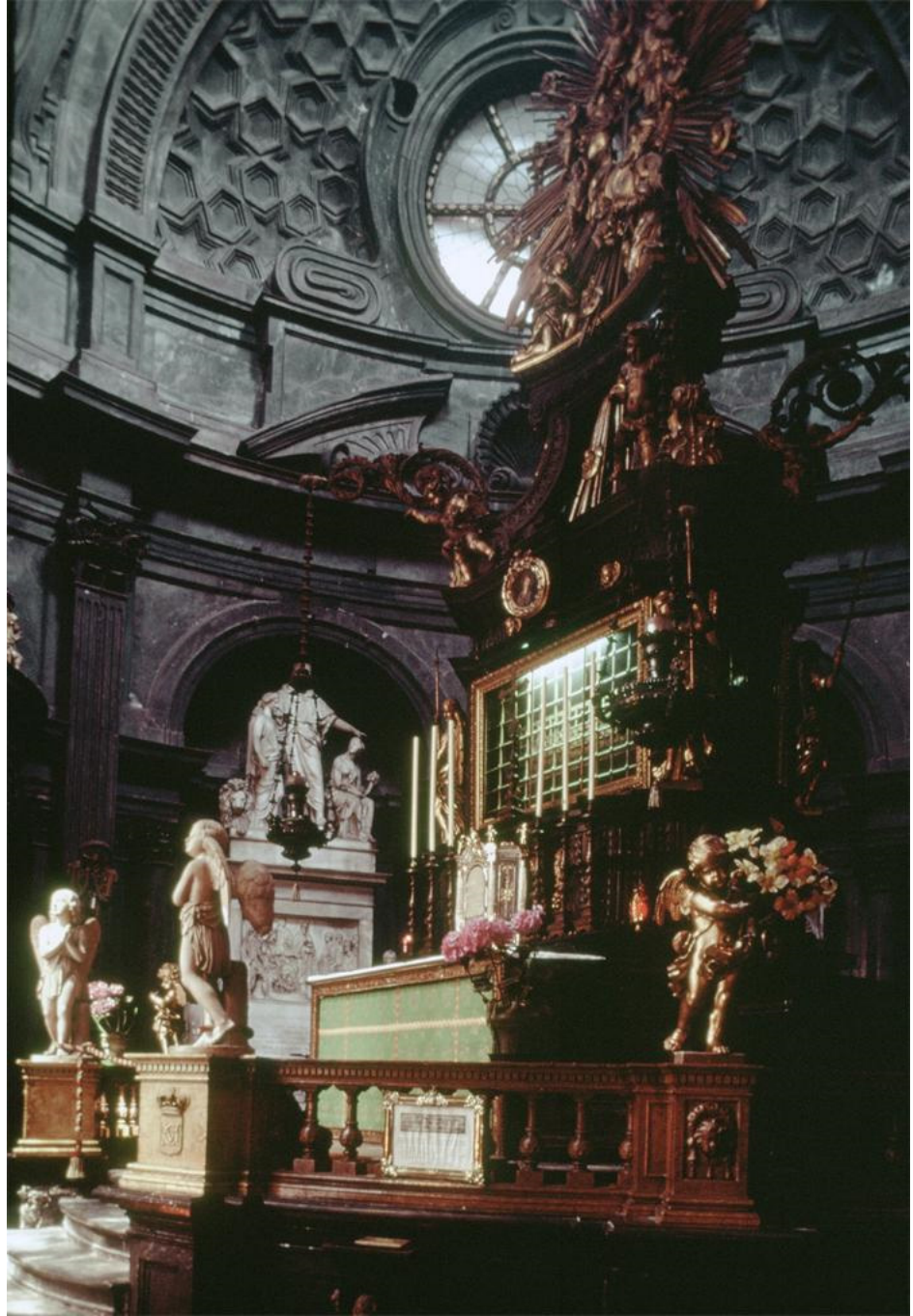


FIG. 118
Cappella della Sindone, immagine
dell'altare di Antonio Bertola

Il modello BIM e gli oggetti del ‘cestello’

La verifica delle caratteristiche geometriche e costruttive dell’opera ha comportato l’uso del processo *Building Information Modeling* (BIM)³⁰. Le motivazioni che hanno portato a creare un modello BIM del ‘cestello’ risiedono nelle occasioni di approfondimento scientifico che esso può consentire a valle del percorso di ricerca, tale da offrire continuità a futuri approfondimenti e integrazioni. Ci si riferisce al fatto che un modello geometrico e informativo può contenere insieme di informazioni che possono essere aggiornate facilmente durante il ciclo di vita della cappella stessa, soprattutto a fronte dell’intervento di restauro strutturale effettuato. Ad esempio è possibile integrare il posizionamento delle immagini storiche e dei rilievi manuali eseguiti prima dell’intervento, la sensoristica per un costante monitoraggio strutturale, una valutazione del funzionamento statico della fabbrica, etc.

Ciò che sembra opportuno sottolineare però è la vicinanza tra la programmazione e strutturazione delle informazioni ad oggetti, che il BIM eredita dalle ricerche delle discipline informatiche degli anni ‘70, con le modalità con le quali il cestello è stato prima progettato e poi realizzato. Come è noto, ogni modello BIM presenta al suo interno una serie di classi che sono definite da un significato architettonico: Charles Eastman usa la locuzione “building as a hierarchy of compositions”³¹, intendendo così l’esistenza virtuale di porte, travi, murature tali da soddisfare l’esigenza tanto di una rappresentazione geometrica virtuale, quanto di una descrizione delle caratteristiche dell’oggetto architettonico. Da una struttura gerarchica ma generica alla costruzione di librerie di oggetti, aventi pari definizione semantica, il passo è stato breve.

Il percorso attraverso i capitoli precedenti dimostra come il funzionamento per componenti fosse già presente nell’approccio stereotomico: non ci si riferisce solo alla scala ‘microscopica’ del concio, quanto alla strutturazione geometrica e funzionale della tradizione francese e spagnola. A tutti gli effetti i capitoli dei trattati corrisponderebbero, ad oggi, a differenti *tipi*³² di classi. Ne è un esempio la *Descente biase et en talut, rempant par devant, rachetant un berceau*³³, già citata precedentemente. Nel parallelismo con le pratiche BIM, l’oggetto presente nella realtà costruita, quanto quello nella virtualità digitale, ha dimensioni e condizioni al contorno sempre differenti: l’occorrenza, o istanza, del modello – dal punto di vista matematico-geometrico – è l’insieme di valori assegnati ad una struttura parametrica di base. Il modello digitale contiene pertanto oggetti che coordinano forma e funzione in relazioni a tali istanze.

³⁰ Da un punto di vista metodologico si tratta di un modello BIM dell’esistente (HBIM) ma non è stato costruito a partire da un rilievo digitale, ma da serie di immagini, comprendenti piante, prospetti e sezioni.

³¹ C. M. Eastman, *Modeling of buildings: evolution and concepts*, n. 1, 1992, pp. 99–109.

³² Per tipi si intende qui il diffuso uso della parola *type* nella pratica BIM contemporanea. La trattazione più generale è offerta dalla normativa internazionale, secondo la quale, ad esempio, la classe *IfcObjectType* “*It refers to the specific level of the well recognized generic - specific - occurrence modeling paradigm*”. Se la classe riguarda la descrizione geometrica, il tipo riguarda quella specifica. *IfcTypeObject*, s.d. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifckernel/lexical/ifctypeobject.htm> (page consultée le 23/10/18)

³³ F. Derand, *L’Architecture des voûtes, ou l’Art des traits et coupe des voûtes*, cit.

Come prima introdotto dal disegno autografo (

FIG. 126), Guarini struttura la genesi geometrica del 'cestello' attorno ad un triangolo isoscele che ha, per lato minore, la distanza tra le chiavi di imposta dei finestroni del tamburo e, come vertice opposto a questo, la traccia dell'asse verticale dell'edificio. Nel caso della cappella della Sindone questo volume non è facilmente identificabile poiché trattasi, in prima analisi, di una serie di prismi esagonali ad altezze decrescenti. Mario Passanti³⁴, parlando di 'macchina d'archi' nella prima di queste analisi, descrive il volume cercato, involuppo della serie di archi, come un tronco di cono, la cui generatrice passa per le chiavi degli archi³⁵ (FIG. 119). Attraverso il paragone con le quinte teatrali, l'accelerazione prospettica del 'cestello' è una particolare istanza scelta all'interno di un insieme di superfici coniche omologhe, di altezza maggiore ma percepibili come coincidenti³⁶. Limite inferiore di questa serie diventa la superficie di base, una circonferenza - nella quale è iscritto l'esagono - come se la cupola guariniana fosse una sorta di 'tela' in quota, alla maniera della 'finta cupola' per la chiesa di Sant'Ignazio a Roma, progettata da Andrea Pozzo³⁷. Limite superiore è invece rappresentato da un cilindro³⁸.

Il funzionamento di ogni prospettiva accelerata prevede superfici inclinate, tipicamente le pareti laterali della quinta teatrale e il pavimento del palcoscenico, e una superficie illusoria, virtuale, parallela al quadro³⁹. La analisi grafiche analogiche spiegano il procedere prospettico guariniano attraverso la proiezione, sulla generatrice di un cono o di un cilindro, dei raggi visivi passanti per il centro di vista⁴⁰: le distanze ottenute sulla generatrice della figura omologa risultano costanti, tanto da presupporre proprio un processo prospettico (FIG. 120).

³⁴ M. Passanti, G. Guarini, *Nel mondo magico di Guarino Guarini*, cit.

³⁵ La restituzione tramite sezioni verticali genera un errore che sembra non doversi trascurare: le chiavi di volta degli archi non si trovano su un unico piano. Invece, si trovano su piani alterni in successione alternata (fila 1, 3, 5 e fila 2, 4, 6). È logico pensare come Guarini fosse geometricamente fine da non sottovalutare questo aspetto.

³⁶ O. Rosati, *Interpretazioni architettoniche delle prospettive accelerate e rallentate*, Quaderni di studio, Torino 1969.

³⁷ La costruzione della visione in questo senso è portata avanti anche da John Beldon Scott, che individua la costruzione ottica della cappella nel quadraturismo rinascimentale che Guarini trova in ambito romano ed emiliano. Alcune quadrature a piano orizzontale, anoptiche, ben si combinano con le istanze simboliche dell'opera di Guarini. Particolare riferimento viene fatto tra la figura ascensionale della Vergine con la visione luminosa, e paradisiaca, del terzo livello della cappella. Gli esempi citati sono quelli di Correggio, Assunzione della Vergine (1524-1530), nel duomo di Parma, e quelli romani di Cherubino e Giovanni Alberti, con l'affresco raffigurante dei putti e una balaustra presente nella volta di San Silvestro al Quirinale (1602) e quello di Giovanni Lanfranco con l'Assunzione della Vergine in Sant'Andrea della Valle (1622-1627).

³⁸ B. Messina, *Spazio reale e spazio virtuale: le architetture di Guarino Guarini e di Zaha Hadid*.

³⁹ A. Pagliano, *Il disegno dello spazio scenico*, Hoepli, Milano 2002.

⁴⁰ R. Sinisgalli, *Una storia della scena prospettica dal Rinascimento al Barocco. Borromini a quattro dimensioni.*, Cadmo, Firenze 1998.

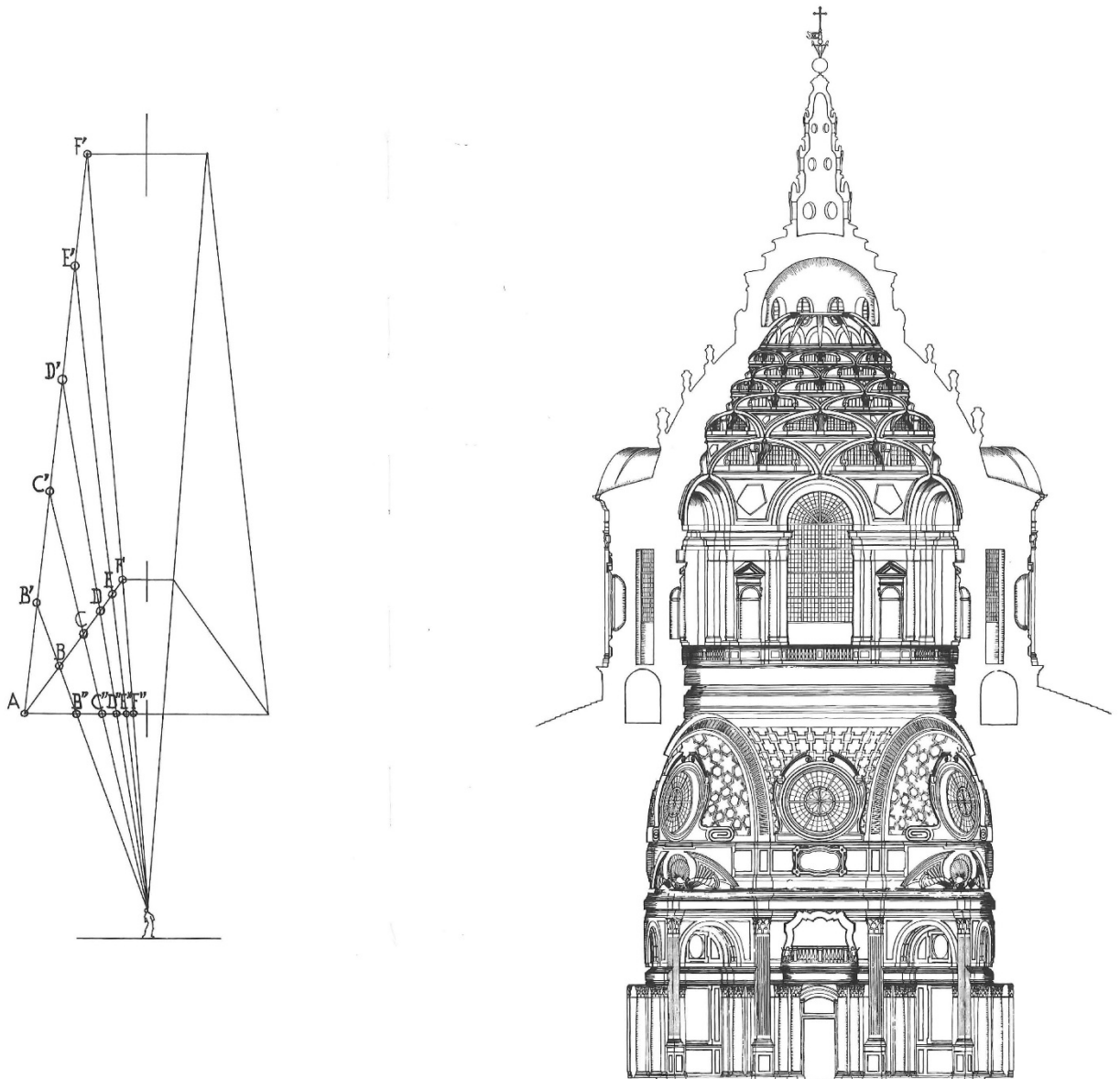
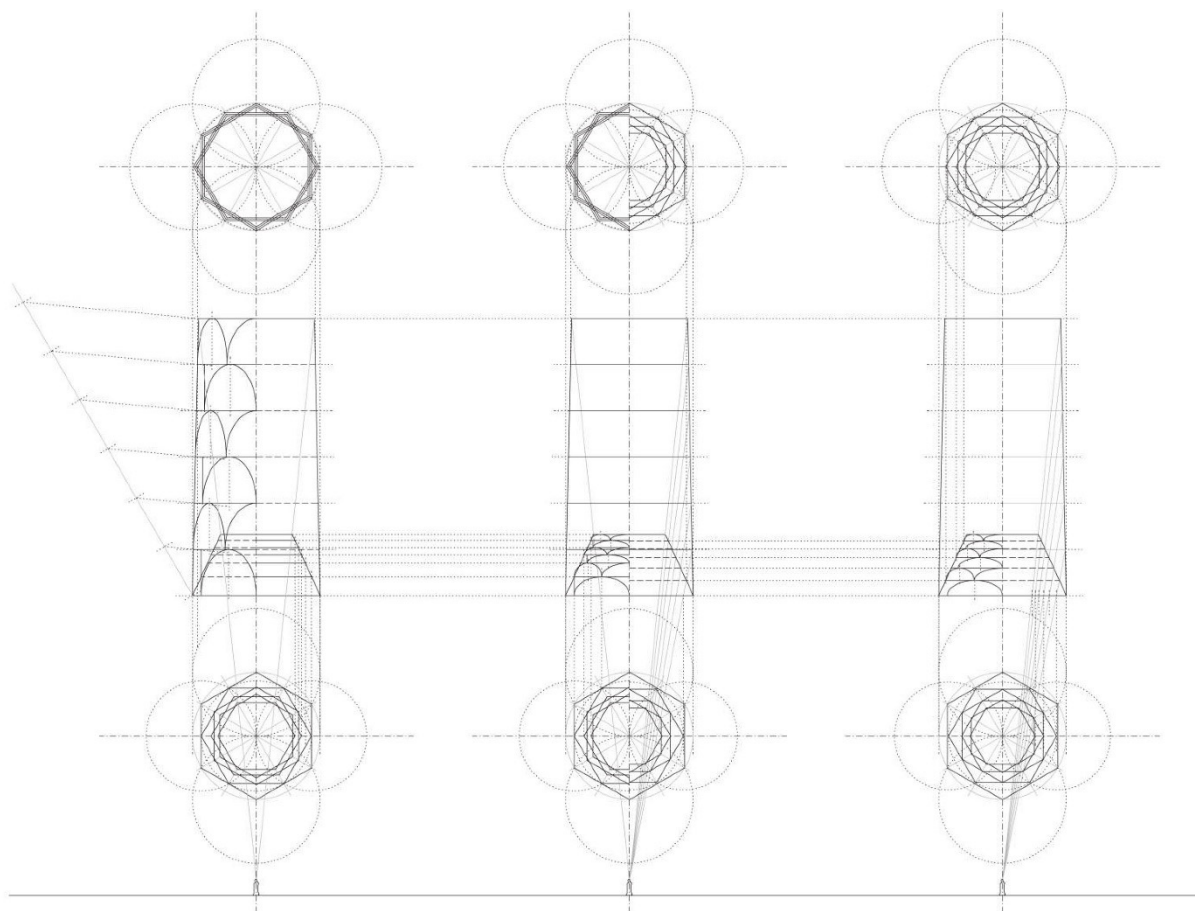


FIG. 119
M. Passanti, Sezione della cappella della
Sacra Sindone e dimostrazione
dell'accelerazione prospettica.

Nella pagina seguente
FIG. 120
B. Messina. Ricostruzioni del
funzionamento prospettico del cestello.



Le costruzioni geometriche dei rilievi in possesso negano la costanza dei segmenti proiettati (FIG. 121)⁴¹. Inoltre sono state trascurate considerazioni strutturali e costruttive. Anche tralasciando il rilievo della situazione reale, eventualmente deformata dall'incendio, l'arco costruito è, per definizione, verticale ed appartenente ad un piano interno al campo visivo illusorio. Di conseguenza, nella restituzione dello spazio virtuale esso deve appartenere ad un piano inclinato verso l'esterno, soluzione davvero bizzarra, per quanto Guarini potesse utilizzare curve sghembe ottenute dall'intersezione del cilindro ellittico dell'arco e il cilindro verticale dello spazio ideale.

Va tuttavia sottolineato come il punto di vista assunto in queste analisi prospettiche sia nella realtà occupato dal Sacro Sudario, tanto nel progetto quanto nella realizzazione. L'altare di Antonio Bertola è posto al centro della cappella, pertanto quel punto di vista è certamente inaccessibile. Mario Passanti, in un altro passo del suo contributo⁴², descrive ugualmente la validità ottica dell'impostazione: "tale distanza essendo grande anche rispetto al disco del pavimento, fa sì

⁴¹ Le operazioni geometriche sono state svolte grazie ai più recenti rilievi a disposizione, che rappresentano tuttavia uno stato deformato successivo all'incendio.

⁴² M. Passanti, G. Guarini, *Nel mondo magico di Guarino Guarini*, cit.

che nello spostarci dal centro alla periferia, piccolo sia il divario fra le immagini che riceviamo del cono, per cui quell'effetto permane, se pur via via leggermente attenuantesi”⁴³

È proprio muovendosi verso la periferia che è possibile accedere ad una diversa interpretazione dello spazio definito dagli archi, senza ricorrere a logiche ottico-prospettiche. La superficie di inviluppo secondo Robison sarebbe un paraboloido di rotazione⁴⁴ (

FIG. 122). L'autore sovrappone alla sezione di progetto guariniana la costruzione della parabola che si trova nel trattato dell'Architettura civile, dimostrando come i punti di base degli archi, intersezione tra i piani di imposta e una sezione verticale radiale, appartengano a quelli della costruzione guariniana. Una impostazione non dipendente dall'ottica sembra confermata da alcune rappresentazioni contenute nel trattato XXXIV dell'*Euclides Adauctus, De solidate corporum curvorum*⁴⁵. A partire dalla *Expensio IV* Guarini tratta dei coni circolari ed ellittici, di quei coni che “terminano” in una linea e delle superfici che chiama in latino *conoides*, caratterizzate dalla rotazione di una curva attorno ad un asse⁴⁶. Prima di passare alle superfici iperboloidiche, egli dimostra l'uguaglianza dei volumi di solidi che hanno base simile e altezze inversamente proporzionali alle loro basi (FIG. 124). Si tratta però soltanto di una fascinazione grafica, in quanto l'autore circoscrive attorno a coni generici – ad esempio anche a direttrice irregolare – delle figure cilindriche: nel caso del ‘cestello’, la base equivarrebbe alla circonferenza circoscritta all'esagono generatore, per cui le superfici di rotazione ad equivalenza percettiva, che sono state trattate prima nel testo, avrebbero pari base e, per essere equivalenti, di conseguenza anche pari altezza.

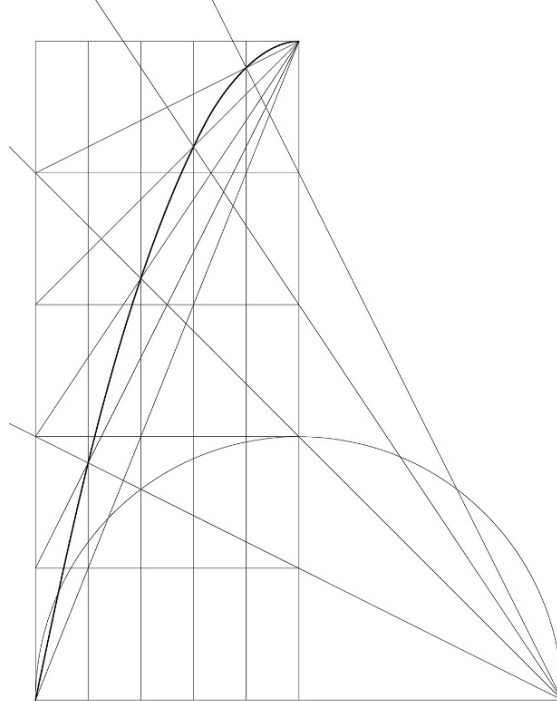
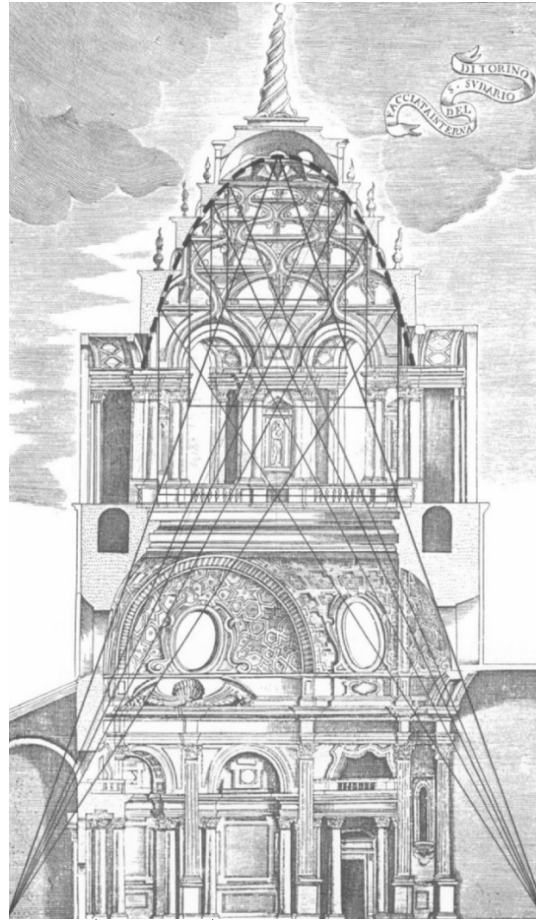
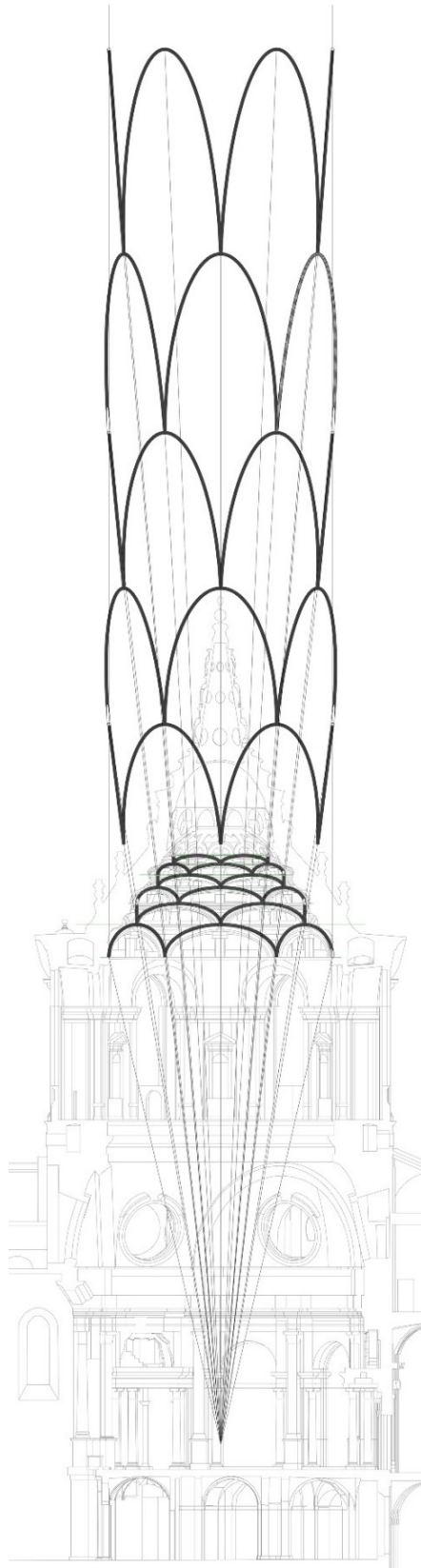
⁴³ Ibid.

⁴⁴ E. C. Robison, *Optics and Mathematics in the Domed Churches of Guarino Guarini*, in *Journal of the Society of Architectural Historians*, n. 50, 4, 1991, pp. 384–401.

⁴⁵ C. S. Roero, *Guarino Guarini and Universal Mathematics*, cit.

⁴⁶ Come già accennato nel primo capitolo, il termine ‘conoide’ per queste superfici è di origine archimedeo e sta ad indicare particolari superfici di rivoluzione. Esso non va inteso come la superficie matematica oggi chiamata ‘conoide’, che ha una sua espressione nella forma di cono-cuneo descritta da Wallis e ripresa da Guarini. Secondo la nomenclatura attuale, la *Expensio V* tratta degli iperboloidi, la sesta dei paraboloidi di rotazione.

Il cestello della Cappella della Sacra Sindone in Torino



Nella pagina precedente:

FIG. 121

Ricostruzione prospettica del sistema di archi impostati su una superficie cilindrica.

FIG. 122

E. C. Robison,

Dimostrazione della costruzione del paraboloide di rotazione come involuppo del sistema di archi.

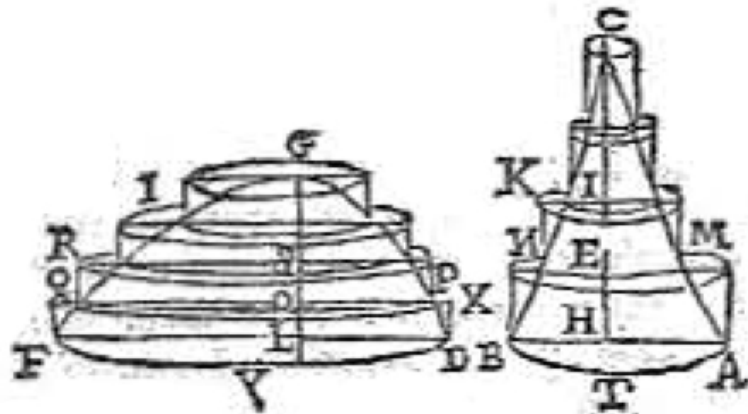
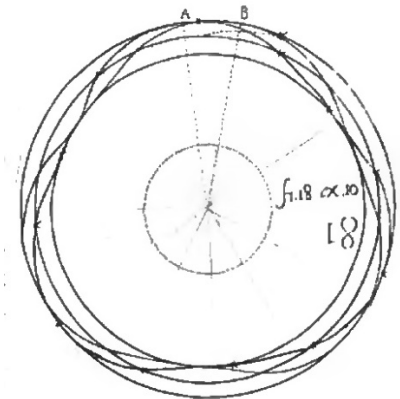


FIG. 123

Sovrapposizione di due modalità di costruzione di una parabola.



In questa pagina, dall'alto:

FIG. 124

G. Guarini, *Euclides Adauctus* [...], 1671. Teorema V, Proposizione XXIX, p. 635). Dimostrazione di due corpi di pari volume.

FIG. 125

G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Orbita di Mercurio.

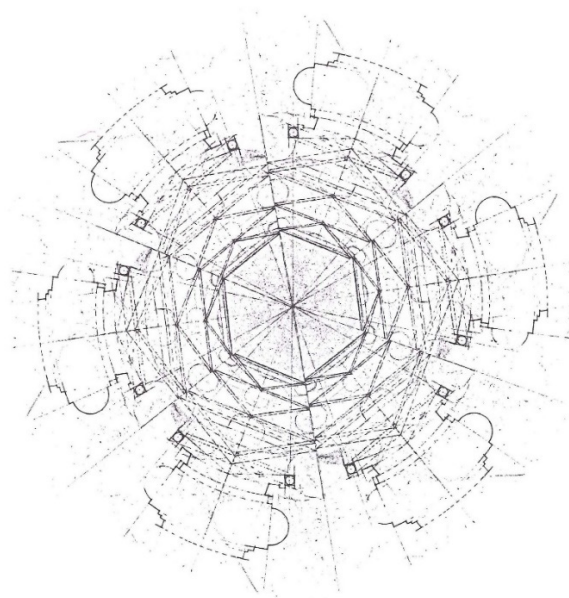


FIG. 126

J. Beldon Scott, Ricostruzione tramite ripetizione radiale del disegno originario di Guarini per la cappella della Sindone.

Entrambe le letture appaiono in contrasto con il disegno di progetto guariniano, che sembra certamente basarsi su una logica proporzionale, più che ottica o geometrica: impostato l'esagono di base, le luci degli archi vengono conseguentemente ridotte dalla compressione del lato dell'esagono successivo (

FIG. 126). Ciò che non è determinata è proprio la freccia, la cui riduzione progressiva è stata oggetto degli studi prospettici. Un eventuale approfondimento sui trattati geometrici e filosofici di Guarini potrebbe chiarire maggiormente eventuali relazioni tra le leggi di proporzionalità ivi descritte e i fattori di riduzione presenti nel 'cestello'.

Ciò che si è reso evidente con la realizzazione del modello digitale è che i parametri geometrici seguono una logica generativa. Come la stereotomia prevede, essi sono anche parametri di fabbricazione, presenti non solo per la formulazione dello schema iniziale, ma anche all'interno delle regole di creazione del singolo concio. Al fine di produrre gli elementi litici, è sufficiente infatti determinare la circonferenza interna del tamburo: determinato il primo esagono, ne viene individuato il primo lato, coincidente con la misura dell'asse maggiore di ogni arco ellittico e, con esso, il fattore di riduzione nelle successive iterazioni. Determinata l'altezza di ogni livello, le ellissi di ogni arco sono compiute.

Una ulteriore componente del sistema stereotomico sono i pennacchi che permettono il passaggio da un filare di archi a quello successivo. Anche la loro configurazione dipende dalle informazioni geometriche generative della struttura del 'cestello'. Geometricamente i pennacchi sono porzioni di un cilindro retto a direttrice ellittica; in particolare essa è rappresentata da un quarto di ellisse appartenente ad un piano verticale radiale, avente come semiasse maggiore la freccia degli archi di quel livello, come semiasse minore la distanza tra il vertice dell'esagono inferiore e il lato dell'esagono superiore. Il cilindro viene poi sezionato dalla superficie dell'arco litico, come vedremo più avanti.

La distribuzione di questi elementi ricorda uno dei casi con cui Amédée François Frézier descrive l'apparecchiatura stereotomica per le volte sferiche, *en-cul-de-four*. In aggiunta alla distribuzione radiale dei conci, per file orizzontali o verticali, Frézier illustra come costruire "*les voussoirs d'enfourchement des voutes sphériques ou sphéroïdes fermées en polygone*"⁴⁷. Si tratta di inscrivere un poligono all'interno della circonferenza di base, che determina, lungo le diagonali di esso, dei conci a forma di coda di rondine, chiamati per l'appunto *enfourchement*. Il funzionamento di questi è proprio quello di un cuneo tra due archi adiacenti, che agisce migliorando la stabilità del sistema.

⁴⁷ A. F. Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction (Tome second)*, in *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voûtes... ou traité de stéréotomie à l'usage des architectes*, 1737b.

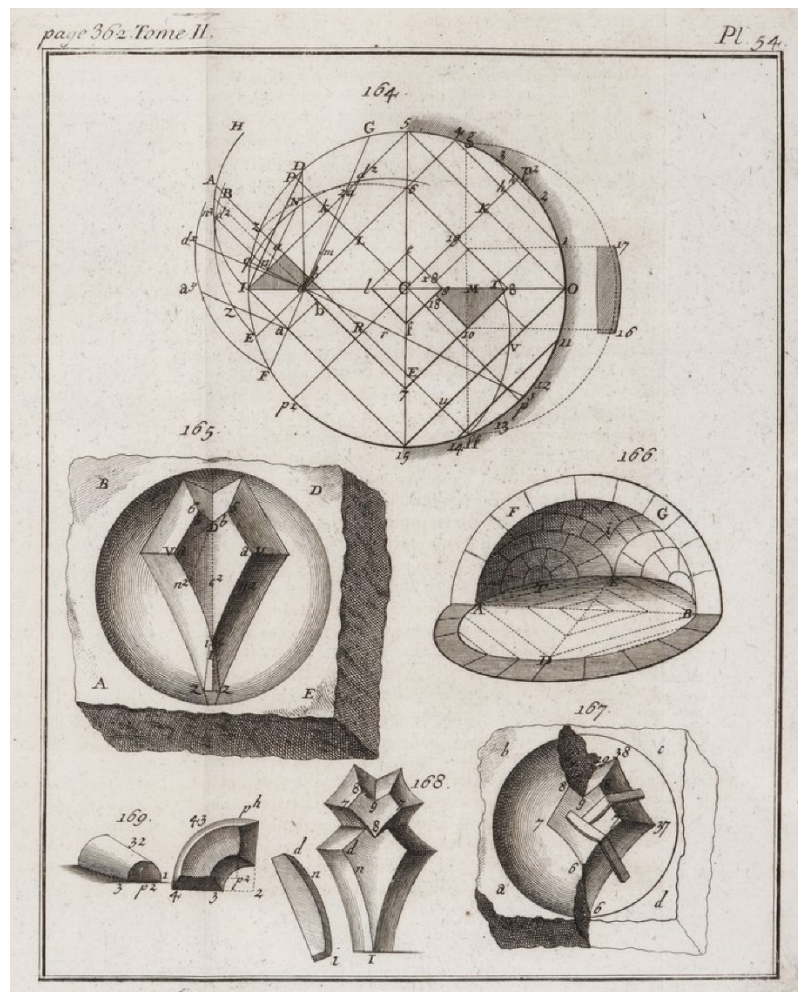
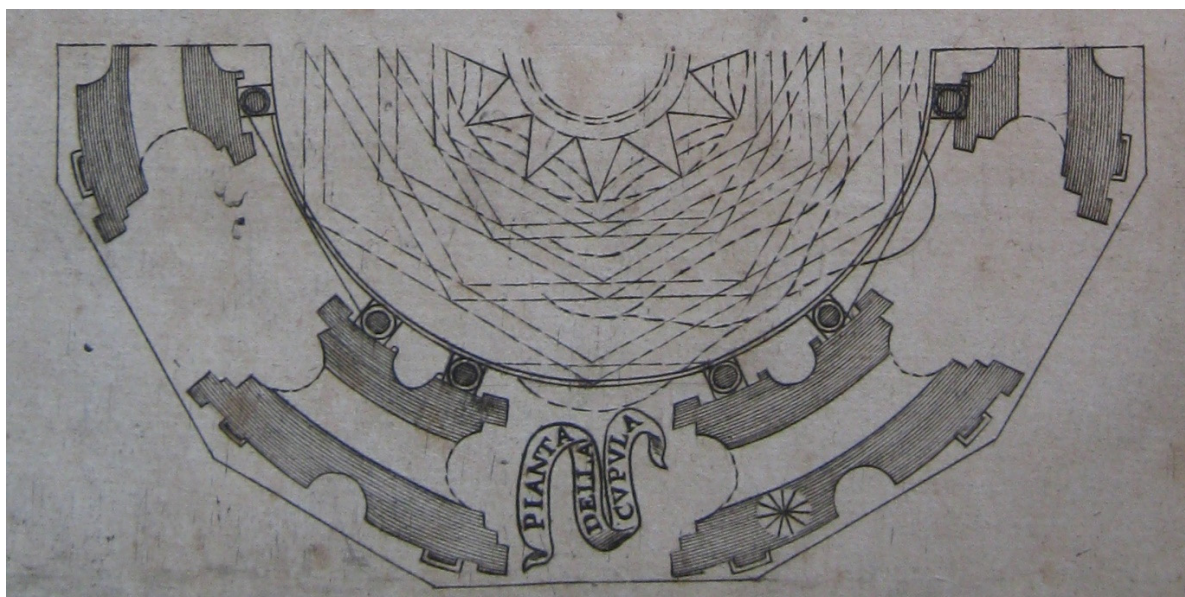


FIG. 127
 A. F. Frèzier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction*, 1737. Planche 54. *Les voussoirs d'enfourchement des voutes sphériques ou sphéroïdes fermées en polygone.*
 In figura 168 è rappresentato un generico concio d'enfourchement.

FIG. 128
 G. Guarini, *Disegni d'architettura civile et ecclesiastica*, 1686.
 Planimetria a livello del tamburo con proiezione del 'cestello' e della muratura del primo sistema di archi.



La composizione geometrica del ‘cestello’ per elementi funzionali e strutturali è completata da un sistema in muratura esterno, coassiale e fisicamente giustapposto a quello litico interno, già presente nella planimetria del tamburo presente nei *Disegni* del 1986. Detto sistema prevede, per ogni lato dell’esagono, una muratura a geometria variabile. In prima proiezione, la muratura internamente si appoggia alla superficie nascosta dell’arco litico, mentre esternamente lo spessore aumenta in corrispondenza dei quarti di ogni segmento, con un valore minimo in mezzeria e agli estremi. Parzialmente il suo comportamento statico è quello di un arco, in quanto non solo ospita i vuoti delle aperture finestrate, ma non aumenta il peso sul pennacchio litico inferiore.

La proiezione delle superfici esterne produce una linea simile a quella percorsa da un punto che, ruotando attorno ad un’asse, si allontana e si avvicina: si tratta di una curva simile all’orbita di Mercurio già descritta nel capitolo 1 (FIG. 125). Qui allontanamento e avvicinamento assumono anche un determinato ruolo stabilizzante: come anticipato, lo spessore della muratura è minimo al centro e alle estremità, dove però si ha il cambiamento di direzione, e quindi lo spessore resistente è dato dalla componente lungo la bisettrice dell’angolo ottuso dell’esagono. L’elemento in quell’area ha uno spessore resistente pari all’aumento che la muratura assume ai quarti della sua lunghezza.

Come già descritto ampiamente in bibliografia⁴⁸, il sistema è completato da 12 contrafforti in laterizio, a profilo curvilineo ma tessitura orizzontale, nei quali sono innestati i monoliti che compaiono in mezzeria degli archi, ai quali tuttavia non sono vincolati. I contrafforti murari intersecano le murature descritte precedentemente, trasferendo parte del carico alle murature del tamburo circolare.

⁴⁸ G. Croci, *Guarino Guarini. Il comportamento strutturale della Cappella in Torino*, in *Recupero e conservazione*, n. 11, 65, 2005, pp. 35–45; G. Di Lella, *La Cupola della Cappella della S.S.Sindone. Aspetti strutturali e costruttivi*, cit.; P. Napoli, *A Structural Description of the Chapel of the Holy Shroud in Torino*, in *Nexus Network Journal*, n. 11, 3, 2009, pp. 351–368.

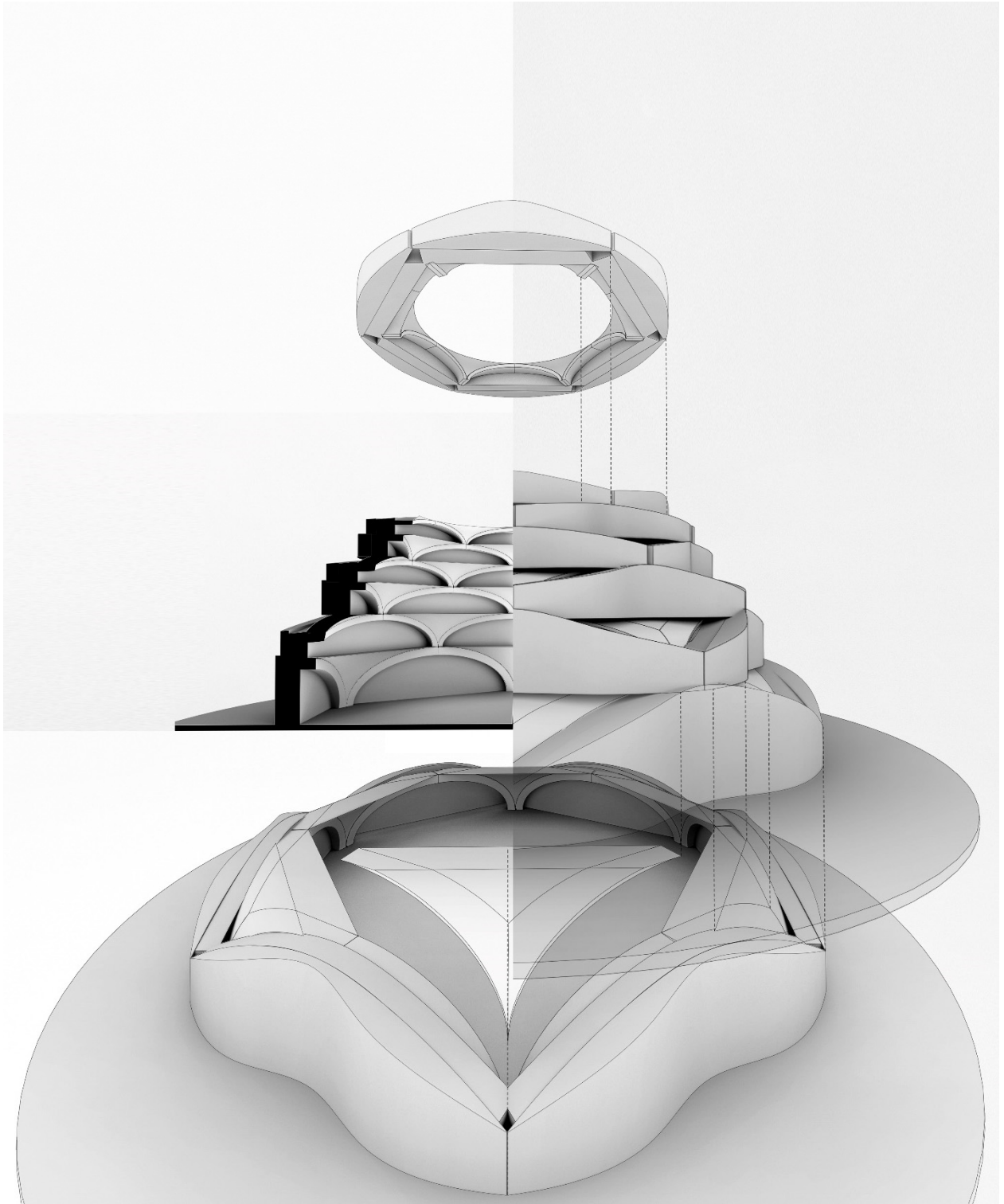


FIG. 129
Scomposizione geometrica-semantic del
cestello della cappella della Sacra Sindone.
Elaborazione digitale.

Il cestello della Cappella della Sacra Sindone in Torino

—

L'arco ellittico

La declinazione stereotomica dell'opera permette di analizzare i suoi aspetti per moduli di dimensioni crescenti e secondo modalità differenti. L'unità del 'cestello' è costituita da un arco litico a profilo ellittico: Guarini può quindi utilizzare un'unica figura, in cui variarne 'parametricamente' le dimensioni per ottenere le risposte percettive e strutturali richieste.

È quindi importante definire la suddivisione stereotomica dell'arco ellittico, oggetto poco presente nella trattazione francese e spagnola. Esso viene tuttavia trattato nel *Cursus seu Mundus mathematicus*⁴⁹ del gesuita Millet Dechaes, raro caso di matematico che descrive tecniche architettoniche e fonte di ispirazione per molte opere del Guarini. L'opera di Dechaes è di impressionante ampiezza: composta da 3 tomi, presenta 31 trattati che discutono tematiche di architettura, dinamica dei fluidi e macchine idrauliche, navigazione, ottica e astronomia. Di nostro interesse in questo caso è il trattato *De Lapidum Sectione*, in cui si ritrova un'impostazione tradizionale, dove i casi sono esposti secondo apparecchiature cilindriche, coniche e sferoidali. Alla proposizione XIV della terza sezione (FIG. 130), Dechaes espone il caso di una volta ellissoideica⁵⁰, della quale descrive la sezione verticale ellittica e la sezione orizzontale. Le facce di trasferimento di carico dei conci, *joint de lit* – o “superfici coniuntive” guariniane –, non appartengono a piani radiali passanti per il centro dell'ellisse. La suddivisione piuttosto è ottenuta attraverso un processo che prevede di 'staccare' i punti sull'intradosso secondo angoli uguali (rette radiali), ma la proiezione delle facce suddette è eseguita grazie a una retta che passa per il punto del semiasse minore opposto alla freccia dell'arco e per il punto di suddivisione radiale, così come ottenuto precedentemente. Questo garantisce una maggiore inclinazione alle facce dell'arco, diminuendo la possibilità di scorrimento tra i conci.

Il rilievo a nuvola di punti di uno dei conci del primo livello ha permesso una lettura completa dell'arco litico. L'arco pareva essere un elemento planare, ad eccezione del concio di imposta, che subisce una rotazione di 15° per garantire il passaggio angolare tra un lato dell'esagono e il successivo⁵¹. Infatti, riproducendo con un modello in scala l'insieme dei tagli⁵², è stato dimostrato come le curve di intradosso ed estradosso del concio di imposta siano curve gobbe ottenute per punti dalla “sovrapposizione degli effetti” di più costruzioni geometriche che coinvolgono il profilo verticale dell'arco ellittico e un arco di cerchio orizzontale, quale rappresentazione della rotazione planimetrica del profilo. Un'analisi grafica di dettaglio mostra infatti molte più informazioni. Declinando la tematica secondo l'ortografia “gettata” guariniana, si tratterebbe, in prima ipotesi, dell'intersezione di 4 superfici cilindriche: due appartenenti ad un primo cilindro a direttrice ellittica, posto orizzontalmente, e due appartenenti ad un cilindro circolare retto, posto verticalmente. Tuttavia la prima ipotesi è errata in quanto si tratta del caso esposto da Guarini per il conoide intersecato verticalmente da una muratura a base circolare (vedi capitolo 3.3). Rivolgersi al conoide giustifica così l'inclinazione del profilo di estrusione del concio di imposta, che

⁴⁹ C.-F. M. Dechaes, *Cursus Seu Mundus Mathematicus*, Ex Officina Anissoniana, Lione 1674.

⁵⁰ Dechaes usa il termine latino “elumbus” in modo da generalizzare la trattazione per ogni arco ellittico oppure ovale policentrico.

⁵¹ F. Rosso, *Guarino Guarini stereotomista*, cit.

⁵² Ringrazio Gianpiero Di Lella per la dimostrazione della creazione del concio attraverso una successione di tagli che dimostrano le procedure stereotomiche per la produzione del concio, *par equarissement*.

rappresenta la direzione della generatrice del conoide sul piano orizzontale: la retta passante per i punti della base interseca l'asse della cappella.

Il fatto che si tratti di una superficie complessa non relegata ad un singolo concio, trova conferma in un'ulteriore peculiarità, resa nota dal rilievo di dettaglio. L'arco non presenta una superficie anteriore planare, potendo considerarsi come una superficie cilindrica a direttrice policentrica.

Come già avvenuto per l'arco nella muratura che separa la cappella dall'abside della basilica, anche il sistema d'archi del cestello sarebbe composto da superfici conoidiche (FIG. 131), tanto all'intradosso quanto all'estradosso: ciò conferma l'attenzione nel trattato per lo sviluppo della superficie superiore dei singoli conci. Secondo l'impostazione conoidica, le curve di intradosso delle facce laterali dovrebbero rispettare due condizioni: appartenere a piani orizzontali, paralleli al piano di imposta dell'arco, e per una retta passante, in proiezione orizzontale, per il vertice, prima proiezione della direttrice rettilinea del cono e dell'asse della cappella. Queste condizioni non vengono sempre rispettate, tuttavia va segnalato come le osservazioni siano basate su una copia digitale di un manufatto deformato, che presenta evidenti distacchi di materiale sulle facce interne e in quelle frontali.

La geometria, *methodicus mathematicaque universalis*, trova quindi la sua effettiva declinazione costruttiva e produttiva nei conci di un sistema di archi posti a ben 32 metri di altezza dal piano di calpestio.

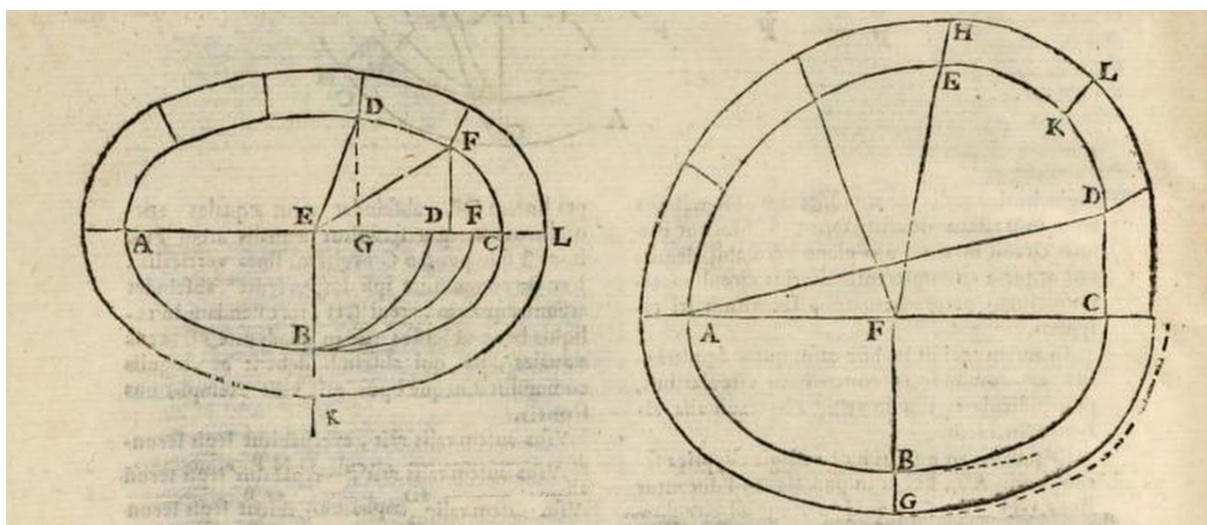


FIG. 130
C.-F. M. Dechaes, *De Lapidum Sectione, Cursus seu Mundus mathematicus* in *Cursus Seu Mundus Mathematicus*, 1674.
Proposizione XIV e XV.

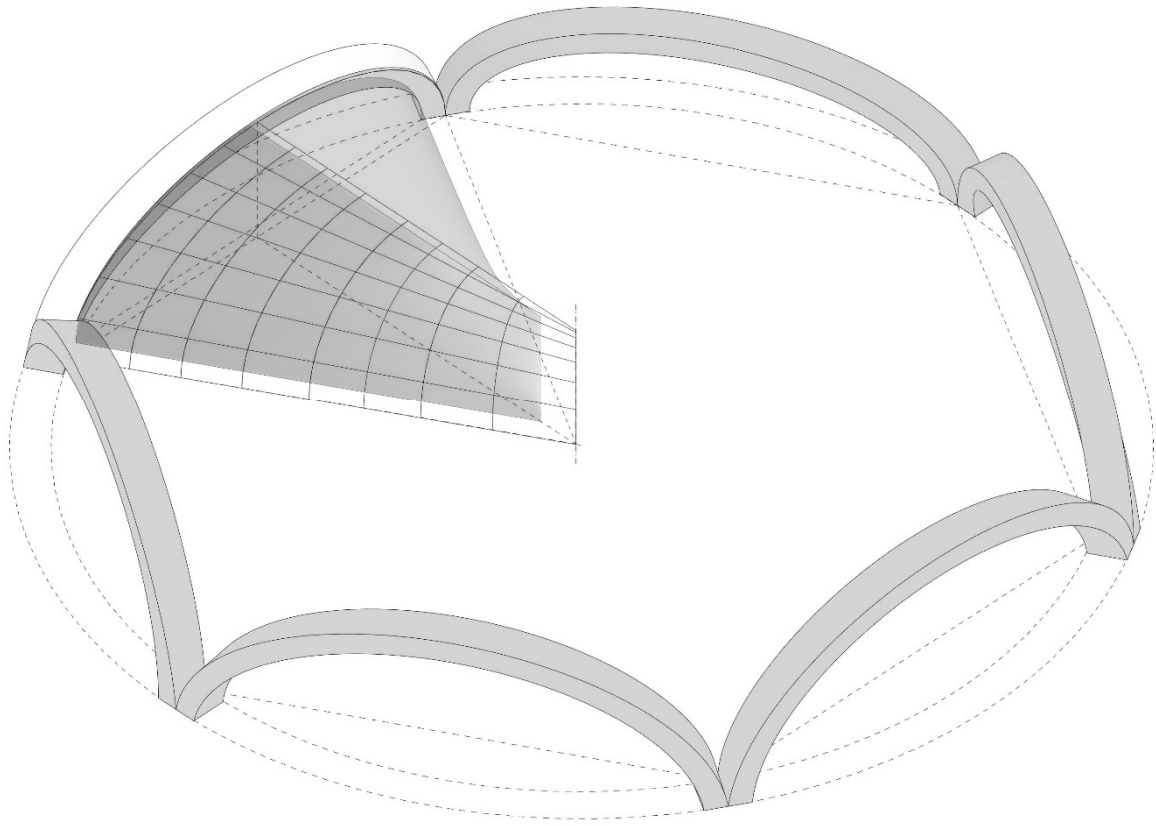


FIG. 131
Configurazione di intradosso ed
estradosso dell'arco litico come conoide,
intersecato verticalmente con una
superficie cilindrica a direttrice
policentrica. Elaborazione digitale.

Bibliografia

- AA.VV., *Il potere e la devozione: la Sindone e la Biblioteca reale di Torino*, Electa, Milano 2000
- AA.VV., *Philippe de la Hire*, Picard, Parigi 2009
- AA.VV., *Fabricate: making digital architecture*, UCL PRESS, Londra 2011
- AA.VV., *Luigi Moretti: architetto del Novecento*, Gangemi 2011
- AA.VV., *Fabricate: negotiating design & making*, UCL 2013
- AA.VV., *Fabricate rethinking design and construction*, UCL PRESS, London 2017
- A. Ageno, A. Bernabo, F. Foce, A. Sinopoli, *Theory And History Of The Thrust Line For Masonry Arches. A brief account*, in Proceedings of 4th International Conference on Arch Bridges, 1840, 2004, pp. 1–10
- J. Ahlberg, E. Nilson, J. Walsh, *The theory of splines and their applications, Mathematics in Science and ...*, Academica Press, New York; London 1967
- F. Andreu, *I Teatini*, in M. Escobar (a cura di), *Ordini e congregazioni religiose*, Società editrice internazionale, Torino 1951, pp. 567–607
- A. Association, *David Rutten - Computing Architectural Concepts: Grasshopper Stories - YouTube*, s.d. <https://www.youtube.com/watch?v=KaJfUPk1qNs> (pagina consultata il 21/12/2017)
- B-Splines and Geometric Design*, s.d. <https://users.wpi.edu/~pwdavis/sinews/spline17.htm>
- J. Beldon Scott, *Seeing the Shroud: Guarini's Reliquary Chapel in Turin and the Ostension of a Dynastic Relic*, in The Art Bulletin, n. 77, 4, 1995, pp. 609–637
- J. Beldon Scott, *Architecture for the Shroud: Relic and Ritual in Turin*, 2003
- S. Benedetti, *Guarini e il barocco romano*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 705–750
- F. Bergamo, *Verso un'estetica ecologica per il design dell'interazione*, 2013, pp. 1–142
- M. Bevilacqua, G. Concheri, G. Fanti, S. Rodella, *Rigor Mortis and News obtained by the Body's Scientific Reconstruction of the Turin Shroud Man*, in Forensic Sci Today, 2018, pp. 001–008
- C. Bianchini, *La scienza della rappresentazione nella concezione di Guarino Guarini*, Gangemi Editore Spa, Roma 2008
- J. Blaeu, *Theatrum statuum regiae celsitudinis Sabaudiae ducis, Pedemontii principis, Cypri regis [...]*, hæredes Ioannis Blaeu, Amsterdam 1682
- P. Block, *Thrust Network Analysis: Exploring Three-dimensional Equilibrium* (MIT)
- A. Boase, *Sant'Anna Reale*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 345–349
- A. Bortot, *Emmanuel Maignan e Francesco Borromini. Il progetto di una villa scientifica nella Roma barocca del XVII secolo*, IUAV
- C. Boscaro, *La maniere universelle di Girard Desargues per la comprensione delle strutture stereotomiche*, IUAV
- M. Boshernitsan, M. Downes, *Visual Programming Languages: A Survey*, in Computer Science

Division (EECS), December, 2004

A. Bosse, *La pratique du trait à preuves, de Mr Desargues Lyonnois, pour la coupe des pierres en l'architecture. Par A. Bosse, graveur en taille douce, en l'isle du Palais, à la Roze rouge, devant la Megisserie*, L'imprimerie de Pierre Des-Hayes, Parigi 1643

A. E. Brinckmann, *La grandezza di Guarino Guarini e la sua influenza sull'architettura in Germania nel 1700*, in Società Piemontese di Archeologia e Belle Arti. Atti, n. 15, 1933, pp. [348]-374

M. Brusatin, *La macchina della meraviglia*, Einaudi, Torino 1986

M. Burnett, *Visual programming*, in Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, n. 32, 1–3, 1999, pp. 275–283

M. M. Burnett, M. J. Baker, *A classification system for visual programming languages*, in Journal of Visual Languages and Computing, 1994

M. Burry, *Scripting Cultures: Architectural Design and Programming*, Wiley, 2011

B. Cache, *Instruments of Thought: Another Classical Tradition*, Cornell Journal of Architecture, s.d. <http://cornelljournalofarchitecture.cornell.edu/read.html?id=76> (pagina consultata il 10/12/2017)

B. Cache, *Desargues and Leibniz: In the Black Box*, in Architectural Design, n. 81, 4, 2011, pp. 90–99

J. Calvo-López, *From Mediaeval Stonecutting to Projective Geometry*, in Nexus Network Journal, n. 13, 3, 2011, pp. 503–533

M. Campanelli, *L'ordine dei teatini alla metà del XVII secolo secondo l'inchiesta innocenziana*, in M. Campanelli (a cura di), *L'inchiesta di Innocenzo X sui regolari in Italia*, Edizioni di Storia e Letteratura, Roma 1987, pp. 3–94

D. Capecchi, *Storia della Scienza delle costruzioni 1600-1800. La resistenza delle travi*, Progedit, Bari 2003

M. Capucci, *Guarino Guarini letterato*, in Lettere italiane, n. VIII, 1956, pp. 75–82

V. Cardone, *Gaspard Monge, padre dell'ingegnere contemporaneo*, DEI - Tipografia del Genio Civile, Roma 2017

M. Carpo, *Parametric notations*, in Architectural Design, 2016, pp. 24–29

A. Cavallari Murat, *Struttura e forma nel trattato architettonico del guarini*, in Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco, 1, 1970, pp. 451–496

Cecilia Rostagni, *Moretti teorico. Matematica e la rivista «Spazio»*, in Luigi Moretti 1907-1973, Electa 2008

M. Chasles, *Aperçu Historique sur l'origine et le développement des méthodes en Géométrie...*, M. Hayez, Bruxelles 1837

C. Chen, *Information visualization*, in Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, n. 2, 4, 2010, pp. 387–403

R. Chiabrandò, G. Garnerò, *La restituzione fotogrammetrica della Cappella della S. Sindone: determinazione e sviluppo delle superfici di riferimento*, 1994

D. R. Coffin, *Padre Guarino Guarini in Paris*, in Journal of the Society of Architectural Historians, n. 15, 2, 1956, pp. 3–11

D. Correa, A. Menges, *Fused filament fabrication for multikinematic-state climate responsive aperture*, in A. Menges, B. Sheil, R. Glynn (a cura di), *Fabricate: Rethinking Design and Construction*, ULC Press, Londra 2017, pp. 190–195

- G. Croci, *Guarino Guarini. Il comportamento strutturale della Cappella in Torino*, in *Recupero e conservazione*, n. 11, 65, 2005, pp. 35–45
- B. Curtis, D. Walz, *Psychology of Programming, Psychology of Programming*, Academic Press, Londra 1990
- D. Daniel, *What is a digital object?*, in *O-Zone*, 1, 2014
- G. Dardanello, *Progetti per le prime cappelle della Sindone a Torino*, in M. Masoero, S. Mamino, C. Rosso (a cura di), *Politica e cultura nell'età di Carlo Emanuele I*, Olschki 1999, pp. 345–363
- G. Dardanello, *La costruzione della visione nella cappella della Sindone*, in G. Dardanello, S. Klaiber, H. A. Millon (a cura di), *Guarino Guarini*, Umberto Allemandi & C., Torino 2006, pp. 59–85
- A. L. Davis, R. M. Keller, *Data Flow Program Graphs*, in *Computer*, n. 15, 2, 1982, pp. 26–41
- D. Davis, *A History of Parametric*, s.d. <http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/> (pagina consultata il 21/12/2017)
- D. Davis, *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, February, 2013, pp. 243
- L. De Luca, *La fotomodellazione architettonica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2011
- A. De Rosa, *Quadraturismo in exergo*, (s.d.)
- A. De Rosa, *L'oblio del visibile, la memoria dell'invisibile: Jean Francois Nicéron taumaturgo ottico*, in A. De Rosa (a cura di), *Jean François Nicéron. prospettiva, catottrica e magia artificiale*, Aracne, Roma 2013, pp. 3–85
- J. Debanné, *Surface and appearance in Guarino Guarini's SS. Sindone Chapel*, in *Chora*, n. 3, 1999, pp. 45–77
- C.-F. M. Dechaies, *Cursus Seu Mundus Mathematicus. Tomus secundus*, in *Cursus seu mundus mathematicus...*, Lugduni : ex officina anissonina 1674
- C.-F. M. Dechaies, *Cursus Seu Mundus Mathematicus*, Ex Officina Anissoniana, Lione 1674
- M. DeLanda, *Philosophy and Simulation: The Emergence of Synthetic Reason*, 2011
- E. Dellapiana, C. Tosco, *Il miracolo strutturale Guarini e l'ordine gotico*, in E. Dellapiana, C. Tosco (a cura di), *Regola senza regola. Letture dell'architettura medievale in Piemonte da Guarini al Liberty*, CELID, Torino 1996, pp. 10–16
- F. Derand, *L'Architecture des voûtes, ou l'Art des traits et coupe des voûtes*, S. Cramoisy, Parigi 1643
- G. Di Lella, *La Cupola della Cappella della S.S.Sindone. Aspetti strutturali e costruttivi*, Politecnico di Torino
- M. Docci, R. Migliari, C. Bianchini, *Le vite parallele di Girard Desargues e Guarino Guarini, fondatori della moderna scienza della rappresentazione*, in *Disegnare idee immagini*, n. 4, 1992
- C. M. Eastman, *Modeling of buildings: evolution and concepts*, n. 1, 1992, pp. 99–109
- M. Ericson, *Euclid's Wedge - A History of computational Drawing*, 2014, pp. 125–134
- M. Ericson, *Review: Grasshopper Algorithmic Modeling for Rhinoceros 5*, in *Journal of the Society of Architectural Historians*, n. 76, 4, 2017, pp. 580–583
- R. A. Etlin, P. Delorme, *Stereotomy: The Paradox of an Acrobatic Architecture*, (s.d.)
- R. Evans, *Drawn Stone*, in *The Projective cast*, 2000, pp. 179–239
- R. Evans, *The Projective Cast: Architecture and Its Three Geometries*, MIT Press, Cambridge, MA 2000

M. Fagiolo, *La «geosofia» del Guarini*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 179–204

M. Fagiolo, *La sindone e l'enigma dell'eclisse*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 205–227

G. Fallacara, *Verso una progettazione stereotomica*, Aracne s.d.

G. Fallacara, *Digital stereotomy and topological transformations: reasoning about shape building*, in Proceedings of the Second International Congress on Construction History [Volume 1], 2006, pp. 1075–1092

G. Fallacara, F. Resta, N. Spallucci, L. Tamboréro, *The Vault of the Hôtel de Ville in Arles*, in Nexus Network Journal, n. 13, 3, 2011, pp. 599–629

J. Frazer, *Parametric computation: History and future*, in Architectural Design, n. 86, 2, 2016, pp. 18–23

A. F. Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction (Tome premiere)*, 1737

A. F. Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction (Tome second)*, in *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voûtes et autres parties des bâtiments civils & militaires, ou Traité de stéréotomie, à l'usage de l'architecture*, 1737a

A. F. Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction (Tome second)*, in *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voûtes... ou traité de stéréotomie à l'usage des architectes*, 1737b

A. Funkenstein, *Teologia e immaginazione scientifica dal Medioevo al Seicento. Traduzione di Aldo Serafini*, Einaudi, Torino 1996

A. Geraci, F. Katki, L. McMonegal, B. Meyer, H. Porteous, *IEEE Standard Computer Dictionary. A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries*, in IEEE Std 610, 1991

D. J. Gerber, *Parametric practices: models for design exploration in architecture* (Harvard University)

E. P. Glinert, S. L. Tanimoto, *Pict: An Interactive Graphical Programming Environment*, in Computer, n. 17, 11, 1984, pp. 7–25

Grasshopper - algorithmic modeling for Rhino, s.d. <http://www.grasshopper3d.com/> (pagina consultata il 21/12/2017)

T. R. G. Green, M. Petre, *Usability Analysis of Visual Programming Environments: A 'Cognitive Dimensions' Framework*, in Journal of Visual Languages & Computing, n. 7, 2, 1996, pp. 131–174

A. Griseri, *Guarini risolutivo fra '600 e '700*, in *Le metamorfosi del Barocco*, Einaudi, Torino 1967, pp. 179–216

G. Guarini, *La Pietà Trionfante*, Stampa di Giacomo Mattei, Messina 1660

G. Guarini, *Placita philosophica*, Dionysium Thierry, Parigi 1665

G. Guarini, *Euclides adauctus et methodicus mathematicaque universalis*, Typis Bartholomei Bibliopole S. R. C., Torino 1671

G. Guarini, *Caelestis mathematicae*, Typographia Ludouici Montiae, Milano 1683

G. Guarini, *Architettura civile*, Gianfrancesco Mairese all'Insegna di Santa Teresa di Gesù, Torino 1737

G. Guarini, N. Carboneri, B. Tavassi La Greca, *Architettura civile*, Il polifilo, Milano 1968

- I. Gürsel Dino, *Creative Design Exploration by Parametric Generative Systems in Architecture*, in *Metu Jfa*, n. 1, 2012, pp. 207
- P. Haerberli, *Grafica Obscura*, s.d. <http://www.graficaobscura.com/> (pagina consultata il 21/12/2017)
- P. Haerberli, *ConMan: a visual programming language for interactive graphics*, in *ACM SigGraph Computer Graphics*, n. 22, 4, 1988, pp. 1–51
- F. Hallyn, *Du monde de Kepler comme anamorphose*, in *Communication and Cognition: An Interdisciplinary Quarterly Journal*, n. 14, 2–3, 1981, pp. 165–198
- G. L. Hersey, *Architecture and Geometry in the Age of the Baroque*, University of Chicago Press, Chicago 2000
- J. Heyman, *Hooke's cubico-parabolical conoid*, in *Notes and Records of the Royal Society*, n. 52, 1, 1998, pp. 39–50
- D. D. Hils, *Visual Languages and Computing Survey: Data Flow Visual Programming Languages*, in *Journal of Visual Languages and Computing*, n. 3, 1, 1992, pp. 69–101
- T. Ichikawa, M. Hirakawa, *Iconic Programming: Where to Go?*, in *IEEE Software*, n. 7, 6, 1990, pp. 63–68
- Il rilievo per la conservazione. Il "cestello" della cupola della Sindone*, in *Recuperare l'edilizia*, 2003
- R. Iliffe, *Material Doubts: Hooke, Artisan Culture and the Exchange of Information in 1670s London*, in *The British Journal for the History of Science*, n. 28, 3, 1995, pp. 285–318
- M. Kemp, *La scienza dell'arte: prospettiva e percezione visiva da Brunelleschi a Seurat*, 1994
- S. E. Klaiber, *Guarino Guarini's Teatine architecture*, New York, Columbia University
- S. E. Klaiber, *La formazione di Guarini*, in G. Dardanella, S. Klaiber, H. A. Millon (a cura di), *Guarino Guarini*, Umberto Allemandi & C., Torino 2006, pp. 23–28
- F. W. Kokomoor, *The Teaching of Elementary Geometry in the Seventeenth Century*, in *Isis; an international review devoted to the history of science and its cultural influences*, n. 11, 1, 1928, pp. 85–110
- K. Kraus, *Photogrammetry. Geometry from Images and Laser Scans*, Walter de Gruyter GmbH & Co., Berlino 2007
- K.-E. Kurrer, *The History of the Theory of Structures: From Arch Analysis to Computational Mechanics*, Ernst & Sohn, Berlino 2008
- L. Lachauer, M. Rippmann, P. Block, *Form Finding to Fabrication: A digital design process for masonry vaults*, in *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2010, Il, 2010*
- A. Lange, *Disegni e documenti di Guarino Guarini*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 90–317
- D. Link, *Archaeology of Algorithmic Artefacts*, Univocal, Minneapolis 2016
- G. Loria, *Storia della geometria descrittiva dalle origini sino ai giorni nostri*, Hoepli, Milano 1921
- L. Maierù, *Le sezioni coniche nel Seicento*, Rubbettino, Soveria Mannelli 2009
- S. Mamino, *Carlo Emanuele I e lo Zodiaco della Sindone*, in V. Comoli, G. Giacobello Bernard (a cura di), *Il potere e la devozione: la Sindone e la Biblioteca reale di Torino*, Electa, Milano 2000, pp. 29–46
- J. A. Maravall, *Obiettivi sociopolitici nell'impiego di mezzi visivi*, in *La cultura del Barocco*.

Analisi di una struttura storica., Il Mulino, Bologna 1985, pp. 413–432

P. Marconi, *Guarino Guarini ed il Gotico*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970

A. Mastroianni, G. Pigafetta, *Scienza e meccanica in Guarino Guarini*, in Quaderni dell'Istituto di Storia dell'architettura, n. 1, 1998, pp. 47–68

J. McQuillan, *Guarino Guarini and his Grand Philosophy of Sapientia and Mathematics*, in Nexus Network Journal, n. 11, 3, 2009, pp. 341–349

J. P. McQuillan, *Geometry and light in the architecture of Guarino Guarini*, University of Cambridge

H. A. Meek, G. Guarini, *Guarino Guarini*, Electa, Milano 1991

B. Messina, *Spazio reale e spazio virtuale : le architetture di Guarino Guarini e di Zaha Hadid*

F. Milizia, *Memorie degli architetti antichi e moderni*, Dalla Stamperia Reale, Parma 1781

H. A. Millon, *L'architettura di Guarino Guarini*, in G. Dardanello, S. Klaiber, H. A. Millon (a cura di), *Guarino Guarini*, Umberto Allemandi & C., Torino 2006, pp. 9–20

W. J. Mitchell, *Computer-Aided Architectural Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York 1977

W. J. Mitchell, *a New Agenda for Computer-Aided Architectural Design*, in The Electronic Design Studio: Architectural Knowledge and Media in the Computer Era [CAAD Futures '89 Conference Proceedings, 1989, pp. 1–16

W. J. Mitchell, *The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition*, 1990

L. filosofici dell'età Moderna, *VITALI*, 1668, s.d.
http://www.iliesi.cnr.it/Lessici/scheda_Vita.htm (pagina consultata il 15/10/2018)

J. Monedero, *Parametric design: a review and some experiences*, in Automation in Construction, n. 9, 4, 2000, pp. 369–377

L. Moretti, *Strutture e sequenze di spazi*, in Spazio: rassegna mensile delle arti e dell'architettura, n. 7, 1953, pp. 9–20, 107–108

L. Moretti, *Ricerca matematica in architettura e urbanistica*, in Moebius, n. 1, 4, 1971, pp. 30–53

J. P. Morrison, *Flow-Based Programming*, *Prologue Quarterly Of The National Archives*, van Nostrand Reinhold 1994

W. Müller, *The Authenticity of Guarini's Stereotomy in His «Architettura Civile»*, in Journal of the Society of Architectural Historians, n. 27, 3, 1968, pp. 202–208

W. Müller, *Guarini e la stereotomia*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970

B. A. Myers, *What are Visual Programming, Programming by Example, and Program Visualization?*, in *Proceedings of Graphics Interface and Vision Interface '86*, Canadian Man-Computer Communications Society, Toronto, Ontario, Canada 1986, pp. 62–65

B. A. Myers, *Taxonomies of visual programming and program visualization*, in Journal of Visual Languages and Computing, n. 1, 1, 1990, pp. 97–123

P. Napoli, *A Structural Description of the Chapel of the Holy Shroud in Torino*, in Nexus Network Journal, n. 11, 3, 2009, pp. 351–368

A. Nardi, *Un galileiano eccentrico. Il gesuita François Milliet Dechaux tra Galileo e Newton*, in Archives Internationales d'Histoire des Sciences, n. 49, 1999, pp. 32–74

M. Nasti, *Il sistema del mondo di Guarino Guarini*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e*

l'internazionalità del Barocco, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970

W. Oechslin, *Osservazioni su Guarino Guarini e Juan Caramuel de Lobkovitz*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970

Oxford Dictionaries, *Script*, s.d. <https://en.oxforddictionaries.com/definition/script> (pagina consultata il 10/12/2017)

A. Pagliano, *Il disegno dello spazio scenico*, Hoepli, Milano 2002

C. J. Palacios, *Trazas y cortes de cantería en el renacimiento español*, Industrias Gráficas España, Madrid 2003

M. Passanti, G. Guarini, *Nel mondo magico di Guarino Guarini*, Toso, Torino 1963

A. Pérez-Gómez, *Architecture and the Crisis of Modern Science*, in *Architecture Theory since 1968*, 1983

A. Pérez-Gómez, *Attunement: Architectural Meaning after the Crisis of Modern Science*, 2016

J.-M. Pérouse de Montclos, *L'architecture a la française*, 1982

Placita Philosophica Guarini. Guarini Clerici Regularis. In fol. Parisi, apud Dionys. Thierry, in *Le Journal des sçavans*, 1666, novembre, pp. 461–462

P. Portoghesi, G. Guarini, *Guarino Guarini 1624-1683*, Electa, Milano 1956

programmazione a oggetti, in *Enciclopedia della Matematica*, s.d.

U. Quarello, *The unpublished working drawings for the nineteenth-century restoration of the double structure of the Real Chiesa di San Lorenzo in Torino*, in *Nexus Network Journal*, n. 11, 3, 2009, pp. 369–392

A. Rabassini, *Il Lessicografo dell'astrologia. Note biografiche Su Girolamo Vitale (1623/24-1698)*, in *Bruniana & Campanelliana*, n. 18, 2, 2012, pp. 675–681

E. C. Robison, *Optics and Mathematics in the Domed Churches of Guarino Guarini*, in *Journal of the Society of Architectural Historians*, n. 50, 4, 1991, pp. 384–401

C. S. Roero, *Guarino Guarini and Universal Mathematics*, in *Nexus Network Journal*, n. 11, 3, 2009, pp. 415–439

O. Rosati, *Interpretazioni architettoniche delle prospettive accelerate e rallentate*, Quaderni di studio, Torino 1969

F. Rosso, *Guarino Guarini stereotomista*, in G. Dardanello, S. Klaiber, H. A. Millon (a cura di), *Guarino Guarini*, Umberto Allemandi & C., Torino 2006, pp. 309–321

J. Sakarovitch, *Epures d'architecture: De la coupe des pierres a la géométrie descriptive XVI - XIX siècles*, Birkhäuser Basel, Basel 1998

M. Salvatore, *Prodromes of Descriptive Geometry in the Traité de stereotomie by Amédée Francois Frézier*, in *Nexus Network Journal*, n. 13, 3, 2011, pp. 671–699

S. L. Sanabria, *From Gothic to Renaissance Stereotomy: The Design Methods of Philibert de l'Orme and Alonso de Vandelvira*, in *Technology and Culture*, n. 30, 2, 1989, pp. 266–299

A. Saunders, *Baroque parameters*, in *Architectural Design*, n. 79, 1, 2009, pp. 132–135

A. Sgrosso, *La rappresentazione geometrica dell'architettura. Applicazioni di geometria descrittiva*, UTET, Torino 2000

R. Sinisgalli, *Una storia della scena prospettica dal Rinascimento al Barocco. Borromini a quattro dimensioni.*, Cadmo, Firenze 1998

A. Sinopoli, *Il problema dell'equilibrio da Aristotele a Varignon*, Franco Angeli, Milano 2015

W. R. Sutherland, *The On-line graphical specification of computer procedures*, Massachusetts

Bibliografia

Institute of Technology

L. Tamboréro, J. Sakarovitch, *The vault of Aries City Hall: A carpentry outline for a stone vault?*, in Proceedings of the First International Congress on Construction History, Madrid, 20th-24th January 2003, ed. S. Huerta, Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, ETSAM, A. E. Benvenuto, COAM, F. Dragados, 2003, January, 2003

L. Tamburini, *I luoghi della Sindone*, in V. Comoli, Gi. Giacobello Bernard (a cura di), *Il potere e la devozione: la Sindone e la Biblioteca reale di Torino*, Electa, Milano 2000, pp. 89–96

E. Tesauro, *Panegirici*, Zanatta, Torino 1659

S. Tibbits, K. Cheung, *Programmable materials for architectural assembly and automation*, in *Assembly Automation*, n. 32, 3, 2012, pp. 216–225

V. Treccani, *Computazionale*, s.d. <http://www.treccani.it/vocabolario/computazionale/> (pagina consultata il 10/12/2017)

C. Trevisan, *Per una storia della stereotomia*, s.d.

F. G. Tricomi, *Guarino Guarini matematico*, in V. Viale (a cura di), *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, Accademia delle Scienze di Torino, Torino 1970, pp. 551–557

S. Turkle, *Il disagio della simulazione*, Ledizioni, Milano 2011

E. Ulivi, *Il tracciamento delle curve prima di Descartes*, in G. Belgioioso (a cura di), *Descartes: il metodo e i saggi. Atti del convegno per il 350 anniversario della pubblicazione del Discours de la méthode e degli Essais*, Istituto della Enciclopedia italiana, Firenze 1990, pp. 519–591

C. Upson, *Visual Programming in Data Flow Environments*, s.d. <https://www.youtube.com/watch?v=uhJWhaun7iY>

D. Vesely, *Architecture in the Age of Divided Representation: The Question of Creativity in the Shadow of Production*, MIT Press 2004

G. Vitali, *Lexicon mathematicum astronomicum geometricum [...]*, Ex Officina Ludovic. Billaine, Parigi 1668

Vocabolario - Treccani, *Algoritmo*, s.d. <http://www.treccani.it/vocabolario/algoritmo/> (pagina consultata il 11/12/2017)

Vocabolario - Treccani, *Paramétrico*, s.d. <http://www.treccani.it/vocabolario/parametrico/> (pagina consultata il 11/12/2017)

Vocabolario - Treccani, *Script*, s.d. <http://www.treccani.it/vocabolario/script/> (pagina consultata il 10/12/2017)

J. Wallis, *Cono-cuneus: or the shipwright's circular wedge [...] in a letter to the honorable Sir Robert Morey, Knight*, in *A treatise of algebra, both historical and practical...*, Richard Davis, Oxford 1684

R. Woodbury, *Elements of Parametric Design*, 2010

Indice delle figure

- FIG. 1 P.D. Guarinus Guarinis Cleric. Regul., in G. Guarini, *Dissegni d'architettura civile et ecclesiastica*. 1686.
- FIG. 2 G. Tiepolo, *San Gaetano da Thiene*, 1710-1736. Museo nazionale delle Belle Arti, Rio De Janeiro.
- FIG. 3 M. Fagiolo, *la «GEOSOFIA» di Guarini*, in M. Fagiolo, *La geosofia di Guarini in Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco*, 1970.
- FIG. 4 La geometria come strumento totale, relazione tra opere e analisi (lenti).
- FIG. 5 S. Leclerc, *L'Académie des Sciences et des Beaux-Arts*, 1698. Metropolitan Museum of Art, New York.
- FIG. 6 A. Kircher, *Magnes sive de arte magnetica opus tripartitum*, 1641. Frontespizio.
- FIG. 7 G. Morandi, *Cursus Philosophici*, 1647. Frontespizio.
- FIG. 8 *Ex libris* Guarino Guarini, Matematico di Sua Altezza Reale.
- FIG. 9 P. P. Rubens, L'operazione della proiezione in F. d'Aguilon, *Opticorum libri VII*. 1581 (frontespizio).
- FIG. 10 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Lastra V, Trattato III. "Del modo di disporre un colonnato nel tondo".
- FIG. 11 G. Guarini, *Placita Philosophica*. 1665. Frontespizio.
- FIG. 12 G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Disputatio IX, De continui compositione, p. 249.
- FIG. 13 G. Guarini, *Caelestis mathematicae*, 1683. Rappresentazione del sistema cosmologico tolemaico, copernicano e tichiano.
- FIG. 14 G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Disputatio V, De motibus spaerarum caelestium, p. 326.
- FIG. 15 G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Disputatio V, De motibus spaerarum caelestium, p. 329.
- FIG. 16 G. Guarini, *Caelestis mathematicae*, 1683. Trattato XIX. Rappresentazione di un'orbita di un pianeta.
- FIG. 17 G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Disputatio VI. De altrici et aucrici facultate, p. 669.
- FIG. 18 G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Disputatio VI, De altrici et aucrici facultate, p. 670.
- FIG. 19 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Figura 6, lastra III, Trattato III. Curva *optica*.
- FIG. 20 G. Guarini, *Euclides adauctus*, 1671. Trattato XVIII, Expensio VI, Problma II, Propositio XXVIII.
- FIG. 21 Iperbole di equazione $y=-2/(x+1)$. Elaborazione digitale.
- FIG. 22 W. R. Sutherland, *The On-line graphical specification [...]*, 1966, p.12. A sinistra creazione del sistema di icone associato ad un sistema testuale di descrizione delle operazioni, a destra esempio di assemblaggio.
- FIG. 23 M. M. Burnett, A classification system for visual programming languages, 1944. La posizione dei Visual Programming Languages all'interno del Visual Computing.
- FIG. 24 ICE (*Interactive compositing environment*) presente nella prima edizione di PRISMS, software per la modellazione tridimensionale

Indice delle figure

- FIG. 25 D. Davis, *Modelled on Software Engineering [...]*, 2013. Esempio di programmazione in Yeti (a sinistra), Python (a destra), Grasshopper (in basso)
- FIG. 26 Descrizione della somma tra linguaggi di programmazione differenti. Da sinistra: C, Basic, LabVIEW (VPL), foglio di calcolo.
- FIG. 27 Operazioni di somma e sottrazione con il programma InterCONS.
- FIG. 28 Script di produzione video dall'acquisizione dei dati da una videocamera in HI_VISUAL
- FIG. 29 Programmazione visuale nel software VIVA.
- FIG. 30 Costruzione di una linea mediante cinque blocchi, visualizzazione della grafica creata e dei dati uscenti (DynamoBIM). Elaborazione digitale.
- FIG. 31 P. Haerberli, ConMan, modellazione algoritmica di una coppa martini.
- FIG. 32 P. Haerberli, ConMan, operazione di *sweep* di profilo assegnato rispetto ad una elica definita parametricamente
- FIG. 33 Composizione algoritmica in ambiente di modellazione Max/MSP.
- FIG. 34 Script per la modellazione della scala elicoidale di Palazzo Mannajuolo a Napoli. Elaborazione digitale.
- FIG. 35 Philibert Delorme, trompe dell'Hôtel de Bullioud, Lione
- FIG. 36 F. Bergamo, G. Liva. Rielaborazioni digitali da L. Monduit *Théorique et pratique de la Stéréotomie au point de vue de la coupe de pierres* (in F. Bergamo, G. Liva, *Stereotomia. Dalla pietra al digitale*, 2010).
- FIG. 37 G. Guarini, *Architettura Civile*, 1737. Figura 3, Lastra XIV. Nella parte centrale è presente il "cuneo computazionale" come individuato da Ericson.
- FIG. 38 M. Ericson, assonometria del funzionamento del meccanismo di riporto delle misure per il disegno di una volta ellissoidica a partire dal cuneo computazionale.
- FIG. 39 M. Ericson, proiezioni ortogonali, sviluppo e assonometria di una volta ellissoidica.
- FIG. 40 Processo digitale per il passaggio dall'ideazione alla costruzione di elementi voltati. La disposizione dei tagli delle pietre non è determinata a priori, ma deriva dagli aspetti computazionali.
- FIG. 41 Ricerca della topologia di riferimento grazie all'analisi dei bordi e del numero di supporti.
- FIG. 42 L. Moretti. Diagramma delle curve di eguaglianza di appetibilità visiva per uno stadio calcistico.
- FIG. 43 L. Moretti. Modello tridimensionale di stadio progettato grazie alle curve parametricamente definite.
- FIG. 44 L. Moretti. Schema geometrico per la determinazione del parametro "appetibilità visive".
- FIG. 45 I. Ariza, *Robotic fabrication of stone assembly details*, 2017 Operazioni di taglio di solidi marmorei attraverso bracci robotizzati.
- FIG. 46 S. Peters, *Precast concrete shells a structural challenge*, 2017. Assemblaggio di elementi a doppia curvatura in calcestruzzo armato.
- FIG. 47 M. Self, E. Vercruyssen, *Infinite variations, radical strategies*, 2017. Trave reticolare ottenuta assemblando porzioni di albero. I giunti legno-legno sono realizzati attraverso il taglio delle estremità da parte di un braccio meccanico.
- FIG. 48 J. Kingman, *The 2016 Serpentine pavilion: a case study in largescale GFRP structural design and assembly*, 2017. Suddivisione per geometria, vincoli, connessione dei blocchi cavi plastici.
- FIG. 49 M. Aghaei Meibodi, *The smart takes from the strong 3d printing stay-in-place formwork for concrete slab construction*, 2017. Prototipo di solaio di materiale composito ottenuto attraverso un processo digitale sottrattivo. Prova di carico.

- FIG. 50 D. Correa, A. Menges, *Fused filament fabrication for multi-kinematic-state climate-responsive aperture*, 2017. Cambiamento della direzione di piegatura in relazione alla disposizione del materiale di produzione.
- FIG. 51 C.-F. M. Dechales, *Cursus Seu Mundus Mathematicus*, 1674. *Propositio XXIV, Arcus obliquus inclinatus per projectionem*.
- FIG. 52 C.-F. M. Dechales, *Cursus Seu Mundus Mathematicus*, 1674. *Propositio V, Testudo conica, cujus ichnographia circularis convexa, vel concava*.
- FIG. 53 M. Jousse, *Secret d'architecture*, 1642. *Porte en tour Ronde biaize avec son Berceau & Cintre*.
- FIG. 54 F. Derand, *L'Architecture des voûtes*, 1643. *Chapitre VIII. Descente en talut, biaise devant & derrière, ayant son plein cintre, & par testes égales en son devant, rachatant un berceau*.
- FIG. 55 G. Guarini, *Euclides adauctus*, 1671. *Problema 11, Proposizione 13*. Proiettare in piano la superficie di un semicilindro la cui sezione piana inclinata ed obliqua sia nota e che sia tagliato dall'altra parte da un cilindro ortogonale all'asse.
- FIG. 56 F. Derand, *L'Architecture des voûtes*, 1643. *Chapitre X. Trompe sur un angle aigu, rachatant un berceau. La même rachatant un talut*
- FIG. 57 G. Guarini, *Euclides adauctus*, 1671. *Problema 7 proposizione 22* Trovare la superficie di un dato cono concavo tagliato da una superficie piana non perpendicolare tuttavia all'asse.
- FIG. 58 F. Derand, *L'Architecture des voûtes*, 1643. *Chapitre XIX. Trompe rempante, ayant tel plan & telle montée que l'on voudra, faite sans lignes de pente, & ayant les testes égales*
- FIG. 59 G. Guarini, *Euclides adauctus*, 1671. *Problema 9, Proposizione 24* Proiettare in piano la superficie di un cono concavo, la cui base sia lenticolare, semicircolare o di qualunque altra forma, sezionato da una superficie cilindrica.
- FIG. 60 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Diagrammi per lo sviluppo di archi appartenenti a superfici cilindriche.
- FIG. 61 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Diagrammi per lo sviluppo di archi appartenenti a superfici coniche.
- FIG. 62 A. Bosse, *La pratique du trait à preuves [...]*, 1643. Nomenclatura delle parti di un sistema arcuato.
- FIG. 63 A. F. Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres*, 1737. Taglio “par panneaux” di una volta a botte, nella rappresentazione 59^a viene presentata la differenza tra lo sviluppo delle superfici e la geometria della proiezione dell'intradosso.
- FIG. 64 Una delle tre arcate che delineano la transizione tra l'aula della Cappella della Sacra Sindone e il tamburo.
- FIG. 65 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. *Figure 8 e 9. Lastra I. Trattato IV*. A sinistra il principio di uguaglianza tra le aree delle superfici planari inscritte in un cilindro. A destra il procedimento di suddivisione dell'area di un cono in piramidi inscritte ad esso.
- FIG. 66 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. *Lastra II. Trattato IV*. Tramite questa tavola vengono esemplificati 3 apparecchiature stereotomiche differenti, a seconda della differenza della geometria del muro su cui scarica l'arco a tutto sesto.
- FIG. 67 Diagramma UML di sequenza che indica le operazioni da svolgere per il completamento dell'esercizio stereotomico. Elaborazione digitale.
- FIG. 68 Procedimento geometrico di creazione dello sviluppo delle superfici di intradosso ed estradosso. In basso la creazione delle facce laterali. Elaborazione digitale
- FIG. 69 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. *Figura 6. Lastra III. Trattato IV*. Rappresentazione guariniana ‘tridimensionalizzante’ dei conci componenti l'apparecchiatura descritta.
- FIG. 70 In sequenza dall'alto: lo sviluppo della superficie di estradosso dei conci, lo sviluppo della superficie di intradosso e di intradosso dei conci medesimi, assemblaggio delle curve

- come da procedura guariniana. Vista planimetrica dei conci come fossero ‘distesi’ su un piano. Elaborazione digitale.
- FIG. 71 Esploso assonometrico. Dal centro verso l’alto: sviluppo della superficie esterna, rappresentazione guariniana, rappresentazione dei conci come se disposti su un piano.
- FIG. 72 G. Farin, *A History of Curves and Surfaces in CAGD*, 2002. Formalizzazione di una spline quadratica per punti di controllo e nodi.
- FIG. 73 Progetto della lettera r di un carattere attraverso curve cubiche di Bézier.
- FIG. 74 Struttura geometrica di composizione dei casi di superfici cilindriche come dalla tradizione stereotomica francese.
- FIG. 75 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Figura 11. Lastra I. Trattato IV. Rappresentazione guariniana del caso 4.3.8
- FIG. 76 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Lastra IV. Trattato IV. Processo di proiezione del solido, proiezione delle sezioni e sviluppo della superficie cilindrica compresa tra una superficie verticale qualsiasi e una superficie conica generalmente inclinata.
- FIG. 77 Proiezioni ortogonali del caso 4.3.8. Elaborazione digitale.
- FIG. 78 Grafico ‘cartesiano’ esploso. Dall’alto la proiezione ortogonale, origine delle distanze, lo sviluppo dell’intradosso dell’arco e dei giunti laterali dei conci, lo sviluppo dell’estradosso dell’arco, resa grafica proposta da Guarini quale proiezione verticale dei conci come fossero disposti su un piano.
- FIG. 79 Sistema equivalente nel metodo di Monge. Metodo per intersezione tramite piani proiettanti.
- FIG. 80 Esploso assonometrico dei conci dell’arco risultante. Dal centro: verso l’alto sviluppo della superficie di estradosso; verso il basso sviluppo dell’intradosso e della superficie laterale. Al centro, assonometria dell’arco con i conci verso l’alto, ‘distesi’ su un piano orizzontale, per descrivere le rappresentazioni guariniane. Elaborazione digitale.
- FIG. 81 Classificazione delle apparecchiature stereotomiche basate sulla superficie conica.
- FIG. 82 Casi stereotomici nella tradizione stereotomica spagnola. Elaborazione digitale delle rappresentazioni di Carlos José Palacios.
- FIG. 83 J. Wallis, *Cono-cuneus: or the shipwright's circular wedge [...]*, 1684. Cono-Cuneus, rappresentazione della qualità delle sezioni.
- FIG. 84 A. Sgrosso, *La rappresentazione geometrica dell’architettura*, 2000. Assonometria di un’apertura circolare in una torre cilindrica.
- FIG. 85 A. Sgrosso, *La rappresentazione geometrica dell’architettura*, 2000. Assonometria della superficie nota come cono-cuneo di Wallis.
- FIG. 86 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Figura 4 e 5. Lastra IX. Trattato IV. Proiezioni del conoide e intersezione con un cilindro ad asse verticale
- FIG. 87 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Figura 6 e 7. Lastra IX. Trattato IV. Sviluppo della superficie di intradosso e della superficie di appoggio (a destra), resa tridimensionale (a sinistra)
- FIG. 88 Proiezioni ortogonali del caso svolto. A destra sviluppi della superficie interna ed esterna, della superficie laterale. In basso i conci come se fossero distasi su un piano. Elaborazione digitale.
- FIG. 89 Esploso assonometrico del caso 4.4.6. Dal centro, arco ad intradosso conoidico, ottenuto dall’intersezione di un conoide con un cilindro perpendicolare al suo asse. In alto e in basso sviluppo di estradosso e intradosso e confronto con la superficie ottenuta tramite strumento CAD. A destra i conci come se fossero distasi su un piano orizzontale.
- FIG. 90 S. L. Sanabria, *From Gothic to Renaissance Stereotomy [...]*, 1989. Trasformazione da arco angolare a pennacchio conico (*trompe*)

- FIG. 91 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Lastra VII. Trattato IV. Caso stereotomico di un cono intersecato da una superficie verticale. Esempio di sviluppo della superficie conica attraverso un sistema di orientamento radiale.
- FIG. 92 Analisi della curvatura Gaussiana per la superficie esterna del conoide studiata nel caso presentato. La variazione maggiore è presente in prossimità della direttrice rettilinea.
- FIG. 93 G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Lastra IX. Trattato IV. Visualizzazione del “cono che termina su una linea” e dei casi stereotomici descritti nel trattato.
- FIG. 94 Visualizzazione del risultato dello script durante il suo funzionamento. A destra il grafico cartesiano ‘misto’ in cui vengono calcolati gli sviluppi della superficie interna e esterna all’intersezione di due serie di circonferenze. Elaborazione digitale.
- FIG. 95 Proiezioni ortogonali di un conoide la cui base appartiene al piano verticale, intersecato con due superfici cilindriche, ad asse verticale.
- FIG. 96 J. B. Scott, Cappella della Sacra Sindone, vista dell’arco di passaggio a intradosso conoidico tra l’abside della cattedrale e la cappella guariniana.
- FIG. 97 Orcorte, E., c. 1993. Vista interna della cappella della Sindone, Torino.
- FIG. 98 Giovanni Luigi Valesio, *Cristo adagiato nella Sindone*, prima del 1615. Artstore,
- FIG. 99 Anonimo, *Ostensione della Sindone*, 1579. La tavola intende celebrare la memoria dell’avvenimento dell’ostensione della Sindone, a Chambéry, il 4 maggio di ogni anno, prima dello spostamento a Torino.
- FIG. 100 Giuseppe Bartolomeo Tasnière (su disegno di Giulio Cesare Grampin), *Veduta dell’interno della cappella della Sindone in occasione dell’ostensione del 4 maggio 1703*. 1703. Biblioteca Reale, Torino, S II 80.
- FIG. 101 Antoine Hérisset, *La Suntuosa Illuminazione della Città di Torino per l’Augusto Sposalizio delle Reali Maestà di Carlo Emmanuele Re di Sardegna e di Elisabetta Teresa Principessa Primogenita di Lorena con l’aggiunta della pubblica Esposizione della Santissima Sindone*. 1737. In particolare si veda come l’altezza della cappella della Sindone sia paragonabile con il campanile della cattedrale e non con la sua cupola.
- FIG. 102 Vista esterna della cappella della Sindone a cui si antepone la cupola della cattedrale.
- FIG. 103 Carlo di Castellamonte, *Sezione di progetto della cappella della Sindone*, 1621. Fondazione Umberto II e Maria-Jose di Savoia, Losanna.
- FIG. 104 Bernardino Quadri, *Pianta del progetto per la cappella della Sindone*, c. 1655. Biblioteca Reale, Torino.
- FIG. 105 Pianta e sezione della cappella della Sindone, presi da G. Guarini, *Disegni d’Architettura civile ed ecclesiastica*, 1686. Biblioteca Reale, Torino.
- FIG. 106 Tommaso Bergonio, *Scenographia Aedis Regiae Sacratissimae Sindoni dicatae*, in *Theatrum statuum regiae [...]*, 1682.
- FIG. 107 Tommaso Bergonio, *Incographia Aedis Regiae Sacratissimae Sindoni dicatae*, in *Theatrum statuum regiae [...]*. 1682.
- FIG. 108 G. Guarini, *Studio di un settore del tamburo e della cupola per la cappella della Sindone*, 1675. Archivio di Staio, Torino. Archivio Savoia, Carignano, cat. 95, mazzo 2, fase. 124.
- FIG. 109 G. Di Lella, Modello della cappella della Sindone. Gli ultimi due ordini di arcate, la zona di passaggio con la stella litica e la cupola ellissoidica conclusiva, sopra la quale è posta la torre finale.
- FIG. 110 G. Di Lella, Modello della cappella della Sindone. Dettaglio della costruzione del quinto e sesto livello di archi.
- FIG. 111 G. Di Lella, Modello della cappella della Sindone. Dettaglio dell’imposta della stella litica.
- FIG. 112 E. Orcorte, Vista del cestello al livello del secondo ordine di archi, c. 1992.

Indice delle figure

- FIG. 113 E. Orcorte, c. 1992. Vista del tamburo e della volta conica decorata di collegamento tra le murature interna ed esterna del tamburo.
- FIG. 114 E. Orcorte, c. 1992. Vista del sistema di archi dall'imposta del 'cestello'.
- FIG. 115 E. Orcorte, c. 1992. Veduta interna della successione di archi.
- FIG. 116 Inserimento di vincoli puntuali per il calcolo automatico delle costanti in Agisoft Photoscan.
- FIG. 117 *Il vero ritratto dell'Altare del SS.mo Sudario di Torino*, 1737. Torino, Biblioteca Reale.
- FIG. 118 Cappella della Sindone, immagine dell'altare di Antonio Bertola
- FIG. 119 M. Passanti, Sezione della cappella della Sacra Sindone e dimostrazione dell'accelerazione prospettica.
- FIG. 120 B. Messina. Ricostruzioni del funzionamento prospettico del cestello.
- FIG. 121 Ricostruzione prospettica del sistema di archi impostati su una superficie cilindrica.
- FIG. 122 E. C. Robison, Dimostrazione della costruzione del paraboloido di rotazione come involuppo del sistema di archi.
- FIG. 123 Sovrapposizione di due modalità di costruzione di una parabola.
- FIG. 124 G. Guarini, *Euclides Adauctus [...]*, 1671. Teorema V, Proposizione XXIX, p. 635). Dimostrazione di due corpi di pari volume.
- FIG. 125 G. Guarini, *Placita Philosophica*, 1665. Orbita di Mercurio.
- FIG. 126 J. Beldon Scott, Ricostruzione tramite ripetizione radiale del disegno originario di Guarini per la cappella della Sindone.
- FIG. 127 A. F. Frèzier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction*, 1737. Planche 54. *Les voussoirs d'enfourchement des voutes sphériques ou sphéroïdes fermées en polygone.*
- FIG. 128 G. Guarini, *Disegni d'architettura civile et ecclesiastica*, 1686. Planimetria a livello del tamburo con proiezione del 'cestello' e della muratura del primo sistema di archi.
- FIG. 129 Scomposizione geometrica-semantiche del cestello della cappella della Sacra Sindone. Elaborazione digitale.
- FIG. 130 C.-F. M. Dechales, *De Lapidum Sectione, Cursus seu Mundus mathematicus in Cursus Seu Mundus Mathematicus*, 1674. Proposizione XIV e XV.
- FIG. 131 Configurazione di intradosso ed estradosso dell'arco litico come conoide, intersecato verticalmente con una superficie cilindrica a direttrice policentrica. Elaborazione digitale.

Appendice A. Glossario minimo al capitolo 3

La letteratura esistente legata alla cosiddetta modellazione algoritmica, soffre dell'uso di molteplici termini, spesso erroneamente associati ad ambiti d'uso differenti. In primo luogo, è necessario comprendere come gli aggettivi algoritmico, parametrico, computazionale possano essere associati ad un'attività di modellazione (*modeling*) o di progettazione (*design*). Spesso le definizioni si sovrappongono, poiché non esiste, nel dominio applicativo, una progettazione senza una modellazione tridimensionale che la supporti. Come già visto, infatti, molti autori in bibliografia esprimono il processo di progettazione digitale come definito da modellazione, calcolo, ottimizzazione¹. Ogni sistema di ottimizzazione prevede il calcolo di una funzione attraverso la modifica delle variabili (parametri)². Ne consegue, all'interno di questo processo, un'equivalenza tra i termini modellazione e progetto.

Si è pertanto cercato di costruire un glossario che supporti il lettore nella definizione sia delle logiche di sviluppo della tesi sia dei termini utilizzati. È questo un compito complesso, poiché si tratta di definire termini all'interno di letterature consolidate, quella della matematica e dell'informatica, il cui utilizzo avrebbe purtroppo poco senso per l'ambito di ricerca. È necessario quindi costruire le definizioni all'interno di un tracciato già posto da altri autori³.

Algoritmo. Qualunque schema o procedimento matematico di calcolo⁴ al fine di produrre un'attività⁵. Più precisamente, una sequenza finita di operazioni elementari (o istruzioni, o regole), eseguibili facilmente da un elaboratore che, a partire da un insieme di dati di input, produce un altro insieme di dati output, che soddisfano un preassegnato insieme di requisiti. Spesso i requisiti vengono distinti in due categorie: i vincoli, ossia requisiti che devono essere soddisfatti in ogni caso, e gli obiettivi, ossia requisiti che devono essere soddisfatti il meglio possibile secondo un qualche criterio specificato. In riferimento alla ricerca qui descritta, si preferisce usare la semplificazione attraverso l'uso di *scripting*.

¹ D. J. Gerber, *Parametric practices: models for design exploration in architecture* (Harvard University).

² D. Davis, *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, cit.

³ L'utilizzo della terminologia inglese è d'obbligo. Tuttavia, qualora la traduzione italiana fosse coerente, questa viene aggiunta tra parentesi.

⁴ Vocabolario - Treccani, *Algoritmo*, s.d. <http://www.treccani.it/vocabolario/algoritmo/> (pagina consultata il 11/12/2017).

⁵ A. Geraci *et al.*, *IEEE Standard Computer Dictionary. A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries*, in IEEE Std 610, 1991.

Script. Una serie automatizzata di istruzioni eseguite in uno specifico ordine⁶. Più specificatamente, programma o sequenza di istruzioni che viene interpretata o portata a termine da un altro programma⁷. Tale definizione è sicuramente più significativa per l'argomento in questione, poiché lega un'attività, lo *scripting*, alla presenza di un software principale. A riguardo il contributo di Burry risulta fondamentale, poiché specifica come lo *scripting*, azione di creare script, è rappresentato dalla capacità dell'utente finale di adattare, personalizzare o completamente riconfigurare il software secondo le proprie modalità di lavoro⁸. Dal punto di vista prettamente produttivo, l'operazione di *scripting* viene banalizzata per rendere automatici alcuni processi ed eliminare attività ripetitive⁹. È corretto specificare come questa modalità stia alla base delle opportunità di modifica. Coates nel personale glossario riporta che l'autore dello *script*, come nel caso di questa tesi, non è da considerarsi un programmatore professionista. Operazioni più raffinate possono avvenire tramite la programmazione attraverso API (*Advanced Programming Interface*) o SDK (*Software Development Kit*).

Parametric (Parametrico). Quando relativo ad equazioni matematiche, il termine precisa la caratteristica secondo cui un'equazione sia in funzione di una o più variabili indipendenti (definite parametri)¹⁰. Attraverso un'analisi quantitativa, basata su *Google Books*, Davis ha individuato che il termine *parametric* (in lingua inglese) viene utilizzato per la prima volta da James Dana¹¹ per uno studio cristallografico¹².

Parametric modeling (Modellazione parametrica). Un algoritmo che genera modelli descritti tramite geometria e metadati¹³. Il termine è largamente usato nel campo della modellazione architettonica digitale per definire processi e software molto differenti tra loro. Monedero distingue diverse tipologie di modellazione parametrica¹⁴; Woodbury¹⁵, associando il termine *parametric* con *constraint*, pone l'attenzione proprio sui vincoli, già peraltro presenti in Sketchpad (1963). Un modello parametrico diventa utile, a fini progettuali, quando esso può

⁶ Oxford Dictionaries, *Script*, s.d. <https://en.oxforddictionaries.com/definition/script> (pagina consultata il 10/12/2017).

⁷ Vocabolario - Treccani, *Script*, s.d. <http://www.treccani.it/vocabolario/script/> (pagina consultata il 10/12/2017).

⁸ M. Burry, *Scripting Cultures: Architectural Design and Programming*, Wiley, 2011.

⁹ Ibid.

¹⁰ Vocabolario - Treccani, *Parametrico*, s.d. <http://www.treccani.it/vocabolario/parametrico/> (pagina consultata il 11/12/2017).

¹¹ Davis cita l'articolo "On the Drawing of Figures of Crystals" presente nella rivista *The American Journal of Science and Arts*, numero 32.

¹² Una ricerca con pari strumento (Google Books Ngram Viewer) nella lingua italiana, prevede l'uso della parola "parametro" in alcuni trattati di geometria, di Niccolò Di Martino (1768) e di Antonio Cagnoli (ND).

¹³ J. Frazer, *Parametric computation: History and future*, cit.

¹⁴ J. Monedero, *Parametric design: a review and some experiences*, in *Automation in Construction*, n. 9, 4, 2000, pp. 369–377.

¹⁵ R. Woodbury, *Elements of Parametric Design*, cit.

variare, ma la coerenza interna del modello si esprime attraverso i limiti di variazione. Tale aspetto è una naturale e intrinseca caratteristica di tutti i sistemi di rappresentazione codificati: la tecnica della prospettiva, il sistema delle doppie proiezioni ortogonali, la definizione delle omologie, si basano su vincoli di appartenenza (di una retta ad un punto, di un punto ad una retta, di una retta ad un piano, etc.), di parallelismo, di intersezione, etc. In riferimento alla tesi, la caratteristica di maggiore importanza è correttamente specificata da Davis: “[...] *the pivotal part of a parametric equation is not the presence of parameters but rather that these parameters relate to outcomes through explicit functions.*”¹⁶ L’aspetto centrale nella creazione del modello parametrico è la definizione del processo, ossia delle relazioni consequenziali tra gli elementi geometrici.

Parametric design (Progettazione parametrica). La pratica di associare più attributi di un oggetto dipendenti da un parametro comune, tale da modificarli automaticamente al cambiare del parametro¹⁷. Come già specificato, Gerber sottolinea come il *parametric design* sia un processo, che prevede come base di funzionamento un modello parametrico. Nonostante vari autori, a partire da Mitchell, abbiano esplicitato le caratteristiche generative¹⁸ o computazionali¹⁹ del processo di progettazione (si vedano le definizioni associate), il *parametric modeling* è ad oggi indubbiamente legato all’uso di particolari software. Hubers a riguardo propone una catalogazione efficiente, distinguendo i codici ad oggetto, di processo e la combinazione dei due. Nei software parametrici ad oggetto, gli attributi (metadati) dell’oggetto sono variabili, nei software parametrici per processo, gli oggetti sono generati tramite un algoritmo, la combinazione dei due prevede invece la massima integrazione²⁰.

Computational design. In italiano il termine computazionale è un inglesismo e si riferisce in generale all’attività del computo, o meglio del calcolo²¹. Tra le varie definizioni si suggerisce “*Computational design described the processing of informational design inputs to produce variable outcomes*”²². In questo senso ogni progettazione assistita è computazionale. Va inteso come

¹⁶ D. Davis, *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, cit.

¹⁷ D. J. Gerber, *Parametric practices: models for design exploration in architecture* (Harvard University), cit.

¹⁸ W. J. Mitchell, *Computer-Aided Architectural Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York 1977.

¹⁹ W. J. Mitchell, *The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition*, 1990.

²⁰ Qualche esempio può chiarire questa importante classificazione: Rhinoceros non è un software parametrico in questo senso (Monedero lo avrebbe trattato come un history-based parametric model, in quanto è possibile abilitare la registrazione della storia delle operazioni svolte); Autodesk Revit è un tipico software di modellazione parametrica ad oggetto; Grasshopper è un software parametrico di processo. Il terzo livello descritto è ad oggi componibile dalla combinazione delle due tipologie precedenti: Autodesk Revit combinato con Autodesk Dynamo, Grasshopper combinato con Archicad.

²¹ V. Treccani, *Computazionale*, s.d. <http://www.treccani.it/vocabolario/computazionale/> (pagina consultata il 10/12/2017).

²² Ericson riporta in M. Ericson, *Euclid’s Wedge - A History of computational Drawing*, cit. come citazione di W. J. Mitchell, *a New Agenda for Computer-Aided Architectural Design*, in *The Electronic Design Studio: Architectural Knowledge and Media in the Computer Era* [CAAD Futures ‘89 Conference

sinonimo di *parametric design*, sia quando l'accezione è strumentale, ovvero associata ad un calcolatore, sia quando essa è analogica, ovvero associata al processo iterativo di produzione e controllo.

Generative system (Sistema generativo). Si definisce generativo, un sistema che non specifica il singolo oggetto dell'attività di progettazione, ma esplicita un insieme di regole che codificano la produzione del singolo oggetto²³. Tali regole possono essere vincoli, relazioni tra parametri, algoritmi genetici, etc. La definizione deriva in realtà da un'accezione specificata da Mitchell, che risulta particolarmente efficace nel parallelo tra tali sistemi e i metodi stereotomici. All'interno di una lunga analisi di sistemi generativi - filosofici, musicali, ingegneristici e architettonici - viene specificato come un sistema generativo produce una particolare rappresentazione, una delle soluzioni dell'oggetto da creare²⁴. Gürsel Dino inoltre specifica come un sistema generativo sia composto da quattro elementi: condizioni e parametri iniziali, un meccanismo generativo, la produzione di varianti e la selezione della migliore variante.

Proceedings, 1989, pp. 1–16. La citazione è errata, ma è stata inserita perché è particolarmente adeguata alla generalità della trattazione.

²³ I. Gürsel Dino, *Creative Design Exploration by Parametric Generative Systems in Architecture*, in *Metu Jfa*, n. 1, 2012, pp. 207.

²⁴ W. J. Mitchell, *Computer-Aided Architectural Design*, cit.

Appendice B. Tabelle comparative tra *Euclides adauctus* e *Architettura Civile*

L'appendice presenta, sotto forma di tabella, il confronto tra il trattato XXXII¹, *De superficibus corporam in planum redigentis*, de l'Euclides adauctus², e del trattato IV³, *Dell'ortografia gettata*, de l'Architettura Civile⁴. Poiché precedente, si è preferito ordinare l'elenco delle *propositio* proposte da Guarini sulla base dell'organizzazione delle discussioni de l'Euclide adauctus. Le campiture grigie indicano la mancanza di un riferimento nel trattato pubblicato postumo. Anche se spesso il sistema di notazione presente nell'Architettura Civile risulta impreciso, si vuole confutare che ci siano delle differenze tra un trattato rivolto a matematici e un trattato rivolto ai progettisti architettonici⁵. È pertanto possibile affermare che Guarini, ma forse occorrerebbe dire Vittone, abbia incluso l'Euclides, senza omissioni o tagli, almeno dal punto di vista contenutistico.

Le tabelle rappresentano una parte del database che associa e specifica i casi presenti nei due trattati. Se nell'Euclides in ogni tavola è indicato il riferimento alla *propositio* in un sistema biunivoco, non è così invece nell'Architettura, dove sono presentati tanto gli sviluppi quanto alcune rappresentazione schematiche con nozioni differenti, fatto che ne complica la lettura. Si è scelto di indicare i collegamenti alle pseudo-assonometrie, quando presente, poiché di più facile lettura. È segnalato con un asterisco invece il riferimento alla rappresentazione analitica del caso, in cui sono presenti proiezioni e sviluppi. Le pseudo-assonometrie non sono presenti per i casi di volte sferiche.

¹ Sono stati usati I capitoli tradotti in lingua italiana presenti in C. Bianchini, *La scienza della rappresentazione nella concezione di Guarino Guarini*, cit.

² G. Guarini, *Euclides adauctus et methodicus mathematicaque universalis*, cit.

³ Sono state utilizzati i capitoli come trascritti in G. Guarini *et al.*, *Architettura civile*, Il polifilo, Milano 1968.

⁴ G. Guarini, *Architettura civile*, cit.

⁵ W. Müller, *Guarini e la stereotomia*, cit.

Appendice B. Tabelle comparative tra Euclides adauctus e Architettura Civile

Euclides adauctus	Architettura Civile							
Discussione 1. Del distendere in piano le superfici cilindriche.	Capo terzo. Della proiezione delle superfici cilindriche.							
Riferimento	Riferimento	Titolo	Oggetto 1	Oggetto 2	Oggetto 3	Tav.	Las.	Fig.
Teorema 1 Proposizione 1	Osservazione Prima	Se vi saranno tanti piani quanti gl'inscritti in un cilindro di lati eguali ad essi, e simili di Fig., questi tutti insieme eguaglieranno i predetti piani inscritti.	Cilindro generico	-	-	29	I(IV)	9
Problema 1 Proposizione 2	Osservazione Seconda	Del modo di gettare in piano la superficie di un cilindro concavo segato da un altro ad angoli retti.	Cilindro retto a base circolare	Cilindro retto a base circolare, il cui asse appartiene ad un piano verticale passante per l'asse del cilindro dato. I due assi sono ortogonali	-	31	III (IV)	1
Problema 2 Proposizione 3	Osservazione Terza	Modo di ritrovare le superfici congiuntive delle parti del medesimo semicilindro concavo, gettate in piano			-			
Problema 3 Proposizione 4	Osservazione Quarta	Modo di ritrovare la superficie interna di un cilindro concavo, segato rettamente da due superfici angolari, e parallele.	Cilindro retto a base circolare	Superfici ortogonali ad un piano passante per l'asse del cilindro.	-	31	III (IV)	4

Problema 4 Proposizione 5	Osservazione Quinta	Modo di ritrovare la superficie interna di un cilindro segato da due superfici tonde parallele, ma non rette all'asse del cilindro. Modo di unire assieme l'interna ed esterna superficie del predetto cilindro obliquamente segato	Cilindro retto a base circolare	Cilindro retto a base circolare, il cui asse non appartiene ad un piano verticale passante per l'asse del cilindro dato. I due assi sono ortogonali	-	31	III (IV)	7
Problema 5 Proposizione 6	Osservazione Sesta	Maniera di ritrovare la superficie d'un cilindro segato da una parte da un piano obliquo, e dall'altra da una superficie cilindrica rettangola all'asse del predetto cilindro.	Cilindro retto a base ellittica *nota sezione ortogonale all'asse	Piano obliquo (ruotato attorno a Z)	Cilindro retto a base circolare, ortogonale al primo	31	III (IV)	9
Problema 6 Proposizione 7	Osservazione Settima	Del modo di stendere nel piano le superficie unitive del predetto cilindro. Modo di unire assieme ambe le dette superficie per formarne i corpi. Deduzione.	Cilindro retto a base ellittica *nota sezione ortogonale all'asse	Piano obliquo (ruotato attorno a Z)	Cilindro retto a base circolare, ortogonale al primo	31	III (IV)	9
Problema 7 Proposizione 8	Osservazione Ottava	Del modo di stendere in piano la superficie d'un semicilindro concavo segato da una parte da una superficie piana ed obliqua, e dall'altra da un cilindro parimente obliquo.	Cilindro retto a base circolare	Piano obliquo (ruotato attorno a Z) e inclinato (ruotato attorno a X solidale all'intersezione tra il cilindro e il primo piano)	Cilindro retto a base circolare, inclinato rispetto al primo	29	I (IV)	11
Problema 8 Proposizione 9	Osservazione Nona	Dello stendere in piano le superficie congiuntive dello stesso cilindro. Modo di unire assieme l'interna ed esterna superficie.	Cilindro retto a base circolare	Piano obliquo (ruotato attorno a Z) e inclinato (ruotato attorno a X solidale all'intersezione tra il cilindro e il primo piano)	Cilindro retto a base circolare, inclinato rispetto al primo	29	I (IV)	11

Appendice B. Tabelle comparative tra Euclides adauctus e Architettura Civile

Problema 9 Proposizione 10	Osservazione Decima	Modo di ritrovare la superficie d'un semicilindro, che abbia la sua circonferenza retta all'asse, il quale sia segato da una superficie piana, che non sia ad angoli retti né all'asse del cilindro, né al piano ove è il detto asse, né al piano ove il detto asse si stende, e dall'altra parte sia segato da una superficie conica, l'asse della quale sia retto all'asse del cilindro proposto.	Cilindro retto	Piano obliquo generico	Cono, il cui asse appartenga ad un piano verticale passante per l'asse del cilindro	32	IV (IV)	3
Problema 10 Proposizione 11	Osservazione Undecima	Modo di ritrovare la superficie unitiva, o di commessura dello stesso cilindro.	Cilindro retto	Piano obliquo generico	Cono, il cui asse appartenga ad un piano verticale passante per l'asse del cilindro	32	IV (IV)	3
Problema 10 Proposizione 12	Osservazione Decimaterza	Modo di gettare in piano la superficie d'un semicilindro concavo segato da una parte da un piano obliquo ed inclinato come sopra, la cui sezione sia nota, e dall'altra parte da un cilindro, l'asse del quale sia ad angoli retti con un vestigio del cilindro proposto.	Cilindro retto *nota sezione piana	Piano obliquo generico	Cilindro ortogonale, il cui asse non appartiene al piano verticale passante per l'asse del primo	33	V (IV)	5

Problema 11 Proposizione 13	Osservazione Duodecima	<p>Modo di ridurre in piano la superficie d'un cilindro segato da una parte da una superficie obliqua ed inclinata, e dall'altra da un cilindro perpendicolare.</p> <p>Modo di stendere in piano la superficie del cilindro contenuta tra la superficie piana, obliqua ed inclinata, ed il cilindro perpendicolare.</p> <p>Modo di stendere in piano le superficie congiuntive dello stesso cilindro</p>	Cilindro retto *nota sezione piana	Piano obliquo generico	Cilindro retto a base circolare, ortogonale al primo	33	V (IV)	3
Problema 12 Proposizione 14	Osservazione Decimaquarta	<p>Modo di ritrovare la superficie d'un cilindro segato da un cono, l'asse del quale e le superficie siano parallele o rettangole all'asse di detto cono.</p>	Cilindro retto	Cono retto a base circolare, il cui asse appartiene ad un piano verticale passante per l'asse del cilindro dato. I due assi sono ortogonali	-	33	V (IV)	7
Teorema 2 Proposizione 15	Osservazione Decimaquinta	<p>Modo di ritrovare la superficie d'un cilindro segato da due superfici di un cono, l'asse del qual cilindro non s'incontri coll'asse del cono suddetto, essendo il cono perpendicolare, ed il cilindro orizzontale, ovvero all'opposto.</p>	Cilindro retto	Cono retto a base circolare, il cui asse non appartiene ad un piano verticale passante per l'asse del cilindro dato. I due assi sono ortogonali	-	33	V (IV)	9

Appendice B. Tabelle comparative tra Euclides adauctus e Architettura Civile

Euclides adauctus	Architettura Civile							
Discussione 2. Stendere in piano le superfici di coni tagliati in modo diverso.	Capo quarto. Del modo di gettare e stendere in piano le superficie de' coni variamente segate.							
Riferimento	Riferimento	Titolo	Oggetto 1	Oggetto 2	Oggetto 3	Tav.	Las.	Fig.
Teorema 1 Proposizione 16	Osservazione Prima	Essendovi tanti triangoli piani posti insieme, i quali adeguino in numero tutti i triangoli inscritti in un cono, ed abbiano eguale base ed altezza, stenderanno una Fig. o superficie eguale alla Fig. di più lati inscritta nel cono.	Cono	-	-	29	I	12
Teorema 1 Proposizione 16	Osservazione Seconda	Modo di stendere in piano la superficie esterna ed interna d'un cono, la base del quale sia conosciuta circolare e retta all'asse di detto cono.	Cono retto a base circolare	-	-	36	VIII	1*
Problema 2 Proposizione 17	-	-	-	-	-	582	0	17
Problema 3 Proposizione 18	Osservazione Quarta	Modo di gettare in piano la superficie di un cono concavo e circolare segato da una superficie concava di un cilindro perpendicolare all'asse del cono. Modo di stendere in piano la superficie concava suddetta colla impressione o vestigio del cono lasciatovi nella sua naturale grandezza.	Cono retto a base circolare	Cilindro retto, il cui asse è normale all'asse del cilindro	-	37	IX	1

Problema 4 Proposizione 19	Osservazione Quinta	Modo di gettare e stendere in piano la superficie d'un cono concavo circolare segato da una superficie convessa d'un cilindro perpendicolare all'asse del cono.	Cono retto a base circolare	Cilindro retto, il cui asse è normale all'asse del cilindro	-	-	-	
Problema 5 Proposizione 20	Osservazione Sesta	Modo di gettare in piano la superficie d'un cono, il cui apice finisce in una linea retta, che sia segato da una superficie cilindrica retta all'asse del cono.	Conoide	Cilindro retto, il cui asse è normale all'asse del cilindro	-	37	IX	3
Problema 6 Proposizione 21	Osservazione Ottava	Modo di ritrovare la superficie d'un cono scaleno, o sia obliquo di base circolare, il quale sia segato da una superficie di cilindro non perpendicolare all'asse.	Cono circolare obliquo	Cilindro retto, il cui asse non è perpendicolare all'asse del cono	-	38	X	3
Problema 7 Proposizione 22	Osservazione Settima	Modo di gettare e stendere le superfici d'un cono, le quali siano inclinate tutte in un apice, e che detto cono sia segato da una superficie piana posta pendente.	Cono retto	Piano inclinato	-	37	IX	8
Corollario					-			
Problema 8 Proposizione 23	Osservazione Nona	Modo di gettare e stendere in piano la superficie d'un cono di base circolare segato da qualunque superficie retta all'asse del medesimo cono.	Cono circolare	Porzione di cilindro retto a base generica		39	XI	3*
Problema 9 Proposizione 24	Osservazione Decima	Modo di stendere in piano le superficie d'un cono, la di cui base sia ellittica, circolare, o lenticolare, ovvero di qualsivoglia altra forma, segato da qualunque superficie retta all'asse del medesimo cono.	Cono generico retto	Porzione di cilindro retto a base generica	-	39	XI	4*
Problema 10 Proposizione 25	Osservazione Undecima	Modo di stendere la superficie di qualunque cono irregolare segato da qualunque superficie al suo asse perpendicolare.	Cono generico retto	Porzione di cilindro retto a base generica	-	39	XI	6*

Appendice B. Tabelle comparative tra Euclides adauctus e Architettura Civile

Euclides adauctus	Architettura Civile							
Discussione 3. Della superficie sferica, e del distenderla in vari modi in piano, tagliata in maniere diverse.	Capo quinto. Del modo di stendere in piano una superficie sferica segata da circoli paralleli.							
Riferimento	Riferimento	Titolo	Oggetto 1	Oggetto 2	Oggetto 3	Tav.	Las.	Fig.
Problema 1 Proposizione 26	Osservazione Prima	Modo di distribuire una sfera in molte superficie anulari.	Superficie sferica			40	XII	3*
Problema 2 Proposizione 27	Osservazione Seconda	Modo di gettar in piano e stendere una superficie sferica segata da una superficie triangolare, dividendola in superficie anulari.	Superficie sferica	Prisma retto a base trinagolare		40	XII	5*
Corollario								
Problema 3 Proposizione 28	Osservazione Quarta	Modo di gettare in piano, e stendere le superficie d'una sfera segata da quattro superfici piane poste in quadro e normali al piano, sopra cui insiste detta sfera divisa in superficie anulari.	Superficie sferica	Prisma retto a base quadrata		40	XII	7*
Problema 4 Proposizione 29	Osservazione Quinta	Modo di ritrovare le superficie sferiche e stenderle in piano, e che siano tagliate da quattro superficie, ma non uguali fra loro, in modo che esprimano un quadrilungo, e siano perpendicolari al piano sopra cui sta detta sfera.	Superficie sferica	Prisma retto a base rettangolare		41	XIII	1*

Problema 5 Proposizione 30	Osservazione Sesta	Modo di stendere in piano le superficie d'una sfera segata da quattro superficie poste in quadro ed ortogonali al massimo circolo d'essa in altra guisa delle precedenti.	Superficie sferica	Prisma retto a base quadrata		41	XIII	2*
Problema 6 Proposizione 31			Superficie sferica	Superfici ortogonali ad un piano passante per un piano contenete un cerchio massimo	596	0	31*	0
		Capo sesto. Del modo di stendere in piano le superficie delle sfere, o corpi ellittici, o sferoidi segate da circoli massimi.						
Teorema 1 Proposizione 32	Osservazione Prima	In ogni corpo retto di base circolare degli assegnati sferico, ellittico, parabolico, iperbolico, si possono inscrivere molte piane superficie, che quasi gli uguaglieranno.	Superficie di rotazione (ellissoide, paraboloido ellittico, iperboloide ellittico)	-	-	29	I (IV)	10
Teorema 2 Proposizione 33								
Problema 7 Proposizione 34	Osservazione Seconda	Modo di stendere in piano la superficie d'una sfera divisa con circoli massimi.	Sfera	-	-	41	XIII	3*
Problema 8 Proposizione 35	Osservazione Terza	Modo di ridurre in superficie piane le superficie d'una sfera divisa da circoli massimi, e segata da una superficie cilindrica perpendicolare al piano del suo massimo circolo, in cui si posa.	Sfera	Cilindro retto a base circolare, il cui asse appartiene ad un piano verticale passante per l'asse di rotazione dato. I due assi sono ortogonali	-	41	XIII	4*

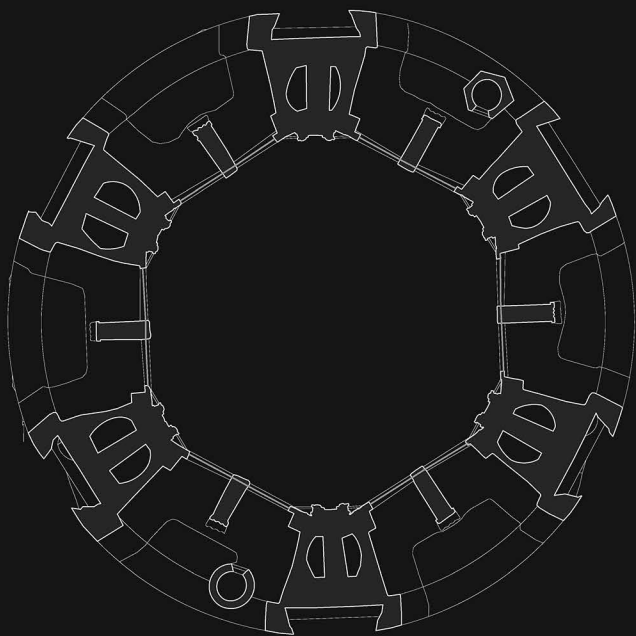
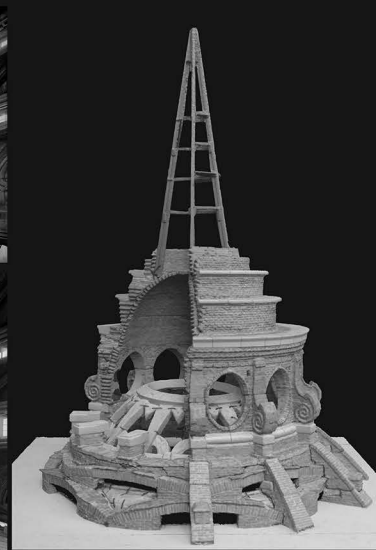
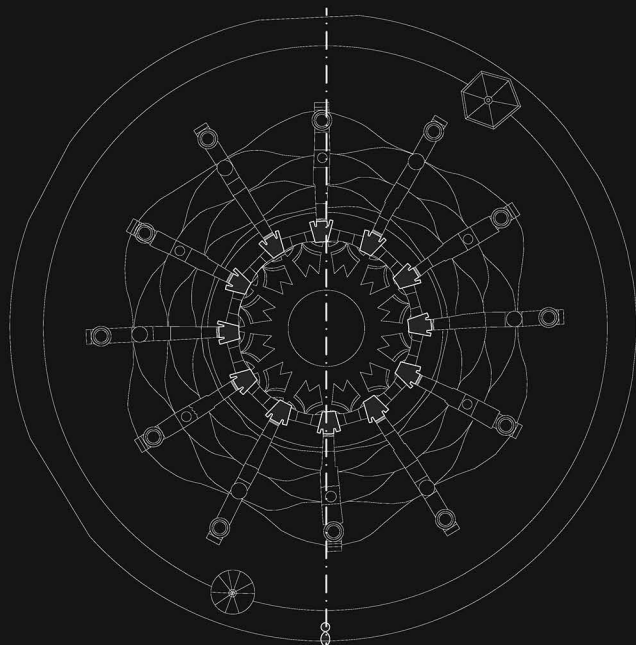
Appendice B. Tabelle comparative tra Euclides adauctus e Architettura Civile

Problema 9 Proposizione 36	Osservazione Quarta	Modo di ridurre e stendere in piano una superficie sferica segata da una superficie di cilindro, che sia sopra il massimo circolo della sfera in altra guisa dalla precedente differente.	Sfera	Cilindro retto a base circolare, il cui asse appartiene ad un piano verticale passante per l'asse di rotazione dato. I due assi sono ortogonali	-	41	XIII	5*
----------------------------	------------------------	---	-------	---	---	----	------	----

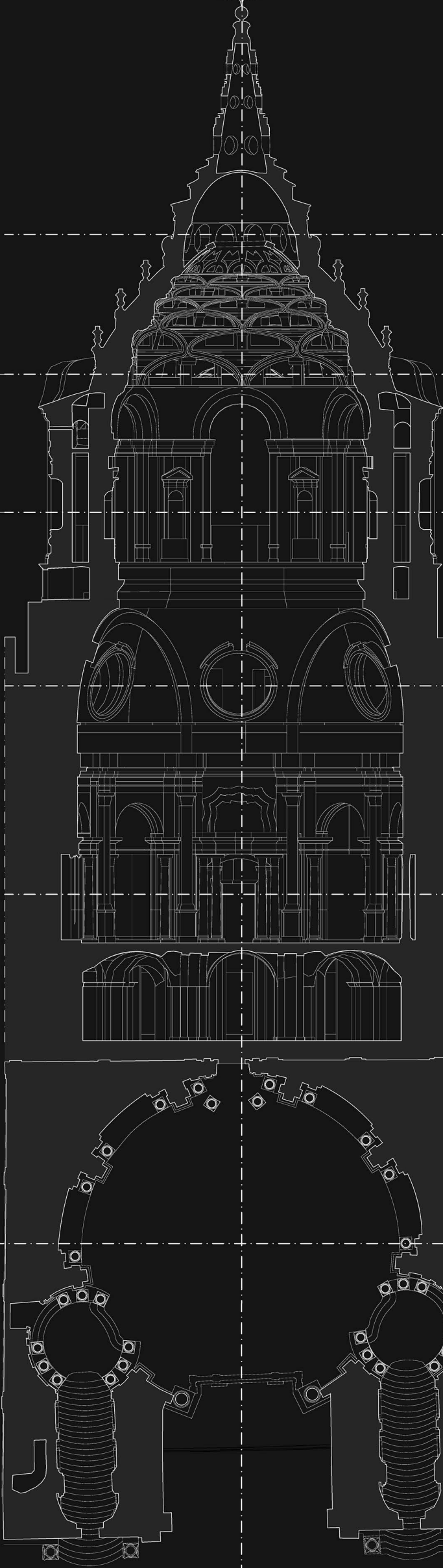
Euclides adaucus		Architettura Civile						
Discussione 4. Della superficie del conoide Iperbolico, Parabolico e dello sferoide Ellittico e dell'anello solido, da distendersi in superfici piane.		Capo settimo. Della superficie della sferoide, o conoide Iperbolica, o parabolica.						
Riferimento	Riferimento	Titolo	Oggetto 1	Oggetto 2	Oggetto 3	Tav.	Las.	Fig.
Problema 1 Proposizione 37	Osservazione Prima	Modo di stendere in piano la superficie d'una sferoide, o conoide, la quale sia retta e circolare.	Superficie di rotazione (ellissoide, paraboloide ellittico, iperboloide ellittico)	-	-	42	XIV	1*
Problema 2 Proposizione 38								
Problema 3 Proposizione 39	Osservazione Seconda	Del modo di ridurre in piano le superficie d'una sferoide segata con elissi ineguali, cioè che l'una sia maggiore dell'altra.	Ellissoide generico	-	-	42	XIV	3*
Problema 4 Proposizione 40	Osservazione Terza	Modo di stendere in piano le superficie di qualunque corpo ellittico, ovvero ovato.	Ellissoide generico	-	-	42	XIV	5*
		Capo ottavo. Dello stendere le superficie d'un anello.						
Problema 5 Proposizione 41	Osservazione Unica	Modo di gettare in piano le superficie d'un anello, o cilindro curvato in giro.	Superficie toroidale	-	-	42	XIV	8*

Elaborati grafici

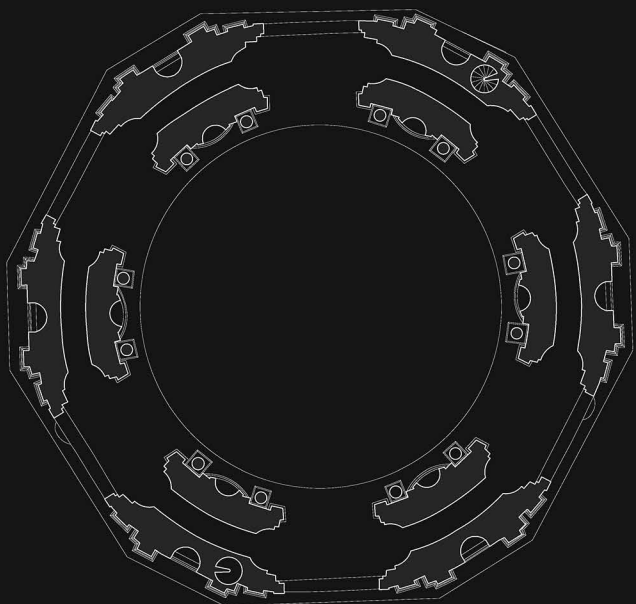
Pianta al livello della corona stellata. 1:100



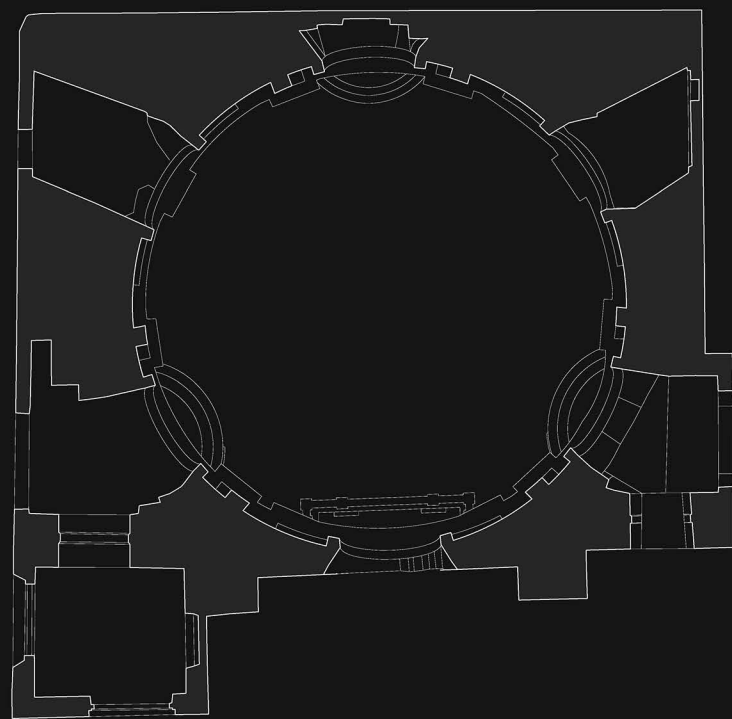
Pianta del primo livello degli archi del 'cestello'. 1:100



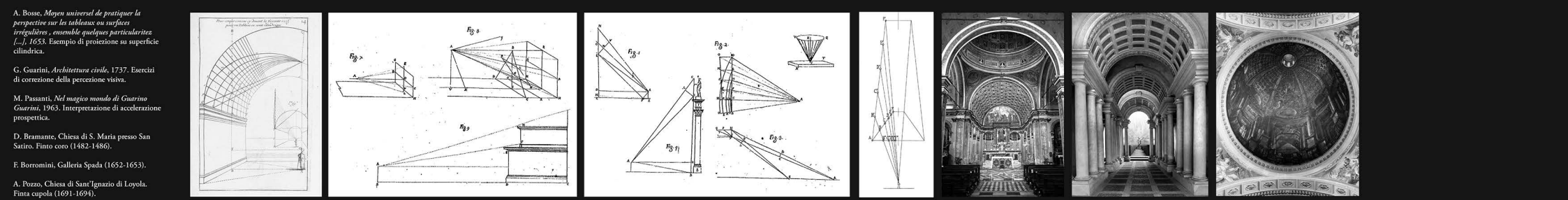
Pianta del tamburo. 1:100



Pianta al livello dei pennacchi. 1:100



Sezione AA. 1:100
Pianta al piano terra. 1:100



A. Bosse, *Moyen universel de pratiquer la perspective sur les tableaux ou surfaces irrégulières, ensemble quelques particularitez.* [...] 1653. Esempio di proiezione su superficie cilindrica.

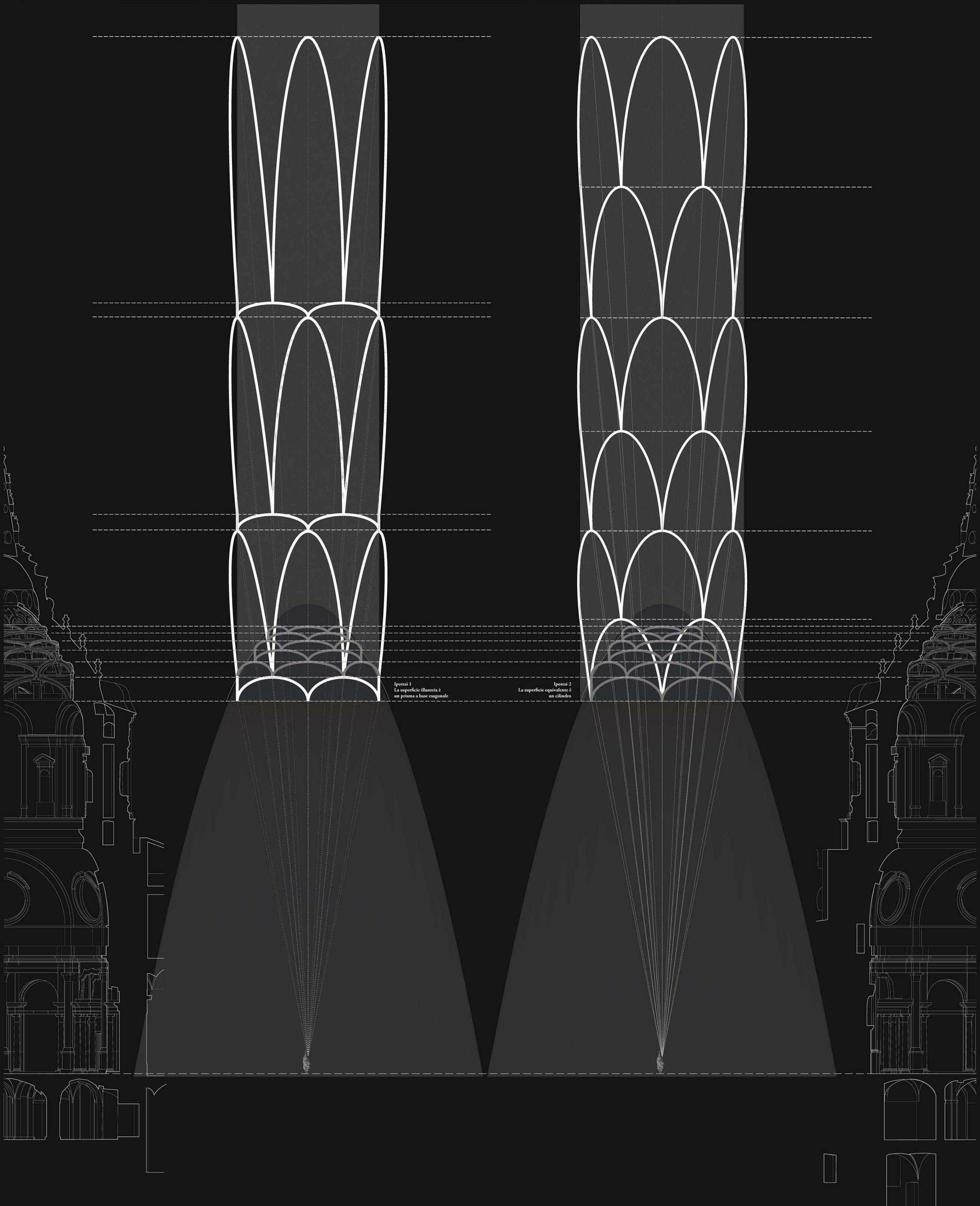
G. Guarini, *Architettura civile*, 1737. Esercizi di correzione della percezione visiva.

M. Passanti, *Nel magico mondo di Guarino Guarini*, 1963. Interpretazione di accelerazione prospettica.

D. Bramante, Chiesa di S. Maria presso San Satiro. Finto coro (1482-1486).

F. Borromini, Galleria Spada (1652-1653).

A. Pozzo, Chiesa di Sant'Ignazio di Loyola. Finta cupola (1691-1694).



Ipotesi 1
La superficie illusoria è un prisma a base esagonale

Ipotesi 2
La superficie equivalente è un cilindro

