



La presente pubblicazione è stata realizzata con la collaborazione di:





Giuseppe Fallacara

Verso una progettazione stereotomica Towards a stereotomic design

Nozioni di Stereotomia, Stereotomia digitale e trasformazioni topologiche:
ragionamenti intorno alla costruzione della forma

Notions of stereotomy, Digital stereotomy and topological transformations:
reasoning about the construction of the form

con un saggio di essay by Luc Charles Pierre Tamborero



Giuseppe Fallacara

Verso una progettazione stereotomica.

Nozioni di Stereotomia, Stereotomia digitale e trasformazioni topologiche: ragionamenti intorno alla costruzione della forma

Towards a stereotomic design.

Notions of stereotomy, Digital stereotomy and topological transformations: reasoning about the construction of the form.

Modelli infografici tridimensionali

Tutti i modelli 3d che illustrano il testo sono stati realizzati da Giuseppe Fallacara nell'ambito delle ricerche condotte nel Dottorato di Progettazione Architettonica diretto dal Prof. Claudio D'Amato Guerrieri.

L'immagine di pagina 54 è stata realizzata con la collaborazione di Rossana Rizzi durante il corso di Storia 4 *Stereotomia* tenuto da G. Fallacara nell'A.A. 2003-04 presso la Facoltà di Architettura del Politecnico di Bari.

Le immagini 39, 42 e 43 sono state realizzate con la collaborazione di Marco Stefano Orsini durante la preparazione della tesi *Carpinteria de armar e carpinteria de lazo in Spagna* nell'anno accademico 2004-2005, II semestre (relatori: Prof. Claudio D'Amato Guerrieri e Prof. Giuseppe Fallacara) presso la Facoltà di Architettura del Politecnico di Bari.

Le immagini relative al progetto per *Verna* sono state realizzate con la collaborazione di: Marco Lomascolo, Marco Stefano Orsini, Nico Parisi, Marco Stigliano.

L'immagine di copertina è opera di Giuseppe Fallacara e rappresenta: *Spazio Truchet* di G. Fallacara ed una illustrazione tratta dal manoscritto di J. Chéreau *Livre d'Architecture*.

DVD allegato

Il DVD è stato realizzato da *Sintesi* di Lorenzo Damiano Scaraggi.

Referenze fotografiche

Tutte le foto che illustrano il testo sono state eseguite dall'autore.

Redazione e progetto grafico

Maria Rita Campa

Traduzione

Laura Cervini

Mohamed Saidi

Richard Lusardi

Composizione tipografica in Meta

Erik Spiekermann, 1993

Editore

ARACNE editrice S.r.l.

www.aracne—editrice.it

info@aracne—editrice.it

via Raffaele Garofalo, 133 A/B

00173 Roma

redazione: (06) 72672222 - fax: (06) 72672233

amministrazione: (06) 93781065

Copyright © Giuseppe Fallacara

ISBN 88—548—XXXX—X

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento anche parziale, con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.

Non sono assolutamente consentite le fotocopie senza il permesso scritto dell'Editore.

1ª edizione: giugno 2007

Doncques ie vous veux bien proteſter que ce que i'en eſcris ne tend à autre fin qu'à inſtruire & apprendre les hommes de bonne volonté, & ſignamment les ignorants, auſquels ie deſire de bon cœur communiquer le talent lequel Dieu m'a liberalment donné en ce peu de cognoiſſance que i'ay de l'art d'Architecture.
(L'auteur n'eſcrire pour gloire, mais bien pour enſeigner les ignorants).

Dunque voglio ben chiarire che quello che ſcriverò non tende ad altro fine che ad iſtruire e ad inſegnare agli uomini di buona volontà, e ſpecialmente agli ignari, ai quali io deſidero di buon cuore comunicare i talenti che Dio mi ha donato liberamente per queſta piccola conoſcenza che ho ſull'arte dell'Architettura.
(L'autore non ſcrive per la gloria, ma per inſegnare agli ignari).

P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, Paris 1567, L. IV, cap. I, f. 88r





A Roberta, Francesco e Mimì per la loro infinita pazienza.





Si ringrazia:

Claudio D'Amato Guerrieri
Attilio Petruccioli
Franco Purini
Jean-Marie Pérouse de Montclos
Dominique Bonnet Saint-Georges
José Carlos Palacios Gonzalo
Alberto Sanjurjo Alvarez
Camillo Trevisan
Joël Sakarovitch
José Calvo Lopez

Luis Joseph Lamborot
Francesco Terlizzi
Nico Parisi
Vito Cascione
Pierre Bidaud
François Braud
Giuseppe Leopizzi e la sua équipe

Alessandra Mongelli
Alessandra Scarcelli
Marco Stigliano
Marco Orsini
Marianna De Sario
Omar Rédha Ait-Messaoudéne
Salima Ferhat

... in particolar modo Maria Rita Campa



Indice

Index

Introduzione
Introduction
di C. D'Amato Guerrieri
p. 11

0. Premessa
Acknowledgment
p. 15

1. Introduzione alla stereotomia
Introduction to stereotomy
p. 21

2. Nozioni di stereotomia
Notions of stereotomy
p. 35

3. Sulle origini ed evoluzioni della stereotomia moderna
On the origins of the evolution of the modern stereotomy
p. 45

4. La stereotomia secondo Philibert de l'Orme
The stereotomy according to Philibert de l'Orme
p. 63

5. Concezione topologica della stereotomia
Topological idea of stereotomy
p. 81

6. Aggiornamento della stereotomia: ipotesi e strumenti
Stereotomy updating: hypothesis and tools
p. 95

7. Un caso di studio paradigmatico: la "volta piana" e sue variazioni topologiche
A paradigmatic case study: the "flat vault" and its topological variations
p. 115

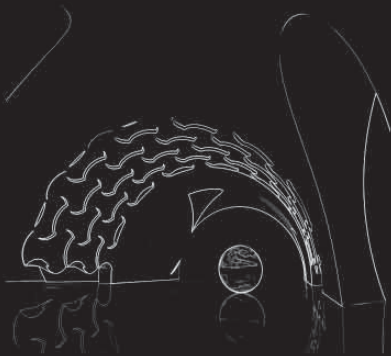
8. Verso una progettazione stereotomica
Towards a stereotomic design
p. 139

9. Conclusioni
Conclusions
p. 147

APPENDICE L'arte del tracciato geometrico alla Francese tra la pietra e il legno
L'art du trait géométrique à la Française entre la pierre et le bois di L. C. P. Tamborero
p. 163

Bibliografia
Bibliography
p. 177

Crediti
Credits
p. 183



Introduzione

Introduction

Claudio D'Amato Guerrieri

Introduzione

Claudio D'Amato Guerrieri

Questa versione ridotta della tesi di dottorato di Giuseppe Fallacara, vede la luce in occasione di un importante evento e grazie ad una fortunata circostanza.

L'evento è la *Summer School* che José Carlos Palacios Gonzalo dell'*Universidad Politécnica de Madrid*, e Alberto Sanjurjo Álvarez dell'*Universidad CEU San Pablo* hanno organizzato dal 9 al 20 di luglio 2007 a Madrid intorno al tema *El arte de la piedra. Teoría y practica de la cantería*. Si tratta della prima iniziativa che mette insieme secondo un progetto organico esperienze e saperi spagnoli, francesi e italiani per una rinnovata teoria e pratica della architettura di pietra: e la Facoltà di Architettura di Bari si impegna a portare avanti questo progetto di cooperazione.

La fortunata circostanza è la partecipazione alla *Summer School* di Joseph Lamborot, dell'impresa francese di restauri *3D Pierre* che offrirà materiali e tecnologie per l'esercizio di costruzione di una volta piana alla *Truchet* in deformazione topologica obliqua. Lamborot,

che recentemente è stato da me invitato alla Facoltà di Architettura di Bari a tenere una *lecture*, si è offerto di collaborare alla pubblicazione di questo studio. Di questo gesto di liberalità lo voglio qui pubblicamente ringraziare. Lo studio di G. Fallacara si inserisce nel filone di studi del DR da me coordinato, il cui principale obiettivo è il rilancio della teoria e della pratica della cultura architettonica plastico-muraria propria dell'area culturale mediterranea; e conseguentemente dell'aggiornamento delle tecniche tradizionali del costruire e in maniera specifica di quelle in pietra da taglio.

In particolare, questo libro si occupa della *Stereotomia* non solo nella sua evoluzione storica, ma anche come strumento progettuale *dell'oggi*. In questo sta l'originalità della Scuola di Architettura di Bari, dove la stereotomia non è appannaggio soltanto degli storici dell'architettura o delle discipline del disegno, ma soprattutto della progettazione architettonica: la sua specifica

12

Introduction

The abridged edition of G. Fallacara's PhD dissertation, appears on the occasion of a special event and thanks to a happy coincidence.

The event we mentioned is the *Summer School* organized by José Carlos Palacios Gonzalo from the *Universidad Politécnica de Madrid*, and Alberto Sanjurjo Álvarez from the *Universidad CEU de San Pablo*, which will take place between July 9th and 20th 2007 dealing with the topic of *The Art of Stone. Theory and Practice of Masonry (El arte de la piedra. Teoría y practica de la cantería)*. It is the first event that has coherently gathered Spanish, French and Italian experience and knowledge for a renewed theory and practice of stone architecture. The faculty of Architecture of the *Politecnico di Bari* is committed to carry out this collaboration.

The happy coincidence is Joseph Lamborot's participation in the *Summer School*. He comes from *3D Pierre* (Nanterre, France), which will provide the event with materials and technologies in order to build a flat vault in the

Truchet style, with oblique topological deformation. Lamborot, who recently came to give a lecture in our Faculty in Bari, offered his collaboration to this article.

Therefore, I would really like to thank him publicly for his kindness.

The study of G. Fallacara falls within the PhD research field I supervise. Its main object is to revive the theory and practice of plastic and masonry architectural knowledge typical of the Mediterranean cultural area; as a consequence this study also aims to update traditional building techniques, particularly those based on freestone.

This book mainly deals with *Stereotomy*, not only in its historical evolution, but also as a *contemporary* designing tool. Here it lies the originality of the architectural School of Bari, where stereotomy is not only limited to architecture historians or to drawing disciplines, yet it especially belongs to architectonic designing: its particular nature, apparently far from modern designing and

natura, in apparenza così lontana dai metodi odierni di progettazione e costruzione dell'architettura, la rende infatti profondamente attuale in virtù della sua forte affinità concettuale con lo sviluppo degli attuali sistemi integrati di progettazione e costruzione *assistita* e con le problematiche teorico/pratiche connesse ai sistemi informatici integrati di prototipazione rapida (RP) e ai processi CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing).

L'aggiornamento della disciplina stereotomica si impone oggi per almeno tre importanti motivi:

- a) in primo luogo per la necessità ormai ineludibile di una profonda riforma tipologica e costruttiva della casa d'abitazione mediterranea, che nel ricorso alle tecniche di costruzione murarie ritrovi la sua legittimità, culturale, sociale ed economica;
- b) conseguentemente, per le ricadute operative ed economiche negli ambiti industriali/produttivi del comparto lapideo, oggi prevalentemente interessati all'uso della pietra solo come

rivestimento;

- c) infine per le ricadute in ambito accademico per quanto attiene non solo alla nascita di una nuova responsabilità didattica nel campo della progettazione architettonica; ma soprattutto per quanto attiene al fertile rinvigorismento dell'attitudine degli allievi a pensare l'architettura nello spazio.

Finalità principale della ricerca di Giuseppe Fallacara è stato il tentativo di analizzare metodologicamente gli "elementi" dell'architettura stereotomica secondo i processi dell'aggiornamento tecnologico contemporaneo. Ciò al fine di supportare opportunamente l'odierno campo di ricerca sull'architettura in pietra da taglio nel rapporto tra ideazione e costruzione. Gli elementi architettonici, codificati all'interno della trattatistica stereotomica, sono indagati per mezzo delle più avanzate tecniche di modellazione infografica tridimensionale. Di tali elementi è descritta la natura geometrica e le principali caratteristiche di applicazione.

Lo sforzo di Fallacara è stato dunque quello di proporre un metodo per operare/progettare possibili "variazioni formali compatibili" degli elementi architettonici, al fine di favorire la scoperta e la messa a punto della forma architettonica più razionale, che costituisce il fine ultimo del processo progettuale. E ciò che rende degno di grande attenzione questo lavoro è il tentativo — pienamente riuscito — di coniugare la riflessione teorica con la applicazione *pratica*: dove la seconda ha sempre costituito la verifica della prima.

Bari, maggio 2007

building methods, makes it modern thanks to its strong conceptual relationship to the development of current integrated systems of *assisted* planning and building, and also thanks to its relation to the theoretical/practical issues concerning the integrated computer systems of rapid prototyping (RP) and the CAD/CAM processes. The updating of the stereotomic discipline is now essential for at least three reasons:

- a) first of all, the unavoidable need of a great typological and building change in mediterranean housing, in order to help it re-acquire its economic, social and cultural legitimacy by using masonry construction techniques;
- b) secondly, because of the operational and economic effects of the stone section on industrial/production fields, which, at present, are mainly interested in using stone only as a covering material;
- c) finally, because it affects the academic field, not only as concerns the birth of a new didactic responsibility in

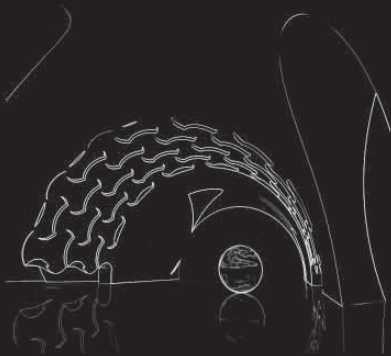
the architectonic area, but above all as regards the recent improvement of the students' consideration for architecture in space.

The work of Giuseppe Fallacara has mainly tried to analyze the elements of stereotomic architecture according to contemporary technological updating processes. This work has been developed to support contemporary the research field of freestone architecture in designing and building relation. Architectonic elements, already codified within stereotomic treatises, have been analyzed by using the most advanced techniques of three-dimensional info-graphic modelling. Their geometric nature and main usage have been described.

Fallacara tried to suggest a method to carry out/design possible *compatible formal variations* of architectonical elements, in order to bring forth and implement the most rational architectonical shape, which is the main pur-

pose of the planning process. But what really makes this work remarkable is the — highly successful — attempt to put together theoretical reflection and practical application: being the second the evidence of the first.

Bari, May 2007



Premessa

Acknowledgment

O

0.

Premessa

Il presente studio rappresenta il risultato delle principali riflessioni maturate durante lo svolgimento della tesi di Dottorato di ricerca in *Progettazione Architettonica per i Paesi del Mediterraneo* (xvi ciclo; novembre 2000–novembre 2003) dal titolo *Il paradigma stereotomico nell'arte del costruire. Dalla natura sincretica della modellazione digitale alla progettazione/costruzione di elementi architettonici in pietra da taglio* (tutor prof. C. D'Amato Guerrieri), svolta nel Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria civile e dell'Architettura (ICAR) del Politecnico di Bari. Gli studi sulla stereotomia, analizzata nel rapporto fra tradizione e innovazione del binomio progettazione/costruzione, rientrano nell'ampio campo di ricerca sull'architettura in pietra, condotto dal prof. Claudio D'Amato Guerrieri, su cui il Dipartimento lavora dai primi anni Novanta¹. La tesi, focalizzata sull'architettura stereotomica, intesa come massima espressione dell'arte del costruire in ambito plastico murario (ossia strutture

e organismi edilizi a muratura portante continua), si occupa delle tecniche tradizionali del costruire in pietra da taglio rivisitate alla luce delle moderne tecnologie informatiche; essa, inoltre, è finalizzata a riformulare e ad aggiornare i principi che sottendono la creazione della forma per la strutturazione di una *nuova architettura di pietra*, che si ponga in continuità con le architetture tradizionali a vocazione costruttiva lapidea.

Gli approfondimenti presenti in questo contributo nascono da specifiche osservazioni di Franco Purini e Jean—Marie Pérouse de Montclos (membri della commissione esaminatrice), contenute nei giudizi di valutazione della tesi:

Combinando pensiero plastico e scienza proiettiva si individua, come si riscontra nelle architetture di Philibert de l'Orme, un nuovo genere compositivo e tettonico il quale, vivendo di una consistente autonomia spaziale, si inverte in audaci strutture avvolgenti.

Franco Purini (Febbraio 2004)

Acknowledgment

The present study is the outcome of the PhD thesis within the *Architectonic design for Mediterranean Countries* research field (xvi course; November 2000–November 2003; Science of Civil Engineering and Architecture Department) entitled *The stereotomic paradigm in building art. From sincretic nature of digital modelling to the designing and building of freestone architectural element*. Stereotomy has been analyzed within the designing/building relationship between tradition and innovation. Such studies are part of a wide research field, led by Professor Claudio D'Amato Guerrieri, since the early 90's¹. The thesis focused on stereotomic architecture as the highest expression of building art in the masonry field (the building of permanent bearing walls structures and bodies) it deals with traditional freestone building techniques allied with modern information technologies; moreover

it is aimed to reformulate and update the core principles of shape building creating a *new stone architecture* without interruption of traditional stone building architectures. This work aims to delve into the Jean—Marie Pérouse de Montclos and Franco Purini's (members of thesis judging commission) following statements exposed in the thesis judgement:

By mixing plastic thought and projective science it is possible to find, as we can see in Philibert de l'Orme's architecture, a new tectonic genre which, having a big spatial autonomy, realizes itself in hard enveloping structures.

Franco Purini (February 2004)

Le projet de G. Fallacara était, comme il le dit lui-même, l'application de la révolution informatique à l'étude des techniques anciennes, et qu'il a magistralement atteint son objectif. La démonstration de la plasticité de

Le projet de G. Fallacara était, comme il le dit lui-même, l'application de la révolution informatique à l'étude des techniques anciennes, et qu'il a magistralement atteint son objectif. La démonstration de la plasticité de la voûte d'Abeille est étonnante.
Jean—Marie Pérouse de Montclos (Febbraio 2004)

Se da un lato si afferma che il riconoscimento di un nuovo *genere compositivo e tettonico*, è strutturato sui dettami della disciplina stereotomica; dall'altro si sottolinea l'idea che il lascito storico è sempre pregno di potenziali speculazioni architettoniche, come nel caso della dimostrazione della plasticità della volta d'Abeille che rappresenta una parte importante del presente scritto. Pertanto, vengono, qui, presentate ed illustrate alcune riflessioni sul pensiero costruttivo, basato sulla nozione di stereotomia e sulle potenzialità delle tecniche informatiche di modellazione tridimensionale, relative ai concetti di trasformazione e deformazione topolo-

gica, applicata allo studio della stereotomia "classica". Questo tipo di modellazione *indiretta* consente di controllare e di costruire, per mezzo di raffinate considerazioni concettuali e semplici operazioni pratiche, architetture stereotomiche molto complesse. La conformazione geometrica di ogni singolo concio di un determinato sistema voltato, come si vedrà, è la conseguenza di una opportuna serie di trasformazioni geometriche di solidi semplici, di cui si è realizzata una corrispondenza topologica. Gli studi proposti riguardano alcune *variazioni topologiche* del celebre sistema stereotomico noto come "volta piana" declinata con i brevetti di Joseph Abeille e Sebastien Truchet: la particolare apparecchiatura piana viene trasformata in differenti sistemi architettonici spaziali al fine di dimostrare l'opportunità e la concretezza della specifica tecnica di modellazione tridimensionale. L'idea di stereotomia viene, per così dire, *piegata* alle logiche della computer grafica, per cui diventa agevole indagare lo

studio spaziale della forma. Gli esiti della presente ricerca sono stati presentati, per la prima volta, in un articolo² dal titolo omonimo al presente studio, nell'ambito della *Construction History Society* e pubblicati negli atti del *Second International Congress on Construction History*, tenutosi al Queens' College, University of Cambridge, dal 29 Marzo al 2 Aprile 2006. Questi risultati, come avremo modo di vedere, hanno inoltre contribuito: alla redazione della sezione *Architecture Stereotomiche* all'interno della più ampia esposizione dal titolo *Città di Pietra*³, curata da Claudio D'Amato Guerrieri per la 10^a Mostra Internazionale di Architettura alla Biennale di Venezia 2006, e allo sviluppo del progetto del Lago per *VEMA, la città nuova, Italia-y-2026*, allestimento del Padiglione Italiano, curato da Franco Purini, sempre per la 10^a Biennale di Architettura. Allo stato attuale si sta redigendo, in collaborazione con le imprese *3D Pierre* (Nanterre, Francia) e *Mecastone – Stone*

la voûte d'Abeille est étonnante.
Jean—Marie Pérouse de Montclos
(February 2004)

Therefore, if a new *composing genre* has been recognized, we know that the past legacy is always full of potential architectural speculation. Here we make some remark upon the building thought, which is based on the stereotomy notion and on the potential of computer three-dimensional modelling techniques in relation to topological transformation and deformation concepts applied to the "classical" stereotomy study. This kind of indirect modelling allows very complex stereotomic shapes to be controlled and built by using elaborate notions but very easy actions. The geometrical conformation of every single ashlar, of a specific vaulted system is the result of an appropriate series of simple solid geometrical transformations, producing a topological correspondence.

The proposed studies will involve some topological changes of the famous stereotomic system known as "flat vault" according to Joseph Abeille and Sebastien Truchet's patents: the peculiar flat system has been converted into different architectonic spatial systems in order to demonstrate the possibility and the robustness of the specific three-dimensional modelling system. Computer graphics, which stereotomy is *submitted* to, has no limits about shape spatial study. The results obtained during this investigation presented in an article within the *Construction History Society* and has been published in the congress proceedings *Second International Congress on Construction History*, Queen's College, University of Cambridge, from March 29th to April 2nd 2006. The results contributed to the production of the *Stereotomic Architectures* section within *Città di pietra (Cities of Stone)*, an exhibition

Claudio D'Amato Guerrieri took care of for the 10th International Architecture Exhibition held at the Venice *Biennale* 2006, and the project of the lake for *VEMA, the new city, Italy-y-2026*, another section of the same Exhibition curated by Franco Purini. The executive design of a deformed flat vault in the Truchet style is being drawn up in collaboration with *3D Pierre* (Nanterre, France) and *Mecastone – Stone Technology Solutions* (Bisceglie, Italy). It will be carried out on July 9th–20th 2007 in the CEU Universidad San Pablo in Madrid within the *Summer School* named *The Art of Stone Theory and Practice of Masonry* led by professor José Carlos Palacios Gonzalo of the Polytechnic of Madrid. The vault building has been entirely designed and produced with CAD/CAM systems. It has an exhibitory role and disciplinary virtuosity which focus on the analysis of the development of contemporary stereotomy.

Technology Solutions (Bisceglie, Italia), il progetto esecutivo del prototipo di una volta obliqua con apparecchiatura alla Truchet che sarà realizzato dal 9 al 20 luglio 2007 presso la CEU Universidad San Pablo di Madrid nell'ambito della *Summer School* intitolata *The Art of Stone Theory and Practice of Masonry* diretta dal professore José Carlos Palacios Gonzalo del Politecnico di Madrid. La costruzione della volta, interamente concepita e realizzata con sistemi informatici CAD/CAM, ha un ruolo di esibizione e di virtuosismo disciplinare finalizzato all'analisi degli sviluppi della stereotomia contemporanea. A tal proposito il DVD allegato al presente libro illustra, tra le altre, il senso delle principali fasi progettuali e costruttive della struttura voltata.

note:

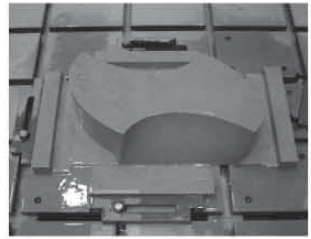
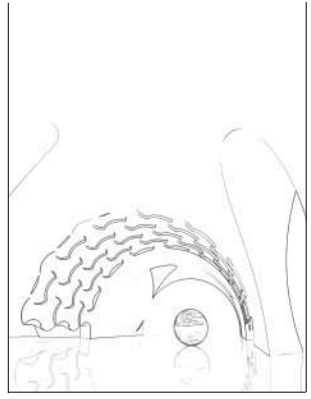
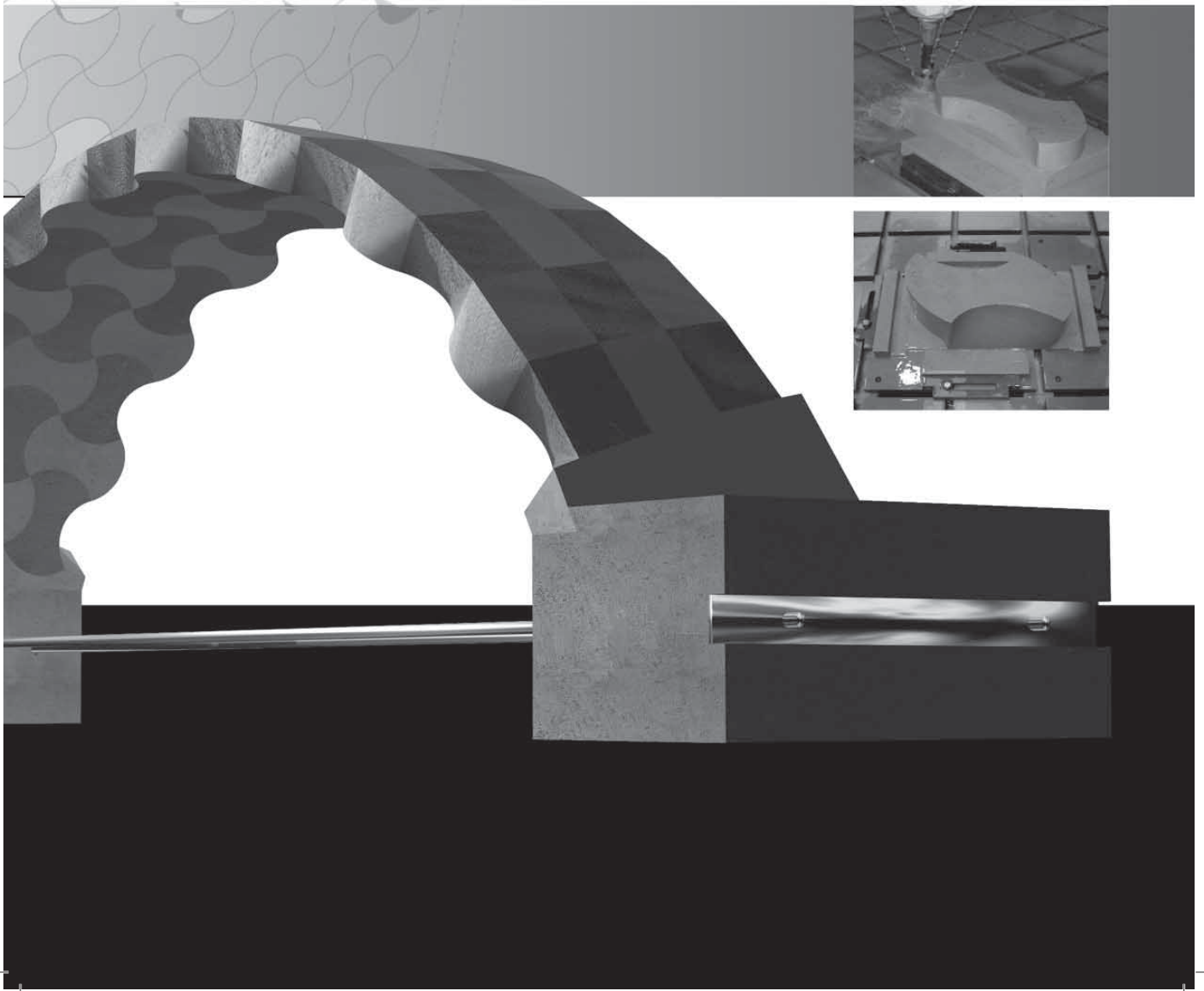
1. Si veda a tal proposito: C. D'AMATO, G. FALLACARA, *L'arte della Stereotomia. L'art de la Stéréotomie*, Paris 2005.
2. Si veda a tal proposito: C. D'AMATO, G. FALLACARA, *Costruire con la pietra oggi*, in: C. D'AMATO GUERRIERI (a cura di), *Città di Pietra, Pietre di Puglia. Costruire in pietra portante*, Venezia 2006, pp. 32–48.
3. G. FALLACARA, *Digital stereotomy and topological transformations: reasoning about shape building*, in: Aa.Vv., *Second International Congress on Construction History*, Cambridge 2006, pp. 1075–1092.

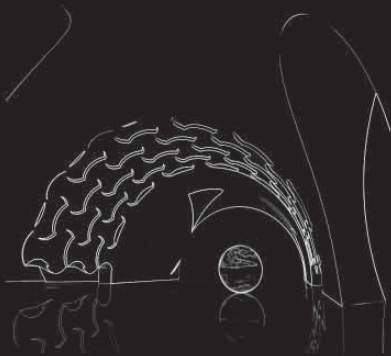
With regard to this, the attached DVD illustrates the main designing and building stages of the vaulted structure.

notes:

1. See: C. D'AMATO, G. FALLACARA, *L'arte della Stereotomia. L'art de la Stéréotomie*, Paris 2005.
2. See: C. D'AMATO, G. FALLACARA, *Costruire con la pietra oggi*, in: C. D'AMATO GUERRIERI (dir.), *Città di Pietra, Pietre di Puglia. Costruire in pietra portante*, Venezia 2006, pp. 32–48.
3. G. FALLACARA, *Digital stereotomy and topological transformations: reasoning about shape building*, in: Aa.Vv., *Second International Congress on Construction History*, Cambridge 2006, pp. 1075–1092.







Introduzione alla stereotomia

Introduction to stereotomy

1

1.

Introduzione alla stereotomia

Gottfried Semper in *Die vier Elemente der Baukunst*¹, rifiutando indirettamente l'interpretazione della capanna primitiva, quale punto d'origine dell'architettura, secondo il valore teorico assegnato dall'abate Laugier nel suo *Essai sur l'Architecture*², individua i quattro termini fondativi dell'abitazione e quindi, per traslato, dell'architettura. L'abitazione primitiva per Semper era costituita da: basamento, focolare, intelaiatura—tetto e membrana di chiusura. Secondo questa suddivisione tassonomica (dagli influssi metodologici propri delle scienze naturali), vagliata dagli studi sull'edilizia vernacolare diffusa in tutto il mondo, Semper suddivide l'arte del costruire in due "evoluzioni" fondamentali: la *tettonica dell'intelaiatura* e la *stereotomia del basamento*.

Kenneth Frampton, nell'analisi del rapporto costruzione—architettura, assumendo l'impostazione teorica di Semper, focalizza la sua attenzione sulla dialettica dei termini "tettonico" e "stereotomico". All'interno di tale ipotesi, basata sul valore della tecnica costrut-

tiva quale categoria critica dell'architettura, i due termini sono esemplificati in: opere di terra—costruzioni pesanti (stereotomia, dal greco "taglio dei solidi") e opere di copertura—costruzioni leggere (tettonica, *tekton* che in greco antico significa "carpentiere"). *Earthwork* e *roofwork* sono, quindi, i due termini paradigmatici, due modi di costruire dialetticamente opposti, attraverso i quali è possibile leggere, interpretare e indirizzare il progetto d'architettura. Frampton, come Semper, nell'uso allargato dei due concetti "tettonico" e "stereotomico", alla base della strutturazione della nuova categoria critica, riduce la stereotomia a generica tecnica di costruzione "pesante e massiva" (organismi o elementi architettonici, portanti e chiudenti), contrapponendola alla tettonica come tecnica di costruzione "leggera" di derivazione lignea³. Sebbene analiticamente utile, la definizione di Frampton non è esaustiva del più compiuto significato del termine "stereotomia", rispetto a quanto i manuali ed i trattatisti ci hanno traman-

Introduction to stereotomy

Gottfried Semper singles out the four housing basic terms and architectural basic terms as he indirectly refuses, in *Die vier Elemente de Baukunst*¹, the primitive hut interpretation according to the theoretic value given by abbot Laugier in his *Essai sur l'Architecture*². According to Semper, primitive housing was made by: foundation, fireplace, roof structure and surrounding membrane. According to this taxonomic division (coming from methodological influences of natural sciences) and canvassed by the studies on the world renowned vernacular building, Semper divides building art into two principal "evolutions": *roof structure tectonic* and *foundation stereotomy*.

In his studies on the relationship between building and architecture, Kenneth Frampton inherits theoretical outlines from Semper and focuses on the terms "tectonic" and "stereotomic". Within such theory, based on the building techniques value as critical category of architecture, the two terms are illustrated as: heavy earthworks

(stereotomy comes from Greek "cutting solids") and light roofworks (Tectonic, *tekton* which is the Greek for "carpenter"). Therefore, *earthwork* and *roofwork* are two paradigmatic terms, the two literally opposed building methods, which allow us to read, interpret and direct architectural planning.

Using the words "tectonic" and "stereotomic" in a wider sense, Frampton, just like Semper, reduces stereotomy to the "heavy and massive" building technique (bearing and closing architectural bodies or elements), opposed to the "light" wood building technique, while creating the new critic category³. If we should submit "stereotomy" to further examination, such a dichotomy, even if useful for the creation of an analytic method, would be lexically less factual.

Indeed, Stereotomy, as historic discipline, refers mainly to a specific stone building culture, even if the etymon doesn't contain references to the building material. Its rules actually show how to build stone/wood vaulted architec-

dato restituendo una dicotomia meno effettuale tra i termini “tettonico” e “stereotomico”.

Infatti, anche se la Stereotomia, intesa come disciplina storica, si rapporta principalmente ad una specifica cultura costruttiva lapidea, il suo etimo, non contenendo riferimenti al materiale da costruzione, viene usato sia nella costruzione lapidea che in quella lignea. Le sue regole, difatti, precipuamente insegnano a costruire sistemi architettonici voltati, sia in pietra che in legno, caratterizzati dalla forte complessità spaziale in cui la relazione tra l'organismo e la parte è stabilita da precise conoscenze geometriche.

Dall'analisi delle prefazioni ai trattati, come si vedrà soprattutto sette—ottocenteschi, che ricostruiscono le trame dello sviluppo storico della disciplina, riscontriamo a chiare lettere la derivazione della scienza stereotomica dalle tecniche costruttive dell'arte del carpentiere. La carpenteria (v. Fig. 1) è presente magistralmente nel primo trattato di Philibert de l'Orme⁴ ed è preparatoria per il

suo importante Trattato pubblicato nel 1567⁵, in cui il terzo e quarto libro sono i primi testi storici integralmente consacrati alla stereotomia.

Tale impostazione teorica è ben espressa nel titolo del poderoso trattato di Amedée François Frézier, *La theorie et la pratique de la coupe des pierre et du bois*⁶, in cui è possibile leggere che la stereotomia, o arte della *coupe des pierres*, non è che una applicazione dell'arte *du trait géométrique* dei carpentieri, modificata per la specifica natura della pietra. Leroy nel 1844⁷ riporta nella prefazione del suo trattato che:

Il est bien probable que les anciens constructeurs, et surtout les charpentiers, à qui l'usage fréquent du fil à plomb donne des idées plus justes sur les lignes projetantes, avaient employé dès l'origine la méthode des projections pour déterminer la forme exacte que devaient offrir les faces des voussoirs ou les assemblages des pièces de bois; mais ce n'était que d'une manière instinctive, et par des procédés particulier

à chaque question.

Ancora Chaix, nel suo trattato del 1890⁸ sostiene che:

prima che Gaspard Monge creasse la Geometria Descrittiva i carpentieri e gli apparecchiatori usavano il metodo proiettivo.

L'*art du trait géométrique* è sinonimo, nei trattati storici della disciplina, di tecnica proiettiva finalizzata alla costruzione edilizia sia in pietra che in legno.

La stéréotomie est l'art de tailler les corps solides et, plus spécialement, la pierre et le bois. Elle se divise donc tout naturellement en deux parties:

La stéréotomie de la pierre ou coupe des pierres;

La stéréotomie du bois au charpente. Elle est basée sur les méthodes générales de la géométrie descriptive, bien que, en réalité, celle-ci soit née de celle-là. Avant que Monge eut créé la géométrie descriptive, les charpentiers

tural systems of hard spatial complexity, where specific geometrical knowledge sets the relation between the system and the part.

From the analysis of the treatises prefaces (dating back to the particularly nineteenth century) which reconstruct the scene of the discipline historical development, we can clearly find that stereotomic science comes from building techniques of carpenter's art.

Carpentry (see Fig. 1) is masterfully presented in the first Philibert de l'Orme⁴ treatise and it is preparatory for his second work published in 1567⁵. Here the third and fourth books are the first two texts in history entirely dedicated to stereotomy.

Such theoretic outline is well expressed in the title of the Frézier's sturdy treatise: *La theorie et la pratique de la coupe des pierre et du bois*⁶, where we find that stereotomy, or *coupe des pierres* art, is nothing more than an application of carpenter's art *du trait géométrique*, adapted to the peculiar nature of stone. In 1844⁷, Leroy says in

his treatise that, probably, carpenters who got the idea of projective lines thanks to the frequent use of the plumb (line), could have initially used the projection method to determine the exact shape of stone ashlar wood knots (or contact bed).

Even Chaix in his 1890⁸ treatise says that before Gaspard Monge created *Descriptive Geometry*, carpenters and bonders used projective methods. The *art du trait géométrique* corresponds, in the historical discipline treatise, to the projective technique aimed to the wood and stone building art.

To support such theory recent studies⁹ state that one of the most important masterpieces of French stereotomy, the vaulted space of the town hall of Arles en Provence, was built using the carpenters' peculiar projective technique (see Fig. 2).

Stereotomy therefore, comes from wood building techniques and developed an independent and well codified knowledge within a unique common matrix: projective geometry.

Charpenterie e Stéréotomie are emissions of a job based on the art of *trait géométrique*, which represents the most complex and higher expression of stone/wood building art.

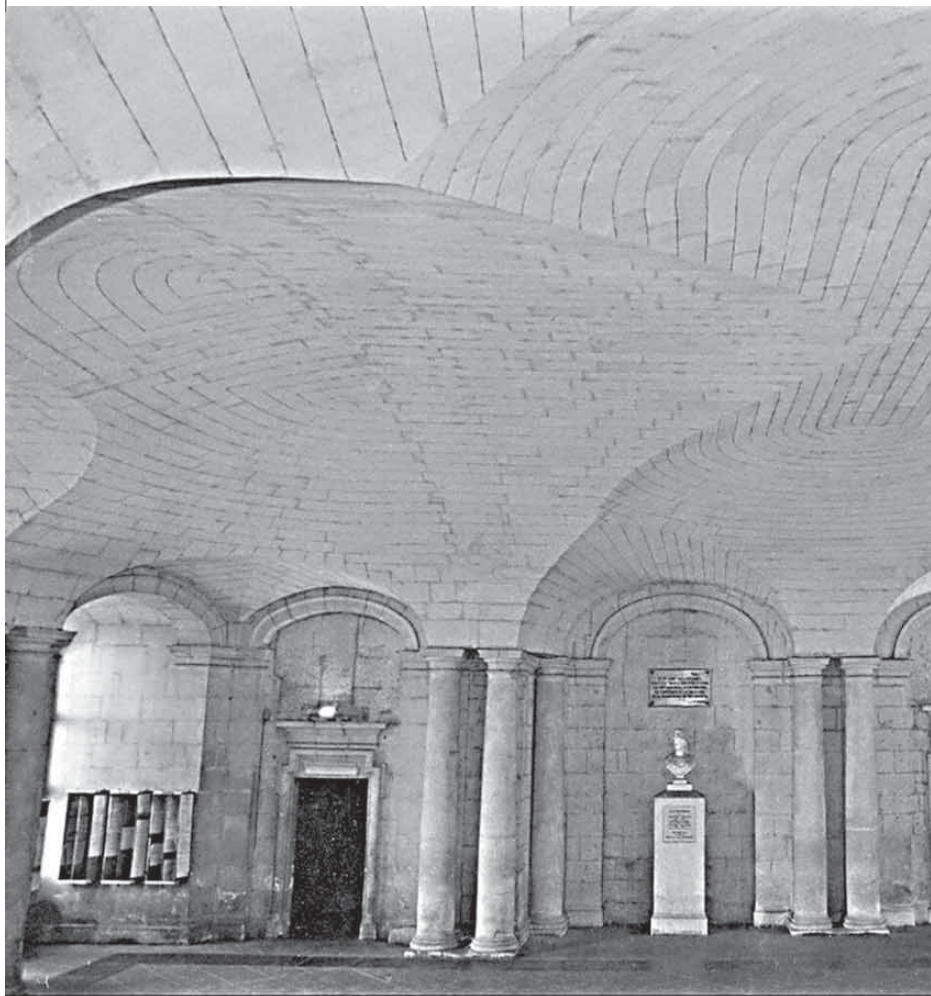
The issue of the two opposite words, which we spoke about, now becomes a common, symbiotic evolution, masterfully exposed in the treatises as well as in several stone works which recall wood shapes and vice versa (see Fig. 3 and 4). Surely stereotomy appears through the heaviness and compression of its materials but succeeds in seeming paradoxically “light” against its own properties.

Philibert de l'Orme has a deep and constant ambition to find the “lightness” in his own work, which can even defeat laws of gravity, transforming stone into elastic material providing an aesthetic outcome as well as a structural response. The famous vaults of the Anet Castle chapel and hall as well as the famous — suspended in midair — conic vault *trompe* of Cabinet du Roy (see Fig. 5) seem paradigmatic exempla

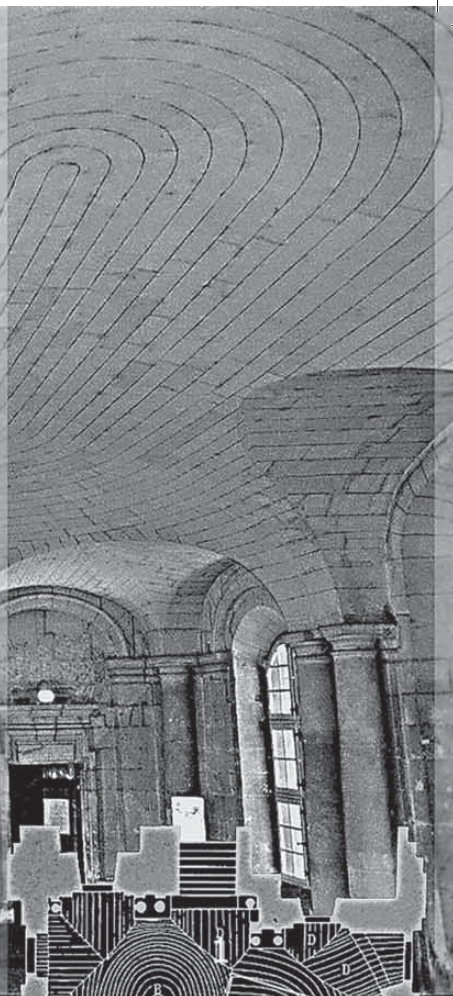
Figura 2. Spazio voltato dell'Hôtel de ville della città di Arles.
Hotel de Ville Vaulted space in Arles city.



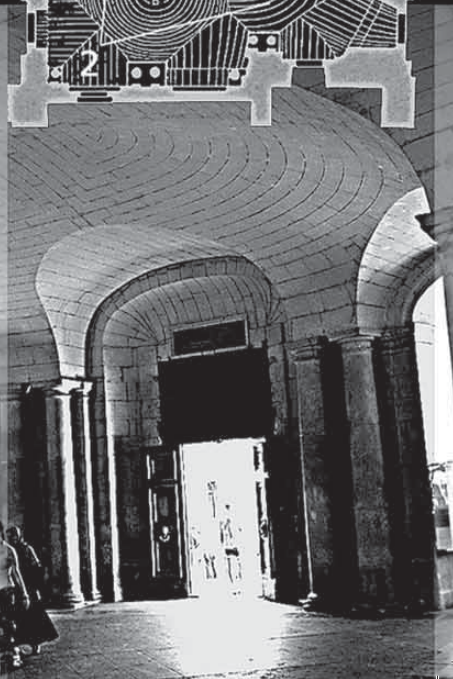
Figura 1. P. de l'Orme, volta a crociera ogivale per una cappella o una chiesa: modello virtuale.
P. de l'Orme, ogival cross vault for a chapel or a church: virtual model.



1



2



et les appareilleurs employaient, en effet, la méthode des projections pour déterminer les formes et dimensions des assemblages des pièces de bois ou des faces des pierres.

Ad avvalorare questa ipotesi, recenti studi⁹ sostengono che uno dei più importanti capolavori della stereotomia francese, lo spazio voltato del municipio della città di Arles in Provenza, sia stato costruito attraverso l'uso di una tecnica proiettiva usata dai carpentieri (v. Fig. 2). La disciplina stereotomica, quindi, deriva dalla tecnica costruttiva lignea e sviluppa un sapere autonomo e ben codificato all'interno di un'unica matrice comune: la geometria proiettiva. *Charpenterie* e *Stééréotomie* sono declinazioni di un mestiere basato sull'arte del tracciato geometrico, che rappresenta l'espressione più complessa e alta dell'arte del costruire in pietra e legno. La dialettica dei termini opposti, argomentata in precedenza, trova qui una ragione nuova: una comune evoluzione simbiotica magistralmente esposta

sia nei trattati sia in numerose opere di pietra che evocano fogge lignee e viceversa (v. Fig. 3 e 4). Sicuramente la stereotomia si inverte per mezzo della pesantezza e della compressione dei suoi materiali, volendo tuttavia risultare paradossalmente “leggera” contro le sue stesse premesse.

Philibert de l'Orme ha una profonda e costante aspirazione verso la “leggerezza” delle sue opere che possono anche sfidare le leggi della gravità, trasformando la pietra in materiale “elastico” sia nell'esito estetico che nella risposta strutturale. A tal proposito risultano paradigmatiche le celebri volte della cappella e dell'androne realizzate al Castello di Anet e, prime fra tutte, la famosa volta conica a *trompe* “sospesa per aria” del Cabinet du Roy (v. Fig. 5): «& me *lembra e fere fort bon d'y faire vne voute surpendue en l'air*»¹⁰.

Una suggestiva logica connessa al processo di *litizzazione*, che trasforma i leggeri intrecci lignei in materiale lapideo, è piuttosto comune nel linguaggio architettonico sebbene raggiunga

un'altissima qualità negli spazi voltati di Chéreau, Vandelvira, Jousse, Guarini (v. Fig. 6—9). La stereotomia e la carpenteria hanno dato luogo ad architetture intrinsecamente differenti, tuttavia legate da una matrice comune, da pari regole e da una geometria imprescindibile.

La stereotomia è quindi la disciplina che “regola” la creazione dello spazio voltato costruito con i principali materiali naturali: la pietra ed il legno.

L'evoluzione della disciplina stereotomica raggiunge il suo apice teorico nel XVIII secolo con la definizione della geometria descrittiva formulata da Gaspard Monge nell'anno III della Repubblica Francese a cui seguirà, per svariate cause, una progressiva involuzione disciplinare: prime fra tutte il cambiato clima culturale e l'adozione sempre maggiore di nuove logiche e materiali da costruzione; da questo momento, non ci saranno più grandi trattati o teorici che tratteranno in maniera organica la stereotomia come categoria essenziale dell'architettura in pietra.

Il recupero della disciplina, nata ed evo-

«& me *lembra e fere fort bon d'y faire vne voute surpendue en l'air*»¹⁰.

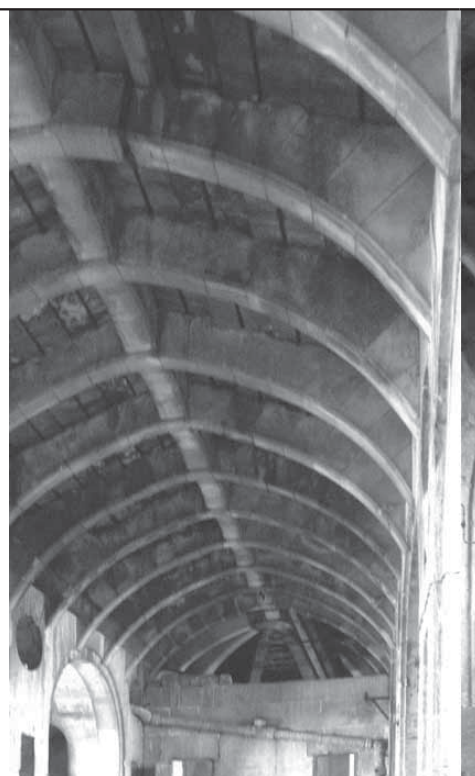
An interesting logic connected with the *stone—transforming* process, which changes wooden braid patterns into stone material, can be found in the famous vaulted spaces of Chéreau, Vandelvira, Jousse, Guarini and many other works (see Fig. 6—9). Stereotomy, like carpentry, creates quite different architectures linked together by a common ambition, the same rules and an unavoidable geometry.

Stereotomic discipline evolution reaches its theoretical peak in the eighteenth century with descriptive geometry formulated by Gaspard Monge in the third year of the French Republic, followed by a progressive regression: first of all, due to the changed cultural background and to the increasing use of new ideas and building materials there will be no more treatises or theoreticians who will deal with stereotomy as an essential category of stone architecture.

This discipline was born and developed to support the needs of a strongly theo-

retic designing and a highly accurate execution and it must be recovered today for several reasons: first of all the need to create a modern stone architectural culture which seems to have lost its root in history, then because of the intrinsic didactic nature of the discipline which shows how to manage rationally space building, and finally because of the environmental sustainability, for obvious reasons we cannot get out of; therefore the use of natural materials and dry assembling criteria.

To suppose an updating of stereotomic discipline and its ontological reasons, within the architectural project, involves developing new ideas in the present research fields, which are unfortunately held in almost only historical fields; it would even mean, moving out from the current architectonic culture “media—trend”, to find another operative option where imagine and sign mainly refers to the building act.



luta per supportare le esigenze di una progettazione con una forte componente teorica ed una esecuzione di puntuale esattezza, è oggi doveroso per più motivi: primo fra tutti quello di dar corpo ad una cultura architettonica moderna in pietra che sembra aver perso le tracce della storia; poi, per l'intrinseca natura didattica della disciplina che insegna a governare razionalmente la costruzione dello spazio; ed, infine, per le ovvie ragioni di sostenibilità ambientale a cui oggi non ci si può sottrarre, avallando l'uso di materiali naturali e le tecniche di montaggio a secco. Ipotizzare un rinnovamento della disciplina stereotomica e delle sue ragioni ontologiche, in seno al progetto d'architettura, significa tracciare una nuova strada nel campo delle attuali ricerche, racchiuse, purtroppo, in ambiti quasi esclusivamente storici; significa porre, sicuramente come voce fuori dal coro dell'attuale tendenza "mediatica" della cultura architettonica, un'alternativa operativa secondo cui l'immagine e il segno evocano soprattutto l'atto costruttivo.

note:

1. G. SEMPER, *Die vier Elemente der Baukunst*, Brunswick 1852.
2. M.A. LAUGIER, *Essai sur l'Architecture*, Paris 1753.
3. Bernard Cache nei suoi studi sul rapporto tra geometria ed architettura riporta: «Come poteva uno studioso così ben informato come Semper scrivere sulla stereotomia senza neppure menzionare Philibert de l'Orme o Desargues?»; B. CACHE, *Gottfried Semper: stereotomia, biologia, geometria* in: L. SACCHI, M. UNALI (a cura di), *Architettura e cultura digitale*, biblioteca di Architettura Skira, Milano 2003, p. 129.
4. P. DE L'ORME, *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Paris 1561.
5. Id., *Le premier tome de l'architecture*, Paris 1567.
6. A.F. FRÉZIER, *Éléments de stéréotomie à l'usage de l'architecture pour la coupe des pierres*, Paris 1760.
7. C.F.A. LEROY, *Traité de Stéréotomie*, Mallet-Bachelier, Paris 1844 (con ogni probabilità, i carpentieri, a cui l'uso frequente del filo a piombo restituisce l'idea esatta di linee proiettanti, abbiano per primi utilizzato il metodo delle proiezioni per determinare la forma esatta degli assemblaggi dei nodi lignei o dei letti di contatto di conci di pietra).
8. J. CHAIX, *Traité de la coupe des pierres. La stéréotomie*, H. Chairgrasse fils, Paris 1890.
9. L. TAMBORÉRO, J. SAKAROVITCH, *The vault of Arles City Hall: a carpentry outline for a stone vault?* in *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid 20-24 January 2003.
10. P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, cit. (nota 5), L. IV, cap. I, f. 88v.



notes:

1. G. SEMPER, *Die vier Elemente de Baukunst*, Brunswick 1852.
2. M.A. LAUGIER, *Essai sur l'Architecture*, Paris 1753.
3. In his studies about geometry and architecture relation Bernard Cache says: "How could such a documented scholar as Semper write about Stereotomy without mentioning Philibert de l'Orme or Desargue?"; B. CACHE, *Gottfried Semper: stereotomia, biologia, geometria* in L. SACCHI M. UNALI (a cura di), *Architettura e cultura digitale*, biblioteca di Architettura Skira, Milano 2003, p. 129.
4. P. DE L'ORME, *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Paris 1561.
5. Id., *Le premier tome de l'architecture*, Paris 1567.
6. A.F. FRÉZIER, *Éléments de stéréotomie à l'usage de l'architecture pour la coupe des pierres*, Paris 1760.
7. C.F.A. LEROY, *Traité de Stéréotomie*, Mallet-Bachelier, Paris 1844.
8. J. CHAIX, *Traité de la coupe des pierres. La stéréotomie*, H. Chairgrasse fils, Paris 1890.
9. L. TAMBORÉRO, J. SAKAROVITCH, *The vault of Arles City Hall: a carpentry outline for a stone vault?* in *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid 20-24 January 2003.
10. P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, cit. (note 4), L. IV, cap. I, f. 88v.

Spazi all'interno della facciata della chiesa di Saint-Sulpice, Parigi.
Interior spaces of Saint-Sulpice church, Paris.

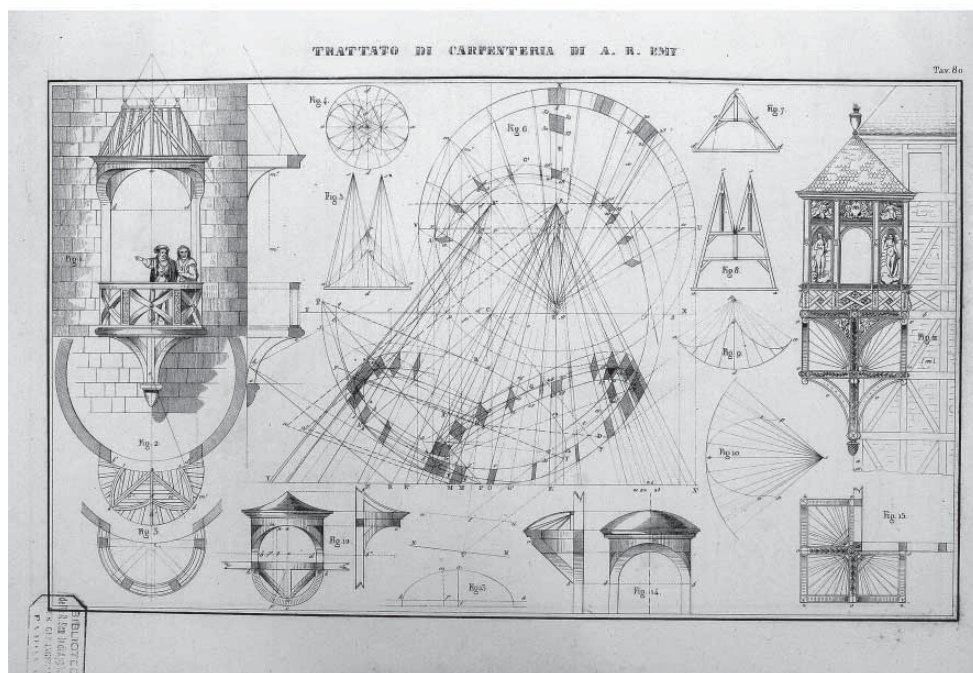
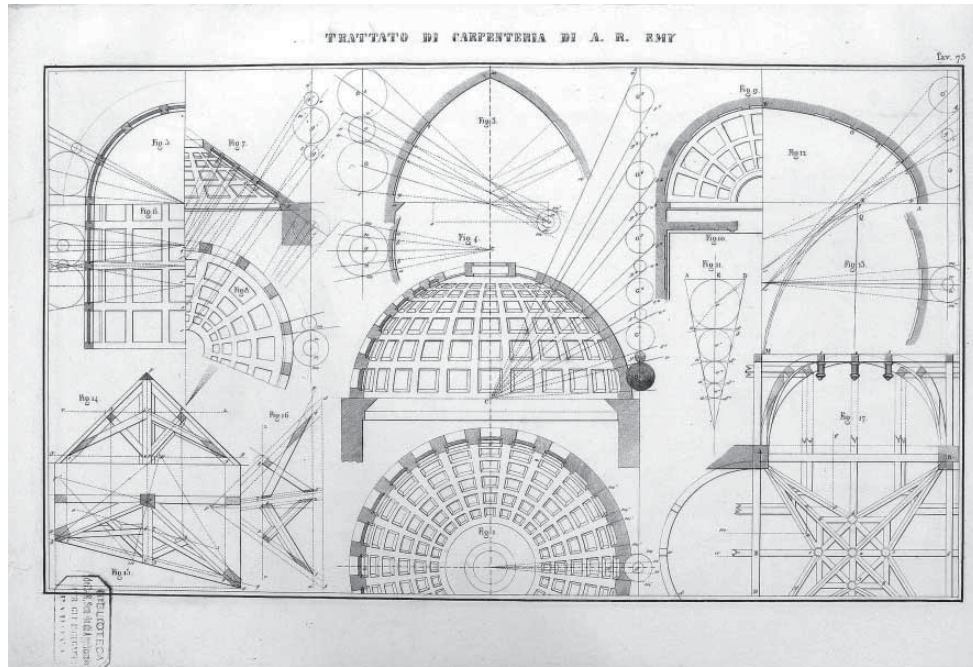


Figura 3. A.R. Emv, Trattato dell'arte del carpentiere: tracciati geometrici di volte e di trompes coniche.
A.R. Emv, Carpenter's art treatise: geometrical layout of conic trompes and vaults.



Figura 4. Composizione di trompes coniche in rue des Francs Bourgeois (Parigi): modello lapideo e ligneo secondo Emy.
Composition of conic trompes in rue des Francs Bourgeois (Paris): stone and wood model according to Emy.

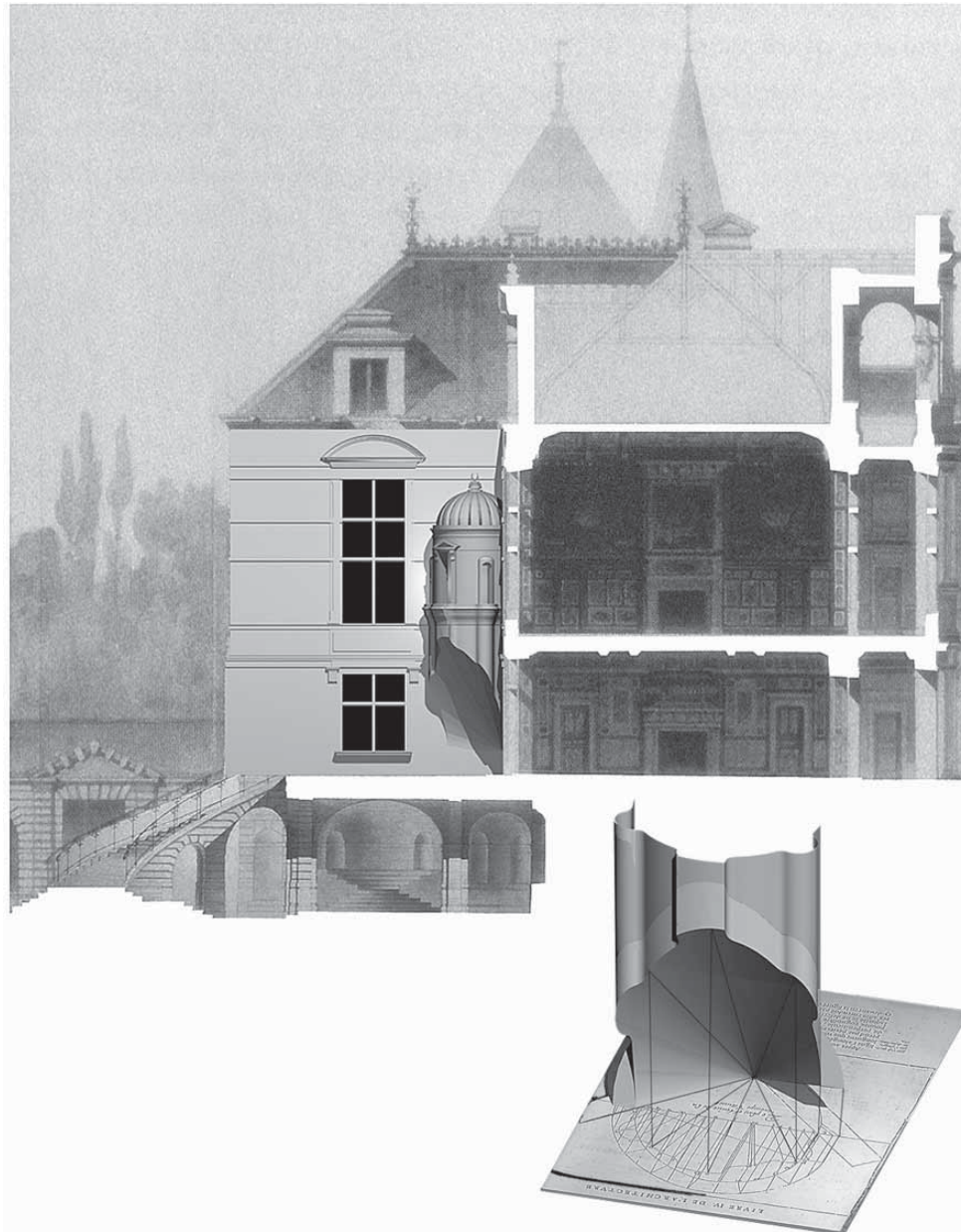
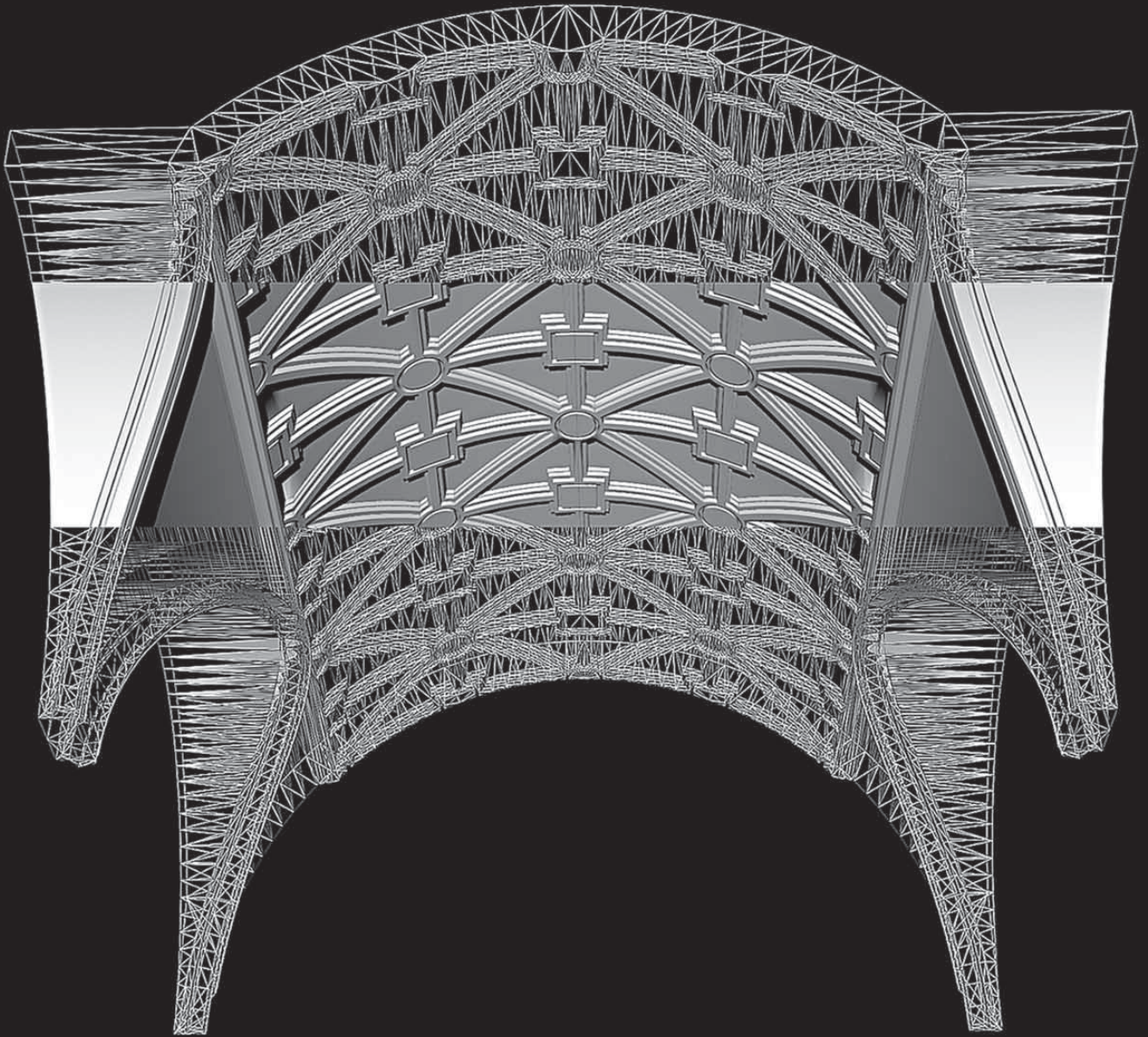
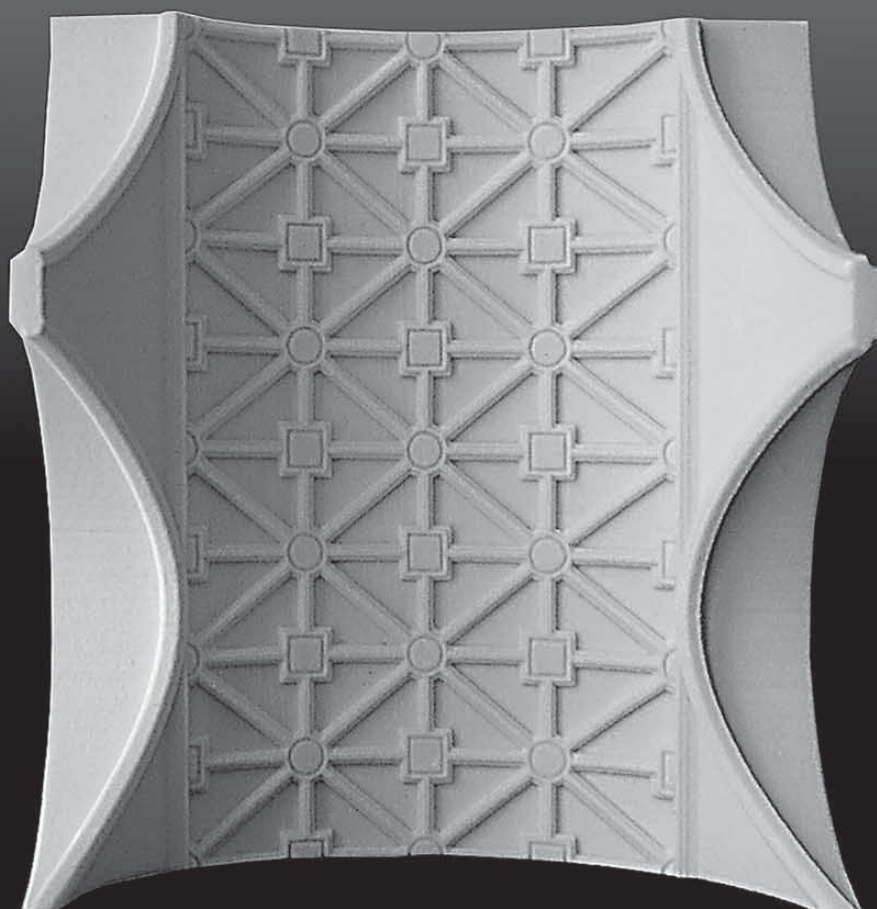
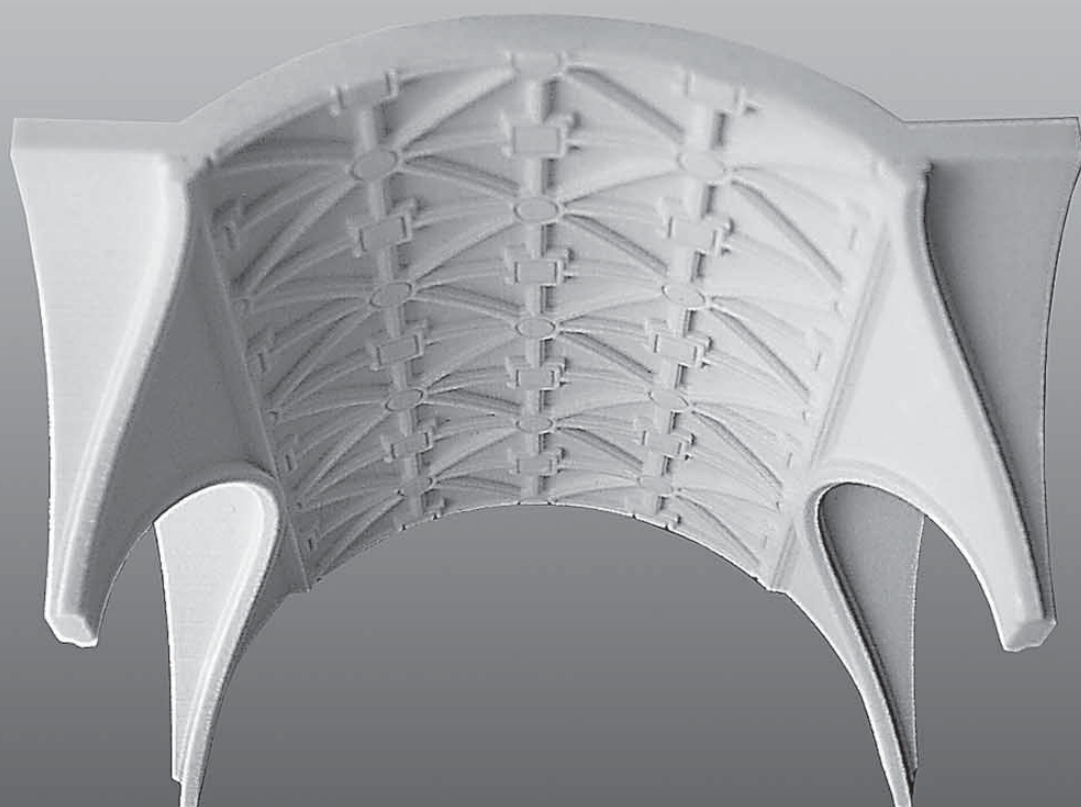


Figura 5. Trompe del Cabinet du Roi al castello di Anet: modello virtuale e raffigurazione di A. Bourgeois (1877).
Trompe of the Cabinet du Roi of Anet Castle: virtual model and reproduction by A. Bourgeois (1877).

Figura 6. J. Chéreau, volta a botte con motivo ad intreccio: modello.
J. Chéreau, braid patterned barrel vault: model.





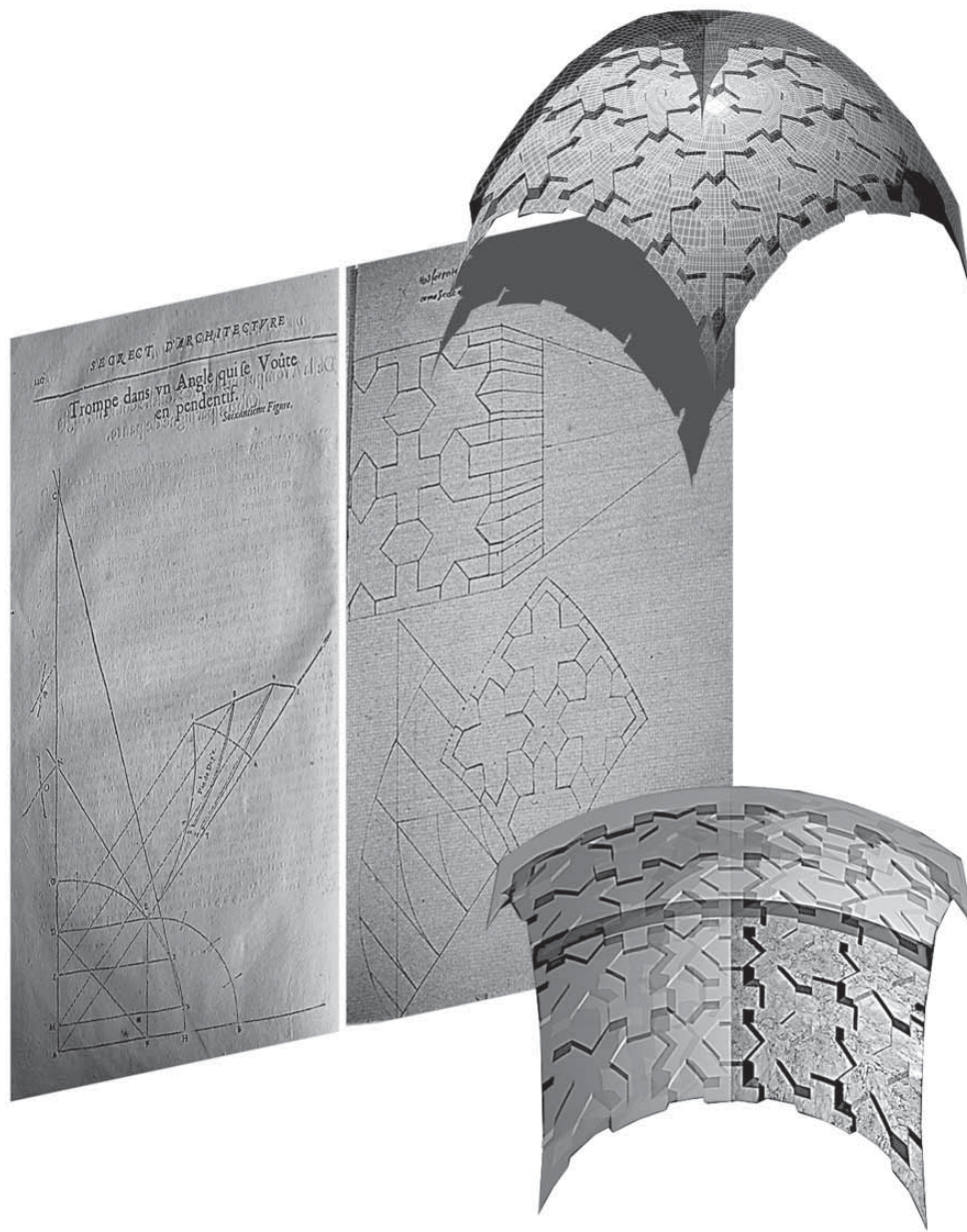


Figura 7. J. Chéreau, volta a botte con motivo ad intreccio: prototipo.

J. Chéreau, braid patterned barrel vault: prototype.

Figura 8. M. Jousse (sviluppo del quarto di volta) e H. Ruiz (intradosso decorato): volta a vela apparecchiata con trompe sferiche/pendentif.

M. Jousse (development of quarter of vault) and H. Ruiz (decorated intrados): bohemien vault with spherical trompe/pendentif.

Figura 9. G. Guarini, cupola della S. Sindone (Torino): modello.

G. Guarini, (Turin) Holy Shroud cupola: model.



Nozioni di stereotomia

Notions of stereotomy

2

2. Nozioni di stereotomia

Il termine “stereotomia”, o “sezione dei solidi”, compare per la prima volta nel libello di Jacques Curabelle del 1644 che inveisce contro Desargues¹:

Par grace & privilegi du roy il est permis à Jacques Curabelle, de faire imprimer, & vendre par tel Imprimeur & Libraire que bon luy semblera, un Cours d'Architecture par luy composé, diuise en quatre tomes; Le premier desquels contient, La Stereotomie, ou Section des solides, appliquée a la coupe des pierres, Et son appendix des quadrans, tant par rayon d'incidence, que de fraction & reflexion... Paris, le 4 decembre 1643².

Probabilmente mutuata dall'unione di due parole greche (στερεο' = solido e τομή' = taglio), la stereotomia rappresentò, per Jacques Curabelle, l'astrazione colta di quella che per secoli si era tramandata come “arte del tracciato geometrico”. Ciò si sostanzia nell'arte di disegnare, per mezzo di regole proiettive, le sagome reali delle

facce dei conci di un sistema voltato per consentirne il taglio.

Bisogna considerare che la trattazione del metodo e la definizione dell'*art du trait géométrique* risalgono a circa un secolo prima, ad opera di Philibert de l'Orme che, nel suo trattato del 1567, denunciò la paternità di questo nuovo metodo: «l'en trouuay le traict & inuentay l'artifice en ladicte année mil cinq cens trente six, par le moyen & ayde de Geometrie, & grand traual d'e[.]p[.]rit»³ (v. Fig. 10).

Curabelle, stimato come ottimo maestro tra gli “apparecchiatori” e apprendisti dell'arte del taglio delle pietre, è passato alla storia quasi esclusivamente per aver severamente criticato il “brogliaccio” di Girard Desargues⁴ che, teorizzando la possibilità d'individuare un metodo universale per la soluzione di questioni proiettive legate sia alla pratica della prospettiva che alla gnomonica e alla stereotomia, screditò, di fatto, tutta la serie di infinite “ricette di cantiere” utili alla costruzione, ma legate a forme massoniche di apprendi-

Notions of stereotomy

The word “Stereotomy” or “Cutting Solids” first appeared in 1644 in the Jaques Curabelle's libel against Desargues¹:

Par grace & privilegi du roy il est permis à Jacques Curabelle, de faire imprimer, & vendre par tel Imprimeur & Libraire que bon luy semblera, un Cours d'Architecture par luy composé, diuise en quatre Tomes; Le premier desquels contient, La Stereotomie, ou Section des solides, appliquée a la coupe des pierres, Et son appendix des quadrans, tant par rayon d'incidence, que de fraction & reflexion.... Paris, le 4 decembre 1644².

Probably taken from the union of two Greek words (στερεο' = solid and τομή' = cut), stereotomy represented, according to Jacques Curabelle the cultured abstraction of something handed down through the centuries as “the art of the geometrical line”. The study of the method and definition of art du *trait géométrique* date back to

about a century before, when Philibert de l'Orme, in his printed work of 1567, reported his authorship of this new method: «I've discovered the trait and create the method in 1536, thanks to geometry and to a great care...»³ (see Fig. 10).

Curabelle, appraised as an excellent master among the builders and the apprentices of the stone cutting art, has gone down in history almost only because of his critics against the Girard Desargues' “waste—book”⁴. He theorized about the possibility of finding a universal system to solve projective issues connected to the perspective experience as well as to the gnomonic and stereotomy, discrediting this way, all the endless series of theories useful in building, even connected to Masonic learning criteria. Due to the debate between Desargues and Curabelle, between the importance of the theory and practice, the legitimacy of the method and consequently, the status of their supporter was called into question. Curabelle

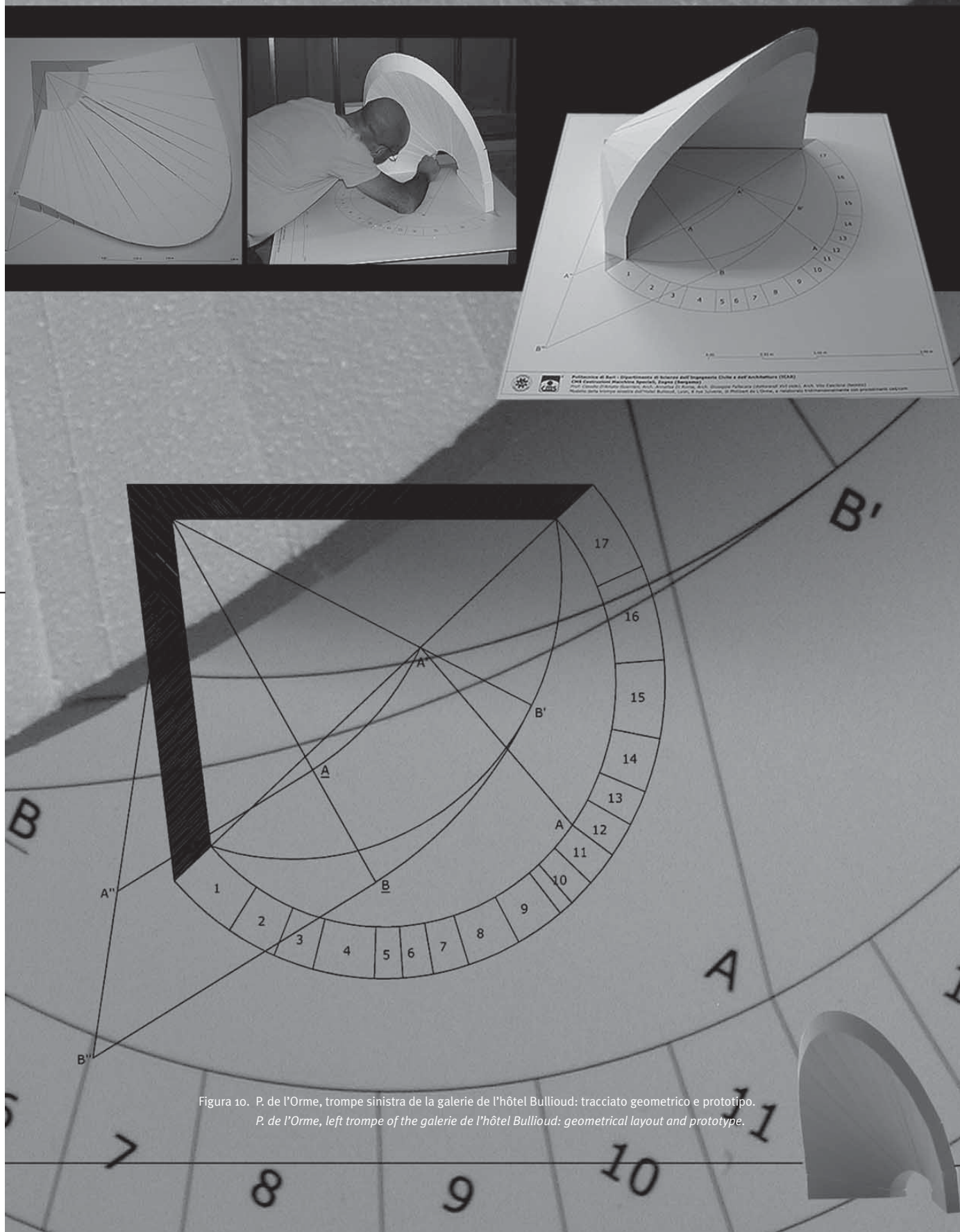


Figura 10. P. de l'Orme, trompe sinistra de la galerie de l'hôtel Bullioud: tracciato geometrico e prototipo.
P. de l'Orme, left trompe of the galerie de l'hôtel Bullioud: geometrical layout and prototype.

mento. Con la disputa tra Desargues e Curabelle, tra teoria e pratica, l'accento si spostò sulla legittimità dei metodi e, di conseguenza, sullo *status* di chi li perseguiva. Per Curabelle era determinante il criterio di fattibilità, mentre per Desargues contava unicamente l'esattezza del ragionamento geometrico. In realtà la stereotomia è, di fatto, figlia legittima sia della teoria sia della pratica, entrambe al servizio dell'architettura, ed è ormai storicamente acquisito che, nella speculazione progettuale di Philibert de l'Orme, l'arte del taglio delle pietre assunse un valore colto universalmente riconosciuto. È a Philibert de l'Orme che infatti si fa risalire l'origine della disciplina stereotomica, il cui seme, piantato nei libri terzo e quarto de *Le Premier Tome de l'Architecture*, si sviluppò costantemente sino alla metà del XVIII secolo. Circa la nascita e l'origine dell'arte del *trait géométrique*, riteniamo che sia una questione ancora aperta e, come abbiamo detto in precedenza, che essa possa essere immaginata come un lento risultato

teso a riunire la pratica di cantiere con gli sviluppi delle tecniche proiettive affini alla contemporanea codifica della prospettiva.

Jean—Marie Pérouse de Montclos, nei suoi studi sul Rinascimento francese⁵, si è interrogato su quali possano essere state le conoscenze scientifiche e geometriche dei maestri massoni che precedettero de l'Orme nella codifica della stereotomia, intesa come *art du trait géométrique*. De l'Orme stesso dichiarò che la sua geometria derivava dalla geometria euclidea «studiata [...], inaugurata dottamente interpretata e documentata, illustrata e messa in luce dal signor Francois de Candale, e pubblicamente letta e esposta dai professori del re in questa università di Parigi, i signori De la Ramée, Charpentier e Forcandel»⁶.

Si ritiene, a tal proposito, che esistesse una tradizione orale, precedente alla trattatistica architettonica risalente all'Euclide degli *Elementi* e dell'*Optica* e non a Vitruvio. Questo, in parte, potrebbe spiegare l'interesse di de

argued that the feasibility criterion was of primary importance while Desargues thought that the exactitude of the geometrical thought was more important. Actually, stereotomy is the legitimate daughter of theory as well as of practice as both are important in architecture. In the Philibert de l'Orme's planning speculation, stone cutting art got a universally recognizable value. It was then Philibert de l'Orme who was ascribed with the origin of the stereotomic discipline. The subject, first described in the third and fourth book of *Le premier tome de l'architecture*, developed constantly until the middle of the 18th century. We think about the birth and evolution of the *art of trait géométrique* as an ongoing issue, and, as we said before, we think about it as a reachable outcome aimed to bring together building site experience with the development of projective techniques close to the current renaissance perspective codification.

Jean—Marie Pérouse de Montclos, in his studies about French Renaissance⁵, wonders what could have been scientific and geometric knowledge of masons masters who preceded de l'Orme in codifying stereotomy as *art du trait géométrique*.

De l'Orme himself declares his geometry coming from the Euclidean geometry: «...studied, started learnedly interpreted and documented, presented and highlighted by Mr Francois de Candale, and publicly read and exposed in French language by king's masters: Mr De la Ramée, Mr. Charpentier and Mr. Forcandel in this university of Paris»⁶.

An oral tradition is supposed to exist, preceding the architectonic treatises, which can be referred to Euclide (of *Elements* and *Optic*), not to Vitruvio. This could partially express de l'Orme's will of “methodically setting”, according to Euclidean logic, the *art of trait géométrique* of medieval Masonic culture and its will to connect it to the



l'Orme a voler "normare metodicamente" secondo la logica euclidea, l'*art du trait géométrique* della cultura massonica medievale e di "congiungerla" alla speculazione architettonica di Vitruvio. Jean—Marie Pérouse de Montclos⁷ sottolinea che l'arte del *trait* appare all'autore, come il mezzo più astuto per modernizzare il vecchio stile gotico con quello rinascimentale dalla forte influenza italiana. La stereotomia è presentata, come vedremo meglio nel quarto capitolo, veniva presentata, quindi, da de l'Orme come il più efficace mezzo per passare dal vecchio mondo gotico al mondo moderno "regolare": «L'artifice des traicts Geometriques feuir quand on veult faire d'une maiſon, ou de deux mal commencées, — Joit vieil logis, ou autrement — une belle & parfaite maiſon, y accomodant tous les membres, & parties du vieil edifice, avec le neuf»⁸. Convinto che la cognizione del saper fare dei costruttori del Medioevo fosse la sola possibilità per l'architetto rinascimentale di giungere ad una nuova

speculazione architettonica, de l'Orme si impegnò nel suo trattato «ad unificare la pratica del tracciato geometrico con la teoria di Euclide», impegnandosi personalmente a «rivedere Euclide»⁹. Il metodo risulta, in effetti, la più grande preoccupazione di de l'Orme quando promette d'accompagnare Vitruvio a Euclide, «ricondurlo ad un metodo sicuro», o quando invita i dotti a «voler sintetizzare Vitruvio in maniera metodica e ordinata»¹⁰. La nostra ipotesi non tende a cercare una diretta connessione geometrica tra Euclide e de l'Orme, quanto piuttosto a sottolineare l'interesse che quest'ultimo può aver avuto nei riguardi dell'Opera di Euclide, ritenendola un altissimo compendio al rigore metodologico. A tal fine è interessante riportare quanto ipotizza Robin Evans:

Certamente nel lavoro di Delorme coesistono due geometrie che gareggiano l'una con l'altra, ma io le considererei come Platonica e proiettiva, più che come euclidea e vitruviana,... inoltre,...

nei tredici libri degli Elementi infatti non c'è riferimento alcuno alle proiezioni, laddove le proiezioni sono fondamentali per i traits»¹¹.

Si ritiene che il metodo del *trait géométrique* sia certamente ispirato alla geometria euclidea e che la geometria proiettiva si sviluppi sotto gli stimoli del *trait*, situato in una posizione intermedia tra essi.

La dimostrazione analitica della derivazione del metodo del *trait géométrique* dalla geometria di Euclide, o di come attraverso de l'Orme le tecniche costruttive abbiano raggiunto una metodologia "euclidea", richiede sicuramente una trattazione forse autonoma e più ampia della presente, che si limita a enucleare quelli che si ritengono i più importanti nodi teorici.

La logica assiomatico—deduttiva euclidea, come è noto, ha inizio con la definizione intuitiva di concetti molto semplici e, gradualmente, costituisce un vasto corpo di risultati organizzati

Vitruvio's architectonic speculation. Jean—Marie Pérouse de Montclos⁷ presents evidence that art of *trait* seems to the author the most intelligent way to upgrade the old gothic style with the renaissance one strongly inspired by the Italian model. Therefore, de l'Orme presents stereotomy as the most effective mean to pass from the old gothic to the regular, modern world. «L'artifice des traicts Geometriques feuir quand on veult faire d'une maiſon, ou de deux mal commencées, — Joit vieil logis, ou autrement — une belle & parfaite maiſon, y accomodant tous les membres, & parties du vieil edifice, avec le neuf»⁸. Persuaded that medieval builders' making skill is the only opportunity for renaissance architect, de l'Orme commit himself in his treatise to «conjoindre la pratique des traicts avec la théorique d'Euclide...» (unify the geometric line practice with the Euclidean theory — fol. 62), devoting himself to review Euclide⁹.

Method seems to be, indeed, the biggest worry for de l'Orme, who swears to drive Vitruvio to Euclide, «to take him to a reliable method», or asking masters to «summarize Vitruvio in a methodical and ordered way»¹⁰.

Our hypothesis doesn't want to find a direct geometrical connection between Euclide and de l'Orme, we rather want to focus on the interest he could have had towards Euclide's work, considering it a very high digest of methodological rigour. Thus, it seems interesting to quote Robin Evans who supposes:

...certainly in de l'Orme's work coexist two geometries competing one another, but I rather call them Platonic and projective, than Euclidean and Vitruvian... moreover, ...in the thirteen books of Elements there isn't any reference to the projections, while projections are basic to the traits»¹¹.

The method of *trait géométrique* is supposed to be inspired certainly by

Euclide and projective geometry is supposed to develop from the *trait*, which cannot be connected neither to one nor to the other, being in an intermediate position.

The analytic demonstration of the fact that the *trait géométrique* comes from Euclidean geometry and the demonstration of how building techniques have attained thanks to de l'Orme, a Euclidean methodology, surely need an independent treatise, much more complex than the present one, which exposes, within its limitations, the considered most important theories. As everybody knows, the axiomatic—deductive Euclidean method begins with the intuitive definition of very easy concepts and then it gradually establishes a wide corpus of interconnected results.

It creates a strong and rigorous building which makes all the processes perceptive, comprehensible and intelligible.

In the same way, the structure of

in modo tale che ciascuno dipenda dai precedenti. Ne discende una costruzione forte e rigorosa che rende tutte le operazioni percepibili, comprensibili ed intelleggibili. Allo stesso modo, la strutturazione dei trattati di stereotomia, da de l'Orme in poi, si organizza in maniera tale che al *trait géométrique* più semplice faccia seguito a quello, mano a mano, più complesso. La descrizione metodologica delle fasi costruttive, sia dell'*épure*¹² sia *tout court* dell'elemento architettonico, segue una puntuale logica consequenziale che consente allo scalpellino di giungere agevolmente alla dimostrazione del processo costruttivo. Infine, la riga ed il compasso sono gli strumenti della costruzione geometrica che vengono postulati sin dall'inizio tanto negli *Elementi* di Euclide quanto nei trattati di stereotomia. Gli strumenti della "fabbricazione stereotomica", indi, sono anche quei simboli massonici da cui principalmente deriva la conoscenza applicata di de l'Orme. Se, per così dire, distilliamo i principi che definiscono la disciplina stereo-

tomica applicata al taglio delle pietre per la realizzazione di elementi e/o organismi architettonici, notiamo che la stereotomia si fonda su tre "principi-invarianti", caratterizzanti e imprescindibili, del proprio *corpus* disciplinare:

- *invariante prefigurativo*, ovvero la capacità di suddividere un sistema voltato in opportune parti (apparecchiatura);
- *invariante tecnico/geometrico*, ovvero la capacità di descrivere, attraverso la geometria, tanto i sistemi voltati quanto i suoi elementi/conci costituenti, al fine della rispettiva realizzazione (tecnica proiettiva e tecniche di taglio);
- *invariante statico*, ovvero la capacità di assicurare l'equilibrio statico del sistema architettonico composto da conci giuntati a secco (statica grafica e meccanica dei corpi rigidi).

In base all'esistenza di questi tre invarianti combinabili in ordine casuale, è possibile definire un filtro selettivo atto a discernere le generiche architetture in pietra da quelle di natura stereotomica,

intese come alta speculazione dell'architettura in pietra.

Al primo dei tre invarianti può riferirsi anche la qualità espressiva di un sistema voltato in cui l'apparato decorativo coincide intrinsecamente con quello strutturale; il secondo invariante può rappresentare il carattere distintivo di un'opera stereotomica in cui la capacità tecnico-realizzativa assume il principale ruolo teorico nel processo progettuale; al terzo invariante può riferirsi una parte della critica neoclassica nei confronti della stereotomia, tacciata di anticlassicismo, per cui la volontà di dissimulare il valore della *firmitas* vitruviana ha spinto la disciplina stereotomica ad un eccesso di virtuosismo statico, che sembra aver sfidato la legge della gravità dei corpi rendendone bizzarro l'esito progettuale (v. Fig. 11). A tal proposito una delle più interessanti definizioni attribuita a Charles Perrault riporta che la stereotomia è l'arte «di servirsi del peso stesso della pietra contro la sua gravità per farla sostenere in alto dalla stessa forza che la farebbe cadere in basso»¹³.

stereotomy treatises, starting from de l'Orme's one, is organized so that the *trait géométrique*, as it grows complex, follows the easier one.

Methodological description of building stages, both of *épure*¹² and *tout court* of architectonic element follows a consequential criterion which allows the stone cutter to reach easily the building process demonstration.

Finally, ruler and calliper are the geometrical building instruments assumed since the beginning, both in Euclidean Elements and in Stereotomy treatises. Therefore, stereotomic fabrication tools, are those Masonic symbols which the applied knowledge of the l'Orme refers to.

Carefully analyzing the principles of stereotomic discipline, applied to stone cutting in order to create architectonic elements and/or systems, we notice that stereotomy is regulated by three distinctive and "invariant principles" of

his disciplinary *corpus*.

They are:

- *prefigurative invariant*: that is the subdivision capacity in appropriate sections of a vaulted system
- *technical/geometric invariant*: that is the capacity of geometric, punctual definition of an architectural system and of ashlar and its realization. (projective technique and cutting technique)
- *static invariant*: that is the capacity of providing static balance of the architectural system of drystone joint (graphic and mechanic static of rigid structures).

According to these three parameters, randomly orderable, we can define a selective filter, in order to discriminate between the stone general architectures and the stereotomic ones, which have to be intended as high speculation forms of stone architecture. Even the expressive quality of a vaulted system, where the decorative part intrinsically fits together with the

structure, can refer to the first of the three invariants. The second invariant can represent the distinctive aspect of a stereotomic work, where the technical-realizable capacity plays the main abstract part in the planning stage. The third invariant can be connected with a part of neoclassical critic against stereotomy, which they taxed with anti-classicism. Thus the desire of dissimulating the value of Vitruvian *firmitas* drove stereotomy to an excess of static virtuosity which seems to have defied the laws of gravity, resulting in an odd planning of the shape (see Fig. 11).

One of the most interesting Charles Perrault's definition about that, reports that stereotomy is the art «of using the same stone weight against its gravity to support it on the top, making full use of the force that would bring it down»¹³.

In conclusion, the "three invariant principles" are strictly connected within

C. F. A. Leroy¹⁴ è illuminante a proposito del ruolo che la stereotomia riveste all'interno della costruzione edilizia:

Toutefois, il ne faut pas croire que cet art se réduise au travail manuel du compagnon qui taille la pierre ou le bois, pour en tirer des pièces qui n'ont plus qu'à être assemblées ou disposées les unes audessus des autres ; car, auparavant, l'Ingénieur ou l'Architecte doit examiner les avantages et les inconvénients de telle forme de voussure, les raccordements qu'elle devra présenter avec d'autres ouvrages préexistants ou simultanés, le mode de division en voussoirs qui sera le plus propre à assurer la stabilité des constructions et à empêcher les effets du tassement; il doit encore combiner les diverses pièces d'une charpente de manière à rendre les assemblages invariables, et à éviter que la charge ne produise de poussée au vide. Je ne parle pas du calcul des dimensions qu'il faut donner à ces pièces, non plus qu'aux pieds-droits ou aux reins d'une voûte, attendu que

ces dernières conditions peuvent être regardées comme plus spécialement relatives à un cours de constructions qu'au problème de stéréotomie proprement dit.

In conclusione, i “tre principi invarianti”

sono intrinsecamente correlati all'interno di un'opera stereotomica; pertanto, geometria, ornato e capacità di controllo tecnico del processo costruttivo rappresentano i cardini di una speculazione progettuale sempre viva e feconda.

a stereotomic work where geometry, decoration, statics and technical control of the building process represent the basis for a lively and fruitful planning speculation.



41

Figura 11. C. de Wailly, pulpito nella chiesa di Saint—Sulpice (Parigi).
C. de Wailly, Saint—Sulpice (Paris) church pulpit.

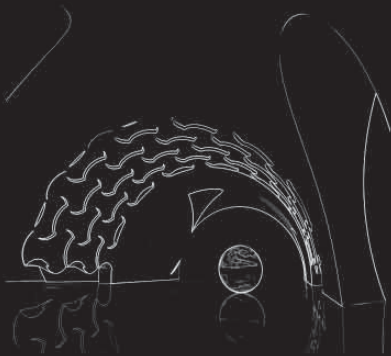
note:

1. J. CURABELLE, *Examen des oeuvres du Sieur Desargues*, Paris, 1644.
2. Io, *Cours d'Architecture*, Paris, 1643, Estratto del privilegio del Re (Con la grazia ed il privilegio del Re è permesso a Jacques Curabelle, di far stampare, e vendere presso l'Editore e Libraio che gli sembrerà adatto, un Corso d'Architettura da lui composto, diviso in quattro Tomi; Il primo dei quali contiene, La stereotomia, o sezione dei solidi, applicata al taglio delle pietre, e la sua Appendice dei orologi solari, sia per raggio d'incidenza, che di frazione e riflessione).
3. P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, cit. (nota 4 cap. i), L. IV, p. 91r (Ho scoperto il tracciato e ho inventato il metodo nel 1536, attraverso l'aiuto della Geometria, e un gran lavoro di spirito).
4. G. DESARGUES, *Brouillon project d'exemples d'une manière universelle du sieur G.D.L., touchant la pratique du trait à preuve pour la coupe des pierres en architecture*, Paris 1640.
5. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française, XVI^{ème}, XVII^{ème}, XVIII^{ème} siècles*, Picard, Paris 1982, p. 184.
6. P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, cit. (nota 4 cap. i), L. III, f. 116 (Studiata [...], inaugurata dottamente interpretata e documentata, illustrata e messa in luce dal signor Francois de Candale, e pubblicamente letta e esposta dai professori del re in questa università di Parigi, i signori De la Ramée, Charpentier e Forcandel).
7. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française, XVI^{ème}, XVII^{ème}, XVIII^{ème} siècles*, Picard, Paris 2001, pp. 93–94.
8. P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, cit. (nota 4 cap. i), L. III, f. 67r (L'artificio dei traits geometriques, da utilizzare, quando si vuol fare di una casa, odi due mal impostate, siano vecchie logge, o altro una bella e perfetta costruzione, sia ordinando tutte le membra, che le parti del vecchio edificio con il nuovo).
9. Ivi, L. III, f. 62.
10. *Ibidem*.
11. R. EVANS, *The Projective Cast*, MIT Press, Cambridge 1995, p. 200.
12. Tracciato geometrico in scala reale 1:1.
13. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française, XVI^{ème}, XVII^{ème}, XVIII^{ème} siècles*, cit. (nota 7), p. 85.
14. C.F.A. LEROY, *Traité de stéréotomie*, Paris 1844, Avertissement (Tuttavia non bisogna credere che quest'arte si riduca al lavoro manuale del compagno che taglia la pietra o il legno, al fine di realizzare dei pezzi il cui unico scopo è quello di unirsi ad altri, perché in prima istanza, l'ingegnere o l'architetto devono esaminare i vantaggi e gli svantaggi di una predeterminata volta, le possibilità di raccordarsi con opere preesistenti o composizioni complesse, le modalità di suddivisione in conci più convenienti atte ad assicurare la stabilità della costruzione e ad evitare gli effetti di spinte multiple; si dovrà inoltre comporre i diversi elementi di una carpenteria in maniera da rendere gli assemblaggi invariabili, e soprattutto evitare che i carichi producano spinte nel vuoto. Non si intende, qui, il calcolo delle dimensioni degli elementi, e neanche dei piedritti o alle reni delle volte, considerando che queste ultime condizioni rientrano nei corsi di costruzione e non nei problemi di stereotomia propriamente detta).

note:

1. J. CURABELLE, *Examen des oeuvres du Sieur Desargues*, Paris, 1644.
2. Io, *Cours d'Architecture*, Paris, 1643, Estratto del privilegio del Re.
3. P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, cit. (nota 4 ch. i), L. IV, p. 91r.
4. G. DESARGUES, *Brouillon project d'exemples d'une manière universelle du sieur G.D.L., touchant la pratique du trait à preuve pour la coupe des pierres en architecture*, Paris 1640.
5. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française, XVI^{ème}, XVII^{ème}, XVIII^{ème} siècles*, Picard, Paris 1982, p. 184.
6. P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, cit. (nota 4 ch. i), L. III, f. 116.
7. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française, XVI^{ème}, XVII^{ème}, XVIII^{ème} siècles*, Picard, Paris 2001, pp. 93–94.
8. P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, cit. (nota 4 ch. i), L. III, f. 67r.
9. Ivi, L. III, f. 62.
10. *Ibidem*.
11. R. EVANS, *The Projective Cast*, MIT Press, Cambridge 1995, p. 200.
12. Geometrical layout in real scale 1:1.
13. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française, XVI^{ème}, XVII^{ème}, XVIII^{ème} siècles*, cit. (nota 7), p. 85.
14. C.F.A. LEROY, *Traité de stéréotomie*, Paris 1844, Avertissement





Sulle origini ed evoluzioni della
stereotomia moderna

On the origins of the evolution of the
modern stereotomy

3

3. Sulle origini ed evoluzioni della stereotomia moderna

Varie ipotesi sono state fatte circa l'origine della stereotomia: taluni sostengono il primato autoctono in Francia; altri la sua "importazione" da culture orientali. Secondo l'opinione di Viollet-le-Duc, la sua nascita nel mondo occidentale si deve all'ammirazione dei viaggiatori cristiani per i modelli della costruzione siriana, portati dall'Oriente all'Occidente dai Crociati.

All'inizio del novecento C. J. Toussaint, a proposito dell'origine della stereotomia, sostiene che:

Il existe peu d'ouvrages modernes sur la Coupe des pierres; les Anciens ne nous en ont laissé aucun. Les Grecs et les Romains ont ignoré cet art; le moyen âge, qui a produit de si beaux spécimens gothiques, l'a pratiqué, mais aucun auteur de ce temps n'a eu l'idée de rassembler les données mises en pratique par ses grands artistes, inconscients de leur génie fantaisiste, pour déterminer d'une manière précise les règles de la stéréotomie. C'est à la Renaissance que nous sommes redevables

d'avoir enfin posé des principes qui, depuis le XVII^e, ont dirigé les efforts de nos grands architectes modernes dans une voie certaine, si fertile en grandes conceptions¹.



Figura 12. Scala elicoidale vis de Saint—Gilles.
Vis de Saint—Gilles helicoidal staircase.

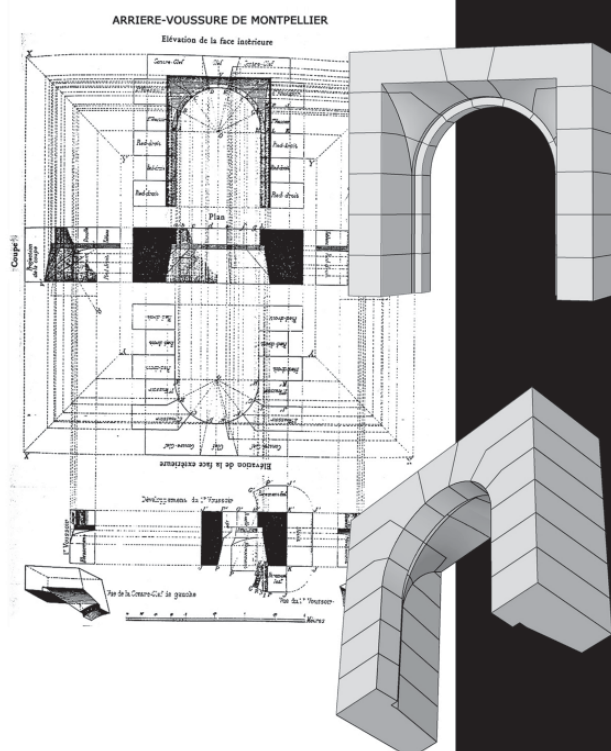
On the origins and evolutions of the modern stereotomy

Various hypotheses have been made around the origin of the stereotomy: some sustains the autochthonous primacy in France; others his "importation" from oriental cultures. According to the opinion of Viollet-le-Duc, its birth in the western world is due to the admiration of the Christian travellers for the models of the Syrian construction, brought from the east to the west by the Crusaders. At the beginning of the nineteenth century C. J. Toussaint, speaking of the origin of the stereotomy, sustains that:

Few modern works exist on the cut of the stones; antiquity has not left any of it. The Greek and the Romans have ignored this art; the Medieval Age, that has produced some beautiful Gothic works, has practised it, but no author of that times has had the idea to gather the data put into practice by its great artists, unconscious of their genial fantasy, with the purpose to determine in an accurate way the rules of the stereotomy. It is to the Renaissance that we are thankful to have set the principles that, from the sixteenth

century, have directed the efforts of our great modern architects in a certain and fertile way of great concepts¹.

According to Jean-Marie Pérouse de Montclos² the French modern stereoto-

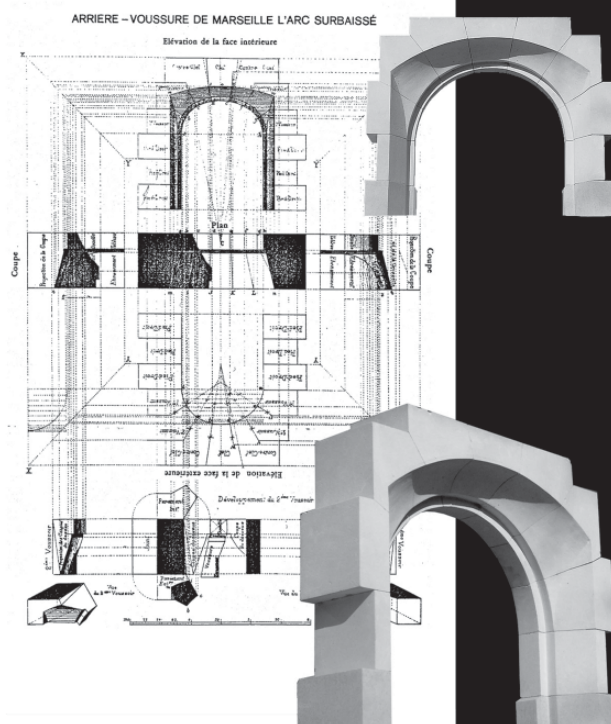


Secondo Jean-Marie Pérouse de Montclos² la stereotomia moderna francese, ovvero quella rinascimentale, viene elaborata sull'insegnamento delle "antichità nazionali" della Francia provenzale: il Pont du Gard, il tempio di Diana e le arene di Nîmes e Arles ne rappresentarono l'epicentro teorico.

Si ricordi che gli elementi dell'architettura stereotomica, che fungono da modelli della costruzione, portano i nomi delle città della Francia provenzale ove, con ogni probabilità, sono comparsi per la prima volta o dove hanno raggiunto la perfezione "costruttivo-formale": la famosa *vis de Saint-Gilles*, la *trompe de Montpellier*, l'*arrière-voûture* di Marseille e di Montpellier, la volta detta *pendentif* di Valence, e così via.

La tipologia "moderna" dello spazio voltato si rifece quasi totalmente alle architetture lapidee del periodo romanico, epoca di transizione a cavallo tra il mondo antico e quello gotico. Nell'architettura romanica è infatti possibile riconoscere tutti i proto-modelli dell'ar-

47



my is elaborated on the teaching of the "national antiquity" of Provençal France: the Pont du Gard, the temple of Diane and the Arenas of Nîmes and Arles represented the theoretical epicentre of it. We remember that the elements of the stereotomic architecture, that act as models of the construction, bear the names of the cities of Provençal France where, with every probability, they have appeared for the first time or where they have reached the "constructive-formal" perfection: the famous *Vis de Saint-Gilles*, the squinch of Montpellier, the *arrière-voûture* of Marseille and of Montpellier, the vault called *pendentif* of Valence, and so on.

The "modern" typology of the vaulted space almost totally refers to the stone architectures of the Romanesque period, epoch of transition on horseback between the Antic World and that Gothic. In the Romanesque architecture it is in fact possible to recognize all the proto-models of the stereotomic architecture (barrel vault, crossing vault, helicoidal vault,

chitettura stereotomica (volte a botte, a crociera, volte elicoidali, ecc.) che raggiungono, durante il rinascimento, il pieno compimento teorico e pratico, attraverso l'evoluzione delle tecniche del disegno e della capacità di razionalizzare il processo costruttivo.

La relazione di continuità tra periodo moderno e romanico è garantita, almeno in Francia, dalla sopravvivenza in area provenzale sino al *xiv* secolo delle tradizioni costruttive romaniche. Risulta interessante rimarcare, perciò, che lo spazio stereotomico rinascimentale sia più affine a quello romanico che a quello gotico. Le necessarie e inevitabili operazioni di restauro integrativo-ricostruttivo avviano il perpetrarsi di una tecnica costruttiva rinvigorita da affinamenti tecnico-speculativi.

I più grandi esponenti della stereotomia moderna francese si sono cimentati in opere di restauro alternando soluzioni mimetiche a ricostruzioni identiche all'originale.

Al fine di un'esatta comprensione della distanza tecnico-concettuale con l'arte gotica, va evidenziata la natura ontologica dell'elemento cardine della sua architettura: la nervatura ogivale. La Francia del *xvi* sec. è tesa all'affermazione del proprio potere nascente e, con la stereotomia, dichiara la ricerca di uno stile o "maniera" nazionale. Questa si esplicita nell'alto livello tecnico finalizzato alla realizzazione degli spazi voltati, la cui caratteristica principale è data dalla coniugazione della "continuità" plastica dei volumi, e dalla perfetta esecuzione delle curve spaziali, come "piegature" della massa muraria, nate dalle intersezioni di solidi geometrici. L'organismo architettonico non risulta, quindi, scomposto in costoloni. Il concetto di continuità della superficie è in qualche modo negato dall'architettura gotica che si caratterizza per l'adozione di costoloni nervati. Questa rappresenta il mascheramento della soluzione stereotomica della curva spaziale letta specialmente nell'accostamento degli spigoli nei singoli conci.

In luogo di un esatto disegno lapideo spaziale della curva d'intersezione (ad esempio, tra due o più volte a botte) insiste il costolone nervato piano, la cui traccia al suolo è sempre rettilinea, contro la specifica traccia curvilinea di proiezione a terra dell'intersezione spaziale. Il costolone, quindi, *cela* ogni problematica di natura stereotomica, e dà luogo alla scissione tra elemento portato ed elemento portante all'interno di un sistema costruttivo omogeneo. Il valore percettivo dello spazio stereotomico moderno è di duplice natura: l'insieme e la parte. Il primo si basa sull'assoluta plasticità organica dei volumi; il secondo si basa sulla conoscenza della suddivisione razionale dei volumi: l'apparecchiatura. Quest'ultima risponde sia all'istanza statica che a quella decorativa della fabbrica architettonica. Nell'architettura gotica il problema del nodo di intersezione fra i volumi è rinviato a pochi elementi monolitici-tipo (le giunzioni tra i vari costoloni) che elidono empiricamente la comprensione dell'esatta natura geometrica dei conci

etc.) that they reach, during the Renaissance, the full theoretical and practical completion, through the evolution of the techniques of the design and the ability to rationalize the constructive process.

The relationship of continuity between modern and Romanesque period is guaranteed, at least in France, from the survival in Provençal area until the *xiv* century of the Romanesque constructive traditions. It results interesting to observe, therefore, that the stereotomic space of the Renaissance is similar to that Romanesque rather than to that Gothic. The necessary and inevitable complementary-reconstructive operations of restoration guarantee the perpetration of a constructive technique reanimated by technical-speculative refinements.

The greatest exponents of the French modern stereotomy have measured up to restoration works alternating mimetic solutions to reconstructions identical to the original one.

To the purpose of an exact understanding of the technical-conceptual distance with the Gothic art, the ontological nature of the cornerstone element of its architecture must be underlined: the ogival rib.

France of the *xvi* Century is tense to the affirmation of its own growing up power and, with the stereotomy; it declares the search of a style or national "way". This is explicit in the technical high-level finalized to the realization of the vaulted spaces, whose principal characteristic is given by the conjugation of the plastic "continuity" of the volumes, and from the perfect execution of the spatial curves, as "folding" of the masonry mass, been born by the intersections of geometric solid.

The architectural organism doesn't result, therefore, decomposed in groins. The concept of continuity of the surface is somehow denied by the Gothic architecture that is characterized for the adoption of ribbed groins. This represents the disguise of the stereotomic solution of the spatial curve read special-

ly in the assembling of the edges in the individuals' blocks of stone.

In place of an exact spatial stone design of the curve of intersection (for instance, among two or more barrel vaults) insists the ribbed flat groin, whose trace to the ground is always rectilinear, against the specific curvilinear trace of projection on the ground of the spatial intersection. The groin, therefore, *hides* every problematic of stereotomic nature, and it results in the division among beard element and bearing element inside a homogeneous constructive system. The perceptive value of the stereotomic modern space is of double nature: the whole and the part. The first one is based on the absolute organic plasticity of the volumes; the second is based on the knowledge of the rational subdivision of the volumes: the bonding of stones. This latter responds both to the static requirement and to that decorative of the architectural fabric.

In the Gothic architecture the problem of the knot of intersection among the volumes is sent back to few monolithic-

sulle linee di intersezione. Come si può dedurre, l'architettura gotica, non risponde nella propria espressività, alle esigenze proprie della stereotomia. Ad essa, però, va riconosciuto il merito di aver indagato le complesse relazioni grafiche intercorrenti tra pianta e alzato ed i ribaltamenti dei piani di costruzione, così come dimostrato nel taccuino di Villard de Honnencourt. Il più ambizioso traguardo della stereotomia moderna consiste nella codifica di un metodo sicuro che consente la trasmissione al blocco lapideo dell'esatta configurazione geometrica del concio di un qualsivoglia sistema voltato. La relazione biunivoca senza eccezioni tra il tutto spaziale e il pezzo congruente, tra l'insieme e la parte in movimento ciclico, costituisce il *modus* innovativo dell'architettura stereotomica moderna intesa come sfida costante alla più ardita conformazione dello spazio. La grande epoca della speculazione stereotomica, coincidente con la proliferazione dei trattati sulla *coupe des pierres*, si sostanzia tra il XVI e il XVIII

secolo, parallelamente alla produzione trattatistica italiana. Philibert de l'Orme è il primo a trarne i benefici. Iniziato ai segreti dei massoni francesi meridionali, questi ha la fortuna di studiare a fondo il Rinascimento italiano in un viaggio di studi a Roma tra il 1533 e il 1536. Anche e soprattutto attraverso il suo contributo, la Francia diventa, quindi, l'epicentro teorico-pratico dello sviluppo della stereotomia, che pur affondando le sue radici in una speculazione d'origine italiana, vede il Bel paese lontano da un suo approfondimento teorico e da una sua adozione pratica. Jean-Marie Pérouse de Montclos sostiene che la stereotomia moderna nasca dall'incontro tra la pratica romanica e l'idea ambiziosa di conquista razionale della terza dimensione. Affermando che «la pratica è di casa e l'idea pellegrina» ritiene che l'incontro avvenga in terra francese all'incirca nel XV secolo tra l'eco dei viaggiatori mediorientali e lo sviluppo delle ricerche italiane sulla prospettiva. Nel suo trattato, *La théorie et la prati-*

que de la coupe des pierres et des bois, Frézier afferma, a proposito delle conoscenze necessarie all'architetto, che:

Ma raison est, qu'outre qu'il ne nous reste pas de Monumens antiques où il ait été mis en usage, que pour des traits assez simples, c'est que dans l'énumération que Vitruve fait des connoissances nécessaires à un Architecte, il ne parle point de celle de la Coupe des Pierres; en effet la noble simplicité de l'Architecture des Anciens n'exerçoit pas beaucoup le sçavoir-faire des Appareilleurs, qui n'avoient presque que des Voûtes Cylindriques ou Sphériques à conduire³.

Nel 1642, nell'introduzione ai suoi *Segreti d'Architettura*, Mathurin Jousse, onorando i grandi eruditi e le loro eccellenti opere nell'arte architettonica da Vitruvio a Leon Battista Alberti, Vincenzo Scamozzi, Andrea Palladio, Pietro Cattaneo, Sebastiano Serlio e Vignola, a proposito dell'arte del *trait géométrique*, sostiene:

type elements (the junctions among the various groins) that they empirically annul the understanding of the exact geometric nature of the blocks of stones on the lines of intersection.

As it can be deduced, the Gothic architecture, doesn't respond in its own expressiveness, to the proper demands of the stereotomy. To it, however, the merit must be recognized to have investigated the complex graphic relationships existing between plan and elevation and the inversions of the plans of construction, as shown in the notebook of Villard de Honnencourt.

The most ambitious finishing line of the modern stereotomy consists in the codification of a sure method that allows the transmission to the stone block of the exact geometric configuration of the cut stone block of a any desired vaulted system.

The bi-univocal relationship without exceptions between the spatial unity and the congruent piece, between the whole and the part in cyclical movement, constitutes the innovative *modus*

of the modern stereotomic architecture understood as a constant challenge to the most audacious conformation of the space.

The great epoch of the stereotomic speculation, coincident with the proliferation of the treatises on the *coupe des pierres*, takes place between the XVI and the XVIII century, parallel to the production of the Italian treatise works. Philibert de l'Orme is the first one to take advantage of its benefits. Initiated to the secret of the southern French freemasons, it has the fortune to study thoroughly the Italian Renaissance in a trip of studies to Rome between 1533 and 1536.

Also and above all through its contribution, France becomes, therefore, the theoretical/practise epicentre of the development of the stereotomy, that also sinking its roots in a speculation of Italian origin, he sees the Beautiful country away from his theoretical deepening analysis of and from his practical adoption.

Jean-Marie Pérouse de Montclos sus-

tains that the modern stereotomy is born from the meeting between the Romanesque practice and the ambitious idea of rational conquest of the third dimension. Affirming that «the practice is home-made and the idea is pilgrim» it believes that the meeting happens in French land approximately in the XV century among the echo of the middle-east travelers and the development of the Italian researches on the perspective.

In his treatise, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois*, Frézier affirms, in connection with the necessary knowledge to the architect, that:

In the enunciation that Vitruvio has done on the necessary knowledge for the architect he doesn't speak at all of that of the cut of the stones; in effects the noble simplicity of the architecture of the Ancients ones didn't need too much to know how to make some bonding, since only cylindrical or spherical vaults were built³.

Vous verrez que tous ces grands Hommes ne nous ont dicté mot de la façon de tirer les traicts Géométriques nécessaires à la coupe des pierres : bref ie vous diray que ie n'ay pas veu vn seul Auteur qui en ayt aucunement parlé, excepté Maistre Philibert de Lorme, qui en a laissé en son 3 & 4 Liure quelques démonstrations, lesquelles ie n'accuse-ray point de sauseté: mais seulement d'estre enveloppées souz tant de lignes & de paroles, que quoy qu'elles fussent bonnes pour les Doctes Sices grands Hommes l'eussent aussi bien couchée dans leurs écrits comme ils l'entendoient parfaitement, ceux qui ont dans leurs ouvrages aprins à bastir n'eussent jamais fait les fautes que nous sçauons y auoir en plusieurs lieux⁴.

In questo passo di Jousse appare evidente la piena coscienza della supremazia francese nell'impostazione teorica della *coupe des pierres*. Tutti i trattatisti successivi a Mathurin Jousse concordano sul merito e sul primato che Philibert de l'Orme ha

avuto nell'elevare i segreti secolari delle corporazioni massoniche al rango speculativo anche attraverso la diffusione a stampa.

L'evoluzione storica della stereotomia è ben tracciata nei prologhi dei trattati del XVIII secolo. A tal proposito è bene riportare lo stato dell'arte della disciplina al tempo di Jean Baptiste De La Ruë. Questi, nel trattato del 1728 di poco antecedente alla magistrale opera di Frézier, ricalca l'impostazione adottata da Derand, la cui opera è coeva a quella di Mathurin Jousse, e ricostruisce i passaggi diacronici dell'evoluzione della disciplina:

Entre les Sciences que l'Architecture comprend, celle de la Coupe des Pierres est sans contredit une des plus considérables & des plus utiles: c'est par elle qu'on parvient à trouver les coupes des voûtes de toutes espèces, & à conduire, dans un ordre convenable, l'appareil des pierres, duquel dépend la solidité, aussi bien que la beauté des façade des

édifices.

Cette science, qu'on appelle ordinairement le Trait, est d'une invention très moderne. Philibert de Lorme est le premier qui en ait donné des règles. La trompe qu'il a fait construire au château d'Anet, pour porter le cabinet de Henri II, est une preuve de sa capacité; mais outre qu'il ne s'est pas expliqué clairement, il n'a donné qu'un très petit nombre de pièces.

Muthurin Jousse a laissé un plus grand nombre de traits, mais il ne s'est rendu plus intelligible. Ces deux Auteurs n'ont rien dit touchant la manière de tracer les pierres.

Il semble que Desargues, dont le graveur Bosse a mis les ouvrages au jour, ait eu vue de dérober aux autres la science de la Coupe des Pierres, par les principes mêmes qu'il en donne, tant il affecte de nouveauté dans ses termes, & de singularité dans ses traits.

Jacques Curabelle a fait un examen des œuvres de Desargues, dont il relève exactement toutes les fautes. Il seroit à souhaiter que Curabelle eût fait part de

In 1642, in the introduction to his *Secrets of architecture*, Mathurin Jousse, honouring the great scholars and their excellent works in the architectural art from Vitruvius to Leon Baptist Alberti, Vincent Scamozzi, Andrew Palladio, Pietro Cattaneo, Sebastiano Serlio and Vignola, speaking of the art of the *Trait Géométrique*, sustains:

You will see that all these great Men have not told us a word on the way of drawing the necessary Geometric layouts to the cut of the Stones: then I will tell you that I have never seen an author that has spoken of it, except the Master Philibert de l'Orme, that has left to us, in his books third and fourth, some demonstration that I don't judge wrong, but to have text and images only comprehensible to the Scholars... If these great Men would have so well put in their writings, as perfectly they understood, what they have achieved in the built works, there would not be all the errors that we commit in different parts of the construction⁴.

In this passage of Jousse it appears evident the full conscience of the French supremacy in the theoretical formulation of the *coupe des pierres*.

All the following authors of treatises to Mathurin Jousse agree on the merit and on the primacy that Philibert de l'Orme has had in promoting the secular secrets of the Masonic corporate body to the speculative rank through the printing diffusion.

The historical evolution of the stereotomy is well traced in the prologues of the treatises of the XVIII century. To such intention it is well to report the state of the art of the discipline to the time of Jean Baptiste De La Ruë.

These, in the treatise of the 1728 of little antecedent to the magistral work of Frézier, it reproduces the formulation adopted by Derand, whose work is contemporaneous to that of Mathurin Jousse, and it reconstructs the diachronic passages of the evolution of the discipline:

Among the sciences that the architecture includes, that of the Cut of the Stones is without contradiction to hold in greater consideration and of the most useful: thanks to this we achieve to find the cuts of the vaults and all the blocks of stones, and to conduct, in convenient order, the bonding of the blocks of stone, from which the stability, and the beauty of the façades and the buildings. This science, that we ordinarily call the Trait, is an ultramodern invention. Philibert de l'Orme it is the first one that has given some rules. The pendentive that he got constructed at Anet, to sustain the office of Henry II is a proof of his ability; but in addition to one unclear explanation, in the treatise they are present few examples. Mathurin Jousse has left many more, but he is not made more intelligible. These two authors have not brought anything regarding the way of tracing the stones. It seems that Desargues, whose work was brought up to date by the carver Bosse, foresaw the possibility to diffuse to the readers the Science of the Cut of the Stones through new

ses lumières au public, en nous laissant quelque ouvrage sur le Trait. Il paroît, dans ce qui nous reste de lui, qu'il en possédoit également la théorie & la pratique.

Le R.P.F. Derand, Jésuite, a mieux réussi que ceux qui l'ont précédé dans le développement & dans l'explication de ses traits; mais il faut convenir, qu'au lieu de commencer, comme il a fait, par les descentes, qui font au rang des traits les plus difficiles, il auroit dû placer en premier lieu, les berceaux droit, ensuite les maîtresses voûtes, & c. On étoit d'autant mieux fondé à attendre cet ordre, dans la disposition des parties de son ouvrage, qu'il déclare dans sa Préface, que l'on doit faire marcher à la tête les connaissances simples & faciles, pour introduire peu à peu jusqu'à celles qui sont les plus difficiles à concevoir. Comme les livres qui traitent de la Coupe des Pierres, font très rares aujourd'hui, & que d'ailleurs, entre ceux qui ont paru jusqu'à présent, il n'y en a pas un qui soit assez à la portée, soit des commençans ou des ouvriers,

j'ai cru qu'il ne seroit point inutile de présenter celui-ci au Public. Je n'ai rien négligé pour le rendre aussi instructif qu'intelligible; & afin d'y parvenir plus sûrement, j'ai accompagné la plus grande partie des épreuves, de leur élévation & de leur ceinture; j'y ai joint la représentation de plusieurs pierres tracées dans des degrés différens, pour suppléer à la faible idée qu'en donne une épreuve embarrassée des lignes qui la composent: ce qu'on n'avoit pas encore fait jusqu'ici.

Jean Baptiste De La Ruë proviene da una famiglia di *tailleur des pierres* e la sua dissertazione teorica, seppur posteriore all'opera di Desargues, è più vicina alle "ricette di cantiere" che alla teorizzazione di un metodo generale per la risoluzione di tutti i problemi di stereotomia. È importante sottolineare che il valore della speculazione di Desargues viene osteggiata dai suoi contemporanei, non compresa dagli scalpellini, e rivalutata molto dopo la sua morte. Con Desargues la prospettiva, ovvero la

geometria proiettiva, assume un valore completamente diverso all'interno della speculazione stereotomica. Infatti dallo *status* di ammaliatrice dell'occhio, questa si trasforma in strumento universale di calcolo nelle mani del progettista. La prospettiva infatti, fissando l'esatta relazione tra i corpi nello spazio, è adottata come strumento di rappresentazione tanto dai pittori quanto dagli architetti; la stereotomia, invece, indaga essenzialmente sulla compenetrazione e sulle intersezioni che i corpi possono determinare, diventando un grande potenziale costruttivo.

La sua regola proiettiva è affine a quella della prospettiva, con la differenza che le rette proiettive sono parallele e che il piano intersecante è la superficie di uno dei corpi.

Attraverso *Brouillon project d'une atteinte aux evenemens des rencontres du Cone avec un Plan*⁶ (Paris 1639), ispirato all'opera di Apollonio di Perga, Desargues evidenzia la poliedricità applicativa delle teorie sulle sezioni coniche: *Touchant les Monstres de l'heure*

principles established by him, changes in the terminological individualization and singleness of its Trait.

Jacques Curabelle carefully analyzed the works of Desargues, bringing to light its errors; the absence of his Trait don't facilitate however the understanding of his analyses.

It seems, from what remains of him, that he possessed theoretical notions and practices on the cut of the stones. The father Derand, Jesuit, has succeeded better of whom has treated the stereotomy before him to explain and to develop l'Art du Trait. But it needs to be worthwhile, however, that his dissertation is made more complex by the choice to illustrate, as first, the barrel vaults sloping downwards, from the most difficult Trait, rather than those standard or those mastered. Doing so, it contradicts the intentions introduced in the preface of his text, in which he declares that it needs to be acquired firstly simple knowledge, in this way to be able to subsequently reach those more difficult to conceive. The books that treat of the Coupe des

Pierres, are nowadays rare, and however, among those that have appeared until now, are not of simple acquisition, both for beginners and for workers; I have believed it is profitable to introduce this work to the Public. I have not forgotten anything with the purpose to make it instructive and intelligible; and to be surer of it, I have united to the most greater part of the working drawings, their elevation and the points of the centres; and moreover the representation of many stone blocks gradually drawn, to remedy to the weak idea that one can have of it from the complex interlacement of lines of the working drawings: thing that until this moment had never been done⁵.

Jean Baptiste De La Ruë comes from a family of cutter of stones and his theoretical dissertation, even though back to the work of Desargues, is closer to the "recipes of building site" rather than to the theorization of a general method for the resolution of all the problems of stereotomy. It is important to underline that the value of the speculation of De-

sargues is opposed by its contemporaries, not understood by the stone cutters, and re-valued a lot after his death.

With Desargues the perspective or the projective geometry, assumes a completely different value inside the stereotomic speculation. In fact from the *status* of charmer of the eye, this turns into universal tool of calculation in the hands of the designer.

The perspective in fact, fixing the exact relationship between the bodies in the space, is adopted as a tool of representation by either the painters or the architects; the stereotomy, instead, essentially investigates on the reciprocal penetration and on the intersections that the bodies can determine, becoming a great constructive potential.

Its projective rule is similar to that of the perspective, with the difference that the projective straight lines are parallel and that the intersect plan is the surface of one of the bodies.

Through *Brouillon Project d'une atteintes aux événement des rencontres*

au Soleil, Touchant la coupe des pierres de taille, Touchant la Perspective.

Afferma che non c'è alcuna differenza tra la maniera di figurare, rappresentare un oggetto qualunque in prospettiva (centro di proiezione “proprio” — rette convergenti), e la maniera di rappresentarla in geometrico (centro di proiezione “improprio” — rette parallele), perché entrambi sono due specie di un medesimo genere che possono essere enunciate e dimostrate con i medesimi concetti. Avendo acquisito, seppur in maniera sintetica parte del pensiero di Desargues, possiamo procedere nell'analisi dell'evoluzione e della crescita delle speculazioni stereotomiche attraverso i trattati e le dissertazioni maturate successivamente.

Frézier, direttore delle fortificazioni sotto il regno di Luigi xv, pubblicò nel 1737 *La theorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois* in tre volumi. Nel trattato, raccolse tutto il sapere sull'argomento, arricchendolo con un gran numero di soluzioni pratiche sino a quel

momento sconosciute. Spinse inoltre la scienza e le dimostrazioni matematiche fino al loro limite estremo, denunciando parimenti la scarsa conoscenza scientifico-matematica degli architetti a lui coevi:

Philibert de Lorme, Aumônier d'Henri II, est, dit-on, le premier qui en aït écrit, non pas exprès, mais par occasion dans son Traité d'Architecture, qu'il publia en 1567 on voit que cette date n'est pas fort ancienne; Maturine Jousse produisit quelques Traits dans son Livre intitulé Secrets d'Architecture, imprimé à la Flèche en 1642 le P. Deran, l'année suivante mit cet Art dans toute son étendue pour les Ouvriers; Bosse, (la même année) donna un système tout différent, qu'il tenoit de Desargues, lequel, par son obscurité & la nouveauté de son langage, ne fut pas goûté. Enfin M. de la Rue en 1728 a redonné une partie des Traits du P. Deran, avec quelques autres nouveaux. Tous ces Auteurs n'ont produit qu'une simple pratique dénuée de toutes preuves. Le P. Dechalles en

1672 sut le premier, & a été le seul jusqu'à présent, qui y ait ajouté des Démonstrations; mais son Traité de Lapidum Sectione, inféré dans son grand cours de Mathématiques en Latin, n'est presque qu'un extrait du Deran, dont il a quelquefois copié jusqu'aux fautes, comme nous le ferons voir dans son lieu. Après avoir vû tous ces differens Ouvrages, il m'a paru restoit encore quelque chose de mieux à faire. Premièrement, qu'il étoit à propos de donner une connoissance exacte de la nature Lignes Courbes, qui se forment aux arêtes des voûtes, tant à leurs Faces qu'à l'intersection des Doëles, de celles qui sont composées de plusieurs parties qui se croisent, pour sçavoir les tracer sur des plans, lorsqu'il est possible, ou sur des surfaces courbes, lorsque ces lignes font à double Courbure, en quoi consiste la premiere nouveauté de ce Traité. La seconde sera la Correction des erreurs de plusieurs des anciens Traits. La troisième celle de la Construction de plusieurs Traits chagez, & de quelques-uns qui n'ont pas encore paru. Je puis

*du Cône avec un Plan*⁶ (Paris 1639), inspired to the work of Apollonio di Perga, Desargues underlines the polyhedron application of the theories on the conic sections: *Touchant les Monstres de l'heure au Soleil, Touchant la coupe des pierres de taille, Touchant la Perspective.* He affirms that there is no difference between the way of appearing, to represent any object in perspective (“proper” centre of projection — convergent straight lines), and the way of representing it in geometric (“improper” centre of projection — parallel straight lines), because both are two kinds of a same sort that can be enunciated and demonstrated with the same concepts.

Having acquired, even though in synthetic way part of the thought of Desargues, we can proceed in the analysis of the evolution and the growth of the stereotomic speculations through the treatises and the dissertations matured successively.

Frézier, director of the fortifications un-

der the kingdom of Luigi xv, published in 1737 *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois* in three volumes. In the treatise, it picked up all the knowledge on the argument, enriching it with a large number of practical solutions till that unknown moment. He pushed besides the science and the mathematical demonstrations up to their extreme limit, denouncing similarly the scarce scientific-mathematics knowledge of the contemporaneous architects to him:

Philibert de l'Orme, Henry's II adviser, is considered the first one to have brought in writing l'Art du Trait, even if not expressly, on the occasion of his Treatise of Architecture that will publish in 1567: it is seen that this date is not very late; Maturin Jousse has produced some Traits in his Book entitled Secret of Architecture printed à la Flèche in 1642; the Father Derand, the following year proposes this art, according to its intention, to the benefit of the workers; Bosse, (in the same year) will give a totally different system, belonging to

Desargues, which, because of its obscurity and extreme novelty of its language, was not welcome. In the end M. De La Ruë in 1728 has seen again a part of the Traits of the father Derand with some other novelties. All these authors have produced a simple part devoid of all the demonstrations. The father Dechalles in 1672 was the first one and only one till now, that has added the Demonstrations to it; but his treatise of Lapidum Sectione, inserted in his great course of Mathematics in Latin, seems to be an extract of the Father Derand, of which he often recopies also the errors, as we will demonstrate it at the opportune moment. After having analyzed all these different Works, it has seemed to me that something better to do would still have remained. In first place, to furnish an exact knowledge of the nature of the Curved Lines, that are formed at the edges of the vaults, either to their faces or to the intersection of the intradoses, of those that are composed from more parts which are intersected, with the purpose to know how to trace them on

*compter pour quatrième nouveauté les démonstrations des Traits, parce que le P. Dechalles ne m'a précédé qu'en Latin, mais non pas en François, de forte que pour me fervir de l'expression de Jousse, les Secrets d'Architecture y font tout à fait dévoilez*⁷.

Come abbiamo già detto parlando di Jousse, nella trattatistica architettonica italiana, la stereotomia è praticamente assente ad eccezione dei lavori di Guarino Guarini, che nei suoi poderosi trattati di matematica e gnomonica⁸, opera una rigorosissima analisi scientifica quasi in relazione osmotica col mondo francese. Scrive Werner Mueller⁹:

Nei grandi trattati di architettura (la stereotomia) viene menzionata solo di passaggio o per niente; e ciò dimostra il fatto che non c'era posto per essa nella teoria estetica del tempo... Per esempio F. Blondel, matematico lui stesso, non ha concesso nessun posto alla "coupe des pierres" nel suo grande "Cours

*d'Architecture"*¹⁰. Daviler tratta questa materia solo in poche pagine¹¹.

Muller prosegue:

Dopo quanto detto, sarebbe veramente un'eccezione notevole se in un Trattato di Architettura, alla Stereotomia venisse data la stessa importanza dell'insegnamento degli ordini di colonne. Noi conosciamo soltanto due opere nelle quali si verifica ciò. Esse sono: "Le premier Tome de l'Architecture" di Philibert de l'Orme e l'"Architettura Civile" di Guarini.

In realtà se ciò è vero per i Trattati, altrettanto non può dirsi per i manoscritti che, numerosi, contemplano sia di architettura che di stereotomia. Ciò è evidente in maniera esemplare, nel manoscritto di spagnolo di Alonso de Vandelvira, e nel manoscritto poco analizzato, anche a causa della difficile lettura del testo, del *Livre d'architecture* di Jean Chéreau¹².

Il caso di Guarino Guarini risulta un caso isolato nel panorama italiano e, si giustifica con i rapporti che il frate teatino

ebbe con il mondo d'oltralpe. Il rapporto che lega il Guarini alla stereotomia va indagato più nella produzione scientifica e che in quella architettonica in quanto la maggior parte delle sue architetture sono costruite in mattoni.

Quindi, se di stereotomia bisogna parlare, si deve far riferimento alle soluzioni formali che da questa ne discendono più che dall'esplicita opera lapidea ed le sue tecniche di taglio.

A tal proposito Mueller¹³ sostiene che:

Più importante è che uno dei motivi essenziali nell'arte del Guarini si basi sulla Stereotomia. Noi intendiamo con ciò i suoi sforzi espressi nelle sue opere, di costruire cioè un complicato sistema di spazi complessi con l'aiuto dell'intersezione di corpi elementari geometrici. Nei disegni del Guarini il modo stereotomico è un valore estetico.

Le opere di Guarini (v. Fig. 13) manifestano tutta la complessità del costruire: un articolato sistema di spazi con l'uso della sola intersezione fra solidi elemen-

the plans, when it is possible; or on the curved surfaces, when these lines are of a double curve. In this, the first novelty of this treatise consists?

In second place, is to proceed to the correction of the errors of different Traits of who has preceded me.

*In third place, to furnish the geometric construction of different modified Traits and of something not yet appeared. And finally, as last novelty is to present, the Demonstrations of the Traits. In fact Father Dechalles has preceded me in Latin, but not in French: and I use the expression of Jousse, the secret of the architecture (in Latin) are not revealed at all*⁷.

As we have already said speaking of Jousse, in the Italian architectural treatise work, the stereotomy is practically missing to the exception of Guarino Guarini works, which in his mighty treatises of mathematics and gnomonology⁸, carries out a rigorous scientific analysis almost in osmotic relationship with the French world.

Werner Muller writes⁹:

*In the great treatises of architecture (the stereotomy) is mentioned only casually or not at all; and this shows the fact that was no place for it in the aesthetic theory of that time... For example F. Blondel, mathematician himself, has not granted any place to the "coupe des pierres" in his great "Course of Architecture"*¹⁰. Daviler treats this subject only in few pages¹¹.

Mueller continues:

After what I said, it would be really a notable exception if in any Treatise of Architecture; to the Stereotomy it would be given the same importance than the teaching of the columns orders. We know only two works in which it this has occurred. They are: "Le premier Tome de l'Architecture" of Philibert de l'Orme and "Architettura Civile" di Guarini.

In reality if this is true for the treatises, as much it cannot be said for the manuscripts that, numerous, they contemplate either of architecture or of ster-

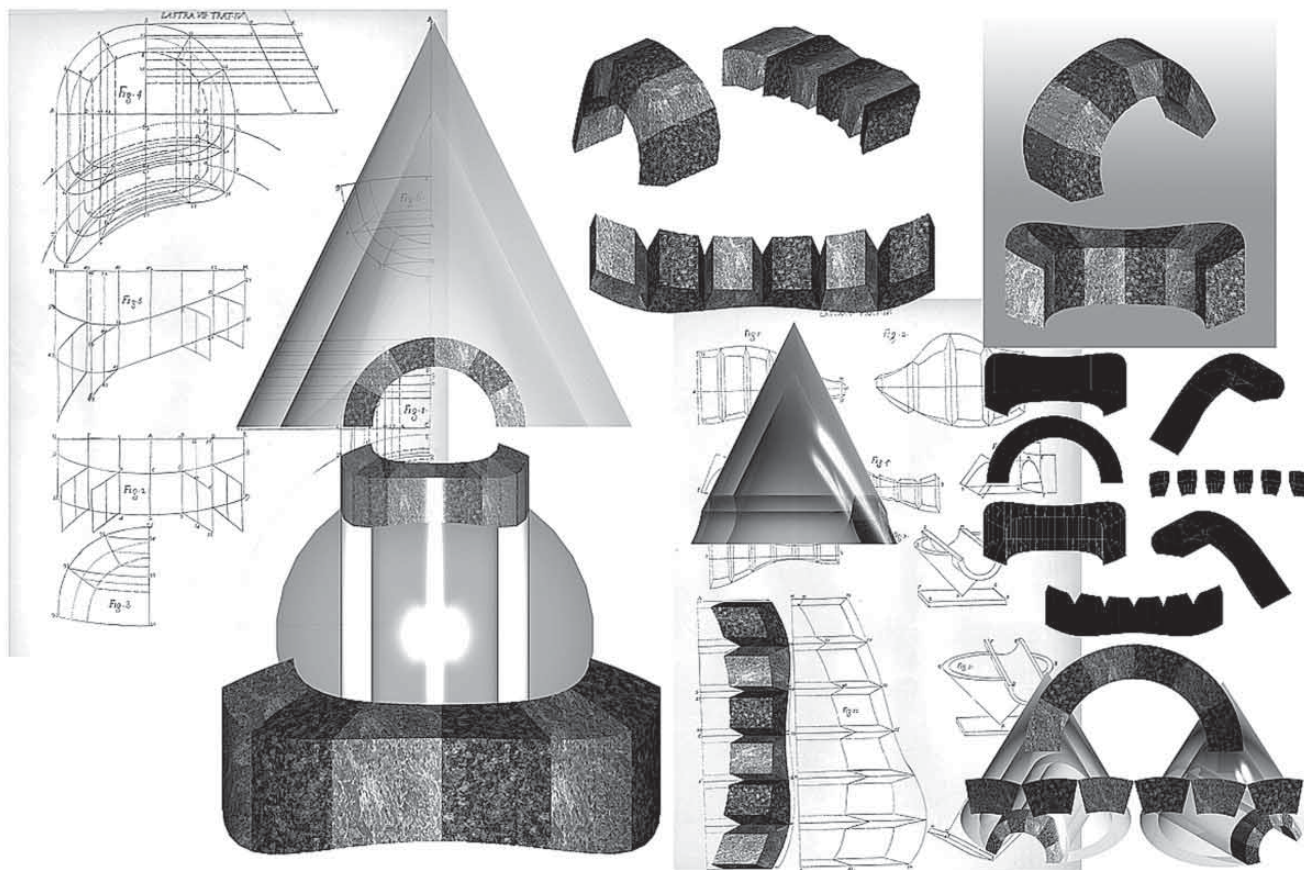
eotomy. This is evident in exemplary way, in the Spanish manuscript of Alonso de Vandelvira, and in the manuscript a little analyzed, also because of the difficult reading of the text, of *Livre d'architecture* di Jean Chéreau¹².

The case of Guarino Guarini results an isolated matter in the Italian panorama and, it is justified with the relationships that the monk Teatino had with the world beyond the Alps. The relationship that ties the Guarini to the stereotomy must be investigated more in the scientific production rather in that architectural one even though the greatest part of his architectures are built in bricks.

Then, if of stereotomy it is needed to speak, one had to make reference to the formal solutions that emanate from it more than from the explicit stone work and its cutting techniques.

To such reference Mueller¹³ sustains that:

More important is that one of the essential motives in the art of the Guarini



tari geometrici. Esse, a nostro avviso, possono essere viste come soluzioni formali che affondano le loro radici nella cultura architettonica italiana implementata dagli studi sulla stereotomia in terra francese.

Con ogni probabilità il Guarini entra in

contatto con la cultura stereotomica d'oltralpe in occasione della sua missione a Parigi databile dal 1662 al 1666, periodo in cui è occupato alla progettazione e costruzione della chiesa di *Sainte-Anne la Royale*.

Le conoscenze stereotomiche del Guarini,

derivate dallo studio della stereotomica francese, sono acclamate nel *Trattato IV dell'Architettura Civile*¹⁴ denominato *Dell'ortografia gettata*, pubblicato postumo.

In realtà, la prima fonte scientificamente attendibile è il *Tractatus XXXII: De Superficiebus corporum in planum redigendis*, presente nell'*Euclide adauctus...*, magistrale opera di Guarini, in cui si sostiene:

Questa Ortografia, siccome è opposta nel suo titolo all'antecedente, così anche nel suo modo di operare; perché là dove in quella le superficie piane s'innalzano con linee perpendicolari, per dare a loro corpo, e formare la Fabbrica, questa per lo contrario i corpi in alto sospesi con linee perpendicolari riduce in piano per istendere la loro superficie: Non è però questa di quella meno utile, anzi ch'è assolutamente necessaria all'Architetto, abbenchè poco conosciuta dalla italiana architettura, solamente dalla francese in molte occasioni egregiamente adoperata. Perché adunque per tagliare le pietre e ritrovare le giuste forme è necessario

55



Figura 13. Gli archi intrecciati di S. Lorenzo a Torino (G. Guarini).
S. Lorenzo (Turin): G. Guarini's arches.

is based on the Stereotomy. We intend with this his express efforts in his works, to build indeed a complicated system of complex spaces with the help of the intersection of geometric elementary

bodies. In the sketches of the Guarini the stereotomic way is an aesthetical value.

The works of Guarini (see Fig. 13) manifest the whole complexity of the

act of building: an articulated system of spaces with the use of the only intersection among geometric elementary solids. They, to our opinion, can be seen as formal solutions that sink their roots in the Italian architectural culture implemented by the studies of the stereotomy on French land.

With every probability the Guarini comes into contact with the beyond the Alps stereotomic culture on the occasion of his mission to Paris datable from 1662 to 1666, period in which he is engaged in the design and construction of the church of *Sainte-Anne la Royale*. The stereotomic knowledge of the Guarini, derived by the study of the French stereotomy, are confirmed in the *Trattato IV dell'Architettura Civile*¹⁴ denominated *Dell'ortografia gettata*, published posthumous.

In reality, scientifically the first reliable source is the *Tractatus XXXII: De Superficiebus corporum in planum redigendis*, present in the *Euclide adauctus...*, magisterial work of Guarini, in which he sustains:

sapere quali sieno le loro superficie, acciochè fatte e tagliate secondo quelle, quando si pongono in opera, si assettino al suo luogo, e convengano colle altre, perciò è stata ritrovata questa ortografia, che appunto mette le superficie in piano, e le forma, come sono in alto, e sarebbero nel proprio loro luogo, di questa abbiamo a ragionare.

Viene qui evidenziata la necessità, per l'architetto, di conoscere le regole geometriche dell'*Ortografia gettata*, cioè le tecniche proiettive proprie della stereotomia francese, al fine di determinare l'esatto taglio del concio lapideo per mezzo dello sviluppo delle sue superfici sul piano: tecnica nota in gergo stereotomico come taglio *par panneaux et biveaux*.

Le principali tematiche progettuali elaborate da Guarino Guarini sono comuni anche allo sviluppo architettonico dell'opera di Bernardo Vittone (v. Fig. 14 e 15), a cui si deve la raccolta e la redazione della summa dell'opera guariniana, *l'Architettura Civile*, pubblicata postuma

nel 1737.

La composizione plastica dei sistemi voltati di Vittone, anch'essi costruiti in mattoni e stucco, induce ad offuscare la nostra riflessione sulla reale matrice stereotomica della sua architettura. A ragion veduta, Werner Mueller ha parlato di un "modo stereotomico" nella progettazione architettonica di Vittone, intendendo quest'ultima una forma di creazione artistica originata dalla stereotomia.

La formazione di Vittone è ampia e ben articolata: oltre ai numerosi trattati italiani, la sua biblioteca ospita trattati importanti come quello di Abrahm Bosse, allievo di Desargues.

Nel suo trattato, le *Istruzioni elementari*, dedica un capitolo alle volte, citando Frézier come «scrittore assai valente ed erudito in questa facoltà», e nelle *Istruzioni diverse*, alla tavola 18 presenta il progetto di una scala che si allarga verso l'alto per ricevere più luce che sembra essere ispirato al progetto della doppia scalinata a spirale conica di Nicolas Le Camus de Mézières presso le Halle au

Blè a Parigi costruita tra i 1762 e 1766, poi demolita.

A partire dal 1750, come risultato di una cambiata attitudine culturale, si assiste ad una progressiva recessione teorico-pratica della stereotomia e delle sue applicazioni in cantiere.

Figura 15. Gli archi intrecciati di B. Vittone.
B. Vittone's arches.

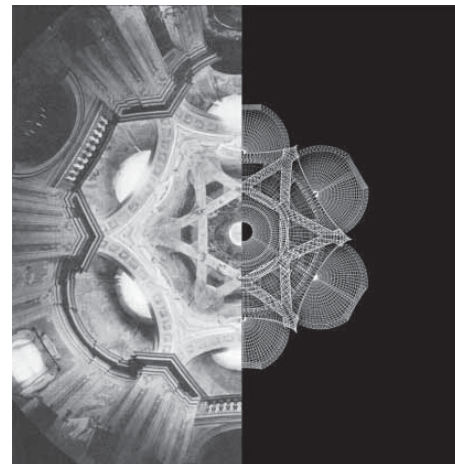


Figura 14. Gli archi intrecciati di B. Vittone.
B. Vittone's arches.

This Ortografia, since it is opposite in its title to the antecedent, so also its mode of operating; because there where in which the flat surface are raised with perpendicular lines, to give to them body, and to form the masonry, this for the contrary the bodies aloft suspended with perpendicular lines reduce in plan to stretch their surface: It is not however this of that less useful, better still absolutely necessary to the architect, though a little known from the Italian architecture, only from the French one in a lot of occasions dearly adopted. Because accordingly to cut the stones and to find the correct forms it is necessary to know what are their surface, done in order that to be done and cut accordingly to those, when they are placed in work, they stick to their place, and they gather with the others, therefore this Ortografia, has been found again, that puts exactly the surfaces in plan, and the forms, as they are aloft, and they would be in their proper place, of this we have to reason.

Necessity is underlined here, for the

architect, to know the geometric rules of *Ortografia gettata* that is the proper projective techniques proper of the French stereotomy, with the purpose to determine the exact cut of the block of stone through the development of its surfaces on the plan: technique noted in stereotomic jargon as cut *par panneaux et biveaux*.

The principal projective thematic elaborated by Guarino Guarini are also common to the architectural development of the work of Bernard Vittone (see Fig. 14 e 15), to whom is owed the collecting and the editing of the totality of the Guarinian work, *l'Architettura Civile*, published posthumous in 1737.

The plastic composition of the vaulted systems of Vittone, were also built in bricks and plaster, induces to confuse our reflection on the real stereotomic matrix of his architecture. With a clear sighted reason, Werner Mueller has spoken of a "stereotomic way" in the architectural design of Vittone, intending to the latter a form of artistic creation originated from the stereotomy.

I trattati successivi all'opera di Frézier, seppur numerosi — Menand (1757), Simonin (1792), J.B. Rondelet (1802), J. P. Douliot (1825), L.L. Vallée (1828), J.A. Adhémar (1840), C.F.A. Leroy (1844), E. Le Jeune (1872), J. Pilliet (1887), L. Monduit (1889), A. Denis (1889), J. Chaix (1890), H. Sinaud (1890), E. Rouchè e Ch. Brisse (1893), C. J. Toussaint (1902), M. Bousquet (1912), E. Tachon (1914) — lasciano chiaramente intendere una rarefazione speculativa della disciplina che costituisce, tranne qualche rara eccezione, una riproduzione delle opere precedenti ed un allontanamento progressivo dall'Architettura.

La gran parte di questi trattati, usando le regole della doppia proiezione ortogonale teorizzata da Monge, riportano applicazioni di geometria descrittiva ad elementi di stereotomia "classica". Inoltre la vocazione al virtuosismo formale dei modelli stereotomici è usata didatticamente per la formazione dei giovani allievi delle scuole politecniche. Le tecniche di taglio finalizzate alla costruzione e messa in opera degli elementi

architettonici sono ormai quasi del tutto assenti, se non per le volte semplici.

Dal punto di vista matematico, la Stereotomia diviene un settore parziale della Geometria Descrittiva, in cui sono trattate le curve di intersezione tra i piani di sezione e corpi geometrici, e le proiezioni di queste curve sui differenti piani. Quindi, la Stereotomia da originaria "arte del taglio delle pietre" si trasforma tra la fine del settecento e gli inizi dell'ottocento, in "scienza del taglio delle pietre", ossia in una disciplina accademica fondamentale per la formazione tecnica del professionista ingegnere o architetto.

In Italia, nell'ambito degli studi sulla geometria descrittiva e analitica, che trovano spazio nelle scuole politecniche di derivazione francese, spiccano personalità di studiosi interessati a specifiche ricerche sulle superfici geometriche e questioni analitiche di stereotomia. La geometria del compasso di Lorenzo Mascheroni, pubblicata a Pavia nell'anno v della Repubblica Francese, si inserisce in

quel ritorno di interesse per la geometria pura che comincia a caratterizzare la nuova didattica. Altri esempi coevi sono le lezioni parzialmente tradotte di *Géométrie descriptive* di Gaspard Monge; gli *Éléments de géométrie* di Legendre (1794); *La memoria sopra un problema stereotomico* di Gianfrancesco Malfatti del 1803, in cui la stereotomia è vista come l'arte di tagliare le pietre (o solidi) per ricavarne "oggetti", che da un punto di vista puramente matematico definiscono una certa regolarità attraverso il minimo spreco di materiale.

Degna d'interesse è anche *La Nota di Stereotomia sopra i cunei dei ponti in isbieco* di Antonio Bordonì, professore di matematica pura elementare nell'Università di Pavia, stampata a Milano nel 1826 in cui si legge:

Alcuni discorsi da me uditi, da giovani ingegneri..., relativi ai cunei di una fronte di un ponte avente la superficie interna cilindrica ordinaria ma obliqua alla fronte stessa, mi hanno indotto a pubblicare la presente nota di stereotomia, persuaso

The formation of Vittone is ample and well articulated: besides the numerous Italian treatises, its library contains important treatises as that of Abraham Bosse student of Desargues. In his treatise, *le Istruzioni elementari*, he dedicates one chapter to the vaults, quoting Frézier as «outstanding and erudite writer in this faculty», and in *le Istruzioni elementari*, at the table 18 he presents the project of a staircase that widens upward for receiving more light that seems to be inspired from the project of the double stairway with conic spirals of Nicolas Le Camus de Mézières near les Halles au Blé in Paris built between 1762 and 1766, demolished then.

Beginning from 1750 as result of a changed cultural attitude, it is assisted to a progressive theoretical-practical recession of the stereotomy and its applications in the building yard. The following essays to the work of Frézier, even though numerous — Menand (1757), Simonin (1792), J.B. Rondelet (1802), J. P. Douliot (1825),

L.L. Vallée (1828), J.A. Adhémar (1840), C.F.A. Leroy (1844), E. Her Jeune (1872), J. Pilliet (1887), L. Monduit (1889), A. Denis (1889), J. Chaix (1890), H. Sinaud (1890), E. Rouchè and Ch. Brisse (1893), C. J. Toussaint (1902), M. Bousquet (1912), E. Tachon (1914) — they clearly allow to intend a speculative rarefaction of the discipline that constitutes, unless some rare exception, a reproduction of the preceding works and a progressive departure from the architecture.

The big part of these essays, using the rules of the double orthogonal projection theorized by Monge, they compare applications of descriptive geometry to elements of "classical" Stereotomy. Besides the vocation to the formal virtuosity of the stereotomic models it is didactically used for the formation of the young students of the polytechnic schools. The techniques of cutting finalized to the construction and made in use of the architectural elements are entirely almost entirely absent, if not for the simple vaults.

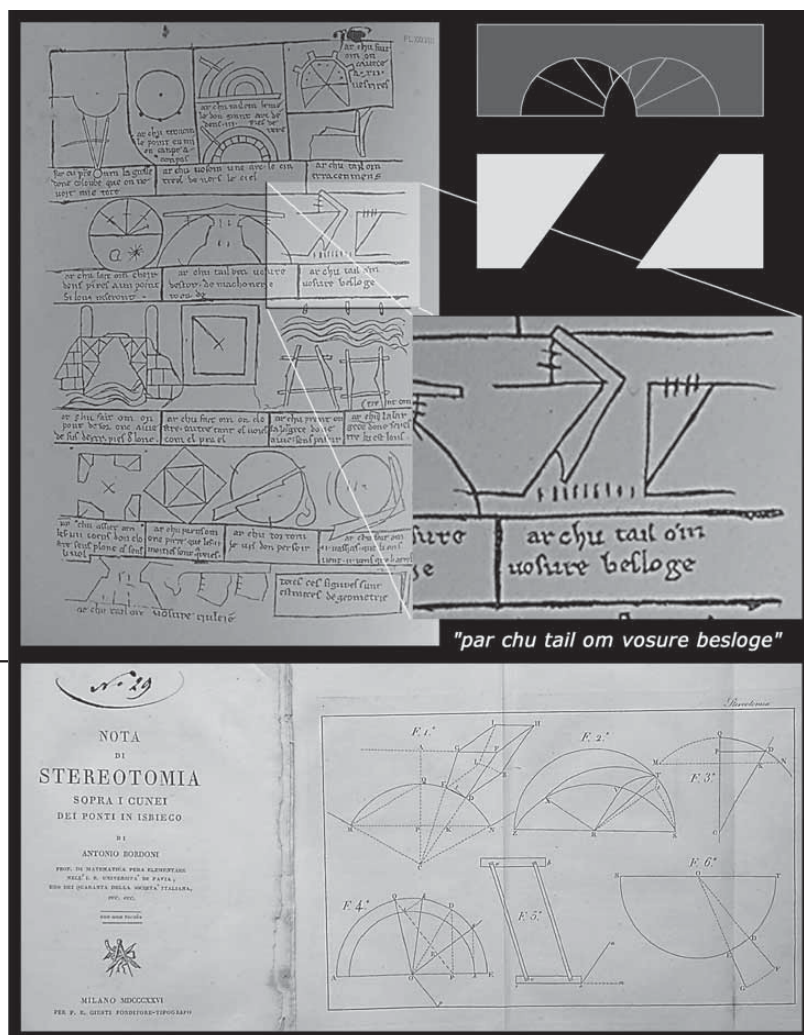
From the mathematical point of view, the Stereotomy becomes a partial sector of the Descriptive Geometry, in which the curves of intersection are treated between the plans of section and geometric bodies and the projections of these curves on the different plans. Then, the Stereotomy from natively "art of the cut of the stones" it is transformed him between the end of the seventeen century and the beginnings of the eighteenth century, in "science of the cut of the stones", or rather in a fundamental academic discipline for the technical formation of the professional engineer or architect.

In Italy, in the circle of the studies on the descriptive and analytical geometry, that find space in the polytechnic schools of French derivation, are detached personalities of scholars interested to specific researches on the geometric surfaces and analytical matters of stereotomy. The geometry of the compass of Lawrence Mascheroni, published in Pavia in the year v of the French Republic, is inserted in that return of interest for the

che essa sarà aggradita non solo da questi medesimi giovani ingegneri, ma ben anco da chiunque debba o voglia occuparsi di siffatti ponti o di analoghi lavori essendovi in essa esposte e dimostrate proposizioni sufficienti per determinare i detti cunei, cioè per trovare tanto i loro spigoli quanto i loro angoli sì piani che solidi.

Un problema, questo, di speculazione teorico-pratica che ha più di mezzo millennio di storia, dalla descrizione che ne fa Villard de Honnecourt fino a quella di Bordini, e che resterà forse l'ultima applicazione della stereotomia nella costruzione dei ponti ferroviari sino alla metà del xx secolo (v. Fig. 16).

Figura 16. Taccuino di V. de Honnecourt e *Nota di Stereotomia* di A. Bordini.
V. de Honnecourt's Sketch Book and A. Bordini's *Nota di Stereotomia*.



58

pure geometry that starts to characterize the new didactics. Other contemporaneous example are the lessons partially translated from the *Géométrie descriptive* of Gaspard Monge; the *Éléments de géométrie* of Legendre (1794); *La memoria sopra un problema stereotomico* of Gianfrancesco Malfatti of 1803: in which the stereotomia is seen as the art to cut the stones (or solid) to derive of it "objects", that from a purely mathematical point of view define a certain regularity through the least waste of material. Worthy of interest is also *La Nota di Stereotomia sopra i cunei dei ponti in isbieco* of Anthony Bordini, professor of elementary pure mathematics at the University of Pavia, printed in Milan in 1826 in which one read:

Some discourses by me heard, from young engineers..., related to the wedges of a forehead of a bridge having the ordinary but oblique cylindrical inside surface to the same forehead, has induced me to publish the present one note of stereotomy, convinced that it will

be not only welcomed from these same young engineers, but well also from whoever would have or would want to deal himself with such bridges or with analogous works being in themselves exposed and demonstrated propositions enough to determine the so-called wedges, that is to find either their edges or their angles both flat and solid.

A problem, this, of theoretical-practice speculation that has half millennium of history, from the description that is made from Villard de Honnecourt up to that of Bordini and that will remain perhaps the last application of the stereotomy in the construction of the railway bridges until the halve of the xx century (see Fig. 16).

note:

1. C. J. TOUSSAINT, *Nouveau Manuel Complet de la Coupe des Pierres*, Paris 1981, Avant-Propos (Esistono poche opere moderne sul taglio delle pietre; l'antichità non ne ha lasciate alcuna. I Greci ed i Romani hanno ignorato questa arte; il medioevo, che ha prodotto delle bellissime opere gotiche, l'ha praticata, ma nessun autore di quei tempi ha avuto l'idea di riunire i dati messi in pratica dai suoi grandi artisti, inconsci della loro geniale fantasia, al fine di determinare in maniera precisa le regole della stereotomia. È al Rinascimento che siamo riconoscenti di aver posto i principi che, dal sedicesimo secolo in poi, hanno diretto gli sforzi dei nostri grandi architetti moderni in una via certa e fertile di grandi concetti).
2. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française, XVI^{ème}, XVII^{ème}, XVIII^{ème} siècles*, cit. (nota 7 cap. 2).
3. A.F. FRÉZIER, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois...*, Paris 1737-39, I volume (... nell'enunciazione che Vitruvio ha fatto sulle conoscenze necessarie per l'architetto non parla affatto di quella del taglio delle pietre; in effetti la nobile semplicità dell'archi-

tettura degli Antichi non necessitava troppo del saper fare degli apparecchiatori, poiché si costruivano solo volte cilindriche o sferiche...).

4. M. JOUSSE, *Le Secret d'Architecture, decouvrant fidèlement les traits Géométriques, Coupes & Dérobemens nécessaires dans les Bastimens*, Paris 1642 con privilegio del 1635 (Voi vedrete che tutti questi grandi Uomini non ci hanno detto una parola sul modo di disegnare i tracciati Geometrici necessari al taglio delle Pietre: quindi vi dirò che non ho mai visto un solo Autore che ne abbia parlato, tranne il Maestro Philibert de l'Orme, che ci ha lasciato, nei suoi Libri terzo e quarto, qualche dimostrazione che non giudico errate, ma solamente di avere testo ed immagini comprensibili ai Dotti ... Se questi grandi Uomini avessero lasciato riposare nei loro scritti, così bene come perfettamente comprendevano, quello che hanno riportato nelle opere costruite, non ci sarebbero tutti gli errori che noi commettiamo in diverse parti della costruzione).
5. J. B. DE LA RUE, *Traité de la coupe des pierres*, Paris 1728 (Tra le scienze che l'architettura comprende, quella del Taglio delle Pietre è

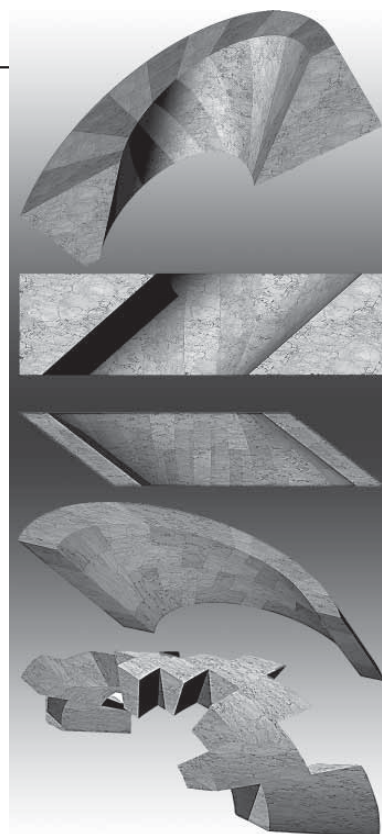
senza contraddizione da tenere in maggior considerazione e delle più utili: grazie a questa perveniamo a trovare i tagli delle volte e di tutti i conci, e a condurre, in ordine conveniente, l'apparecchiatura dei conci, dal quale dipende la stabilità, e la bellezza delle facciate e degli edifici. Questa scienza, che chiamiamo ordinariamente il Trait, è una invenzione modernissima. Philibert de l'Orme è il primo che ha dato alcune regole. La trombe che fece costruire ad Anet, per sostenere il cabinet di Enrico II è una prova della sua capacità; ma oltre ad una non chiara spiegazione, nel trattato sono presenti pochi esempi. Mathurin Jousse ne ha lasciati molti di più, ma non si è reso più intelligibile. Questi due autori non hanno riportato nulla riguardante la maniera di tracciare le pietre. Sembra che Desargues, la cui opera venne messa a giorno dall'incisore Bosse, prevedesse la possibilità di diffondere ai lettori la Scienza del Taglio delle Pietre attraverso nuovi principi da lui stabiliti, mutamenti nell'individuazione terminologica e

note:

1. C. J. TOUSSAINT, *Nouveau Manuel Complet de la Coupe des Pierres*, Paris 1981, Avant-Propos.
2. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française, XVI^{ème}, XVII^{ème}, XVIII^{ème} siècles*, cit. (note 7 ch. 2).
3. A.F. FRÉZIER, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois...*, Paris 1737-39, I volume.
4. M. JOUSSE, *Le Secret d'Architecture, decouvrant fidèlement les traits Géométriques, Coupes & Dérobemens nécessaires dans les Bastimens*, Paris 1642.
5. J. B. DE LA RUE, *Traité de la coupe des pierres*, Paris 1728.
6. G. DESARGUES, *Brouillon project d'exemples d'une manière universelle du sieur G.D.L., touchant la pratique du trait à preuve pour la coupe des pierres en architecture*, cit. (note 4 ch. 2).
7. A.F. FRÉZIER, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois...*, op. cit..
8. G. GUARINI, *Euclides Adauctus et Methodicus...*, Torino 1671. e G. GUARINI, *Caelestis Mathematicae...*, Milano 1683.
9. W. MUELLER, *The authenticity of Guarini's Ste-*

reotomy in his *Architettura Civile*, in "Journal of Society of Architectural Historians", n. XXVII 1968, pp. 202-8.

10. F. BLONDEL, *Cours D'Architecture Enseigne Dans l'Academie Royale D'Architecture*, Paris 1675.
11. C.A. DAVILER, *Cours D'Architecture qui comprend Les Ordes De Vignole*, Paris 1694.
12. J. CHÉREAU, *Livre d'architecture*, ms n. 2280 biblioteca municipale Gdansk (Danzica), 1567-74.
13. W. MUELLER, op. cit.
14. G. GUARINI, *Architettura civile*, Torino 1737.



singularità dei suoi Trait.

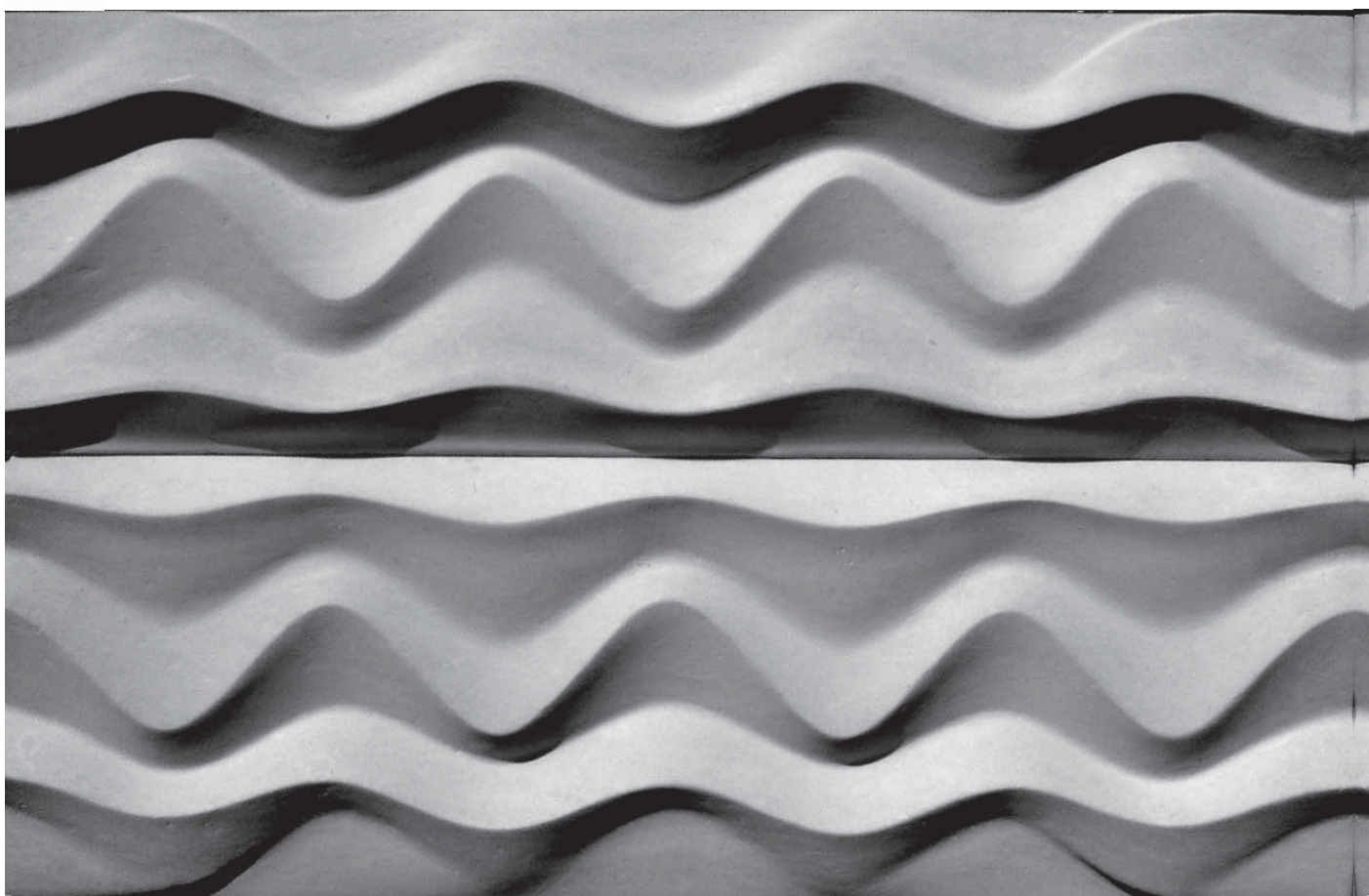
Jacques Curabelle analizzò accuratamente le opere di Desargues, mettendone in luce gli errori; l'assenza di suoi Trait non agevolano però la comprensione delle sue analisi.

Pare, da quello che ci resta di lui, che possedesse nozioni teoriche e pratiche sul taglio delle pietre

Il padre Derand, gesuita, è riuscito meglio di chi ha trattato la stereotomia prima di lui a spiegare e sviluppare l'Art du Trait. Ma bisogna convenire, però, che la sua dissertazione è resa più complessa dalla scelta di illustrare, come prime, le volte a botte in discesa, dal Trait più ostico, piuttosto che quelle rette o quelle maestre. Così facendo, contraddice le intenzioni presentate nella prefazione del suo testo, in cui

dichiara che bisogna acquisire prima conoscenze semplici, per poter successivamente giungere a quelle più difficili da concepire. Siccome i libri che trattano della Coupe des Pierres, sono rarissimi oggi, e comunque, tra quelli apparsi sino al presente, non ci sono di semplice portata, sia per principianti che per operai, ho creduto utile presentare questa opera al Pubblico. Non ho dimenticato niente al fine di renderlo istruttivo ed intelligibile; e per esserne più sicuro, ho unito alla maggior parte di epure, la loro elevazione e i punti dei centri; in più la rappresentazione di molti concetti disegnati gradualmente, per supplire alla debole idea che se ne può avere dal complesso intreccio di linee degli epure: cosa che sino a questo momento non era mai stata fatta).

6. G. DESARGUES, *Brouillon project d'exemples d'une manière universelle du sieur G.D.L., touchant la pratique du trait à preuve pour la coupe des pierres en architecture*, cit. (nota 4 cap. 2).
7. A.F. FRÉZIER, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois...*, op. cit. (Philibert de Lorme, consigliere di Enrico II, è considerato il primo ad aver riportato in scrittura l'art du trait, anche se non espressamente, in occasione del suo *Trattato di Architettura* che pubblicherà nel 1567: si vede che questa data non è molto tarda; Maturin Jousse ha prodotto alcuni Traits nel suo Libro intitolato *Segreti d'Architettura* stampato a la Flèche nel 1642; il Padre Derand, l'anno seguente ripropone quest'arte, secondo la sua intenzione, a beneficio degli operai; Bosse, (nello stesso anno) darà un sistema to-



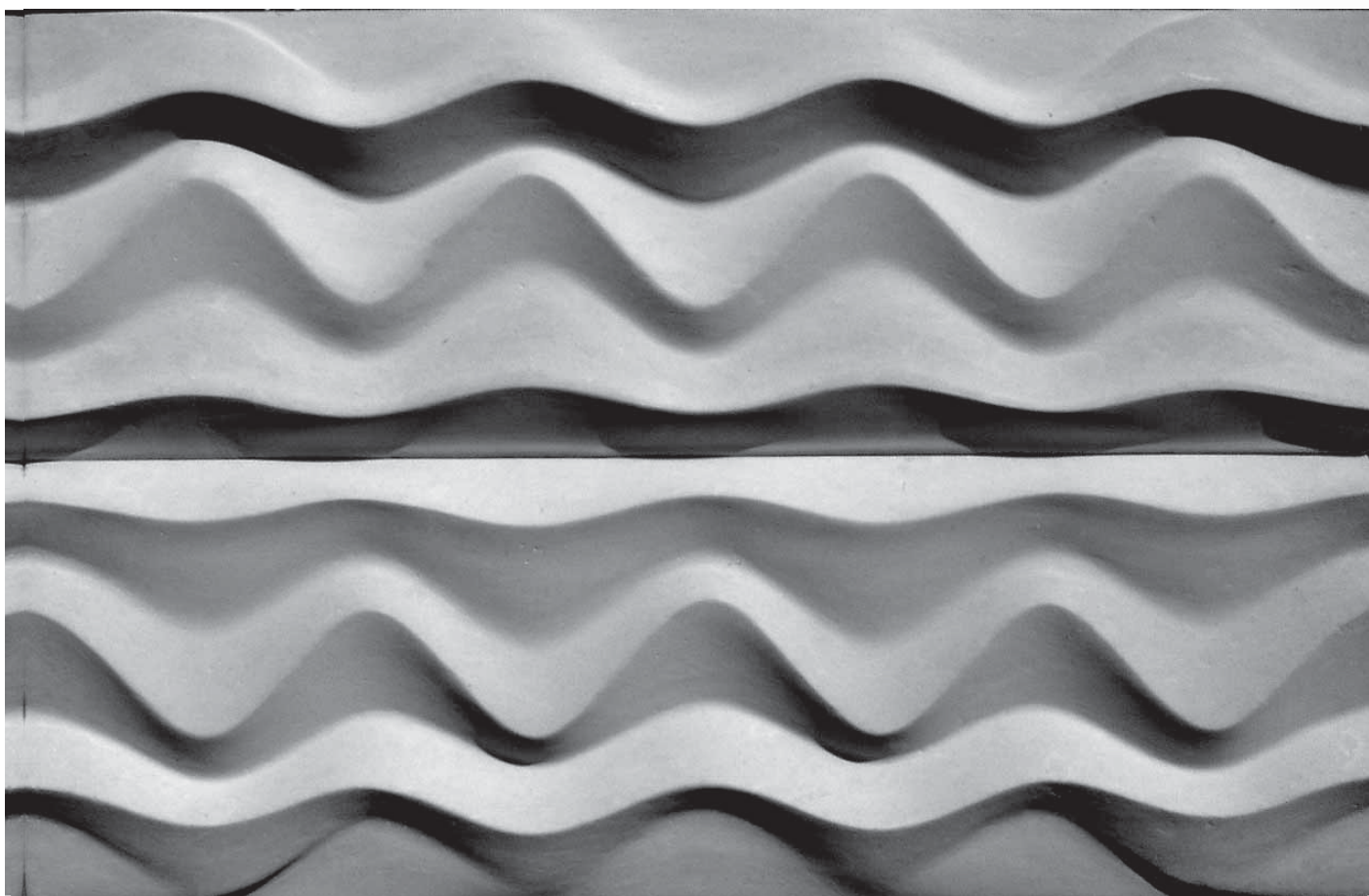
talmente differente, appartenente a Desargues, il quale, a causa della sua oscurità ed estrema novità del suo linguaggio, non fu gradito. In fine M. De La Ruë nel 1728 ha rivisto una parte dei *Traits* del padre Derand con qualche altra novità. Tutti questi autori hanno prodotto una semplice parte priva di tutte le dimostrazioni. Il padre Dechalles nel 1672 fu il primo, e il solo fino ad ora, che ne ha aggiunto le Dimostrazioni; ma il suo *Trattato de Lapidum Sectione*, inserito nel suo grande corso di Matematica in Latino, non è che un estratto del Padre Derand, di cui spesso ne ricopia anche gli errori, come dimostreremo al momento opportuno. Dopo aver analizzato tutte queste Opere diverse, mi è sembrato che restasse ancora qualcosa di meglio da fare. In primo luogo,

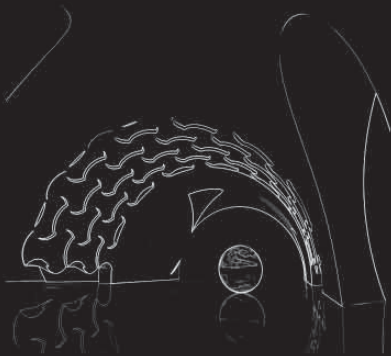
fornire una conoscenza esatta della natura delle Linee Curve, che si formano agli spigoli delle volte, sia alle loro facce che all'intersezione degli intradossi, di quelle che sono composte da più parti che si intersecano, al fine di saperle tracciare sui piani, quando è possibile; o sulle superfici curve, quando queste linee sono a doppia curvatura. In questo consiste la prima novità di questo Trattato.

In secondo luogo, procedere alla correzione degli errori di diversi *Traits* di chi mi ha preceduto. In terzo luogo, fornire la costruzione geometrica di diversi *Traits* modificati, e di qualcuno non ancora apparso. E infine come ultima novità, presentare le *Dimostrazioni dei Traits*. Infatti Padre Dechalles mi ha preceduto in Latino, ma non in Francese: e per servirmi dell'espressione

di Jousse, i segreti dell'Architettura (in latino non vengono per niente disvelati).

8. G. GUARINI, *Euclides Adauctus et Methodicus...*, Torino 1671. e G. GUARINI, *Caelestis Mathematicae...*, Milano 1683.
9. W. MUELLER, *The autenticity of Guarini's Stereotomy in his Architettura Civile*, in "Journal of Society of Architectural Historians", n. xxvii 1968, pp. 202-8.
10. F. BLONDEL, *Cours D'Architecture Enseigne Dans l'Academie Royale D'Architecture*, Paris 1675.
11. C.A. DAVILER, *Cours D'Architecture qui comprend Les Ordes De Vignole*, Paris 1694.
12. J. CHÉREAU, *Livre d'architecture*, ms n. 2280 biblioteca municipale Gdansk (Danzica), 1567-74.
13. W. MUELLER, *op. cit.*
14. G. GUARINI, *Architettura civile*, Torino 1737.





La stereotomia secondo Philibert de
l'Orme

The stereotomy according to Philibert de
l'Orme

4

4. La stereotomia secondo Philibert de l'Orme

Come si è detto, Philibert de l'Orme è il padre della stereotomia, è il primo ad elevare la *coupe des pierres* al rango di speculazione progettuale e ad affiancarla alla illustrazione degli ordini architettonici nel suo trattato di Architettura. Philibert de l'Orme è l'architetto di re Enrico II, lavora freneticamente su tutto il territorio francese per il controllo delle proprietà reali e svolge anche una intensa produzione teorica attraverso la scrittura di due trattati.

Nel 1561 viene stampato un breve trattato in folio intitolato *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz* (Le nuove invenzioni per costruire bene e a poco costo); e sei anni dopo, nel 1567, viene dato alle stampe la sua opera più importante, *Le premier tome de l'architecture*, in nove libri. Nelle riedizioni seicentesche, 1626 e 1648, di quest'ultimo verrà inglobato il primo trattato del 1561, in forma di libri Decimo e Undicesimo che trattano di speciali carpenterie lignee concepite secondo la logica della economia costruttiva.

I libri III e IV sono dedicati esclusivamente all'arte del "trait". Il IV libro del trattato, è quello consacrato alla geometria e alla dimostrazione de l'*art du trait géométrique* applicata alla costruzione dei più complessi elementi dell'architettura stereotomica.

Tra questi, spiccano per genialità e virtuosismo: la *trompe d'Anet*, le volte sferiche con apparecchiatura elicoidale e la riproposizione della famosa scale "a vite", il cui modello originario è situato in un frammento semi distrutto della Prioria di Saint-Gilles in Languedoc.

In questo capitolo porremo l'attenzione sulla concezione progettuale della stereotomia vedendo come, per Philibert de l'Orme, l'*art du trait géométrique* sia sostanzialmente una sofisticata metodologia tecnica, a supporto della progettazione architettonica, in grado di far compiere un salto teorico importante alla architettura della "maniera francese", anche e soprattutto nei confronti della coeva architettura italiana. A tal proposito analizzeremo, del trat-

The stereotomy according to Philibert de l'Orme

As it is said, Philibert de l'Orme is the father of the stereotomy, it is the first one to raise *la coupe des pierres* to the rank of projective speculation and to place it side by side to the illustration of the architectural orders in his treatise of Architecture.

Philibert de l'Orme is the architect of king Enrico II, he frantically works on the whole French territory for the control of the royal ownerships and he also develops an intense theoretical production through the writing of two treatises. In 1561 a brief treatise is stamped in folio entitled *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz* (The new inventions to build well and with little cost); and six years later, after 1567, it was given to the printing presses his most important work, *Le premier tome de l'architecture*, in nine books.

In the seventeenth-century reissues, 1626 and 1648, in this last one the 1561 first treatise will be enclosed, in form of books Eleventh and twelfth that treat of special wooden carpenteries conceived according to the logic of the construc-

tive economy.

The books III and IV are exclusively devoted to the art of the "trait". The IV book of the treatise, it is the one consecrated to the geometry and the demonstration de l'*art du trait géométrique* applied to the construction of the most complex elements of the stereotomic architecture.

Among these, are detached for brilliancy and virtuosity: the *Trompe of Anet*, the spherical vault with helicoidally bonding of stones and the re-proposition of the famous "screw" staircases, whose original model is situated in a fragment half destroyed of the Prior of Saint-Gilles in Languedoc.

In this chapter we will set the attention on the projective conception of the stereotomy seeing how, for Philibert de l'Orme, the *art du trait géométrique* would be substantially a sophisticated technical methodology, as a support of the architectural design, capable of making accomplish an important theoretical jump to the architecture of the "French way", also and especially in the

tato di de l'Orme, alcuni passi ritenuti importanti tra cui: la descrizione del tracciato geometrico della *trompe di Anet*, e la critica che de l'Orme muove contro la scala del Belvedere a Roma di Bramante.

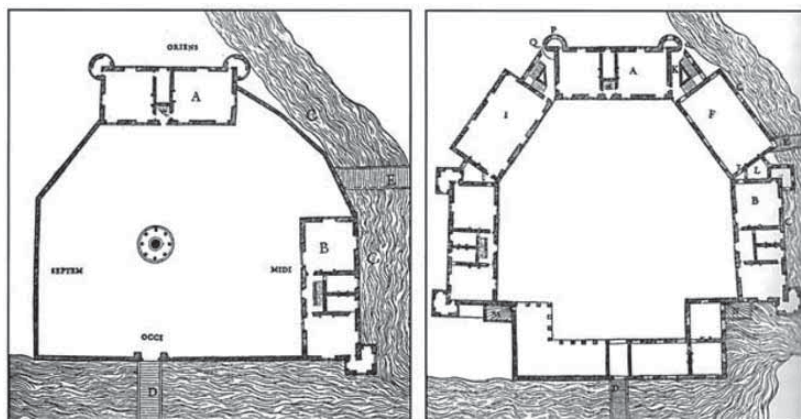
De l'Orme, nel libro III al capitolo VIII, propone un quesito apparentemente non attinente all'argomento, ossia il modo per regolarizzare un castello me-

dievale irregolare: un esercizio che, sin dall'inizio, esplicita il ruolo fortemente progettuale della stereotomia.

L'artifice des traicts Geometriques feuir quand on veult faire d'une maifon, ou de deux mal commencées, (foit vieil logis, ou autrement) une belle & parfaite maifon, y accomodant tous les membres, & parties du vieil edifice, avec le neuf. Ce lieu me fsemble efre

fort à propos pour mieux donner l'vfrage des traicts Geometriques, & monftrer la commodité qui les accompagne, pour euitier les empefchements aufquels on peult tomber quelquefois: & auffi pour accommoder les vieils logis avec les neufs, ainfi que lon en pourra auoir affaire, & que l'oeuvre le requerra pour fa perfection, beauté & decoration¹.

I disegni presentati da de l'Orme, nel Libro III al cap. VIII fogli 66–67, sono estremamente efficaci nel descrivere l'utilizzo di opportuni elementi stereotomici finalizzati alla risoluzione di problematiche progettuali inerenti all'ampliamento (accomodamento) di edifici preesistenti. Infatti, la *trompe* viene utilizzata per unire due corpi di fabbrica che si toccano sugli spigoli; l'arco obliquo per la creazione di passaggi stretti; l'arco nell'angolo dell'edificio per passaggi costretti; l'arco in un muro curvo per le aperture nei corpi cilindrici delle torri di guardia, ecc.



comparisons of the contemporaneous Italian architecture.

To such purpose we will analyze, of the treatise of de l'Orme, some passages held important among which: the description of geometrical tracing of the *Trompe of Anet*, and the critic that de l'Orme directed towards the stairway of the Belvedere in Rome of Bramante.

De l'Orme, in the book III at the chapter VIII, proposes a problem not apparently connected to the matter, or rather the way to regularize an irregular medieval castle: an exercise that, since the beginning, renders explicit the role strongly projective of the stereotomy.

The artifice of the geometric layouts, to use, when one wants to make of a house, or of two badly constructed, (whether old houses or other) a beautiful and perfect construction, either ordering all the members, or the parts of the old building with the new ones¹.

It seems to me the most opportune moment for better illustrating the use of the *traits géométriques*, and to show the convenience that accompanies them, with the purpose to avoid the imperfections in which we can sometimes incur: and also to arrange the old houses with the new ones or those that can be done, and those whose work needs perfection, beauty and decoration.

The drawings introduced by de l'Orme, in the Book III in the cap. VIII sheets 66–67, are extremely effective in the description of the use of opportune stereotomic elements finalized to the resolution of projective problematic inherent to the amplification (arrangement) of pre-existing buildings. In fact: the pendentive is used for uniting two bodies of masonry touching themselves on the edges; the oblique arc for the creation of narrow passages; the arc in the angle of the building for forced passages; the arch in a curved wall for the openings in the cylindrical bodies of the watch towers, etc.

Jean-Marie Pérouse de Montclos², underlines that the art du trait appears to the author as the most astute mean to modernize the old Gothic style with that Renaissance from the strong Italian influence. The stereotomy is introduced, therefore, from de l'Orme as the most effective mean to pass from the old Gothic world to the "regular" modern world.

I defined the trait and I invented the method in the year 1536, for the mean and with the help of the Geometry and a great intellect work; of that work I don't complain but rather I greatly praise God, considering that from a single trait, and with a single example of pendentive, everything can be done³.

The *trompe*

The technique of the geometric tracing, as his inventor affirms, was perfected in 1536 (at the age of 22) for the design of two pendentives of the gallery, on the building site of the Hôtel Bullioud in Lyons that represents the first job of the

Jean-Marie Pérouse de Montclos², come si è in precedenza detto nel secondo capitolo, sottolinea che l'*art du trait* appare all'autore, come il mezzo più astuto per modernizzare il vecchio stile gotico con quello rinascimentale dalla forte influenza italiana. La stereotomia è presentata, quindi, da de l'Orme come il più efficace mezzo per passare dal vecchio mondo gotico al mondo moderno "regolare".

I'en trouuay le traict & inuentay l'artifice en ladicte année mil cinq cens trentefix, par le moyen & ayde de Geometrie, & grand traual d'efprit: le quel ie n'ay plainct depuis, ains pluftoft loue Dieu grandement, de ce que d'un feul traict, & feule facon de trompe, on les peult faire toutes³.

La trompe

La tecnica del tracciato geometrico, come il suo inventore afferma, fu messa a punto nel 1536 (all'età di 22 anni) per il disegno di due trompe della *galerie*, sul cantiere de l'hôtel Bullioud a Lione

che rappresenta il primo lavoro del giovane architetto dal rientro dall'Italia. Philippe Potié⁴ osserva che, in termini di risoluzione geometrica o tecnica, "l'invenzione" del 1536 non apporta niente di nuovo alla scienza medioevale del *trait*, ma Philibert de l'Orme ha coscienza del valore di questo gesto riguardo lo sviluppo del pensiero architettonico. Il tracciato della sua trompe gli servirà semplicemente a provare una nuova potenzialità dell'arte del tracciato geometrico rispetto ai modelli medioevali. Rivendicando questa differenza, l'arte del *trait* passa impercettibilmente da una tecnica comune ai mastri massoni al segno di uno stile proprio dell'artista. Il tracciato geometrico è il mezzo tecnico che permette la costruzione razionale di nuove forme che concorrono alla costruzione della magnificenza dell'architetto.

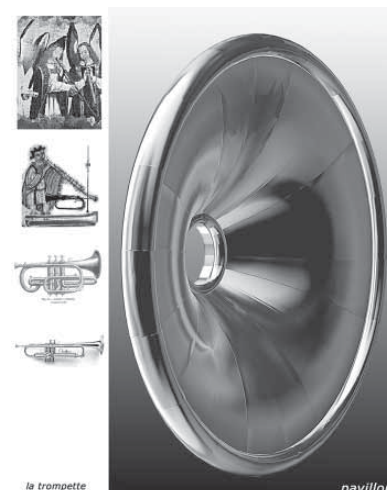
La *galerie de l'hôtel Bullioud* (v. Fig. 18), situata al numero 8 di rue Juiverie a Lione nel 1536 è paradigmatica nel senso delormiano: una loggia tra due

Figura 17. Origine della trompe.

Trompe's derivation.

Figura 18. Trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud*, Lione.

Galerie de l'hôtel Bullioud's trompe, Lion.



young architect after his return from Italy.

Philippe Potié⁴ observes that, in terms of geometric or technique resolution, "the invention" of 1536 doesn't bring anything new to the medieval science of the *trait* but Philibert de l'Orme has conscience of the value of this action in respect to the development of the architectural thought.

The tracing of its *trompe* will simply serve him to test a new potentiality of the art of the geometric tracing in comparison with the medieval models. Claiming this difference, the art of the *trait* imperceptibly passes from a common technique to the freemason's masters to the sign of a style proper to the artist.

The geometric tracing is the technique mean that allows the rational production of new forms that concur to the construction of the magnificence of the architect.

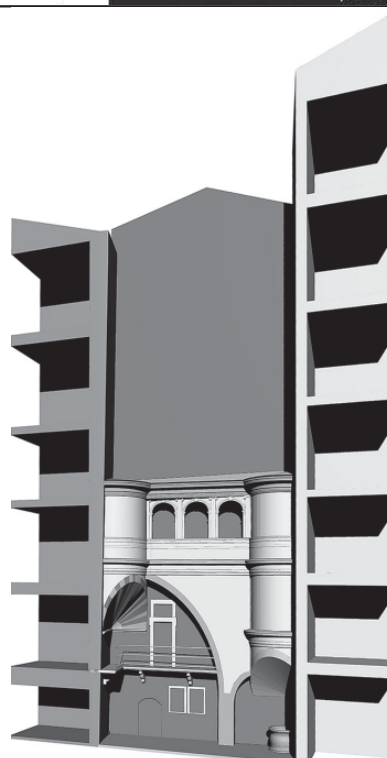
The gallery of the Hôtel Bullioud (see Fig. 18), situated at the number 8 of rue

Juiverie in Lyon in 1536 is paradigmatic in the Delormian sense: a loggia among two turrets beard by a trompe, used to regularize a small and irregular medieval court.

I have made these works in 1536, on my return from Rome and from the trip to Italy that I have made for my studies on the architecture. The two trompes were made for the general of Brittany, Monsieur Billau, in Rue de la Juiverie in Lyons⁵.

In 1536 the general receiver of Brittany Antoine Bullioud assigns the charge to P. de l'Orme to design and to build a work destined to tie between them three fabric bodies purchased at the 8 rue Juiverie⁶.

A long time ago, in Lyons, I have also designed and directed the works of two other trompes, much greater and difficult, despite the narrow space where they are posted; and if one is rampant, lowered and round in front, the other,



torrette portate da trompe, chiamata a regolarizzare una piccola e irregolare corte medievale.

le fis faire tel oeuvre l'an 1536, à mon retour de Rome & voyage d'Italie, lequel iauois entrepris pour la pourfuite de mes eftudes & inuentions pour l'Architecture. Les deux fufdictes trompes furent faictes pour le general de Bretagne monfieur Billau en la rue de la luifrie à Lyon⁵.

Nel 1536 il ricevitore generale di Bretagna Antoine Bullioud assegna l'incarico a P. de l'Orme di progettare ed edificare un'opera destinata a legare tra loro tre corpi di fabbrica acquistati in 8 rue Juiverie⁶.

l'en ay auffi ordonné & conduit long temps y a deux autres à Lyon beaucoup plus difficiles, & d'affez grande faillie, veu le petit lieu ou elles font, & auffi que l'une eft biaife, rempante, foubalfée & ronde par le deuant: l'autre eftant à l'angle oppofite fut faicte en fa pleine

montée, ronde par le deuant & de gran faillie. Sur chacune defdictes trompes furent erigez des cabinets accompagnez de galleries d'une trompe à l'autre: le tout eftant furpendu en l'air, à fin de feruir pour al ler d'un corps d'hoftel à l'autre, & accomoder les cabinet pour les chambres. Laquelle choife rend ces deux logis fort aifez & commodes, qui eftoient autrement trefmal à propos & fort incommodes, pour n'y pouuoir rien coftruire, à caufe de la cour qui eftoit fort eftroicte & longue: comme auffi le logis de grande hauteur, qui me fit trouuer telle inuention⁷.

Il compito dell'accomodamento è affidato alla *trompe*, ovvero ad una particolare tipologia di volta assimilabile ad una superficie conica.

Mais voirement plufieurs pourront demander que ie veaux dire & entendre par ce mot de trompe, pour autant qu'il n'eft vfité finon qu'entre les ouuriers, & par confequent cogneu de peu de perfonnes, & mefmes d'aucuns nouueaux

ouuriers. Qui eft caufe que ie le veux bien declairer, & aduertir le lecteur qu'il mefemble que le nom de trompe, duquel nous vfons icy, eft venu, ou bien a esté prins & vfurpé de la fimilitude que fa ftructure a avecques la trompette, appellée en beaucoup de pais trompe. Car l'une & l'autre eftant large par le deuant, va en eftroiffiffant par le dedans en forme d'une voute⁸.

In questo passo, l'autore tenta una similitudine formale con lo strumento musicale, la trombetta, per chiarire la natura geometrica dell'elemento architettonico che, a quanto pare, a quella data, risultava essere di conoscenza esclusiva di pochi maestri massoni. Il termine assumerà nel tempo una valenza esatta ed indicherà uno specifico elemento costruttivo, infatti Frézier⁹ nel suo trattato, alla voce *trompe* riporta:

È comunemente una volta a forma di semicono che si presenta con la sua base (riferimento al solido sezionato con un piano passante per il vertice)... Vi

to the opposite angle, is round in the front and of great size. On both are erected offices, joined by galleries from one trompe to the other: the whole is suspended in the air, as to be able to connect a body of the building to the other and to extract some offices for the rooms. This operation makes these two spaces strong and comfortable, that otherwise they would be disposed irrelevant and uncomfortable to be unable to build because of the court that is very narrow and long⁷.

The assignment of the arrangement is left to the *trompe*, or to a particular typology of vault assimilated to a conic surface.

But many could wonder what I want to intend when I speak of trompes, since it is a term used only by the experts, and therefore known by few people and by none of the new builders. Therefore I want to well clarify, and to warn the Reader, that probably the name trompe, that we use here, derives, or better it is

used, from the resemblance of the structure with the trumpet, called in many countries trompe. Since the one and the other are wide on the front closing up to the inside in form of vault⁸.

In this passage, the author tries a formal resemblance with the musical tool, the trumpet, to clarify the geometric nature of the architectural element that, it looks like, to that date, and it resulted to be of exclusive knowledge of few freemason's masters.

The term will assume in the time an exact value and I will point out a specific constructive element, in fact Frézier⁹ in his treatise, to term *trompe* he reports:

And' commonly a vault in semi-cone form which is presented with its base (reference to the solid sectioned with a passing plan by the summit)... there are different types of trompes and their names derive from their functions or from the form. In respect to the latter there are the conic and spherical trompes... When the face of one or the

other is convex it is also called Trompe en tour; if it is concave Trompe en tour creuse; if the façade is interrupted from more plain surfaces it is called Trompe à pan; if the imposts are of different heights it is calls Trompe rampante, if the façade is undulated and the imposts are rampant it is called Trompe d'Anet. Concerning instead the general configuration, if the trompe is jut out it is called Trompe sur le coin, if recessed it is called Trompe dans l'Angle.

It is to the term of *Trompillon*:

And' the initial part of a trompe, put on the summit of the cone in the conic trompes and on a pole of the sphere in the spherical ones. And' it is a unique block of stone that occupies the space of many summits of blocks, that they would be otherwise so sharp that they cannot be cut without risking of breaking them.

All the vaults can be made in form of trompe and all suspended in the air,

sono diversi tipi di trompe e i loro nomi derivano dalle loro funzioni o dalla forma. Riguardo a quest'ultima vi sono le trompe coniche e sferiche... Quando la faccia di una o dell'altra è convessa si chiama anche Trompe en tour Ronde; se è concava Trompe en tour creuse; se la facciata è interrotta da più superfici piane si chiama Trompe à pan; se le imposte sono ad altezze diverse si chiama Trompe rampante, se la facciata è ondulata e le imposte sono rampanti si chiama Trompe d'Anet. Riguardo invece la configurazione generale, se la trompe è sporgente si chiama Trompe sur le coin, se rientrante Trompe dans l'Angle.

E alla voce Trompillon:

È la parte iniziale di una trompe, posta sul vertice del cono nelle trompe coniche e su un polo della sfera nelle sferiche. È un unico concio di pietra che occupa lo spazio di molti vertici di conci, che altrimenti sarebbero talmente aguzzi da non potersi tagliare senza rischiare di romperli.

Toutes fortes de voutes fe peuuent faire en forme de trompe, & toutes fuppendues en l'air, fans auoir fondement par le deffous, finon aux deux coftez qui font l'angle, le tout par vne mefme methode de trait¹⁰.

La trompe rappresenta una specifica volta che sostiene in aggetto un volume edilizio. La sua caratteristica principale è quella di poter assumere una infinità di conformazioni geometriche, in luogo della variazione dei singoli paramenti che ne definiscono la sua morfologia. Questo elemento architettonico, diremmo oggi, si presta molto bene ad una modellazione tridimensionale di tipo parametrico-variazionale, ovvero alla creazione di un "oggetto" virtuale che contiene in sé una forma potenzialmente variabile all'infinito.

L'opera stereotomica che risulta essere la più citata, studiata ed elogiata dai trattatisti posteriori di Philibert de l'Orme è la trompe costruita al castello di Anet (v. Fig. 19) per sostenere uno

studiolo tra due corpi di fabbrica già esistenti. Questo, distrutto dai rivoluzionari nel XVIII secolo, rappresenta un capolavoro assoluto della stereotomia, sia per l'arditezza costruttiva che per la novità delle sue forme.

De la voute a trompe que i ay ordonné a fait faire au chasteau d'Anet pour porter un cabinet à fin de l'accomoder à la chambre ou logeoit ordinairement la meiesté du feu Roy Henry... & me fembla eftere fort bon d'y faire vne voute furpendue en l'air, à fin de plus commodément trouuer place à faire ledit cabinet¹¹.

Si nota quindi che il lavoro del 1536 corrisponde ad una prima pubblicazione riassunta di un programma di pietra che, il giovane de l'Orme andrà subito a realizzare in grande, per il re di Francia. È indubbio che il primo sia servito come leva intellettuale per la costituzione del secondo che, pur rappresentando una versione virtuosa del metodo più generale, possiede una intrinseca capacità

without having any supports below, apart from the two walls that form the angle; the whole follows a unique geometrical tracing¹⁰.

The trompe represents a specific vault that sustains a jut out building volume. Its principal characteristic is that to be able to assume infinity of geometric conformations, in place of the variation of the single dressed faces of stone which define the morphology of it. This architectural element, we would say today, is predisposed very well to a three-dimensional modelling of parametrical-variazionale type, or to the creation of a virtual "object" which contains in itself a form potentially varying to the infinity.

The stereotomic work that results to be the more quoted, studied and praised by the authors of treatises posterior to Philibert de l'Orme, is the trompe built at the castle of Anet (see Fig. 19) to sustain an office between two bodies of fabric already existing. This was

destroyed by the revolutionaries in the XVIII century, it represents an absolute masterpiece of the stereotomy, both for the constructive boldness and for the novelty of its forms.

On the vault à trompe that I have ordered to be constructed at the castle of Anet, to carry a united office to the room where his Majesty King Enrico sojourned... and it seemed me to be a very good idea to do a vault suspended in the air, to be able to comfortably find the space to place the office¹¹.

It is noticed therefore that the 1536 work corresponds to a first publication summarized of a program of stone that, the young de l'Orme will go immediately to realize in a large scale, for the king of France.

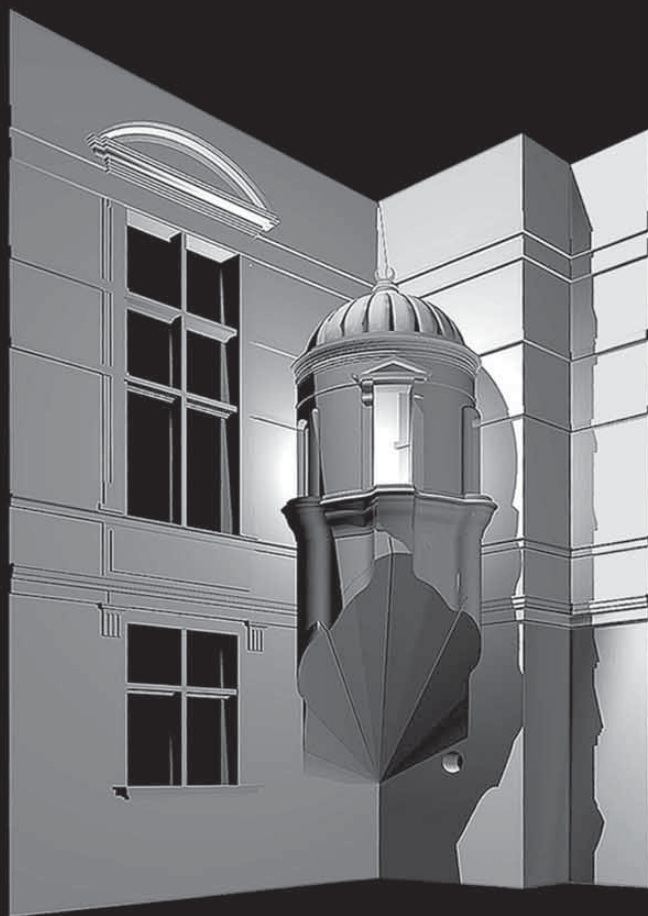
It is sure that the first one has served as intellectual lever for the constitution of the second one that, also representing a virtuous version of the most general method; it possesses an intrinsic explanatory ability and commu-

nicativeness of the precise variational potentialities of the method of the *trait géométrique*.

Analyzing the *trait géométrique* (see Fig. 20) of the trompe of Anet it is possible to read the three "invariants-principles", of which it was spoken previously, that they concur in univocal way to the design and the construction of an architectural work specifically stereotomic.

The *prefigurative-invariant*, or the capacity of the tracing to make restitution of its architectural form through the disposition or fits constructive "bond", it is clearly revealed by the three sections (two horizontal pending on its own plan and one vertical overturned on the horizontal plan) of the geometric tracing presented by de l'Orme.

The first section is the one horizontal of the two walls of impost at straight angle on which the trompe is put. The second section is the one horizontal of the body (*cabinet du roi*) which the trompe



esplicativa e comunicativa della precise potenzialità variazionali del metodo del *trait géométrique*.

Analizzando il *trait géométrique* (v. Fig. 20) della trompe d'Anet è possibile leggere i tre "principi-invarianti", di cui si è parlato in precedenza, che concorrono in maniera univoca alla progettazione e alla costruzione di un manufatto architettonico specificamente stereotomico.

L'*invariante prefigurativo*, ovvero la capacità del tracciato di restituire la sua forma architettonica attraverso la disposizione del suo "apparecchio" costruttivo, è chiaramente denunciato dalle tre sezioni (due orizzontali giacenti sul proprio piano e una verticale ribaltata sul piano orizzontale) del tracciato geometrico presentato da de l'Orme. La prima sezione è quella orizzontale dei due muri di imposta ad angolo retto su cui si appoggia la trompe. La seconda sezione è quella orizzontale del corpo (*cabinet du roi*) che la trompe è chiamata a sostenere.

69

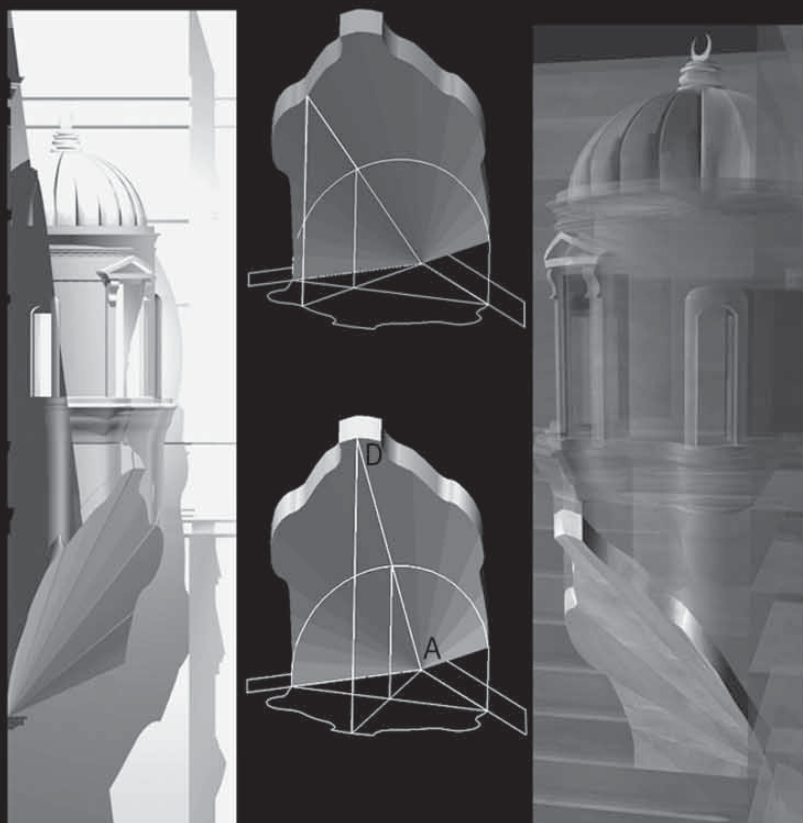
is destined to sustain.

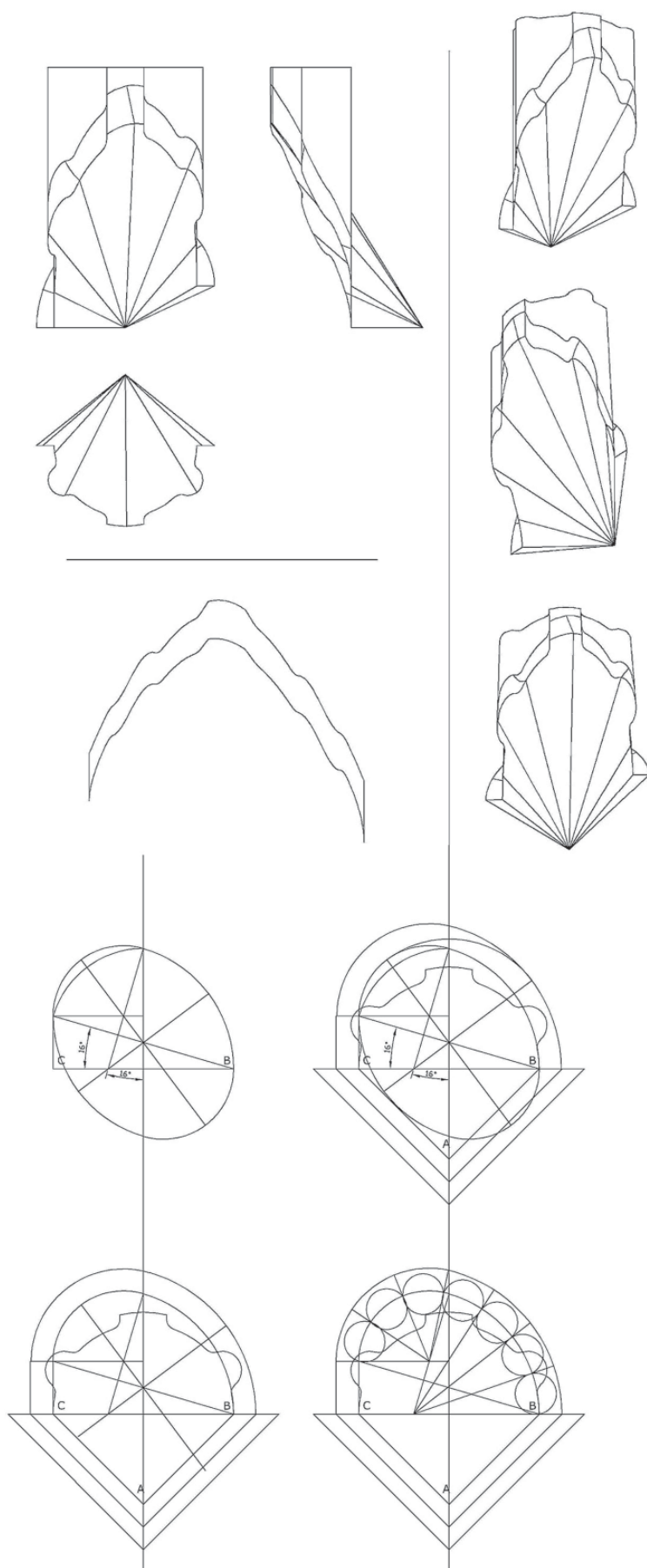
The third section is the one vertical (overturned on the horizontal plan) of the intrados of the conic vault, that we could assimilate to the directrix curve of the whole conic surface, which in the particular fact is an arc of oval rotated in the vertical plan to be rampant.

The second section, or the plan of the office sustained by the trompe, is the one that characterizes more the work. Its form is a composed-line composition of circumference arcs and on its derivation various hypotheses are advanced. According to Philippe Potié¹², it derives from the studies on the central plans of the Italian Renaissance churches:

Emancipating himself from the usual circular or square plans used in that period. He will look for in his Italian culture the principle of its design: the

Figura 19. Trompe d'Anet e Cabinet du Roi, Parigi.
Trompe d'Anet and Cabinet du Roi, Paris.





La terza sezione è quella verticale (ribaltata sul piano orizzontale) dell'intradosso della volta conica, che potremmo assimilare alla curva direttrice dell'intera superficie conica, che nella fattispecie è un arco di ovale ruotato nel piano verticale per essere rampante.

La seconda sezione, ovvero la pianta dello studiolo sostenuto dalla trompe, è quella che più caratterizza l'opera. La sua forma è una composizione mistilinea di archi di circonferenza e sulla sua derivazione si avanzano varie ipotesi. Secondo Philippe Potié¹², essa deriva dagli studi sulle piante centrali delle chiese rinascimentali italiane:

Emancipandosi dalle abituali piante circolari o quadrate utilizzate in quel periodo. Egli cercherà nella sua cultura italiana il principio del suo disegno: la composizione della pianta della Trompe d'Anet è in effetti quella di una pianta centrale... L'impiego di questo modello riservato all'architettura sacra trova senza dubbio la sua ragione nella destinazione di questa edicola. La trompe

composition of the plan of the Trompe of Anet is in effects the one of a central plan... The use of this model reserved to the sacred architecture finds without any doubt its reason in the destination of this kiosk. The trompe bears in effects the office of Henry II, sanctuary of the royal thought.

According to our hypothesis, corroborated by Dominique Bonnet Saint-Georges, the design in plan of the *cabinet* of Henry II derives from the plan projection of the profile of the support shell of the Baldachin of the well in the first court of the Hôtel Bullioud in Lyons. From this formal antecedent, it is possible to hypothesize the derivation of the morphology of the *trompe* of Anet, understood as a rationalization of a shell.

Figura 20. Trompe d'Anet e Cabinet du Roi, Parigi: tracciati geometrici.
Trompe d'Anet and Cabinet du Roi, Paris: geometric drawings.

porta in effetti il cabinet d'Enrico II, santuario della riflessione reale.

Secondo la nostra ipotesi, convalidata da Dominique Bonnet Saint-Georges, il disegno in pianta del *cabinet d'Enrico II* deriva dalla proiezione piana del profilo della conchiglia a sostegno del Baldacchino del pozzo nella prima corte dell'hôtel Bullioud a Lione. Da questo antecedente formale, è possibile ipotizzare la derivazione della morfologia della *trompe d'Anet*, intesa come una razionalizzazione di una conchiglia. Come si può ben intuire, con "interpolazione" di queste tre sezioni è possibile definire in maniera univoca la *trompe di Anet* che, nella fattispecie, rappresenta una delle infinite possibilità formali derivanti dalla variazione mutua delle forme delle tre sezioni descritte.

*... & digne d'y confiderer comme la nature du trait conduit ce degauchifement fi efrange¹³.
... le quel i'ay voulu faire de forme efrange pour rendre la trompe de la*

voute plus difficile, & belle à voir¹⁴.

L'invariante geometrico, ovvero la dimensione della tecnica geometrica adoperata, è chiaramente denunciato dalle tracce grafiche di proiezione, rotazione e ribaltamento dei segmenti di retta, generatrici della superficie conica, al fine della determinazione delle reali lunghezze di quest'ultimi. Nelle pagine del trattato è possibile conoscere i metodi grafici, per lo sviluppo sul piano della superficie conica di intradosso della volta e della superficie cilindrica delle teste dei conci della volta, che servono per costruire i pannelli da riportare in vera grandezza sui conci e consentirne il taglio. Dalla lettura della reale forma delle parti e sapendo che, attraverso il metodo proposto, queste sono correlate tra di loro, è anche possibile risalire alla reale dimensione che il monumento aveva cogliendone le maggiori quantità.

Defquelles fi ie me euffe bien affeuré, & que ie les euffe fait faire, au lieu que la voute de la trompe a de faille par le

milieu de A à D, dix ou douze pieds, ie luy enffe baillé vingt ou vingt & quatre... ou bien ie y euffe erigé vn cabinet dont on fe fust beaucoup plus esbahy, que lon ne fait encores, de voir fi grande faillie¹⁵.

Attraverso questi indizi è possibile risalire ad una ipotetica dimensione reale della *trompe d'Anet*. Il metodo del *trait géométrique*, così come presentato dall'Autore, assicura la composizione proporzionale della trompe ma non restituisce il suo rapporto di scala. Attraverso l'operazione di *3D scaling* è possibile riportare il monumento ad una qualsiasi scala, conoscendo almeno una dimensione reale dell'oggetto; nella fattispecie il segmento AD.

Sapendo che il piede francese è pari a circa 0,3248 metri (1 tesa francese=1,949 metri=6 piedi) e ipotizzando la variazione della lunghezza del concio AD (10 o 12 piedi) risulta che la lunghezza di AD e oscilla tra 3,248 m e 3,90 m.

As it is well known instinctively, with "interpolation" of these three sections it is possible to define in univocal way the *trompe of Anet* that, in the particular fact, represents one of the infinite formal possibilities deriving from the mutual variation of the forms of the three described sections.

*... And worthy to consider there on how the nature of the trait can conduct to such a strange development¹³.
... that I have wanted to do in strange form to make the trompe most difficult and beautiful to see¹⁴.*

The *geometrical invariant*, or the dimension of the used geometric technique, is clearly signalled by the graphic traces of projection, rotation and turnover of the segments of straight line, generators of the conic surface, at the end of the determination of the real lengths of these latter. In the pages of the treatise it is possible to know the graphic methods, for the development on the plan of the conic surface of the vault intrados

and the cylindrical surface of the stone blocks summits of the vault, that serve for building the panels to reproduce in true greatness on the blocks and to allow their cut. From the reading of the real form of the parts and knowing that, through the proposed method, these are correlated between them, it is also possible to go back to the real dimension which the monument had gathered the most greater quantities of it.

If these (the walls) had given me insurance, I would have made it longer in its centre AD, rather than ten or twelve feet, at least twenty or twenty-four.... Well, on it I have erected an office, of which I am very proud, since that still today it is not possible to see elsewhere corbelling projection so great¹⁵.

Through these signs it is possible to go back to a hypothetical real dimension of the *trompe of Anet*. The method of the *trait géométrique*, as introduced by the author, assures the proportional composition of the trompe

but it doesn't make restitution of the scale ratio. Through the operation of *3D commensurateness* it is possible to reproduce the monument to any scale, knowing at least one real dimension of the object; in the special case the segment AD.

Knowing that the French foot is equal to around 0,3248 meters (1 French Toise =1,949 metres=6 feet) and hypothesizing the variation of the length of the block (10 or 12 feet) it results that the length of AD oscillates between 3,248 ms and 3,90 ms. Considering the maximum dimension of AD, or rather equal to 12 feet or 3,90 ms it results that: the longer block read in the intrados is of 3,90 ms, the part in greater projection is of 2,14 ms and, the maximum height from the impost of the trompe is of 3,15 ms. Measures of all in respect for a stone projection considered that de l'Orme would have liked to double the measures if the underneath walls had allowed him to.

Considerando la massima dimensione di AD, ovvero pari a 12 piedi ossia 3,90 metri risulta che: il concio più lungo letto nell'intradosso è di 3,90 m, la parte in maggiore aggetto è di 2,14 m e, l'altezza massima dall'imposta della trompe è di 3,15 m. Misure di tutto rispetto per un aggetto lapideo considerato che de l'Orme avrebbe voluto raddoppiare le misure se i muri sottostanti glielo avessero consentito.

L'*invariante statico*, ovvero la peculiarità del dimensionamento e del comportamento meccanico dei conci, è chiaramente denunciata dal disegno dalla sezione verticale della volta coincidente con l'arco rampante.

Questa sezione è disegnata sul piano verticale in corrispondenza della maggior luce strutturale della volta, piano oltre il quale i conci della trompe lavorano a sbalzo.

In questa sezione è possibile leggere lo spessore, il numero e la disposizione dei conci di quella parte di struttura

che risulta essere la più sollecitata. De l'Orme in questa sezione disegna sette conci con i giunti che con ogni probabilità seguono la perpendicolare alla tangente ai punti di suddivisione dell'arco rampante.

Questo segue una costruzione geometrica specifica che è stata oggetto di molte ricerche e che con ogni probabilità si rifà al dimensionamento con il rapporto aureo. Nel *Tratado práctico de Estereotomia*, di Francisco Ponte y Blanco¹⁶ è possibile individuare ben cinque metodi grafici per il disegno di un arco rampante con proporzioni armoniche tra le parti.

È interessante notare come, per i soli fini della costruzione geometrica dei conci della trompe, tale sezione poteva essere fatta in tutti i piani verticali intermedi contenuti tra il vertice e l'estremità della volta, senza comportare alcun problema risolutivo della *trompe*.

Acquista valore di natura statica la constatazione che tale sezione strutturale sia stata fatta in coincidenza della maggior distanza tra i piani d'appoggio

della volta, là dove, verificata l'ipotesi sullo spessore della volta, si verifica la stabilità di tutto il sistema statico. Si osserva che tale proposizione non assolve totalmente le problematiche di natura statica: mancano le condizioni di verifica sull'aggetto della *trompe*, che non possono in via empirica essere ricondotte a semplici rapporti proporzionali sulle parti.

Philibert de l'Orme fornisce, in un foglio del suo trattato, un'unica rappresentazione prospettica del *cabinet du roi*, sostenuta dalla famosa *trompe*, che ci permette di avanzare alcune considerazioni sul rapporto che lega il *trait géométrique* alla composizione architettonica del monumento.

Tale rappresentazione è la sola a comunicare, nello spazio, la qualità formale della trompe in quanto, il suo tracciato geometrico riporta su di un unico piano il controllo dell'intero processo costruttivo.

L'ambizione progettuale del *trait géométrique* risiede, così come dichiara de l'Orme, nella sua natura che consen-

The *static invariant* or the peculiarity of the measurement and the mechanical behaviour of the blocks of stone is clearly signalled by the design of the vertical section of the coincident vault with the rampant arc.

This section is drawn on the vertical plan in correspondence of the greater structural bearing of the vault, plan over which the blocks of the trompe work in corbelling.

In this section it is possible to read the thickness, the number and the disposition of the blocks of that part of structure which results to be the more solicited. De l'Orme in this section designs seven blocks with the joints that with every probability follow the perpendicular to the tangent to the points of subdivision of the rampant arc.

This follows a specific geometrical construction that has been object of a lot of researches and that with every probability he referred to the measurement with the golden ratio. In the *Tratado práctico de Estereotomia*, of Francisco Ponte y Blanco¹⁶ it is possible to individualize

well five graphic methods for the design of a rampant arc with harmonic proportions between the parts.

It is interesting to notice as, for the only ends of the geometric construction of the stone blocks of the *trompe*, such section could be made in all the intermediary vertical plans contained between the summit and the extremity of the vault, without including any decisive problem of the *trompe*.

It gains value of static nature the verification that such structural section has been made in coincidence of the most greater distance between the bearing plans of the vault, there where, is verified the hypothesis on the thickness of the vault, the stability of the whole static system. One observes that such proposition doesn't exonerate totally the problematic lists of static nature: they are missing the conditions of verification on the corbelling of the trompe, that they cannot by empirical way be attributed to simple proportional ratios on the parts.

Philibert de l'Orme furnishes, in a

sheet of his treatise, a unique perspective representation of the *cabinet du roi*, sustained by the famous *trompe*, which allows us to put forward some considerations on the ratio that ties the *trait géométrique* to the architectural composition of the monument.

Such representation is the only one to communicate, in the space, the formal quality of the trompe, since, its geometric tracing reports on a unique plan the control of the whole constructive process.

The projective ambition of the *trait géométrique* resides, as it is declared by de l'Orme, in its nature that allows controlling in the space the forms of the project, also very complex and therefore more beautiful to be seen.

Philippe Potié¹⁷ underlines that, the hypothesis of the Delormian method uncovers its identity in the character of anticipation of the geometric tracing in comparison to the evolution of its forms in the space.

The final form of the architectural element is the consequence of the choices

te di controllare nello spazio le forme del progetto, anche molto complesse e quindi più belle da vedersi.

Philippe Potié²⁷, sottolinea che, l'ipotesi del metodo delormiano scopre la sua identità nel carattere d'anticipazione del tracciato geometrico rispetto all'evoluzione delle sue forme nello spazio.

La forma finale dell'elemento architettonico è la conseguenza delle scelte operate sulle forme bidimensionali del tracciato geometrico, ovvero la scelta di determinate sezioni determina il carattere dell'elemento volumetrico finale. Bisogna sottolineare, a questo punto, che la *peculiarità* formale della *trompe d'Anet* è principalmente dovuta alla voluta asimmetria della volta e, a alla curva spaziale mistilinea risultato dell'intersezione tra la superficie conica e cilindrica.

Ora, la pre-figurazione di una curva o superficie spaziale, come risultato di intersezioni di superfici o solidi di vario genere, risulta una operazione mentale non affatto semplice. Il metodo

delormiano tende quindi ad indagare la qualità formale di tali organismi architettonici e ad assicurarne la tecnica costruttiva.

Possiamo, in conclusione, affermare che sia sicuramente credibile che la capacità pre-figurativa di curve spaziali, risultato di complesse intersezioni, aumenti proporzionalmente all'utilizzo del metodo del *trait géométrique* che si costituisce, quindi, come un utilissimo mezzo per il dominio delle forme nello spazio.

La scala a vite²⁸

Tra gli elementi dell'architettura stereotomica degni di altissima considerazione, oltre alla già citata *trompe*, c'è la volta a botte elicoidale (che sostiene i gradini di una scala o rampa elicoidale) che per la sua somiglianza viene comunemente chiamata *a vite*.

Questa volta rampante è chiamata dagli operai vis Saint-Gilles, dato che ve n'è una simile nel priorato di Saint-Gilles in Languedoc. Quando ero giovane ho

visto che gli operai stimavano molto uno di loro che sapeva ben disegnare quel tipo volta; e dicevano che aveva grande cognizione dei traits géométriques, e che conosceva bene la vis di Saint-Gilles²⁹.

Nel diciannovesimo capitolo del quarto libro, de l'Orme, dopo avere descritto la maniera con cui costruire il *trait* della *vis Saint-Gilles*, passa a parlare della scala del Belvedere a Roma di Bramante (autore che non viene mai citato direttamente), apprezzandola ed allo stesso tempo criticandola:

Ho visto una chiocciola molto simile a quella che ho descritto, nel luogo chiamato Belvedere presso il Palazzo del Papa a Roma, dove egli si reca talvolta per ritrarsi lo spirito. Si tratta di un luogo ricco di un'infinità di opere d'arte antiche e di statue di marmo, fra cui un Laocoonte e un Apollo fatti divinamente e bellissimi a vedersi. Ci sono pure un Ercole, una Venere, e molte altre statue antiche di marmo, collocate dentro

operated on the bi-dimensional forms of the geometric tracing; or rather the choice of well-defined sections determines the character of the volumetric final element.

It needs to underline, to this point, that the formal *peculiarity* of the *trompe of Anet* is mainly due to the required asymmetry of the vault and, to the composed-line spatial curve resulted of the intersection between the conic and cylindrical surface.

Now, the pre-figuration of a curve or spatial surface as result of intersections of surfaces or solids of various kind, results a mental operation not at all simple. The Delormian method aims therefore at investigating the formal quality of such architectural organisms and to assure to them the constructive technique.

We are able, in conclusion, to affirm that it is surely credible that the pre-figurative ability of spatial curves, resulted of complex intersections, increases proportionally to the use of the method of the *trait géométrique* that is

constituted, therefore, as a most useful mean for the dominion of the forms in the space.

The screw stairway²⁸

Among the elements of the stereotomic architecture worthy of high consideration, besides to the already quoted *trompe*, there is the helical barrel vault (which sustains the steps of a staircase or helical ramp) that for its similarity is commonly called *screw stairway*.

This rampant vault is called by the workmen vis Saint-Gilles, given that there is a similar one in the Priory of Saint Gilles in Languedoc. When I was young I saw that the workmen greatly esteemed one of their group who knew how to draw that type of vault very well; and they said that he had great understanding of the traits géométriques, and that he knew well the vis de Saint-Gilles²⁹.

In the nineteenth chapter of the fourth book, de l'Orme, after having described the manner in which to construct the

trait of the *vis Saint-Gilles*, goes on to talk about the staircase of the Belvedere in Rome by Bramante (who he never cites directly), appreciating and at the same time criticising it:

I have seen a spiral staircase very similar to the one I have described, in a place called the Belvedere situated in the Palazzo del Papa (Pope's Palace) in Rome, where his holiness retires from time to time to restore his strength and spirit. It is a place with an infinite wealth of ancient works of art and marble statues, including a Laocoon and an Apollo divinely made and beautiful to behold. There is also a Hercules, a Venus, and many other ancient marble statues, set into niches: and around which there are beautiful fountains, orange and lemon trees, and infinite other excellent greatly pleasing things [...among which] a very large round spiral staircase, illuminated all around by windows, open in the centre, and at this part supported by columns, and the other side by walls. It does not have

delle nicchie: ed intorno vi sono belle fontane, [alberi d'] arancia, limone, e infinite altre cose eccellenti e di grandissimo piacere [...fra cui] una chiocciola rotonda, molto grande, e illuminata tutto intorno da finestre, vuota al centro, e da questa parte sorretta da colonne, e dall'altro lato da muri. Essa non ha gradini, e sale intorno alle colonne molto dolcemente con una rampa pavimentata di mattoni, come si è soliti fare a Roma. Sotto la rampa vi è una volta di mattoni realizzata a botte [...] e l'opera si mostra molto bella e ben fatta²⁰.

La chiocciola che collega il Belvedere ai Giardini sottostanti fu concepita forse nel 1507 da Bramante, quando si rese necessario un accesso dall'esterno al cortile delle Statue, e fu conclusa circa quaranta anni dopo da Pirro Ligorio. Così la descrive il Vasari ne *Le Vite*:

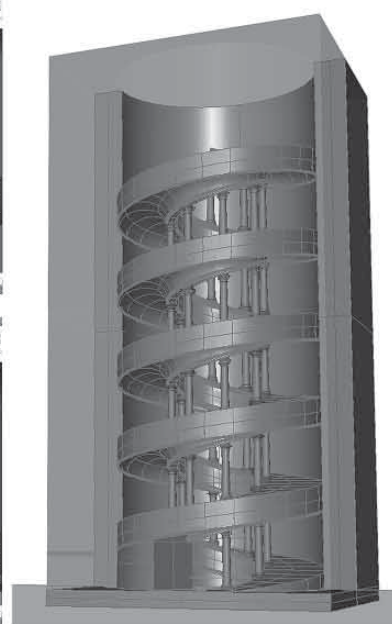
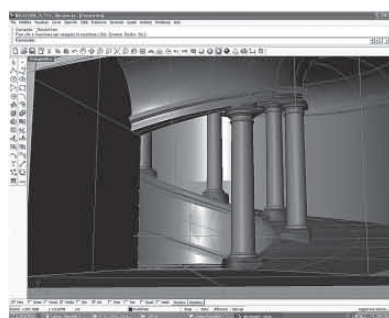
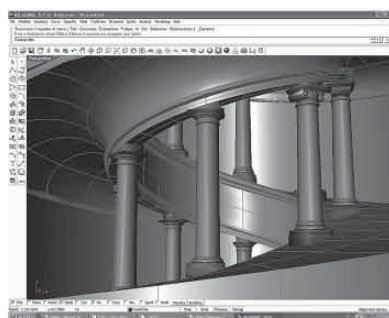
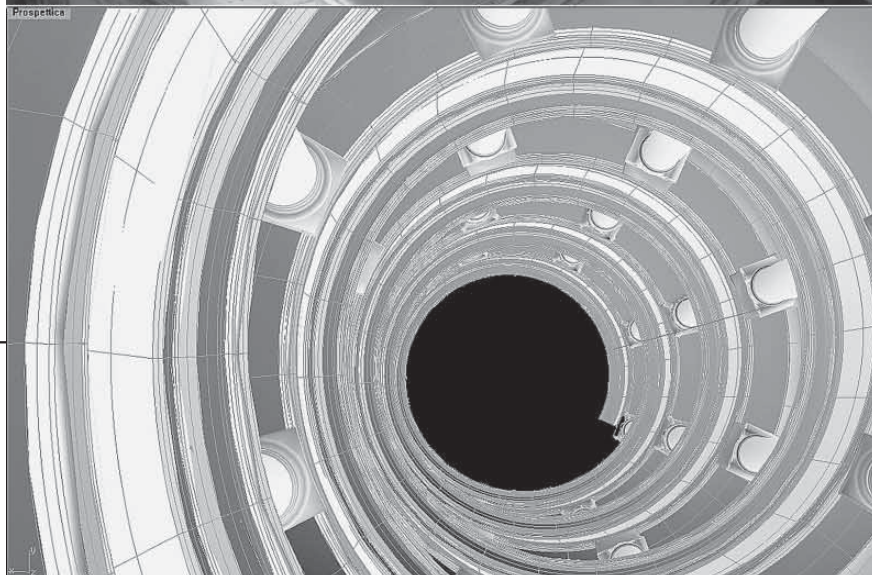
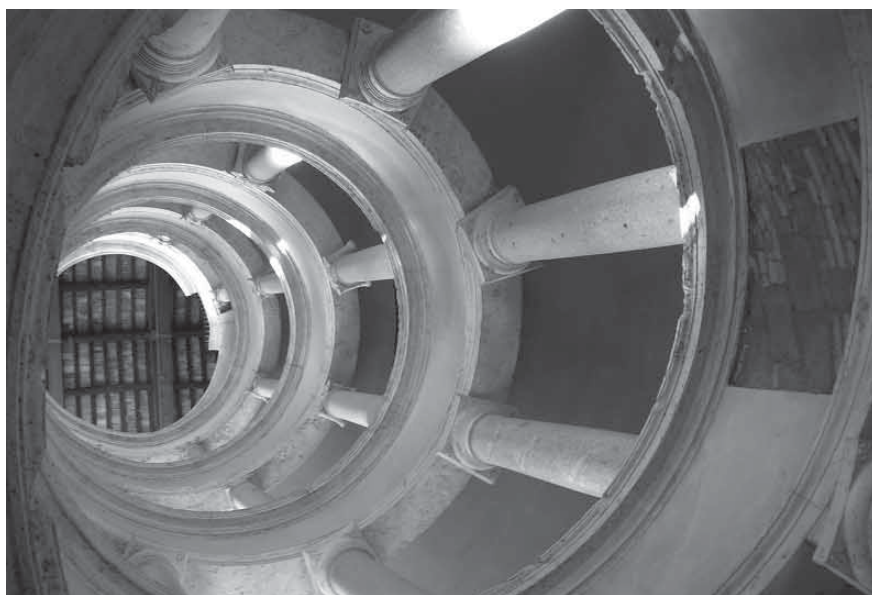
Sono di suo in Belvedere molte salite di scale variate secondo i luoghi suoi alti e bassi, cosa bellissima con ordine dorico, ionico e corinzio, opera condot-

steps and rises around the columns very gently with a ramp paved in bricks, as is usual in Rome. Beneath the ramp there is a barrel vault realised in brick [...] and the work is very fine in appearance and well made²⁰.

The spiral staircase that connects the Belvedere to the Gardens below was conceived perhaps in 1507 by Bramante, when the need arose for an external access to the courtyard of the Statue, and was concluded about forty years later by Pirro Ligorio. This is how Vasari describes it in *Le Vite*:

In Bramante's Belvedere there are different kinds of steps varying, depending on the rise and fall of the land, a beautiful sight with Doric, Ionic and Corinthian orders, work carried out with

Figura 21. Viste reali e virtuali della scala di Bramante.
Interiors real and virtual views of Bramante's staircase-tower.



ta con somma grazia. Et aveva di tutto fatto un modello, che dicono essere stato cosa maravigliosa, come ancora si vede il principio di tale opera così imperfetta. Fece oltra questo una scala a chiocciola su le colonne che salgono, sì che a cavallo vi si camina, nella quale il dorico entra nello ionico e così nel corinzio, e de l'uno salgono ne l'altro: cosa condotta con somma grazia e con artificio certo eccellente; la quale non gli fa manco onore che cosa che sia quivi di man sua²¹.

Si tratta di una rampa circolare a pozzo libero, sostenuta da una volta a botte elicoidale.

Essa è inserita in una torre affiancata al corpo di fabbrica del Cortile Ottagono, a pianta quadrata di 11,44 m (pari a 52 palmi romani: 1 palmo romano è pari a 0,2234 metri) di lato e altezza pari a circa 25 m (pari a 114 palmi romani) escludendo il tetto, con una serie di 8 grandi aperture arcuate in sommità. La rampa, larga 2,2 m (pari a 10 palmi romani), è contenuta in una circonferenza esterna

di diametro pari a 8,9 m (pari a 40 palmi romani), e una circonferenza interna, che delimita il pozzo, di diametro pari a 3 m (pari a 13 palmi romani). Essa è sostenuta da una volta a botte elicoidale, geometricamente definita come superficie di rototraslazione, la cui generatrice (sezione verticale della volta a botte) è un semi-ovale che appartiene al piano dell'asse. La geometria dell'ovale è data dalla composizione di quattro archi di cerchio tangenti: due circonferenze uguali di raggio pari a 0,77 m (pari a 3,5 palmi romani) e due circonferenze uguali di raggio pari a 1,54 m (pari a 7 palmi romani).

La volta si appoggia da un lato sulla muratura continua della torre, dall'altro su di un cornicione continuo sostenuto da una teoria di 36 colonne. In pianta le colonne si posizionano, sul fianco del pozzo, su una corona circolare larga 0,77 m (pari a 3,5 palmi romani) ripartita in 8 settori. Per giungere in cima, a circa 21 m (pari a 95 palmi romani), l'elica compie 4,5 giri completi. Le colonne si compongono in verticale

con la sovrapposizione di quattro ordini rispettivamente dal basso verso l'alto: tuscanico, dorico, ionico, e composito. Con ogni probabilità il progetto teorico prevedeva la composizione dei cinque ordini e quindi la sequenza: tuscanico, dorico, ionico, corinzio e composito, anche se bisogna considerare che al tempo di Bramante la teoria della sovrapposizione degli ordini non era ancora ben definita.

La sequenza delle colonne, percorrendo la rampa dal basso verso l'alto, prevede otto colonne di ordine tuscanico, otto di ordine dorico, otto di ordine ionico e dodici di ordine composito. La differenza di quota mutua tra due colonne affiancate è di 0,44 m circa (pari a 2 palmi romani) che comporta una pendenza leggera della rampa. Gli ordini si sovrappongono con l'interposizione di un fregio alto 1,1 m (pari a 5 palmi romani), costituito da due cornicioni, inferiore e superiore, in pietra e una fascia intermedia intonacata costruita con ricorsi orizzontali di mattoni. Il cornicione superiore si allinea con il piano

total grace. And he had made a model of it all, that they say was a marvellous thing, as can still be seen in the principle of such unfinished work. In addition to this he made a spiral staircase on columns that rise, which it is possible to ride up on horseback: the Doric order leads to the Ionic one and then to the Corinthian, and one leads on to the next: a thing carried out gracefully and with certain excellent artifice²¹.

It consists of a circular ramp with an open stairwell, supported by a helicoidal barrel vault.

This is inserted in a tower flanking the body of the Octagonal Courtyard building, on a square plan of side 11,44 m (equal to 52 Roman palms: 1 Roman palm equal to a 0.2234 m) and height equal to approximately 25 m (equal to 114 Roman palms) excluding the roof, with a series of 8 grand apertures that are arched at the top. The ramp, 2.2 m wide (equal to 10 Roman palms), is contained between an external circumference of diameter equal to 8,9 m (equal

to a 40 Roman palms), and an internal circumference, that delimits the stairwell, of diameter equal to 3 m (equal to 13 Roman palms). This is supported by a helicoidal barrel vault, geometrically defined as a rotation-translation surface, the generator of which (vertical section of the barrel vault) is a semi-oval that belongs to the plane of the axis. The geometry of the oval is given by the composition of four tangential arcs: two circumferences with a radius equal to 0,77 m (equal to 3,5 Roman palms) and two circumferences with a radius equal to 1,54 m (equal to 7 Roman palms). On one side the vault rests on the continuous wall of the tower and on the other side on continuous cornice supported by a series of 36 columns. In plan the columns are positioned, on the side of the stairwell, on a circular corona 0,77 m wide (equal to 3,5 Roman palms) divided into 8 sectors. To reach the top, at a height of approximately 21 m (equal to 95 Roman palms), the helix makes 4,5 complete turns. The columns were arranged vertically with the

superimposing of four orders, respectively from the base upwards: Tuscan, Doric, Ionic, and composite. Very probably the theoretical plan included the composition of five orders and thus the sequence is: Tuscan, Doric, Ionic, Corinthian and composite, even if it must be remembered that in Bramante's day the theory of the superimposing of orders was not yet well defined.

The sequence of the columns, lining the ramp from the base upwards, has eight Tuscan columns, eight Doric, eight Ionic and twelve composite. The difference in height between two flanking columns is approximately 0,44 m (equal to 2 Roman palms) that gives the ramp its gentle slope. The orders follow each other separated by a frieze 1,1 m high (equal to 5 Roman palms), consisting of two cornices, above and below, in stone and an intermediate plastered fascia built from horizontal layers of bricks. The upper cornice is aligned with the plane of the upper surface of the ramp, thus between the tops of the cornices or between two levels of pavement on

di calpestio della rampa, quindi tra gli estradossi dei cornicioni o tra due piani di calpestio sovrapposti la differenza di quota è pari a 3,75 m (pari a 17 palmi romani); mentre tra il piano di calpestio della rampa è l'intradosso della volta misurato in chiave, la distanza è pari a 3,52 m (pari a 16 palmi romani). La distanza tra l'intradosso del fregio e il piano di calpestio è costante per tutta l'elica e risulta pari a 2,66 m (pari a 12 palmi romani). Questa considerazione ci porta a riflettere sul principio di *proporzionamento* delle colonne secondo cui, essendo tutte inserite nella stessa altezza di interpiano, si assottigliano con legge proporzionale all'evoluzione in altezza e al relativo cambio di ordine architettonico. Questo consente di dimensionare le colonne con *imoscapo* corrispondente al sommoscapo della colonna sottostante, una volta stabilita la dimensione della prima colonna tuscanica posizionata all'ingresso della rampa.

L'intera opera è realizzata in mattoni

tranne i cornicioni descritti e le 36 colonne, le cui basi e capitelli sono di travertino chiaro ed i fusti in granito grigio (ad eccezione della trentaduesima colonna il cui fusto è di marmo grigio). De l'Orme ammira l'invenzione della cordonata continua, con la volta a botte sospesa tra il muro e le colonne isolate, ma fa notare che se l'Architetto avesse conosciuto i *traits* della geometria, di cui parla nei suoi scritti, avrebbe fatto tutto l'ordine inclinato, persino le basi e i capitelli, che invece ha disegnato ortogonali, come se avessero dovuto formare un portico rettilineo e lineare, facendo quindi ricorso a tal fine ad appositi cunei di pietra inseriti sotto le basi e sopra i capitelli. Contrariamente alla teoria dell'Alberti che associa sempre colonna–architrave e pilastro–arco, de l'Orme prevede l'utilizzo di archi sulle colonne che, in virtù dell'obliquazione del piano inclinato, si trasformano in archi rampanti ovviamente in pietra da taglio. Questi, opportunamente conformati, avrebbero rappresentato, secondo de l'Orme, la

the ramp one directly above the other the difference in height is equal to 3,75 m (equal to 17 Roman palms); whereas between the level of the pavement of the ramp and the intrados of the vault measured at the keystone, the distance is equal to 3,52 m (16 Roman palms). The distance between the intrados of the frieze and the plane of the pavement is constant along the length of the helix and is equal to 2,66 m (equal to 12 Roman palms). This consideration leads us to reflect on the principle of proportions of the columns according to which, all being inserted into the same height between floors, they become narrower proportional to the change in height and relative to the change in architectonic class. This makes it possible to measure the columns with a base diameter corresponding to the diameter at the top of the column below, after establishing the dimensions of the first Tuscan column positioned at the beginning of the ramp.

The entire work is made in brick, apart

from the cornices described and the 36 columns, the bases and capitals of which are in light travertine and the shafts in grey granite (with the exception of the thirty-second column, the shaft of which is in grey marble). De l'Orme admired the invention of the continuous ramp, with the barrel vault suspended between the walls and the free-standing columns, but noted that if the Architect had known the traits of geometry, which he spoke of in his writings, he would have made all the orders inclined, even the bases and the capitals, instead of having designed it orthogonally, as if he had to form a rectilinear and linear portico, and therefore having to resort to the use of suitable stone wedges inserted below the bases and above the capitals. Contrary to the theory of Alberti which always associated columns with architraves and pillars with arches, de l'Orme foresaw the use of arches on columns that, in virtue of the oblique to the inclined plane, were transformed into rampant arches obviously in cut stone.

Figura 22. Obliquazioni: ordine composito secondo la teoria di de l'Orme.
Skew transformations: Composite column according de l'Orme's idea.

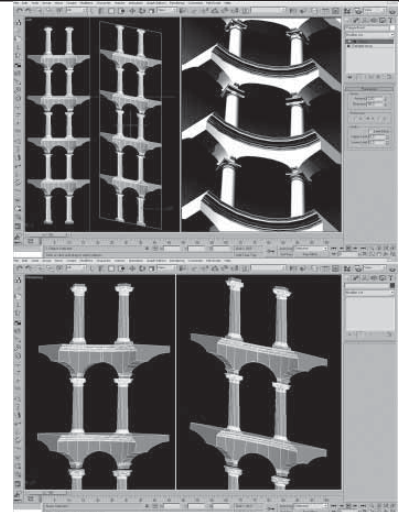
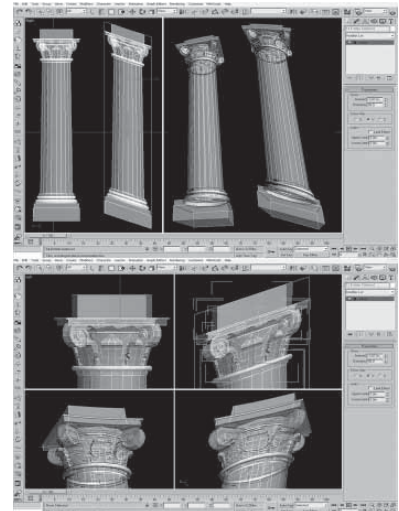


Figura 23. Obliquazioni: sequenze di colonne ed archi secondo la teoria di de l'Orme.
Skew transformations: columns' and arches sequences according de l'Orme's idea.

migliore risposta per la chiocciola sia dal punto di vista estetico che statico. L'*obliquazione dell'ordine* nella teoria di de l'Orme (v. Fig. 22 e 23) fu dunque conseguenza della perfezionata arte della stereotomia piuttosto che di considerazioni prospettiche come quelle che per esempio farà nel secolo successivo Caramuel al progetto berniniano per Piazza San Pietro.

La critica di de l'Orme va ad aggiungersi a tutte le altre suscitate dall'opera rivoluzionaria di Bramante, all'inizio non compresa da un ambiente professionale non ancora culturalmente pronto a recepire la nuova concezione universale dell'antichità classica ritrovata. Questa critica fu la prima rivolta al classicismo vitruviano nei confronti della teoria della proporzione degli ordini architettonici; e colpi al cuore della concezione classica rinascimentale italiana, anche se la sua natura fu tecnica piuttosto che ideologica.

Possiamo farci una concreta idea della contro-soluzione ipotizzata da de l'Orme per la chiocciola del Belvedere,

ricorrendo a due esempi in cui compare l'ordine architettonico *deformato*: da una parte le due scale a chiocciola che egli realizzò ne *le Jubé* in Saint-Etienne-du-Mont a Parigi; e dall'altra al disegno per una scala elicoidale custodito al Louvre, e a lui attribuito.

Si tratta evidentemente di due modi, quello italiano e quello francese, di vedere e intendere la statica e l'estetica dell'architettura che si andavano sempre più allontanando.

E' interessante ricordare che Vignola faceva una precisa distinzione tra ciò che era solo ornamento e poteva seguire liberamente il disegno geometrico; e ciò che era struttura e doveva mantenere, anche visivamente, la sua funzione statica. Per gli Italiani dunque alla linea verticale del filo a piombo si doveva contrapporre la linea orizzontale di terra. Una distinzione che evidentemente non entrava nella logica di de l'Orme, abituato per formazione culturale a leggere la deformazione obliqua come una peculiarità e non un difetto dell'architettura.

Una peculiarità che consentiva di affrontare in maniera virtuosistica tutte le difficoltà:

[La chiocciola del Belvedere] sarebbe stata una bellissima occasione per fare una volta, non solo simile a quella di Saint-Gilles, ma ancora più sorprendente, accompagnata da ornamenti e modanature tutti rampanti, e sarebbe stata cosa impareggiabile: quando si sarebbe visto girare e contorcersi, penso che l'opera si sarebbe mostrata superba e difficilissima da realizzare²².

Pertanto, ancora una volta, il valore estetico di un'opera, secondo de l'Orme, è direttamente correlato alla sua complessità e alla sua cristallina risoluzione geometrica.

Secondo de l'Orme più un'opera era difficile da costruire, più era degna di essere ammirata.

In base a queste considerazioni è facile comprendere perché de l'Orme criticasse la chiocciola bramantesca, e perché si dolesse che molte belle opere francesi, nelle quali era possibile riscon-

Arranged opportunely these would have represented, according to de l'Orme, the best solution for the spiral staircase both from an aesthetic and static point of view.

The *slanting of the orders* in the theory of de l'Orme (see Fig. 22 e 23) was therefore a consequence of perfecting the art of stereotomy rather than considerations of perspective such as those that would be made by Caramuel in the following century in the Berninian project for Piazza San Pietro.

The complete geometric-constructive mastery of architecture was thus at the base of Delormian criticism; mastery acquired through an extremely intense apprenticeship that he had in Italy at the centre of excellence. One of the very first works of the young de l'Orme was the first Gothic-Renaissance hybrid that benefited from Italian influence.

We can get a concrete idea of the counter solution hypothesised by de l'Orme for the spiral staircase of the Belvedere by referring to two examples in which the *deformed* architectonic

order appears: firstly the two spiral staircases that he realised in *le Jubé* in Saint-Etienne-du-Mont in Paris; and secondly in the design for a helicoidal staircase kept in the Louvre, and attributed to him.

This obviously means that there were two ways, the Italian and the French, of seeing and understanding the statics and aesthetics of architecture, which were moving ever further apart.

It is interesting to remember that Vignola made a precise distinction between that which was only ornament and could freely follow geometric design; and that which was structure and had to maintain, also visually, its static function. For the Italians therefore the vertical plumb line had to be set against the horizontal line of the earth. A distinction that evidently did not enter into the logic of de l'Orme, who by his cultural training was used to reading oblique deformation as a peculiarity and not a defect of architecture.

A peculiarity that enabled him to confront all difficulties as a virtuoso:

[The spiral staircase of the Belvedere] would have been a beautiful opportunity to make a vault, not only similar to that of Saint-Gilles, but even more surprising, accompanied by ornaments and mouldings all rampant, and it would have been a thing without parallel: seeing its turns and contortions, I think the work would have shown itself to be superb and extremely difficult to realize²².

Thus the aesthetic value of the work, according to de l'Orme, was directly correlated to the complexity and to the crystalline geometric resolution of the same.

According to de l'Orme the more difficult a work was to construct, the more it deserved to be admired.

On the basis of these considerations it is easy to understand why de l'Orme criticised the Bramante spiral staircase, and why it hurt him that many of the beautiful French works, in which it was possible to encounter correct use of the *trait*, were completely ignored:

trare un corretto uso del *trait*, fossero completamente ignorate:

*Nous avons une infinité de beaux traits en France, desquels on ne tient aucune compte, pour ne les entendre, & qui pis est, l'on ne se soucie gueres de chercher l'excellence & beauté des œuvres*²³.

Questa scala di valori estetici era ovviamente tipica di una cerchia di architetti strettamente legati al fare costruttivo (soprattutto francese) e non corrispondeva agli ideali della cultura italiana, dove la stereotomia rimase praticamente sconosciuta, fino alla comparsa di Guarino Guarini che, come si è detto, in maniera solitaria operò in relazione osmotica col mondo francese.

L'arte del tracciato geometrico o della stereotomia sviluppata da de l'Orme è in sostanza una proiezione ortogonale applicata agli elementi dell'architettura. I casi in cui tale tecnica proiettiva si rendeva necessaria erano quelli che prevedevano la realizzazione di specifici

elementi in pietra dalla forte complessità volumetrica. Tali elementi erano frequenti negli impianti radiocentrici, nei raccordi tra due o più corpi di fabbrica diversamente orientati e soprattutto nelle scale; tutti casi in cui la difficoltà architettonica andava affrontata secondo de l'Orme con la dovuta logicità geometrica.

Un vero apparato architettonico capace di risolvere, con dignità estetico-costruttiva, complesse problematiche progettuali.

*Ciò che rende difficile tale cosa, è l'artificio [da compiere] sulle pietre da taglio che si trovano spianate, distorte e di diverse figure e forme per farle giungere convenientemente alle opere, come richiesto*²⁴.

La tanto sottile quanto sostanziale differenza che intercorre tra un'opera stereotomica propriamente detta ed un'opera lapidea generica consiste in almeno due nodi critici sostanziali:

— il perfetto *controllo geometrico del-*

l'opera in fase sia progettuale che nell'esecuzione degli elementi;

— la forte *aderenza ai canoni geometrici* che assurgono a categoria assoluta del pensiero progettante.

Se applichiamo questi concetti alla chiocciola del Bramante notiamo che il controllo esecutivo dell'opera in alcuni suoi punti critici, per esempio la realizzazione della cordonata elicoidale, è carente. Tale elemento architettonico in "torsione", nella logica stereotomica, si realizza con la successione di conci lapidei costruiti tramite il metodo *calibre rallongé* che prevede il taglio del concio lapideo controllandone la doppia curvatura spaziale per mezzo dei pannelli di sviluppo dello stesso. Nel caso della chiocciola bramantesca questo elemento viene facilmente risolto con una successione di cornicioni a semplice curvatura, disposti su piani inclinati. In secondo luogo, nella logica stereotomica, la forte aderenza ai canoni geometrici richiede che al piano inclinato di un impianto circolare corrisponda l'ordine architettonico inclinato (obli-

*We have an infinity of traits in France, which we do not take into account in any way, not understanding them, and what is worse, we do not worry at all about seeking the perfection and beauty of the work*²³.

This scale of aesthetic values was clearly typical of a circle of architects strictly linked to construction (mainly French) and did not correspond to the ideals of Italian culture, where stereotomy remained practically unknown, until the appearance on the scene of Guarino Guarini who usually operated osmotically with the French world.

The art of geometric layout or stereotomy developed by de l'Orme is in substance an orthogonal projection applied to the elements of architecture. The cases in which this projective technique became necessary were those which involved the realization of specific elements in stone with high volumetric complexity. These elements were frequent in radiocentric structures,

in oblique junctions between two differently orientated bodies and especially in stairs. All of which are cases where the architectonic difficulty should be dealt with according to de l'Orme with the due geometric logic: a real architectonic apparatus capable of resolving, with aesthetic-constructive dignity, complex design problems.

*What makes the art of cutting stones difficult, is the skill of producing them in different shapes with generally non parallel faces, so they fit together perfectly*²⁴.

The subtle yet substantial difference between proper stereotomic work and general stone work consists of at least two critical substantial nodes:

— the perfect *geometric control of the work* both in the planning phase and in the execution of the elements;
— the strong *adherence to geometric canons* that reaches the absolute category of the planning thought process.

If we apply these concepts to the spiral staircase of Bramante we note that the executive control of the work is lacking in some of its critical points, for example the realization of the helicoidal ramp. Such an architectonic element in "torsion", in stereotomic logic, is realized with a succession of hewn stones using the *calibre rallongé* method that involves the cutting of the stones checking the double spatial curvature by means of development panels of the same and not, as in the case of the Bramante spiral staircase, with a succession of simply curved cornices, arranged on inclined planes. Secondly, in stereotomic logic, the strong adherence to geometric canons requires that the oblique and radial architectonic order corresponds to the inclined plane of a circular structure as stated above. In the Bramante spiral staircase the convergence at the centre of the architectonic class is respected (the bases and the abacus of the columns converge at the centre), the obliqueness of the architectonic order

quo) e radiocentrico come si è già detto. E nella chiocciola di Bramante se la convergenza al centro dell'ordine architettonico è rispettata (le basi e gli abachi delle colonne convergono al centro), l'obliquità dell'ordine architettonico non viene nemmeno presa in considerazione, né lo può dato che questa maggiore "coerenza" geometrica avrebbe assegnato all'opera una insopportabile instabilità visiva.

note:

1. P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, cit. (nota 5 cap. 1), L. III, cap. VIII, f. 67 r (L'artificio dei tracciati geometrici, da utilizzare, quando si vuol fare di una casa, o di due mal impostate, — siano vecchie logge, o altro — una bella e perfetta costruzione, sia ordinando tutte le membra, che le parti del vecchio edificio con il nuovo. Questo mi sembra il momento più opportuno per meglio illustrare l'utilizzo dei traits geometriques, e mostrare la comodità che li accompagna, al fine di evitare le imperfezioni in cui possiamo incorrere qualche volta: e pure per accomodare le vecchie logge con le nuove, o quelle che si potranno fare, e quelle la cui opera ne richieda perfezione, bellezza e decorazione).
2. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française, XVI^{ème}, XVII^{ème}, XVIII^{ème} siècles*, cit. (nota 7 cap. 2), pp. 93—94.
3. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. II, f. 91 r (lo definii il trait ed inventai il metodo nell'anno 1536, per mezzo e con l'aiuto della Geometria e grande lavoro d'intelletto; del quale lavoro non mi lamento ma piuttosto lodo Dio grandemente, visto che da un solo trait, e con un solo esempio di trompe, si possono fare tutte).
4. P. POTIÉ, *Philibert de l'Orme, figures de la pensée constructive*, Marseille, 1996.
5. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. I, f. 90 v (Ho fatto queste opere nel 1536, al mio ritorno da Roma e dal viaggio in Italia che ho fatto per i miei studi sull'Architettura. Le due trompe furono fatte per il generale di Bretagna, Monsieur Billau, in Rue de la Juiverie a Lione). Per l'opera lionese si consulti: D. BONNET SAINT-GEORGES, *Philibert de l'Orme lyonnais, Les dossier des Archives Municipales 5*, Lyon 1993; J. SALMON, J.L. SCHEFER, *8 rue Juiverie — la lumière élargie*, Lyon 1989.
6. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. I, f. 90 v (Tempo fa, a Lione, ho anche progettato e diretto i lavori di due altre trompe, molto più grandi e difficili, dato lo spazio angusto dove sono poste; e se una è rampante, ribassata e tondeggiante sul davanti, l'altra, all'angolo opposto, è rotonda sul davanti e di gran mole. Su ambedue furono eretti dei cabinet, raccordati da gallerie da una trompe all'altra: il tutto

was not even taken into consideration, nor could it have been, since this greater geometric "coherence" would have given the work an unbearable instability to his eye, educated by classical architecture.

note:

1. P. DE L'ORME, *Le premier tome de l'architecture*, cit. (nota 5 ch. 1), L. III, cap. VIII, f. 67 r.
2. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'architecture à la française, XVI^{ème}, XVII^{ème}, XVIII^{ème} siècles*, cit. (nota 7 ch. 2), pp. 93—94.
3. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. II, f. 91 r.
4. P. POTIÉ, *Philibert de l'Orme, figures de la pensée constructive*, Marseille, 1996.
5. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. I, f. 90 v.
6. See: D. BONNET SAINT-GEORGES, *Philibert de l'Orme lyonnais, Les dossier des Archives Municipales 5*, Lyon 1993; J. SALMON, J.L. SCHEFER, *8 rue Juiverie — la lumière élargie*, Lyon 1989.
7. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. I, f. 90 v.
8. Ivi, f. 89 r.
9. A.F. FRÉZIER, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois...*, cit. (nota 3 ch. 3), 1 tome.
10. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. I, f. 89 r.
11. *Ibidem*.
12. P. POTIÉ, *op. cit.*, pp. 99—100.
13. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. I, f. 88 v.
14. *Ibidem*.
15. Ivi, L. IV, cap. II, ff. 90 r—91 v.
16. F. PONTE Y BLANCO, *Tratado práctico de Este-reotomia, aplicaciones al corte de piedras, maderas y hierros*, La Coruna 1921.
17. P. POTIÉ, *op. cit.*, p. 101.
18. Part of this study is available in: C. D'AMATO GUERRIERI, G. FALLACARA, *Helicoidal Construction Geometry and Oblique Architectural Arrangement. The Spiral Staircase of the Belvedere and the Argument between de l'Orme and Bramante: Digital Models Compared*, in: *Proceedings of Second International Congress on Construction History*, Cambridge 2006, pp. 903—915.
19. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. XIX, f. 123 v.
20. Ivi, f. 124 r.
21. G. VASARI, *Le vite*, Firenze 1550.
22. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. XIX, f. 124 r.
23. *Ibidem*.
24. *Ibidem*.

sospeso in aria, per poter collegare un corpo dell'edificio all'altro e ricavare dei cabinet per le stanze. La qual cosa rende questi due spazi robusti e comodi, che altrimenti sarebbero disposti a sproposito e scomodi per non poter costruire, a causa della corte che è molto stretta e lunga).

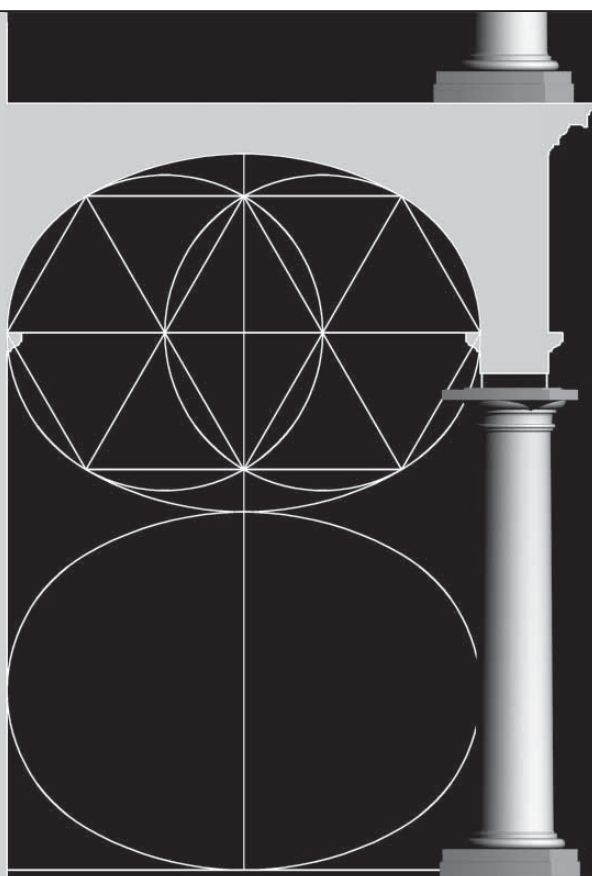
8. Ivi, f. 89 r (Ma molti potrebbero domandarsi cosa io voglia intendere quando parlo di *trompe*, dato che è un termine usato solo dagli addetti ai lavori, e pertanto conosciuto da poche persone e da nessuno dei nuovi costruttori. Perciò voglio ben chiarire, e avvertire il Lettore, che probabilmente il nome *trompe*, che noi usiamo qui, deriva, o meglio è usato, dalla similitudine della struttura con la tromba, chiamata in molti paesi "trompe". Poiché l'una e l'altra sono larghe sul davanti richiudendosi all'interno in forma di volta).
9. A.F. FRÉZIER, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois...*, cit. (nota 3 cap. 3), 1 tomo.
10. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. I, f. 89 r (Tutte le volte si possono fare in forma di trompe e tutte sospese in aria, senza avere sostegni

al di sotto, a parte i due muri che formano l'angolo; il tutto seguendo un unico tracciato geometrico).

11. *Ibidem* (Sulla volta a trompe che ho progettato e fatto eseguire al castello di Anet, per portare un cabinet unito alla camera dove soggiornava sua Maestà Re Enrico... e mi sembrò essere idea molto buona di fare una volta sospesa nell'aria, per poter comodamente trovare lo spazio per collocare il cabinet).
12. P. POTIÉ, *op. cit.*, pp. 99—100.
13. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. I, f. 88 v (e in grado di far pensare sul come la natura del trait possa condurre ad uno svolgimento così strano).
14. *Ibidem* (che ho voluto fare in forma strana per rendere la trompe più difficile e bella a vedersi).
15. Ivi, L. IV, cap. II, ff. 90 r—91 v (Se questi [i muri] mi avessero dato affidamento, io l'avrei fatta lunga nel suo mezzo AD, anziché dieci o dodici piedi, almeno venti ventiquattro... Ebbene, su essa ho eretto un *cabinet*, del quale sono molto orgoglioso, dato che ancora oggi non è possibile vedere altrove oggetti a sbalzo così

grandi).

16. F. PONTE Y BLANCO, *Tratado práctico de Este-reotomia, aplicaciones al corte de piedras, maderas y hierros*, La Coruna 1921.
17. P. POTIÉ, *op. cit.*, p. 101.
18. Parte del presente studio è stato pubblicato in: C. D'AMATO GUERRIERI, G. FALLACARA, *Helicoidal Construction Geometry and Oblique Architectural Arrangement. The Spiral Staircase of the Belvedere and the Argument between de l'Orme and Bramante: Digital Models Compared*, in: *Proceedings of Second International Congress on Construction History*, Cambridge 2006, pp. 903—915
19. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. XIX, f. 123 v.
20. Ivi, f. 124 r.
21. G. VASARI, *Le vite*, Firenze 1550
22. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. XIX, f. 124 r.
23. *Ibidem* (Abbiamo un'infinità di *traits* in Francia, dei quali non si tiene alcun conto, non capendoli, e quel che è peggio, non ci si preoccupa affatto di cercare la perfezione e la bellezza delle opere).
24. *Ibidem*.



Concezione topologica della stereotomia

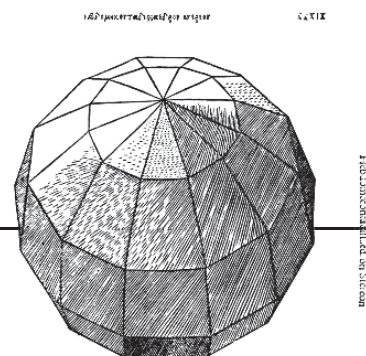
Topological idea of stereotomy

5

5. Concezione topologica della stereotomia

In luogo di specifiche apparecchiature, i concetti di un sistema voltato di natura stereotomica possono essere solidi molto complessi, descrivibili come involuppo e assemblaggio di superfici. Il ruolo del *trait géométrique*, è, quindi, quello di descrivere, disegnare e ottimizzare sul piano, luogo fisico di massimo controllo grafico, queste superfici. L'impianto scientifico della disciplina stereotomica assimila e implementa le categorie tecniche vitruviane, che vengono strutturate nel lavoro di Frézier in: *tomomorfia* (studio delle curve ottenute come sezioni di solidi mediante superficie piana o curva), *tomografia* (rappresentazione delle curve su superfici piane o curve), *stereografia* (rappresentazione, sviluppo e misurazione: iconografia/ortografia, epipedografia, goniografia) e *tomotecnica* (determinazione delle sezioni più convenienti al taglio dei materiali da costruzione). Le superfici non sempre sono sviluppabili: ad esempio, le superfici di rivoluzione (ad esclusione dei coni e dei cilindri) o da queste derivate o, in gene-

rale, le superfici a doppia curvatura non possono essere riportate sul piano in vera forma. La stereotomia ci permette, con opportune approssimazioni, di poter descrivere e, quindi, sviluppare sul piano anche superfici a doppia curvatura. La sfera, per esempio, può essere immaginata come una superficie non continua, bensì realizzata come un insieme di facce piane oppure di superfici coniche disposte nei paralleli o, ancora, come un insieme di superfici cilindriche disposte nei meridiani. Indi, una superficie sferica, per diventare una cupola o una volta a vela di natura stereotomica, deve essere *discretizzata* in piani, coni o cilindri, ovvero in superfici sviluppabili (v. Fig. 24–26).



Septentogonum Bala. m Solidum

Figura 24. Fra' Luca Pacioli: raffigurazione di un solido a settantadue facce.
Fra' Luca Pacioli: representation of a 72 face solid.

Topological idea of stereotomy

Instead of specific bond, the ashlar of a stereotomic vaulted system can be very complex solids, a sort of envelope and assembled surfaces. Indeed the role of the *trait géométrique* is to describe, draw and optimize such surfaces on the plane (which is the physical place of highest control). The scientific system of stereotomic discipline takes and improves Vitruvian technical categories divided, according to Frézier's work, into: *tomomorphy* (study of curves obtained like solid sections through flat or curve surfaces), *tomography* (representation of curves on flat or curve surfaces), *stereography* (representation, development and measuring: iconography/orthography, epipedography and goniography) and *tomotecnica* (determination of most convenient sections for building materials cutting).

It is not always possible to develop surfaces. For instance, we cannot transfer on the plane, with their real shape, neither revolution surfaces (except for conics), nor their results, not even dou-

ble curve surfaces in general.

Stereotomy allows us to describe and develop on the plane even double curve surfaces, with appropriate approximations.

A sphere can be thought of as a non-continuous surface, but created as a set of flat faces or conic surfaces within parallels, as well as a set of cylindrical surfaces within meridians. Thus, to turn a spherical surface into a cupola or into a bohemian vault of stereotomic nature, we must section it in plans, a cone or a cylinder, or in any developable surface (see Fig. 24–26).

È importante rimarcare a tal proposito che il problema della restituzione piana di una sfera rappresentava una questione centrale tanto per l'arte del taglio delle pietre che per l'arte della navigazione. In quest'ultimo caso la scoperta dell'America aveva apportato, come è noto, una nuova immagine del mondo e di conseguenza la sua restituzione per mezzo del planisfero. Nelle rispettive applicazioni grafiche, il tracciato geometrico e la cartografia, vengono addotte soluzioni simili ad un problema irrisolvibile per mezzo della geometria: rappresentazione piana della sfera, ovvero la figura che riproduce tanto la

superficie terrestre quanto una famiglia di spazi voltati. Risulta evidente dall'analisi della specifica trattatistica che, da de l'Orme a Vandelvira sino al XIX secolo, tale tecnica abbia rappresentato il mezzo indiscusso per la progettazione e costruzione di gran parte degli spazi voltati e cupolati, in pietra e in legno, sia in Francia che Spagna: paesi in cui si è raggiunto il massimo sviluppo della disciplina in oggetto (v. Fig. 27). Lo sviluppo sul piano di una superficie spaziale (ad esempio l'intradosso di un filare di conci costituenti una cupola) è il mezzo necessario per la costruzione

fisica della stessa. La nota tecnica di taglio dei conci di un sistema voltato per mezzo di *panneaux* (sagome di cartone) e *biveaux* (modani) consiste esattamente nella realizzazione di pannelli flessibili, rappresentanti lo sviluppo sul piano della superficie spaziale (ad esempio lo spicchio di una cupola), che vengono piegati sul blocco lapideo opportunamente lavorato al fine di trasferirne su di esso il contorno della superficie del concio. I modani servono al controllo degli angoli tra le varie facce del concio ed alla restituzione dell'esatta curvatura dello stesso (v. Fig. 28 e 29). Siamo giunti ad un primo nodo critico. Il concetto di "piegatura" è un tipico concetto topologico per cui un foglio di carta disteso ed uno arrotolato per formare una superficie cilindrica, dal punto di vista topologico, sono equivalenti. Si realizza, quindi, un omeomorfismo tra il rettangolo piano e il cilindro. Se procediamo piegando teoricamente il cilindro, otteniamo una superficie torica che è topologicamente equivalente al cilindro e, di conseguenza, al ret-

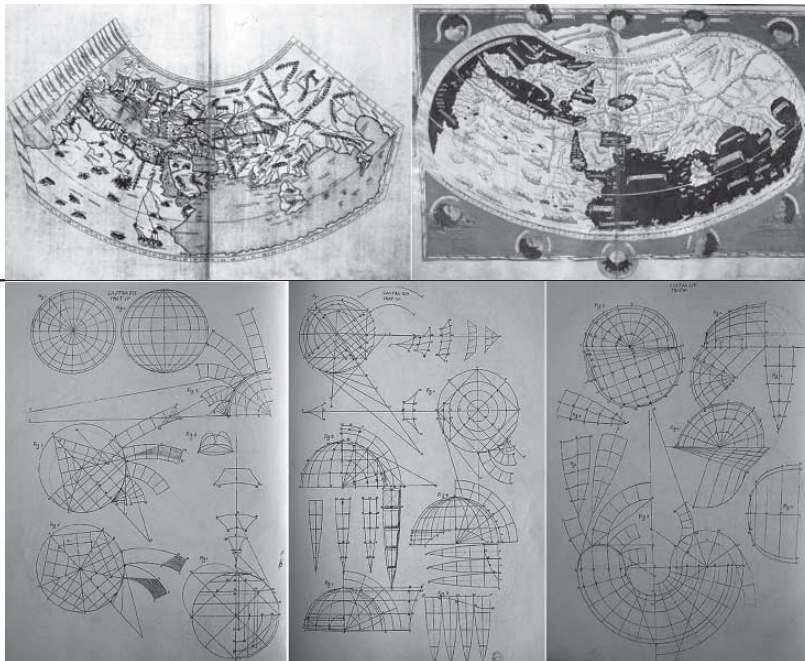


Figura 25. Planisfero tolemaico in prima e seconda proiezione e sviluppi di superfici di G. Guarini a confronto.
Comparison between Ptolemaic planisphere in first and second projection and surfaces development of G. Guarini.

As for this, it is focal to point out that the question of the rendering of a sphere on a plane became a key matter for both the stone-cutting craft and for the art of navigation. In the latter case, as widely known, the discovery of America had brought about a new world-view and, as a consequence, its rendition by means of the planisphere.

In the relative graphic applications, the geometrical plan and cartography, similar solutions are applied to a task, which is unsolvable by using geometry: the plane representation of the sphere, that is the figure that represents both the surface of the earth and a family of vaulted spaces. The analysis of the specific treatises

shows that, from Delorme to Vandelvira, until the 19th century, such a technique represented the unquestioned means, in France and in Spain (countries where the greatest development of this discipline has been reached; see Fig. 27), to design and build the most of the vaulted and domed stone and wood spaces.

The development of a spatial surface on a plane — such as the intrados of ashlar line constituting a cupola — is necessary for its physical construction. Cutting ashlar of a vaulted system by using "panneaux" (development boards) and "biveaux" (moulds) technically lies in creating flexible panels, which represent the spatial surface development on a plane (such as a cupola section). They are folded on the appropriately worked bedstone in order to transfer on it the outline of the ashlar surface. Moulds are used to control the angle between ashlar faces and to give the right curve of the ashlar (see Fig. 28 and 29). We have reached a first critical point. The concept of "folding" is a typical

tangolo di partenza. Si realizza quindi una corrispondenza biunivoca tra una superficie piana ed una spaziale. Una trasformazione topologica, o “omeomorfismo”, di una figura A in un'altra A' è determinata da una corrispondenza $p-p'$ tra punti p di A e i punti p' di A' (biunivoca e continua). Se supponiamo che una figura sia costituita da un sottile foglio di gomma o disegnata su di esso, e che poi si deformi contorcendo il foglio in tutti i modi possibili, senza lacerarlo, lo stato finale della figura, sarà, allora, un'immagine topologica dell'originale. La topologia pone, quindi, l'equivalenza tra una figura geometrica euclidea e la stessa figura deformata. Il nostro interesse risiede nella possibilità di analizzare quantitativamente i “modificatori” che conducono alla deformazione di una “figura” (e quindi di creazione della forma), evitando di perdersi all'interno di quei processi arbitrari di deformazione formale (tipici di gran parte del *blob* architettonico contemporaneo) che sfuggono dalla possibilità di “ripetizione” dell'atto creativo. In altri termini, il

“flusso” di azioni che conducono alla conformazione di uno spazio architettonico, per quanto complesso sia, deve poter essere descritto in maniera cristallina onde poterlo ripercorrere e quindi “ricostruire”.

Ritornando alla stereotomia, per la costruzione di una cupola, si realizzano i cartoni piani che creano la corrispondenza biunivoca con questa. È ovvio che, tra processi topologici e processi stereotomici, intendiamo qui solo analogie concettuali, in quanto, per definizione, la topologia è lo studio di quelle proprietà degli enti geometrici che non variano quando questi vengono sottoposti a una deformazione continua cioè ad una “trasformazione” della figura, per cui non sono consentiti strappi o lacerazioni. Se assumiamo, allora, dal punto di vista topologico, che l'unico concetto d'equivalenza fra le figure sia quello della “continuità”, dobbiamo sottolineare la differente natura matematica rispetto al processo stereotomico che, come abbiamo visto, è caratteriz-

topological concept according to which a flat paper and the same paper in cylindrical shape are equivalent, topologically speaking. Thus we get a homeomorphism between the flat rectangle and the cylinder. If we keep on theoretically folding the cylinder we get a toric surface which is topologically equivalent to the cylinder, and, consequently, to the starting rectangle. So we get a one to one correspondence between a flat surface and a spatial one.

A topological transformation, or “homeomorphism” of an A figure into another A' is determined by a (one-to-one and continuous) $p-p'$ correspondence between the p points of A and p' points of A' .

If we suppose a shape made with a thin gum sheet or drawn on it, and then deformed as we fold the sheet in every possible way, without breaking it, we'll get the original one topological shape. Topology creates the equivalence between a geometrical Euclidean shape and the deformation of the same shape. Our aim is to analyze the modifiers

quantitative analysis as they allow a shape to be deformed (and therefore to be created), without running into those arbitrary formal deforming processes (proper of that contemporary architectural *blob*) which inhibit the replay of a creative act.

In other words, the actions flow which brings us to the creation of an architectural space, even a hard one, has to be clearly described to allow us to repeat it and, therefore, to “reconstruct” it.

Returning to stereotomy, to build a cupola we have to construct flat panels which create the one to one correspondence with it.

We are obviously speaking about conceptual analogies between topological and stereotomic processes, as topology is the study of geometrical structures properties which do not change when the structures are subjected to continuous deformations that imply a transformation of the figure, where jerks or tears are not allowed.

So, if we assume that topological *continuity* is the only equivalence between

Figura 26. A. de Vandelvira, cupola a pianta ovale con intradosso decorato.

A. de Vandelvira, oval plant of a cupola with decorated intrados.

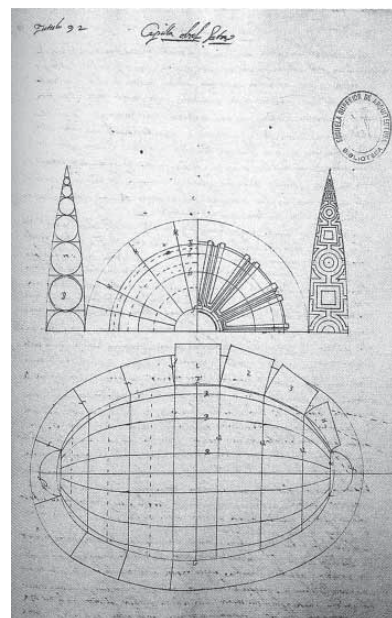
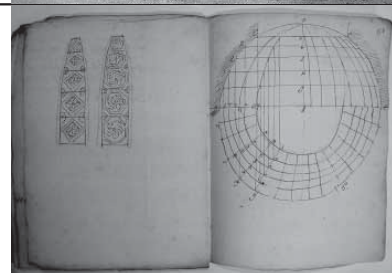


Figura 27. Pagine tratte dal manoscritto di P. De La Hire: sviluppo di una volta.

Pages from P. De La Hire's manuscript: development of a vault.

Figura 28. Fasi di lavorazione: taglio dei blocchi lapidei con tecnica del *biveau* e dei *panneau*.

Working stages: stone blocks cutting technique by bivaux and panneaux.



figures, we have to underline the different mathematical nature as for stereotomic process. Indeed, as we have seen, it is characterised by discontinuity and segmentation of the surface (approximation to planes, cylinders and cones). Topology, or according to H. Poincaré

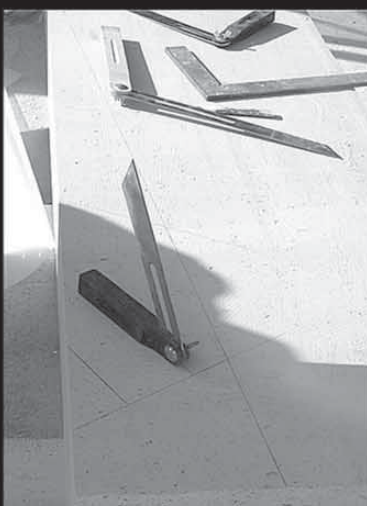
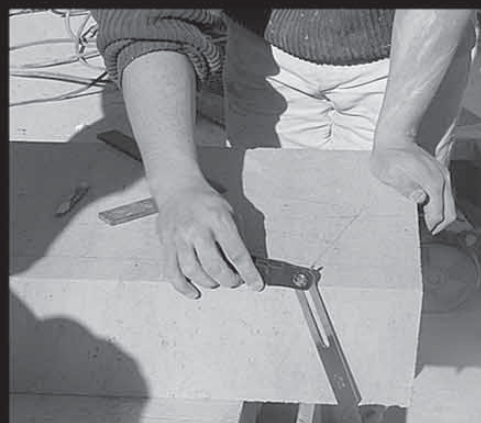
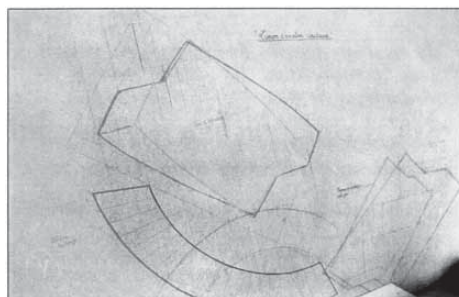
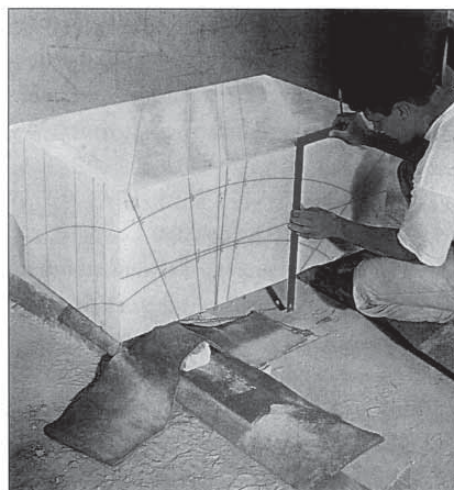


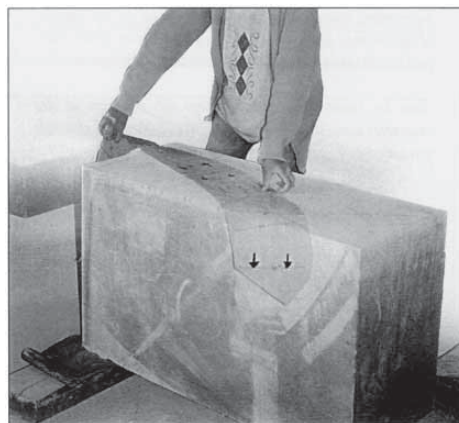
Figura 30. Tecnica infografica per la determinazione dei *panneaux* e dei *biveaux*.
Info graphic technique to determine *panneaux* and *biveaux*.



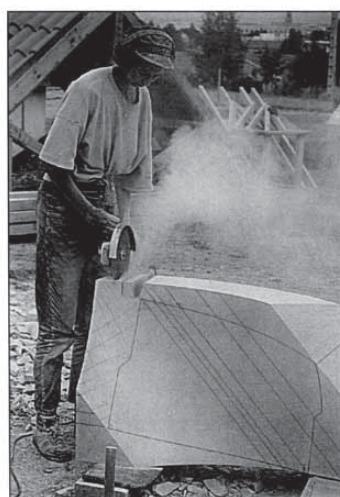
1- *L'épure.*



3- *Le tracé sur la pierre.*



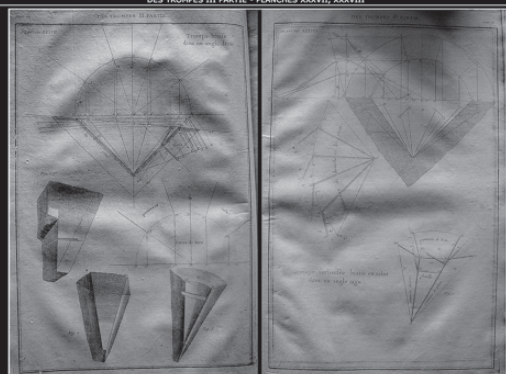
2- *Application des panneaux.*



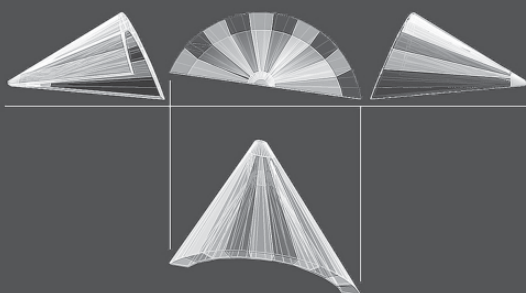
4 et 5- *La taille des faces.*

Figura 29. *Compagnons du devoir* al lavoro: taglio dei blocchi lapidei con tecnica del *biveau* e dei *panneaux*.
Compagnons du devoir at work: stone blocks cutting technique by *biveaux* and *panneaux*.

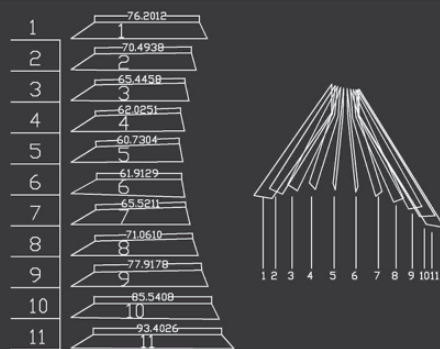
TROMPE BIAISE EN TALUS REMPANTE DANS UN ENCOIGNURE
 TRAITE' DE LA COUPE DES PIERRES DE JEAN BAPTISTE DE LA RUE, PARIS 1728
 DES TROMPES IIII PARTIE - PLANCHES XXXVII, XXXVIII



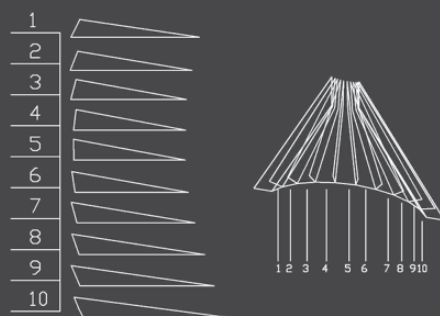
TROMPE BIAISE EN TALUS REMPANTE DANS UN ENCOIGNURE
 PROJECT



TROMPE BIAISE EN TALUS REMPANTE DANS UN ENCOIGNURE
 PANNEAUX DE JOINTS



TROMPE BIAISE EN TALUS REMPANTE DANS UN ENCOIGNURE
 DEVELOPEMENT DES DOUELLES PLATTES

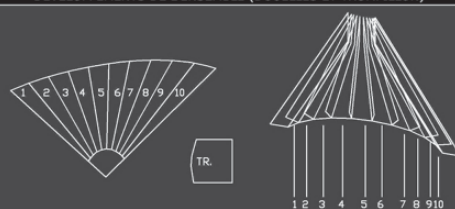


TROMPE BIAISE EN TALUS REMPANTE DANS UN ENCOIGNURE

A		B		C	
1	119°	1	71°(1) 111°(2)	1	90°(1) 106°(2)
2	104°	2	69°	2	89°
3	100°	3	76°	3	102°
4	99°	4	96°	4	93°
5	99°	5	84°	5	99°
6	102°	6	88°	6	96°
7	106°	7	92°	7	96°
8	112°	8	79°	8	100°
9	117°	9	101°	9	92°
10	123°	10	72°	10	102°
			108°		90°
			66°		105°
			114°		86°
			61°		108°
			119°		83°
			58°		108°
			122°		80°
			71°		111°
					80°
					112°
					101°

TROMPE BIAISE EN TALUS REMPANTE DANS UN ENCOIGNURE

DEVELOPPEMENTS DE L'ENSEMBLE (DOUELLES ET TROMPILLON)



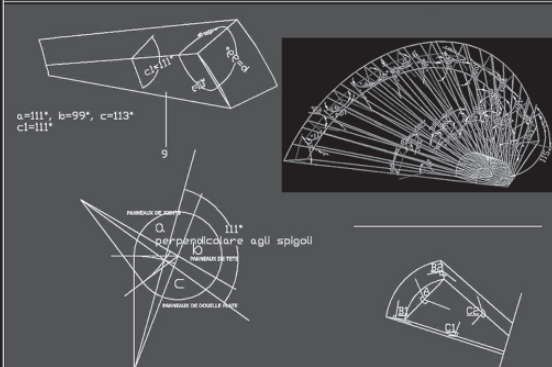
DEVELOPPEMENTS EN ANAMORPHOSE DU BLASON



PANNEAUX DE TETE



TROMPE BIAISE EN TALUS REMPANTE DANS UN ENCOIGNURE



TROMPE BIAISE EN TALUS REMPANTE DANS UN ENCOIGNURE

DEVELOPPEMENTS EN ANAMORPHOSE DU BLASON

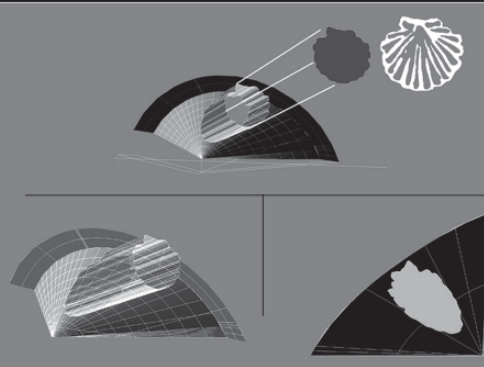




Figura 31. Variazioni sul tema: "nastro di Möbius".
Variations on the theme: "Möbius strip".

zato da discontinuità e discretizzazione della superficie (approssimazione a piani, cilindri e coni).

La topologia o, per dirla alla Poincaré, la “geometria delle figure elastiche” o del “foglio di gomma”¹, può concepirsi col senso del tatto: infatti, se immaginiamo il modello fisico di un oggetto topologico, possiamo scorrerlo con una mano senza incontrare soluzioni di continuità. Un sistema stereotomico, sia esso una volta o una cupola, viene realizzato attraverso una discretizzazione della continuità superficiale in un numero di poligoni piani che, in virtù del numero di suddivisioni, può restituire alla vista la percezione dell'esatta curvatura. Questa tecnica è anche nota, tra gli scalpellini, come metodo della *douelle plate*².

La superficie piana che passa per la corda dell'arco di una *doele*, o *douelle*, si chiama *doele plate* e rappresenta una fase di preparazione per la definizione di uno spazio voltato (v. Fig. 30). Una delle variabili che ci consente di parlare di continuità, e quindi di stereo-

tomia in senso topologico, è il numero di poligoni secondo cui è accettabile la “tassellatura” di una superficie curva. Da ciò deriva anche la qualità della superficie sviluppabile più vicina a quella teorica di uno spazio voltato.

L'interesse, e in gran parte anche il valore, della topologia dipende dal fatto che i suoi problemi e le sue leggi principali rimandano ad un contenuto immediatamente intuitivo³. Essi, perciò, ci danno direttamente un'idea dello spazio, che si presenta in primo luogo come campo nel quale si svolgono dei processi continui di trasformazione della forma. Questi sono aspetti qualitativi propri di quelle figure che rimangono invarianti rispetto a particolari trasformazioni. La topologia tratta di fatti geometrici che, per essere studiati, non esigono nemmeno i concetti “euclidei” di retta e di piano ma, unicamente, «l'esistenza di una connessione continua fra i punti di una figura»⁴.

La geometria euclidea è basata sui concetti di distanza e misurabilità, che sono più naturali dal punto di vista

antropologico: noi valutiamo, infatti, le distanze con gli occhi e questa possibilità ci rende estremamente naturale il concetto di misura⁵.

Nello sviluppo storico della scienza geometrica, i problemi topologici si presentano più tardi di quelli proiettivi e — precisamente — soltanto nel XVIII secolo, probabilmente sulla scia delle primissime formulazioni della geometria non-euclidea. Il primo lavoro che può essere considerato relativo alla topologia è attribuito ad Eulero che, nel 1736, pubblicò un articolo sulle soluzioni per il ponte di Königberg⁶ fornendo una dimostrazione matematica dell'impossibilità di trovare un tale percorso. Questo studio indica che Eulero stava teorizzando un nuovo tipo di geometria nella quale il parametro della distanza non era rilevante.

Le ricerche di Eulero aprirono la strada ai matematici successivi: Gauss, Listing, Poincaré, Brouwer che hanno condotto la topologia all'interno di molte altre discipline scientifiche⁷.

Gli oggetti fisici più conosciuti e signi-

“geometry of elastic figures”, or gum sheet¹, can be conceivable with the sense of touch: in fact, if we imagine the physical model of a topological object, we can pass a hand over it without finding interruptions.

A stereotomic system, both a vault or a cupola, is obtained by sectioning the continuous surface in a number of flat polygons which, according to the number of divisions, can show the perception of the exact curvature.

Among stonecutters this kind of technique is also known as *douelle plate* method². *Doele* or *douelle*, from Latin *dolium*, cask—stave of a cask metaphorically means the vault intrados.

The flat surface passing through the arch chord of a *doele* is called *doele plate*, and represents a preparatory phase in order to define a vaulted space (see Fig. 30).

The number of polygons which make acceptable the *plugging* of a curve surface, is one of the variable which allow us to speak of continuity, and therefore, of stereotomy in topological sense.

These facts determine the developable surface quality closer to the abstract surface of a vaulted space. The interest as well as the value of topology depends on the immediately evident content of its problems and principal rules³.

They give us immediately the sense of space firstly as an area where continuous shape changes take place. These are qualitative aspects proper of those *figures* which remain invariant as regards particular changes.

Topology deals with geometrical issues that, to be studied, do not even need Euclidean concepts of line and plane, but only «need the existence of a continuous connection between the points of a figure»⁴. Euclidean geometry is based on concepts of distance and measurability, which are more *natural* anthropologically speaking: we estimate distances by eye and this possibility makes the concept of measurement extremely natural to us⁵.

In the history of geometry, topological problems came later than the projec-

tive ones, that is in the 18th century, on the wake of the earliest formulation of non-Euclidean geometry. The first work relating to topology is attributed to Eulero who, in 1736, published an article about solutions for the Königberg bridge⁶. He gave a mathematic demonstration of the impossibility of finding such a route. That study indicates that Eulero was theorizing a new kind of geometry where the parameter of distance was not relevant.

Eulero's researches cleared the way for following mathematics: i.e. Gauss, J.B. Listing, Poincaré, Brouwer who drove topology into many other scientific disciplines⁷.

The most known and important *physical objects* in topology are the so called: “Möebius strip” and “klein bottle”: both due to the 19th century mathematics. They represent all the characteristics of topological surfaces as absolutely continuous surfaces, without any interruption, coming from transformation and deformation processes of a flat starting surface (see Fig. 31).

ficativi nel campo della topologia sono rappresentati dai cosiddetti “nastro di Möbius” e “bottiglia di Klein”: entrambi dovuti a matematici del XIX secolo. Essi figurano tutte le caratteristiche delle superfici topologiche in quanto superfici assolutamente continue, senza alcun tipo d'interruzione, derivanti da operazioni di *deformazione* e *trasformazione* di una superficie piana di partenza (v. Fig. 31).

Risulta interessante, a tal proposito, notare alcune affinità morfologiche di questi oggetti con alcuni elementi stereotomici come, ad esempio, i cosciali delle scale elicoidali, chiamati *limon* nella letteratura tecnica francese, che possono raggiungere elevatissimi gradi di complessità geometrica (v. Fig. 32 e 33).

È utile sottolineare che, dal nostro punto di vista, l'analisi morfologica, finalizzata alle relazioni tra topologia e stereotomia, risiede nella comparazione di famiglie di forme affini più che nella descrizione di singoli casi. Secondo questa chiave di lettura risultano ele-

menti *stereotomici affini* — dal punto di vista topologico — quelle forme dovute ad opportune variazioni o deformazioni geometriche di altre forme: archi/archi obliqui/archi rampanti, volte piane/volte a botte/volte a botte toroidali/volte a botte elicoidali, volte a botte/volte coniche/trompe... e così via. Va da sé che altri livelli di corrispondenza topologica nei sistemi stereotomici riguardano le

già note superfici sviluppate piane con le corrispettive superfici spaziali.

In questo ultimo caso, come avremo modo di vedere nel prosieguo della trattazione, è importante sottolineare l'interesse del metodo quando il sistema voltato possiede un notevole apparato decorativo o se l'apparecchiatura stessa presenta una complessa trama strutturale (v. Fig. 34 e 35).

90

It seems interesting to notice some morphological analogies between these objects and some stereotomic elements such as stringer of helicoidal stairs called *limon* in French technical literature which can achieve high geometrical complexity (see Fig. 32 and 33).

From our point of view morphological analysis, oriented to the relationships between topology and stereotomy, lies in the comparison between families of *similar shapes* more than in the description of individual cases.

According to this viewpoint, topologically speaking those shapes due to appropriate processes or geometrical deformations of other shapes (such as arches/oblique arches/flying buttresses, flat vault/tunnel vault/toroidal tunnel vault/ helicoidally tunnel vault, tunnel vault/conic vault/trompe... and so on) are *similar stereotomic elements*. Other kinds of topological correspondence in stereotomic system are obviously relating to already known surfaces developed with the corresponding spatial surfaces.

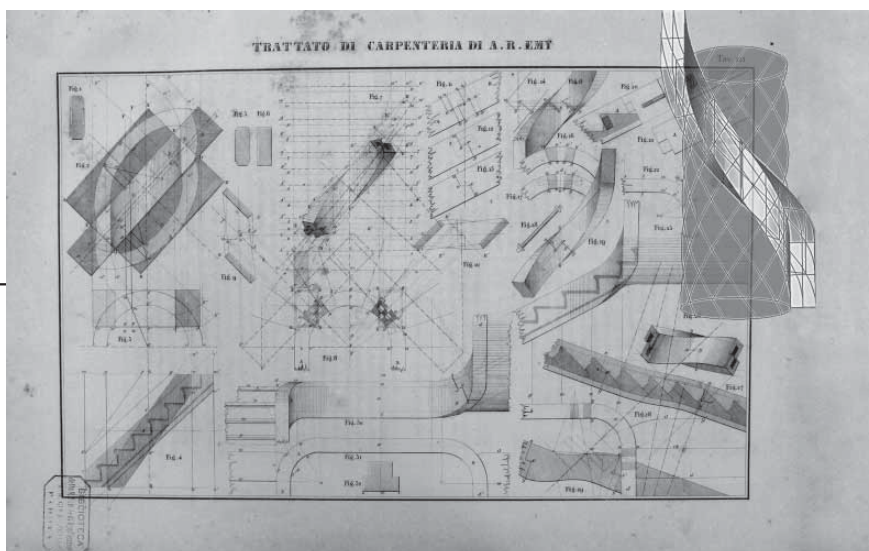
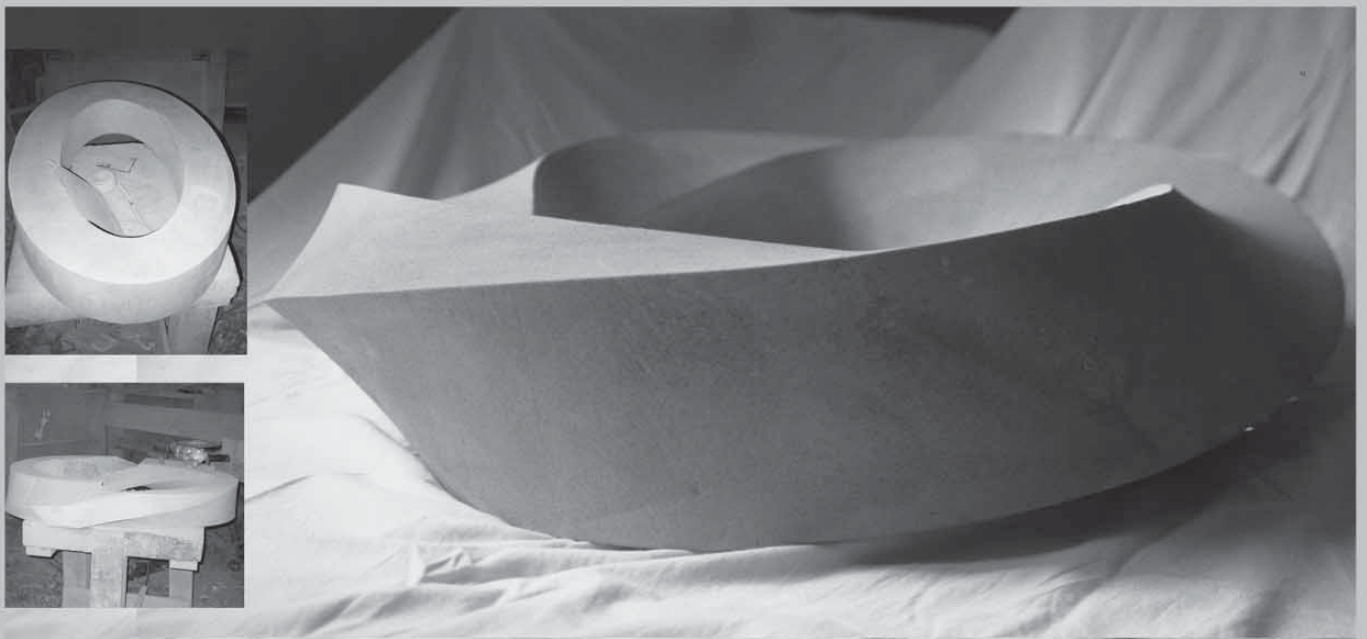
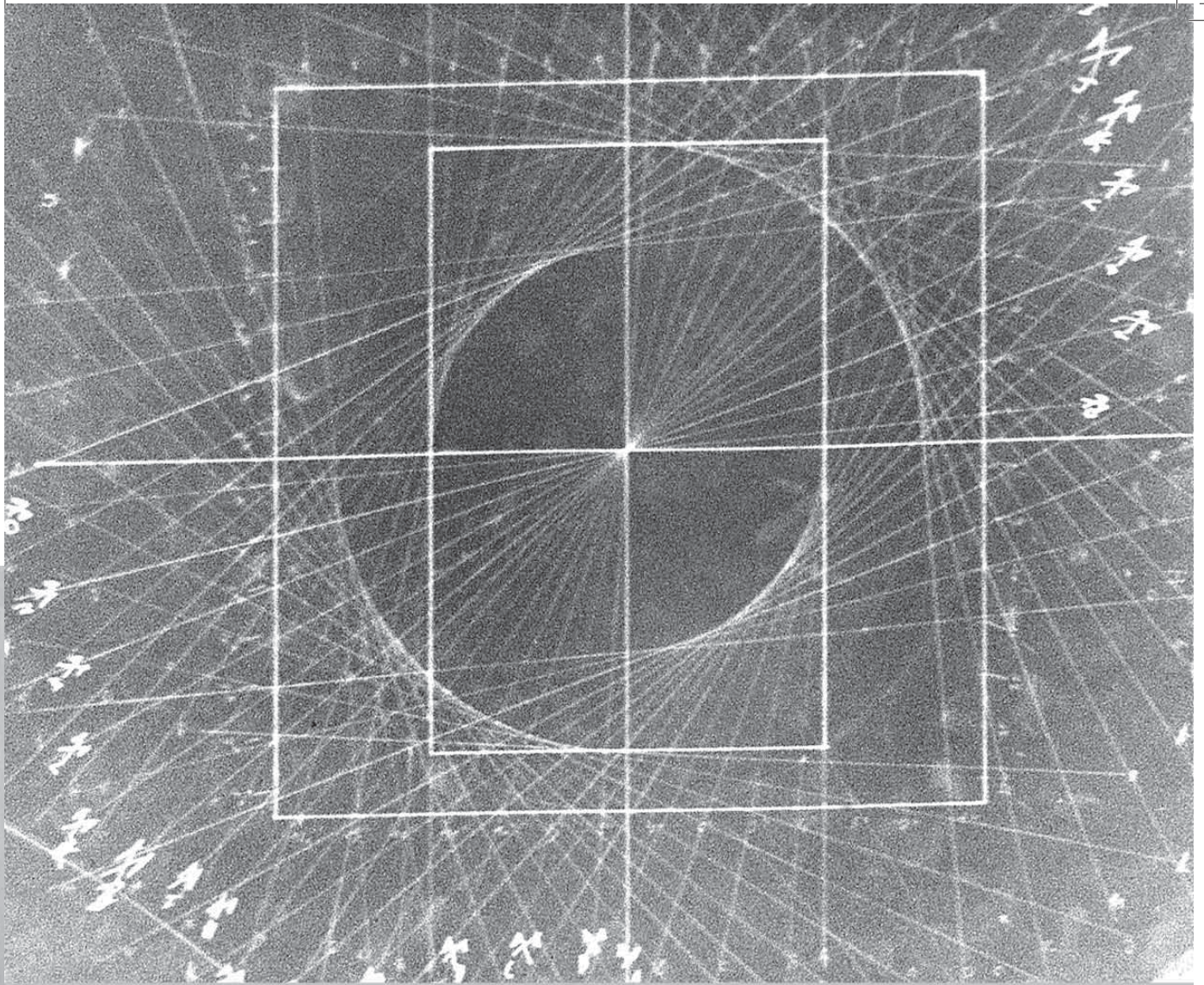


Figura 32. A.R. Emy, *Trattato dell'arte del carpentiere*: tracciati geometrici di cosciali elicoidali.
A. R. Emy, *Carpenter's art treatise: geometrical layout of helicoidal stringer*.

In this last case, as we will see afterwards, we have to focus on the importance of the method when the vaulted system gets an important decorative system or if the same bond shows a complex decoration (see Fig. 34 and 35).

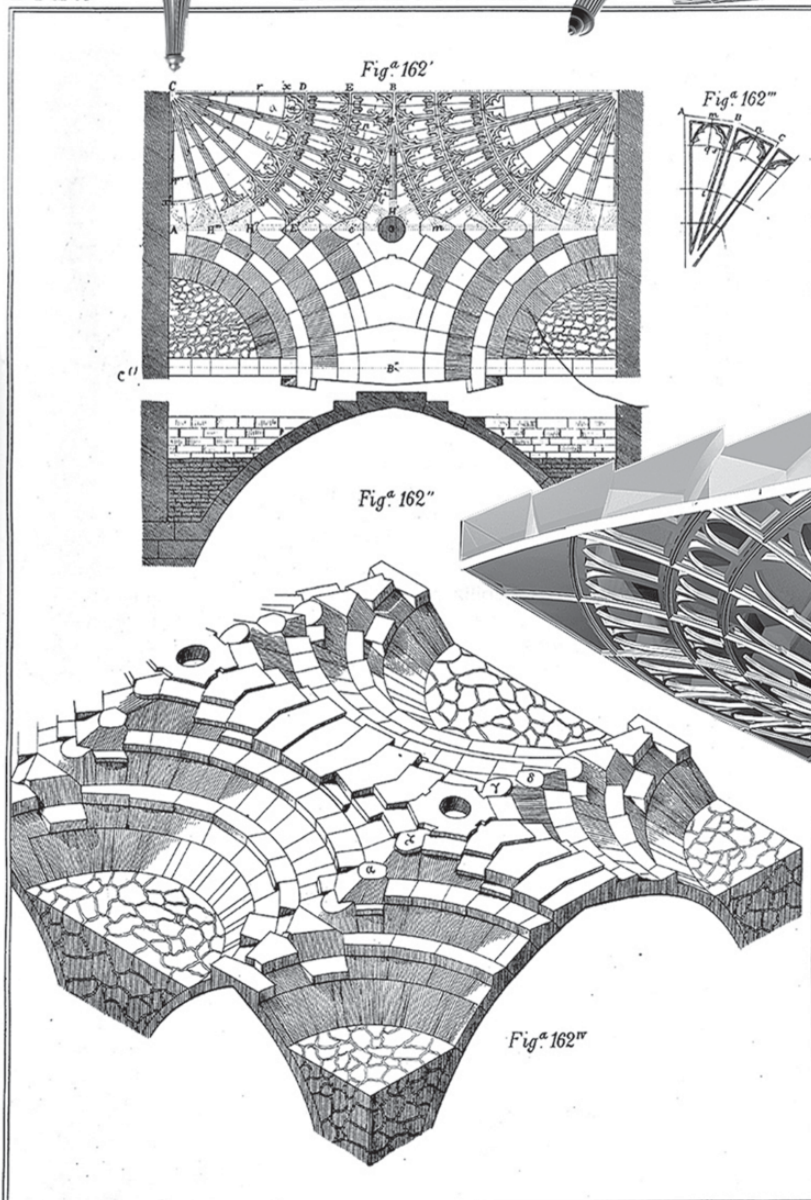
Figura 33. Révolution di Luc Tamborero: corona torsa su pianta ovale.

Luc Tamborero's *Révolution*: twisted corona on oval shaped plant.



2ª Parte

ESTEREOTOMIA



A. Rovira, *Palacio, etc.*

Bóvedas en abanico

L. Palencia, *grati*

Figura 34. Volta a ventaglio decorata.
Decorated "fan" vault.



Figura 35. Volta a ventaglio decorata.
Decorated "fan" vault.

note:

1. La topologia è anche nota come “la geometria del foglio di gomma” poiché esemplifica metaforicamente la possibilità di poter trasformare una figura disegnata su di un supporto malleabile e di poter operare su di esso alterazioni a piacere senza strapparlo o lacerarlo.
2. *Doele* (o *douelle*), dal latino *dolium* (botte, doga di una botte), identifica, per traslato, l'intradosso di una volta.
3. Si vedano, a tal proposito, gli studi sullo spazio topologico del celebre psicologo svizzero: J. PIAGET, *La rappresentazione dello spazio nel bambino*, Giunti Barbera, Firenze 1976.
4. Per approfondimenti, si vedano: P.S. ALEK-SANROV, *Topologia combinatoria*, Edizioni Scientifiche Einaudi, Torino 1957; D. HILBERT, S. COHN-VASSEN, *Geometria intuitiva e i primi fondamenti della topologia*, Boringhieri, Torino 1967.
5. <http://www.math.unifi.it/~caressa/math/topogeo.html>
6. L. EULERO, *Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis*, San Pietroburgo 1736.
7. La topologia, il cui etimo deriva dalla parola greca *topos* (luogo) è anche conosciuta come *Analysis Situ*, analisi della posizione. Tale denominazione proviene dal titolo del volume *Analysis Situ*, scritto dal matematico Francese Jules-Henri Poincaré e pubblicato nel 1895, con il quale viene riconosciuta la nascita ufficiale di quel ramo della matematica chiamato in seguito topologia. Il termine topologia fu usato per la prima volta nel 1847 da Listing nel titolo del suo libro *Vorstudien zur Topologie* (studi introduttivi alla topologia).

notes:

1. G. SEMPER, *Die vier Elemente de Baukunst*, Brunswick 1852.
1. Topology is even known as “gum folio geomeptry” as it metaphorically exemplify the chance to change a shape designed on a plastic support and to transform it without generatine tears or rips.
2. *Doele* (o *douelle*), from Latin *dolium* (barrel, barrel section), identifies the vault intrados.
3. See the famous Swiss psychologist J. Piaget's “studies about topological space”: *La rappre-*
- sentazione dello spazio nel bambino, Giunti Barbera, Firenze 1976.
4. For further knowledges see: P.S. ALEKSANROV, *Topologia combinatoria*, Edizioni Scientifiche Einaudi, Torino 1957; D. HILBERT, S. COHN-VASSEN, *Geometria intuitiva e i primi fondamenti della topologia*, Boringhieri, Torino 1967.
5. <http://www.math.unifi.it/~caressa/math/topogeo.html>
6. L. EULERO, *Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis*, San Pietroburgo 1736.
7. Topology comes from Greek *topos* (place), it is even known as *analysis situ*, that means position analysis. Such name comes from the French mathematician Jules-Henri Poincaré's book entitled *Analysis Situ*, published in 1895 which gave state recognition of that mathematic field after called Topology. The word topology has been used firstly in 1847 by Listing in his book *Vorstudien zur Topologie*.

Aggiornamento della stereotomia:
ipotesi e strumenti

Stereotomy updating: hypothesis and
tools

6

6. Aggiornamento della stereotomia: ipotesi e strumenti

La speculazione più importante del presente studio è il *procedimento*, che consiste nella deformazione di un sistema stereotomico e nello studio della sua conseguente alterazione. Otteniamo un nuovo sistema stereotomico che rappresenta il risultato conseguito sottoponendo il precedente, che chiameremo primitivo, ad una deformazione omogenea, funzione di una specifica variazione. In altre parole, riusciremo a comprendere la morfologia di un sistema stereotomico complesso immaginandolo come derivato da opportune variazioni di un sistema stereotomico semplice (v. Fig. 36).

In questo contesto risultano evidenti i riferimenti concettuali all'opera di W. D'Arcy Thompson¹, che, nel suo celebre libro *Crescita e Forma*, al capitolo "Teoria delle trasformazioni", fornisce una descrizione geometrica delle deformazioni che caratterizzano lo sviluppo morfologico degli esseri viventi. Queste deformazioni sono illustrate attraverso i famosi diagrammi delle trasformazioni basati sul sistema di coordinate carte-

siane che ricalcano gli studi di Albrecht Dürer nel suo *Trattato delle Proporzioni* (v. Fig. 37 e 38).

Si rende necessario, a tal proposito, sottolineare che gli ambiti entro cui lo studio risulta più efficace sono rappresentati da quei sistemi stereotomici in pietra e legno caratterizzati da una ricca trama decorativa coincidente con la trama strutturale (v. Fig. 39 e 40).

I saperi costruttivi che permettevano siffatte costruzioni, tanto ostici quanto necessari al *tailleur de pierre*, possono essere resi facilmente fruibili dagli studiosi della disciplina grazie all'evoluzione degli attuali software di modellazione tridimensionale di tipo parametrico-variazionale che consentono di controllare il processo di generazione e costruzione della forma senza alcun tipo di ambiguità.

Gli strumenti dell'analisi sono quindi unicamente informatici, perciò la forte affinità, concettuale e operativa, tra stereotomia e modellazione solida permette di trasformare i termini della dimostrazione da fisici a virtuali,

Stereotomy updating: hypothesis and tools

The object of this note is the *procedure* which consists in deforming a stereotomic system and studying its consequent alteration.

The new stereotomic system we get, represents the result we got submitting the other system (that we will call primitive) to a homogenous deformation, function of a specific variation.

In other words we will be able to understand the morphology of a *complex* stereotomic system supposing it proceeds from the appropriate processing of a *simple* stereotomic system (see Fig. 36).

Conceptual references to D'arcy Thompson's work seem clear in this context. In his famous book *Crescita e Forma* (*growing and shape*), in the chapter called "Theory of transformation", he gives a geometrical description of deformation typical of the morphological development of living beings. Such deformations are explained by the famous transformation diagrams based on a Cartesian coordinates system which follows Albrecht Dürer's studies

in his *Treatise about Proportions* (see Fig. 37 and 38).

It is useful to remember that our study is more effective if applied to those stone/wood stereotomic systems having a rich decorative texture coinciding with the structural one (see Fig. 39 and 40).

Such a difficult but useful knowledge for the *tailleur de pierre* (stone cutter) can be made easily accessible by the experts, thanks to the evolution of the existing three-dimensional modelling software which allows the shape-planning and shape-building process to be checked unambiguously.

Analysis tools are only information system-based. That is why there is a strong conceptual and operative affinity between stereotomy and solid modelling, which allows to change the terms of demonstration, from *physical* to *virtual*, returning a singular updating to our speculation.

Dematerialization process of the peculiar phases in the stereotomic construction process, as free from physical/ma-

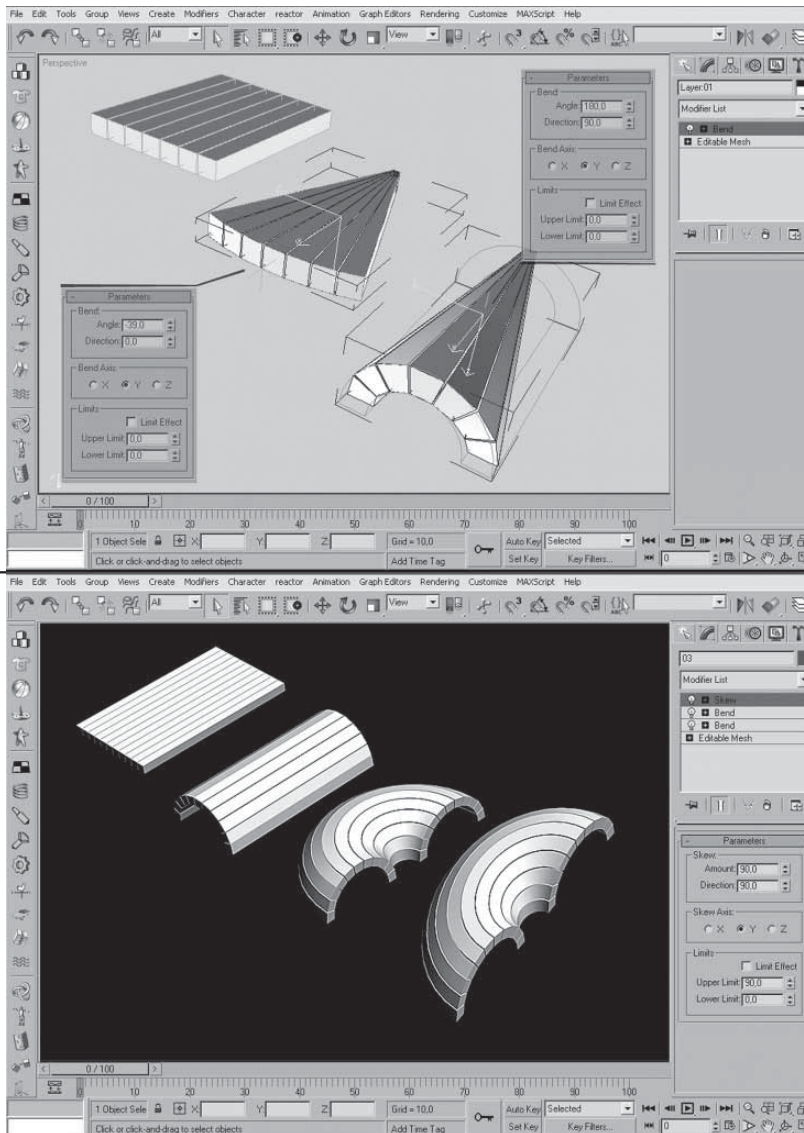


Figura 36. Trasformazioni e deformazioni di forme affini: trompe e volta anulare.
Transformations and deformations of similar shapes: trompe and ring shaped vault.

Updating of the stereotomy: hypothesis and instruments

restituendo singolari aggiornamenti alla speculazione disciplinare.

Il processo di “smaterializzazione” delle peculiari azioni di costruzione stereotomica, slegandosi dai vincoli fisico-materici, permette maggiore libertà riflessiva sulle analisi riguardanti lo spazio, la forma, la composizione volumetrica, la scomposizione in parti, l'apparecchiatura, la decorazione, la costruzione, il montaggio, la statica e la meccanica di corpi rigidi.

Bisogna in ogni caso tener presente che nelle operazioni di deformazione informatica, a causa dell'enorme potenzialità strumentale, è sempre presente il rischio della perdita del controllo formale che può facilmente degenerare in generiche ed incontrollate operazioni di *morphing* o spropositate metamorfosi plastiche lontane dal pensiero costruttivo della forma, di cui si sottolinea qui la fondamentale importanza.

Lo studio della forma può essere di tipo semplicemente descrittivo o qualitativo e può divenire analitico o quantitativo.

terial links, allows a greater freedom for the analysis of: space, shape, volumetric composition, de-composition in parts, bond, decoration, building, statics and mechanics of rigid bodies. Anyway we have to remember that with the deforming operation on pc, because of the huge potential of the instrument, it is always possible to loose the formal control that means to end up easily in generic and uncontrolled morphing operations or ruinous plastic metamorphosis, far from the constructive thought of the shape, which importance is, here, underlined.

The study of the shape can be simply descriptive or qualitative and can become analytic or quantitative. Maths which leaves the number abstraction to regain possession of geometric figures becomes *computer graphics* or *info graphics*.

As everybody knows, the majority of computer graphics software we use today have been created for other sectors such as car industry, aeronautics, or cartoon cinema. Later they have been

La matematica che abbandona l'astrazione dei numeri e si riappropria della figurazione geometrica diventa *computer grafica* o *infografica*.

Com'è ormai noto, la maggior parte dei software di computer grafica oggi utilizzati è stata creata per altri settori come l'industria automobilistica, quella aeronautica o il cinema d'animazione e, solo più tardi, è stata impiegata nella ricerca architettonica come ausilio allo studio e alla progettazione di modelli tridimensionali finalizzati alla qualità dello spazio.

Un *modello infografico* è una rappresentazione, formalizzata matematicamente, di un oggetto reale: è l'immagine matematica dell'oggetto reale. Tale immagine, in base alle specifiche esigenze d'analisi, può essere più o meno dettagliata e può presentare alti o bassi gradi di astrazione. Il tipo di formalizzazione matematica è la causa diretta della giusta corrispondenza formale con l'oggetto reale di cui si sta creando il modello, pur sempre inteso come un'interpretazione ideale della

realtà.

Esistono, quindi, per agevolare il discorso, matematiche che garantiscono una modellazione vicina alle richieste di giustezza rappresentativa di un oggetto reale e matematiche che approssimano in maniera più o meno esatta la realtà. Oggi le tecniche di modellazione fanno capo a due metodologie principali che possono essere distinte, in virtù della matematica utilizzata, in "entità discrete", ossia modelli poligonali, ed "entità continue", ossia modelli NURBS (Non uniform Rational Bézier-Spline). Occorre ricordare che la differenza

sostanziale tra un modello poligonale e un modello NURBS è che il primo restituisce una geometria discreta dell'oggetto reale, mentre il secondo una geometria continua. Al fine di ottimizzare e rendere compatibili le varie procedure di modellazione tridimensionale esiste la possibilità di convertire i modelli NURBS in modelli poligonali e viceversa (v. Fig. 41).

A parità di matematiche per la modellazione, risulta importante, ai fini del nostro studio, indagare un tipo di modellazione parametrica basata sulla teoria della modellazione con i

98

used in the architectural research as a support to the study and planning of three-dimensional models aimed to space quality.

A computer-graphic model wants to represent a mathematically formalized real object.

It is a *mathematic* image of the real object. This image, according to specific analysis needs, can be more or less detailed and more or less abstract.

Depending on the mathematic formalization, we will get an appropriate formal correspondence with the real object we are re-creating a model, which remains an ideal interpretation of reality.

Therefore, to make things easier, there are kinds of mathematics aimed to guarantee a representation as close as possible to the real object, while others recreate reality more or less approximately. Today modelling techniques refer to two main methods which can be distinguished according to the used maths. They are: "discrete entity" that is polygonal models, and "continuous entity", that is NURBS models (Non uni-

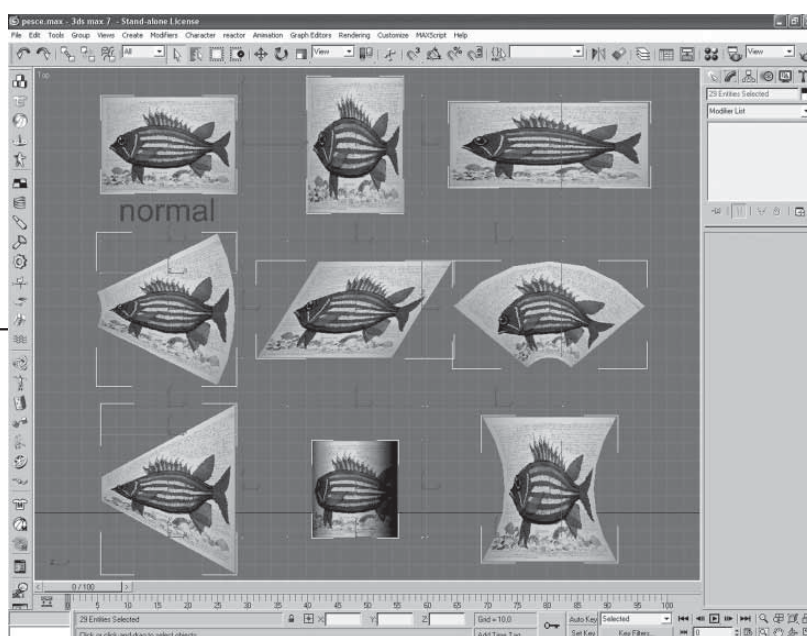


Figura 37. W. D'arcy Thompson: trasformazioni cartesiane, 1917.

W. D'arcy Thompson: *Cartesian transformations*, 1917.

Figura 38. W. D'arcy Thompson, A. Dürer: trasformazioni cartesiane, 1917.

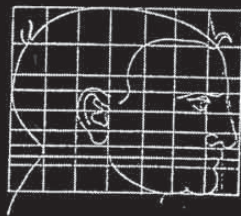
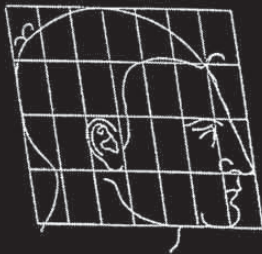
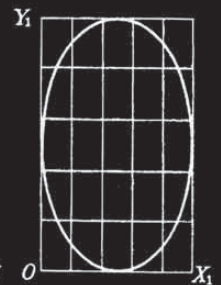
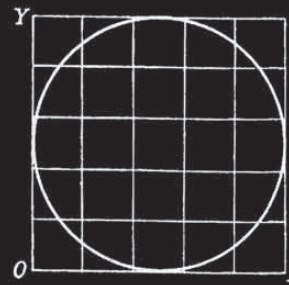
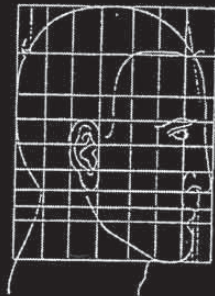
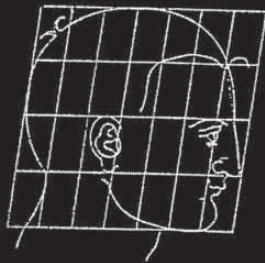
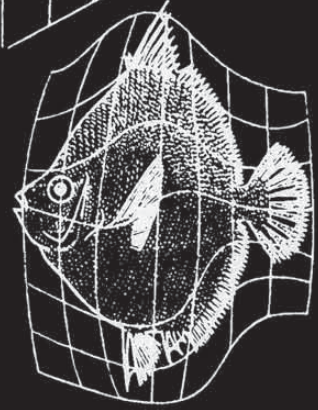
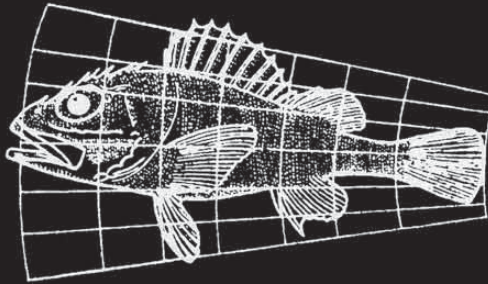
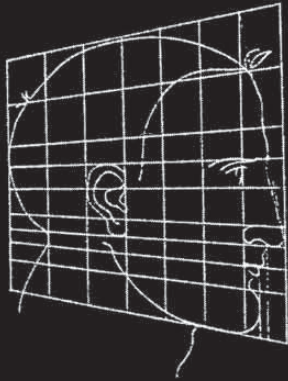
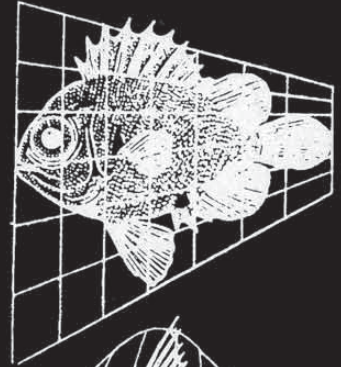
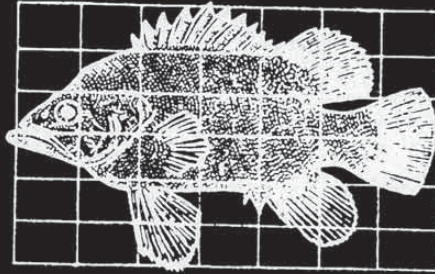
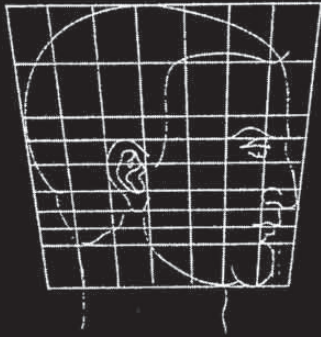
W. D'arcy Thompson, A. Dürer: *Cartesian transformations*, 1917.

form Rational Bézier-Spline).

We have to remember the main difference between the polygonal model and the NURBS. The first gives back a discrete geometry of the real object, the other gives back a continuous geometry. In order to optimize and make these modelling procedures compatible, it is possible to convert NURBS into polygonal models and vice versa (see Fig. 41).

Among modelling mats, our study should focus on a kind of parametric modelling based on the theory of modifier-based modelling.

Our working hypothesis is to compare two computer techniques: direct and indirect modelling, both used to study the stereotomic shape. In the first case the shape derives from consequential protrusion processes and Boolean works



(a)

(b)

(c)

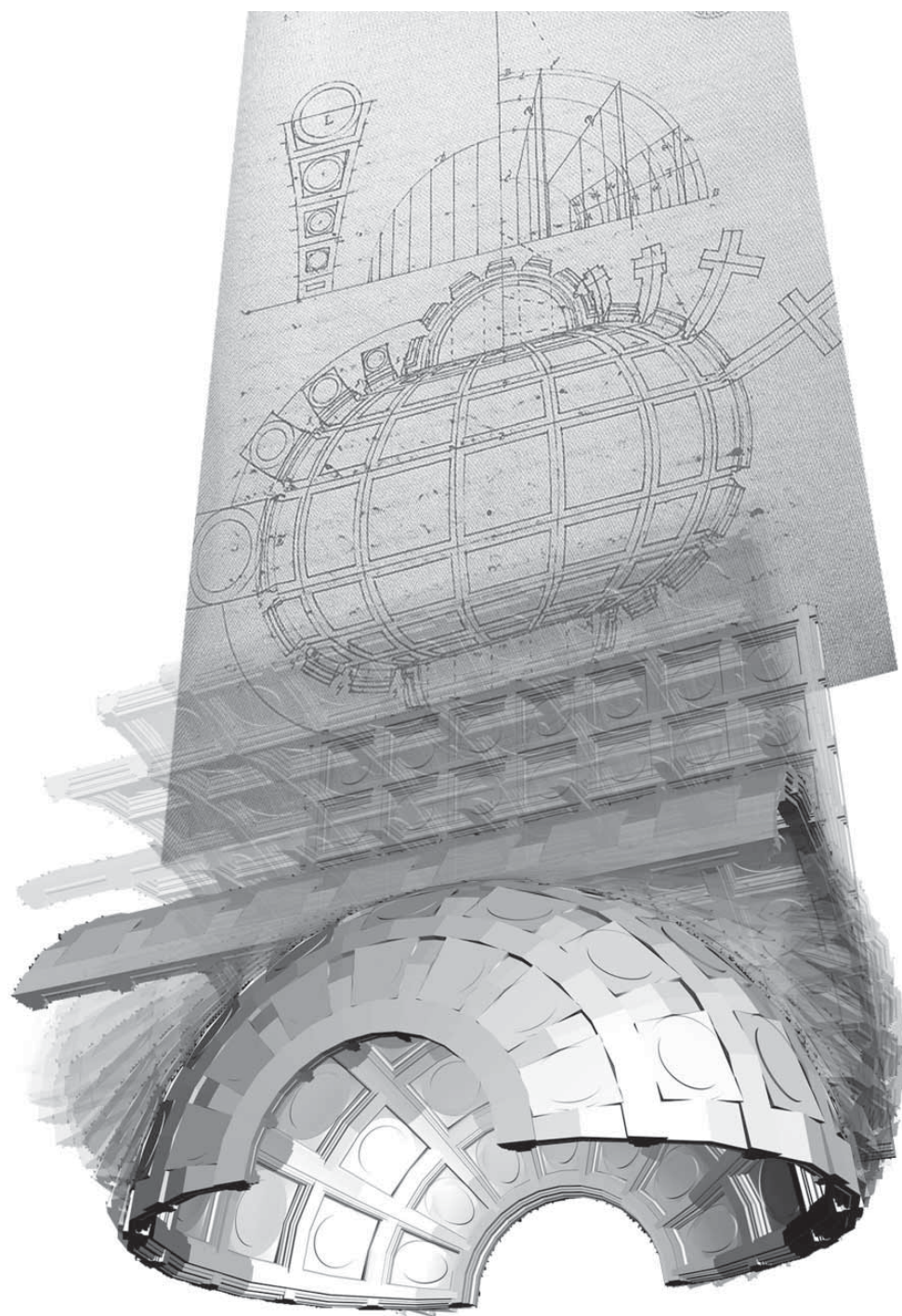
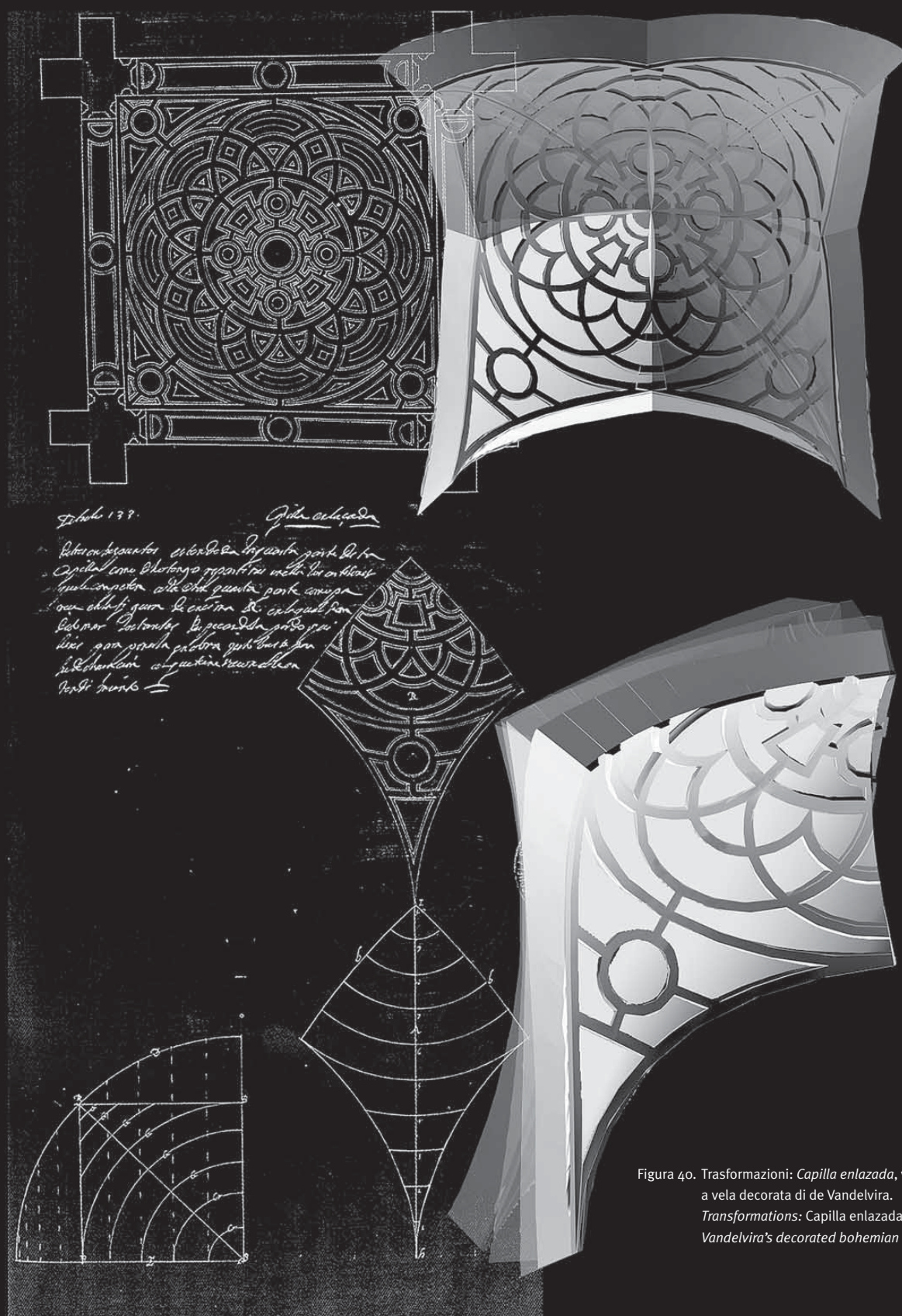


Figura 39. Trasformazioni: *Boveda de Murcia*, cupola torica di de Vandelvira.
Transformations: Boveda de Murcia, de Vandelvira's toric cupola.



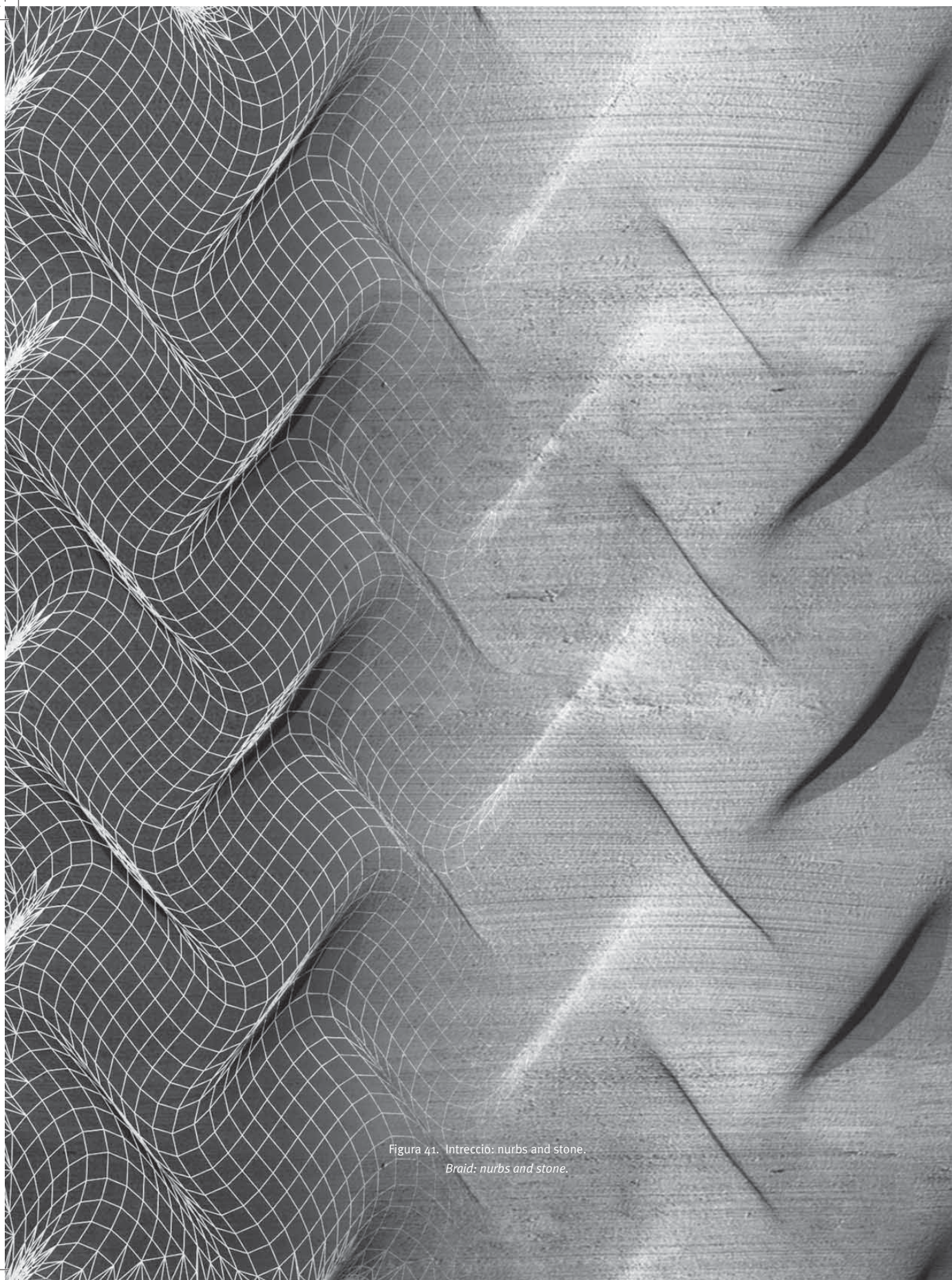


Figura 41. Intreccio: nurbs and stone.
Braid: nurbs and stone.

Breve compendio

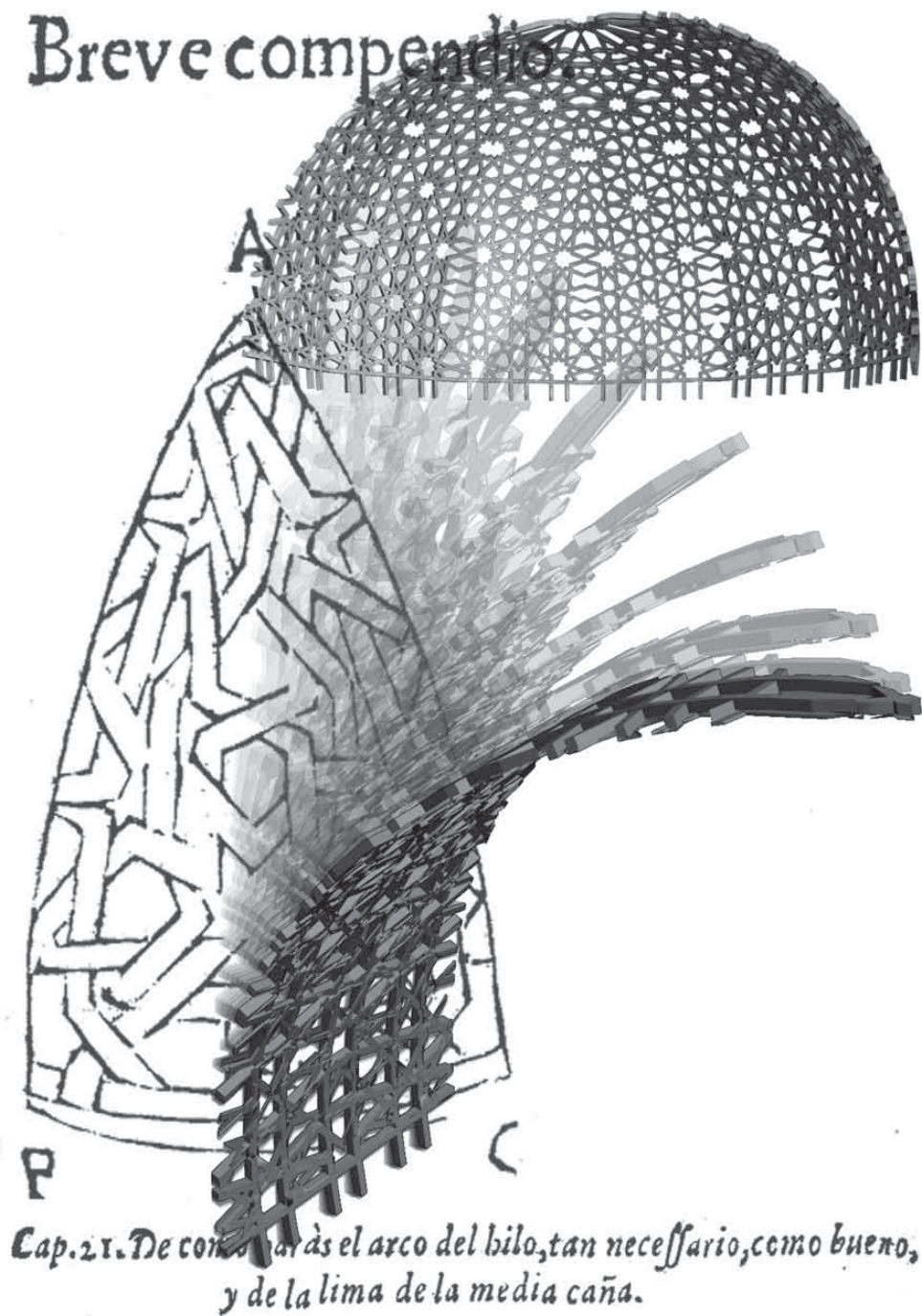


Figura 42. Trasformazioni: sviluppo cilindrico e relativa cupola di López de Arenas, *Carpintería de lo blanco — media naranja*, Salón de Embajadores de los Reales Alcázares (Siviglia).

Transformations: López de Arenas' Carpintería de lo blanco — media naranja, Salón de Embajadores de los Reales Alcázares (Siviglia), cylindrical development and its cupola.

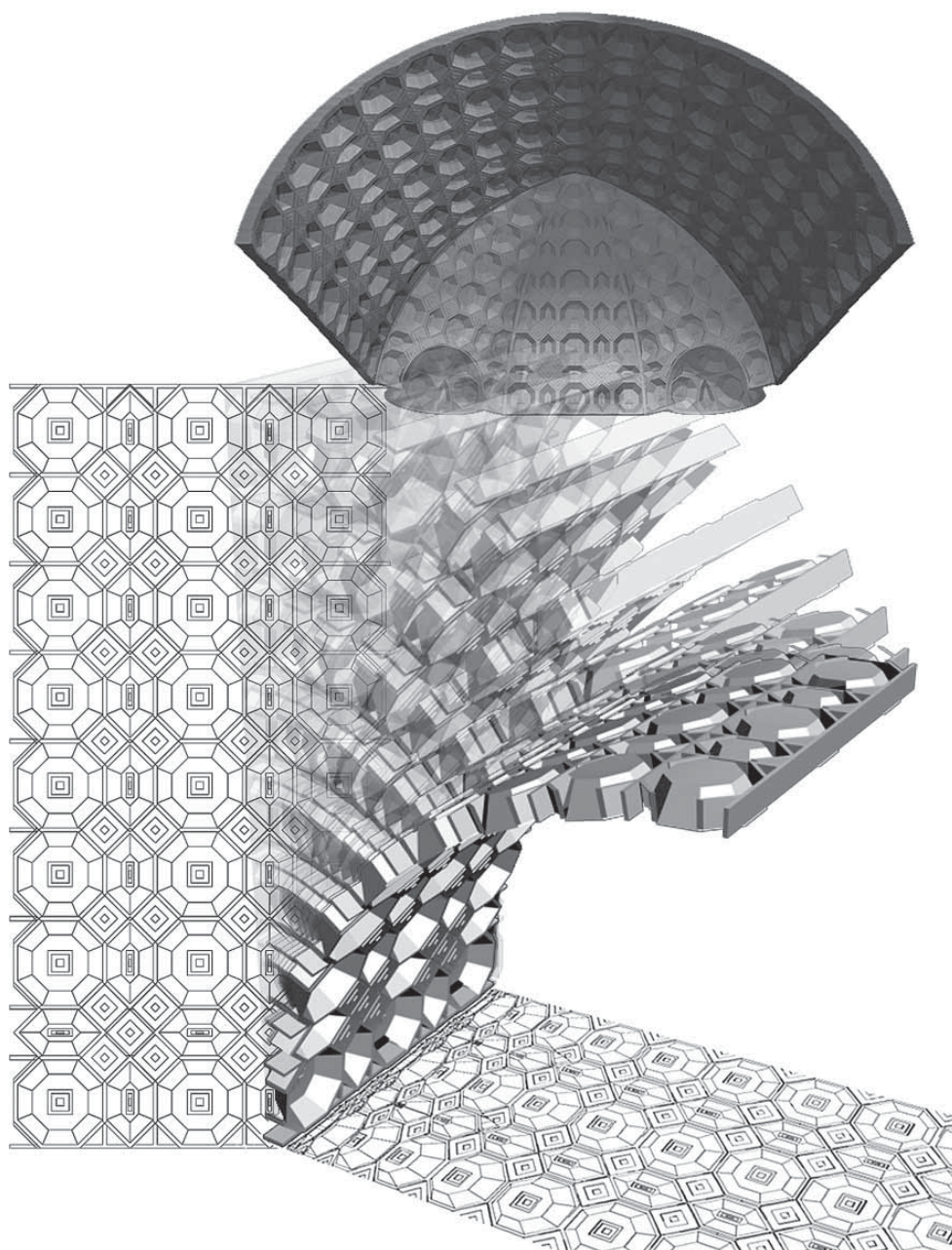


Figura 43. Trasformazioni: cassettonato della *media caña* che copre uno dei saloni al primo piano de los Reales Alcázares di Siviglia.
Transformations: lacunar ceiling of media caña covering one of the first floor reception room of the Reales Alcázares, Seville.

modificatori, o “operatori di forma” che consentono di controllare analiticamente le deformazioni eseguite sul modello tridimensionale.

L'ipotesi metodologica è quella di mettere a confronto due tecniche di modellazione informatica finalizzate allo studio della forma stereotomica: modellazione “diretta” e modellazione “indiretta”. Nel primo caso la forma nasce da processi

conseguenziali di protrusione e operazioni booleane di forme bidimensionali derivanti dai *trait géométriques*; nel secondo caso la forma nasce da processi di modellazione basati sui principi della topologia, ossia utilizzando strumenti di trasformazione e deformazione volumetriche della forma che, plasmando l'oggetto, non consentono strappi o lacerazioni dello stesso.

L'idea è quella di considerare il processo di modellazione come una “scultura flessibile” dei dati digitali tridimensionali: si comincia con una forma semplice, magari un parallelepipedo o una sfera o un insieme di volumi solidi di base, e li si modifica, per mezzo di deformazioni topologiche parametriche, per raggiungere i gradi di complessità propri dell'oggetto finale. Questo sarà quindi raggiunto in modo indiretto, operando semplicemente attraverso le opportune deformazioni, e non in maniera diretta attraverso la modellazione canonica che, nel caso di oggetti molto complessi, comporterebbe grosse difficoltà di modellazione tridimensionale (v. Fig. 42 e 43).

La programmazione informatica ha, quindi, previsto l'introduzione di un nuovo approccio alla modellazione *infografica* basato sugli strumenti di deformazione per dare forma all'oggetto digitale in maniera indiretta. Questi strumenti, veri e propri algoritmi matematici, si adattano perfettamente alle caratteristiche della modellazione parametrica per cui, esprimendo i valori

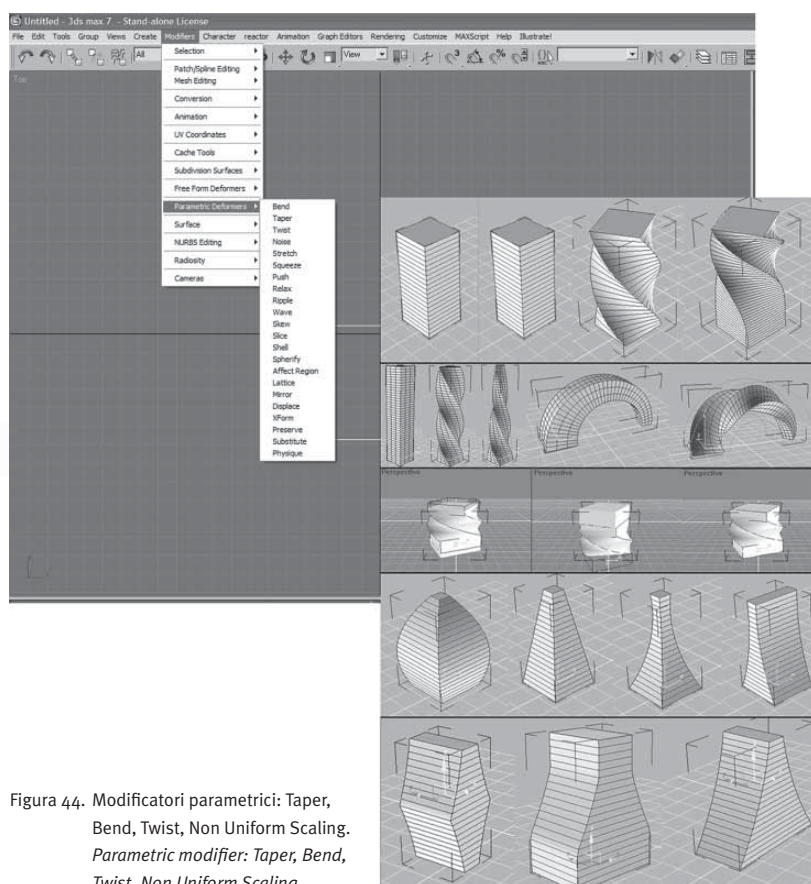


Figura 44. Modificatori parametrici: Taper, Bend, Twist, Non Uniform Scaling. Parametric modifier: Taper, Bend, Twist, Non Uniform Scaling.

on two-dimensional shapes coming from *trait géométriques*; in the second case the shape derives from modelling processes based on topological principles, that means using volumetric transformation and deformation tools. We have to consider the modelling process as a *flexible sculpture* of digital three-dimensional data: we start with a simple shape, such as a parallelepiped or a sphere or a whole of common solid volumes and change them through “parametrical topological deformations” to get the complexity standards proper of the original model. We will reach the model indirectly, just working with appropriate deformations and not directly through classic modelling, that would be very hard in three-dimensional modelling when

dealing with very complex objects (see Fig. 42 and 43). Programming has foreseen the introduction of a new approach to the computer-graphic modelling, based on deformation tools, to indirectly give a shape to the digital object. These instruments, actually mathematic algorithms, are perfectly suitable for the characteristics of planimetric modelling. As a matter of fact, by expressing numerical values of parameters, it is easy to follow the results of the given deformation. The most important modifier in modelling are those which operate on the object, or on a part of it, an easy deformation according to a directional axis. The Bend modifier (or “folder”), for example, deforms the geometry of object bending its rectilinear development. Such deformations are possible thanks to the distribution of segments which configure the polygons of “plugging” of surface on the surface itself: every intersection between vertexes acts like a joint.

numerici dei differenti parametri, risulta facile e razionale seguire i risultati della deformazione impressa.

I modificatori più importanti per la modellazione sono quelli che applicano all'oggetto, o ad una parte di esso, una deformazione semplice in base ad un asse direzionale. Il modificatore Bend (o "piega"), ad esempio, va a creare delle deformazioni alla geometria dell'oggetto curvandone il proprio sviluppo rettilineo. Tali deformazioni sono possibili grazie alla distribuzione di segmenti configuranti i poligoni della tassellatura della superficie sulla superficie stessa: ogni intersezione fra i vertici si comporta come un giunto snodabile. Quindi, più segmenti abbiamo sulla superficie, più questa risulterà deformabile. Occorre notare che, contrariamente all'operazione fisica di piegatura di un qualsivoglia materiale, un'operazione di semplice o doppia *piegatura infografica* non produce lacerazioni o sovrapposizioni di materia, ma unicamente una trasformazione della geometria, che diventa l'oggetto di valutazione e di studio.

Una volta compresi intuitivamente i processi deformativi che hanno condotto alla configurazione finale di un sistema stereotomico, possiamo, a ritroso, cominciare a modellare un solido semplice ed appropriato e successivamente alterarlo o deformarlo in vari modi, assegnando anche più modificatori ad uno stesso oggetto.

Tra gli altri potenti modificatori, o "operatori di forma", ci sono: Rastrema, Allunga, Torsione, Scala Non Uniforme... e così via (v. Fig. 44).

Tramite questo processo di propagazione delle modifiche, l'intero disegno (modello) si *ri-configura* assumendo nuove forme e dimensioni. Il sistema CAD parametrico rigenera autonomamente l'intero modello, ricostruendo la nuova geometria corrispondente a quanto richiesto dall'utente, ottenuta con processi di modellazione di gran lunga più semplici della canonica modellazione che, per casi spaziali molto complessi, può risultare improduttiva (v. Fig. 45-50).

Dal disegno sul piano si ottiene il cor-

rispettivo nello spazio attraverso una serie di semplici e coordinate trasformazioni formali.

Thus, the more are the segments on the surface, the more it will be change-proof.

Independent of which material is used in the physical folding process, a single or double *infographic folding* does not produce any tear or material superimposing, but only a geometrical transformation, which is our study and research object.

Once we intuitively understand the deformation processes that brought us to the final configuration of a stereotomic system, we can go backwards, modelling an appropriate solid and then changing or deforming it in several ways, giving even more than one modifier to the same object.

Among the powerful modifiers we find: Taper, Lengthen, Twist, Non Uniform Scaling... and so on (see Fig. 44).

Through this expanding process of modifications, the whole drawing gets a new configuration with new shapes and dimensions. Cad parametric system automatically recreates the whole model, rebuilding the new geometry, corre-

spondent to the user's requirement that is obtained by using modelling processes actually easier than the classic modelling which could be useless for very complex spatial cases (see Fig. 45-50).

By plane drawing we produce its correspondent in the space through a series of simple and co-ordinated formal transformations.

Figura 45. P. de l'Orme, cupola della cappella del castello di Anet: geometrie.

P. de l'Orme, church cupola of the Anet castle: geometry.



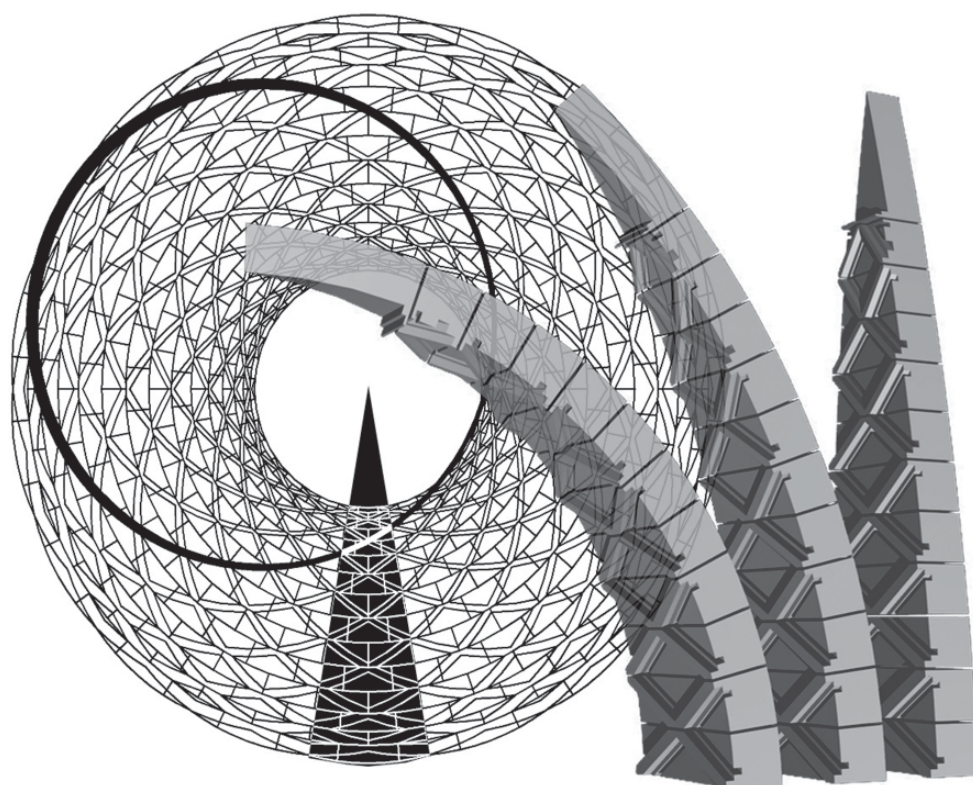
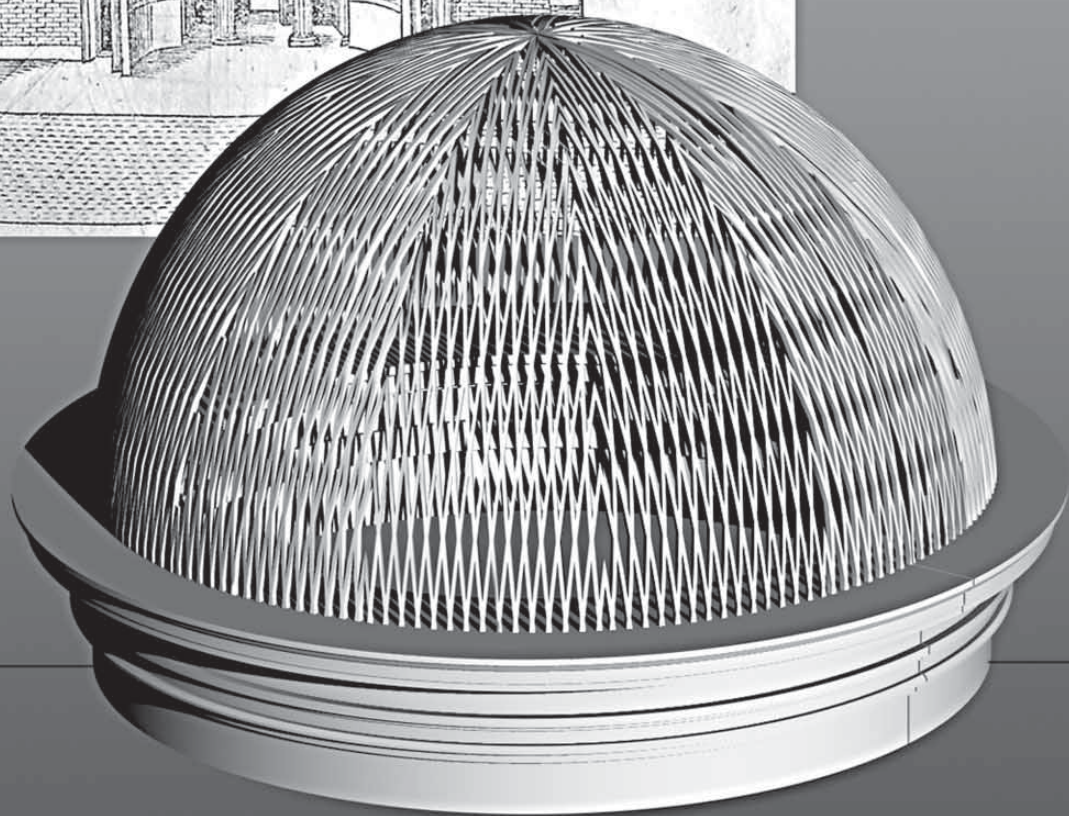
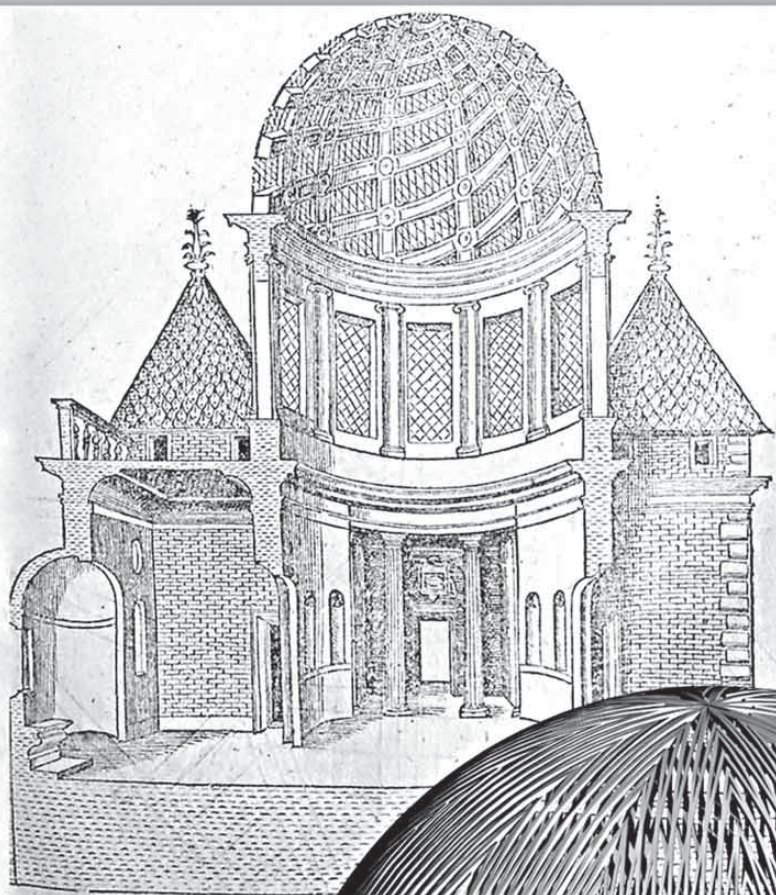


Figura 46. P. de l'Orme, cupola della cappella del castello di Anet: modellazione con i *modifiers*.
P. de l'Orme, chapel cupola of the Anet castle: modelling by modifiers.



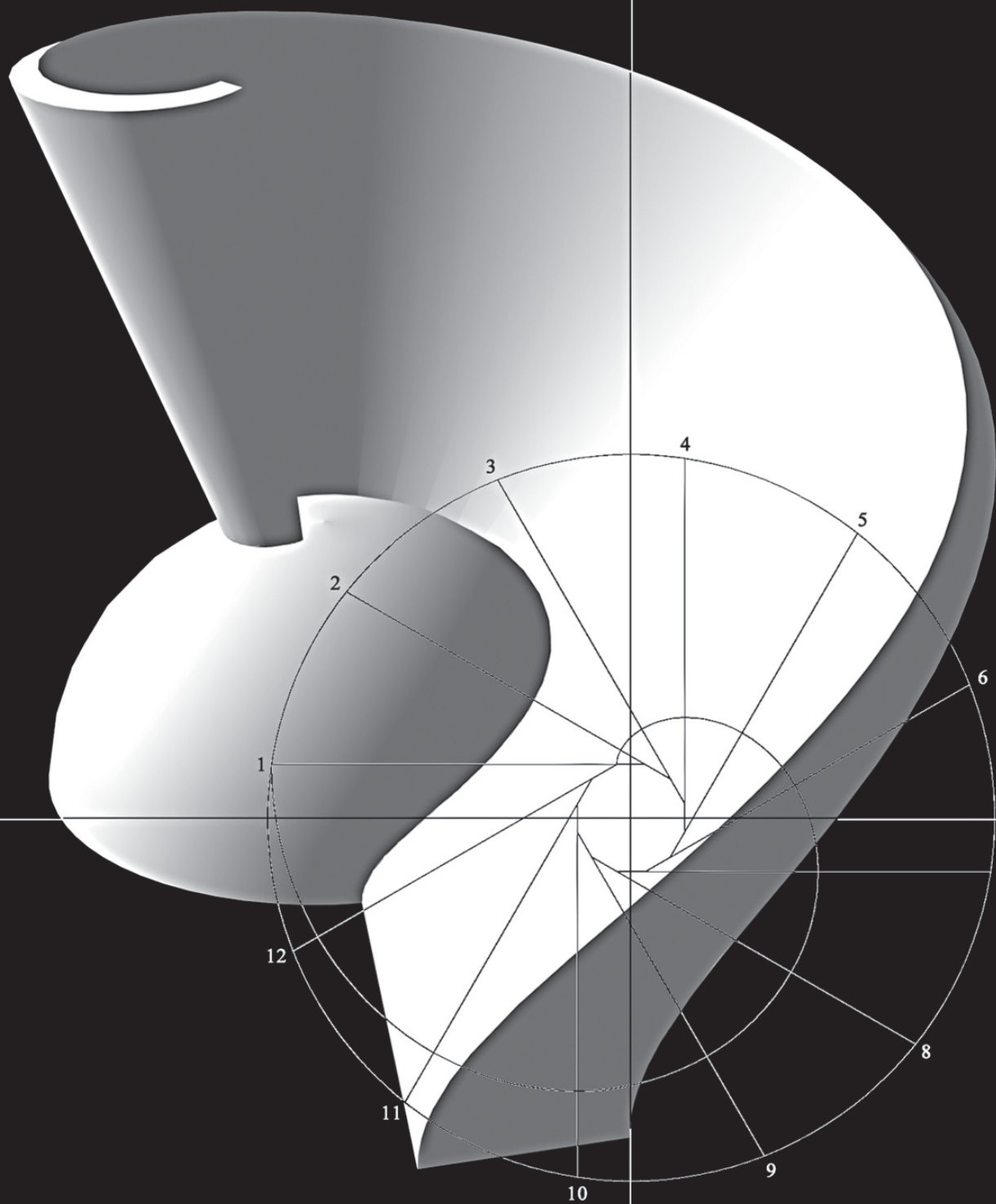
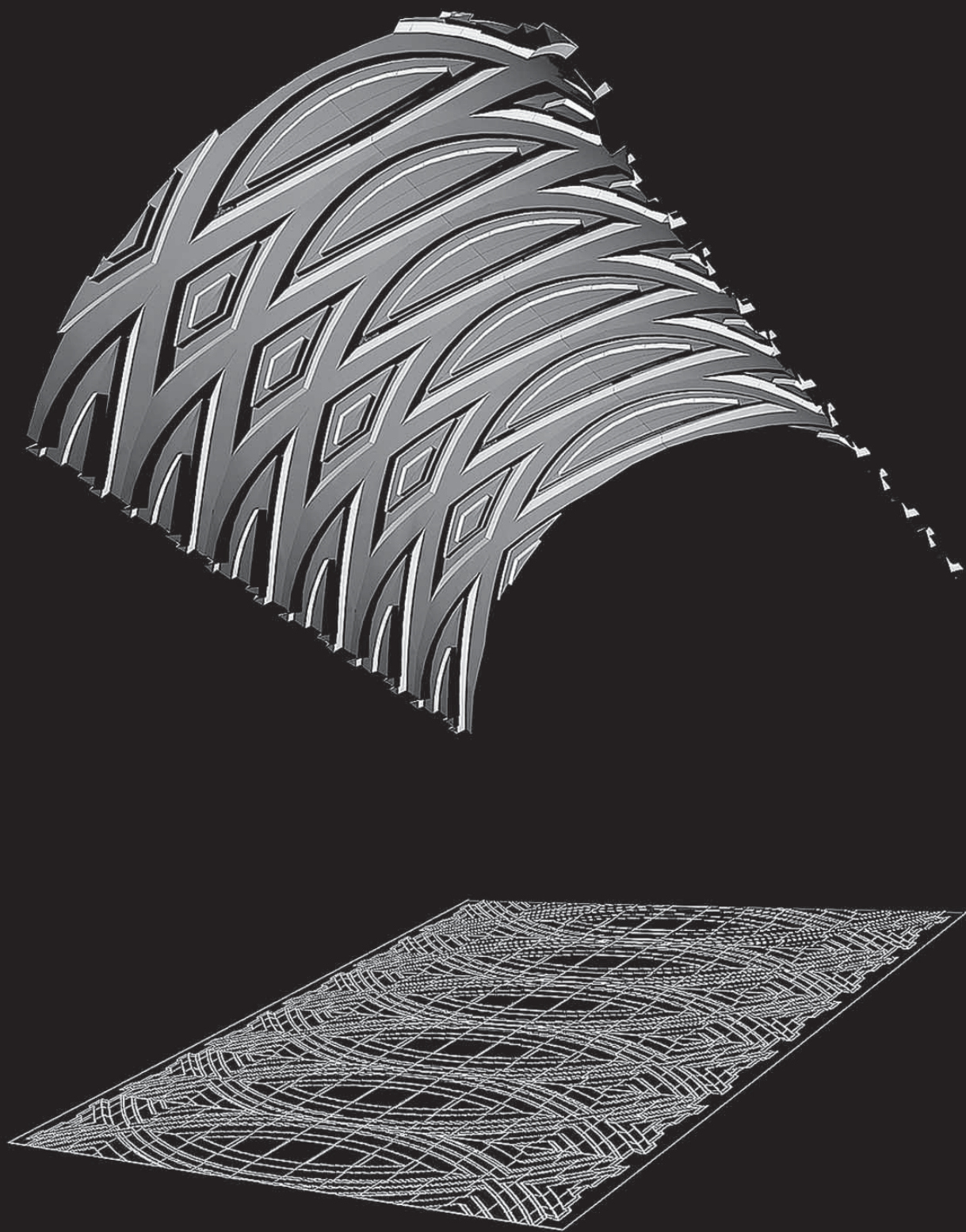
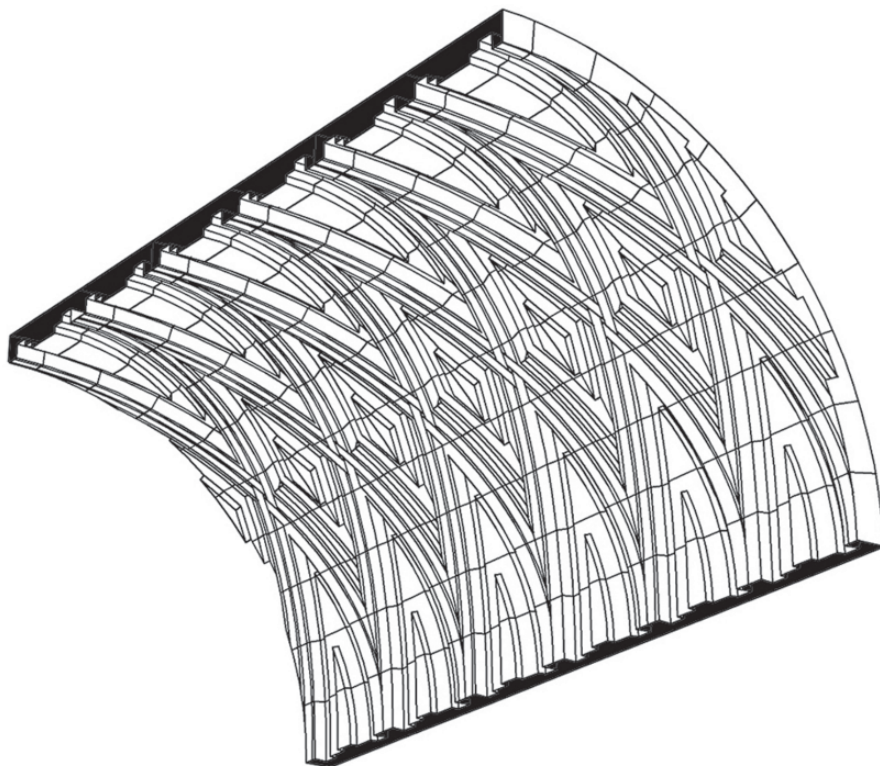




Figura 47. P. de l'Orme, volta a botte dell'androne del castello di Anet: foto (febbraio 2003).
P. de l'Orme, barrel vault of the Anet castle hall: picture (February 2003).





113

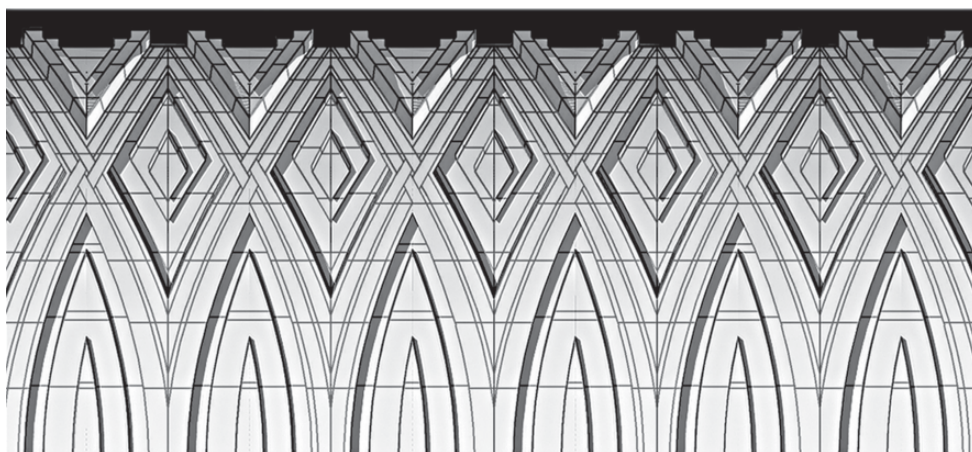


Figura 48. P. de l'Orme, volta a botte dell'androne del castello di Anet: modellazione con i *modifiers*.

P. de l'Orme, barrel vault of the Anet castle hall: modelling by modifiers.

Figura 49. P. de l'Orme, volta a botte dell'androne del castello di Anet: viste.

P. de l'Orme, barrel vault of the Anet castle hall: sights.

note:

1. W. D'ARCY THOMPSON, *Crescita e forma*, (edizione originale: Cambridge 1917) Boringhieri, Torino 1992.

114

notes:

1. W. D'ARCY THOMPSON, *Crescita e forma*, (original edition: Cambridge 1917) Boringhieri, Torino 1992.

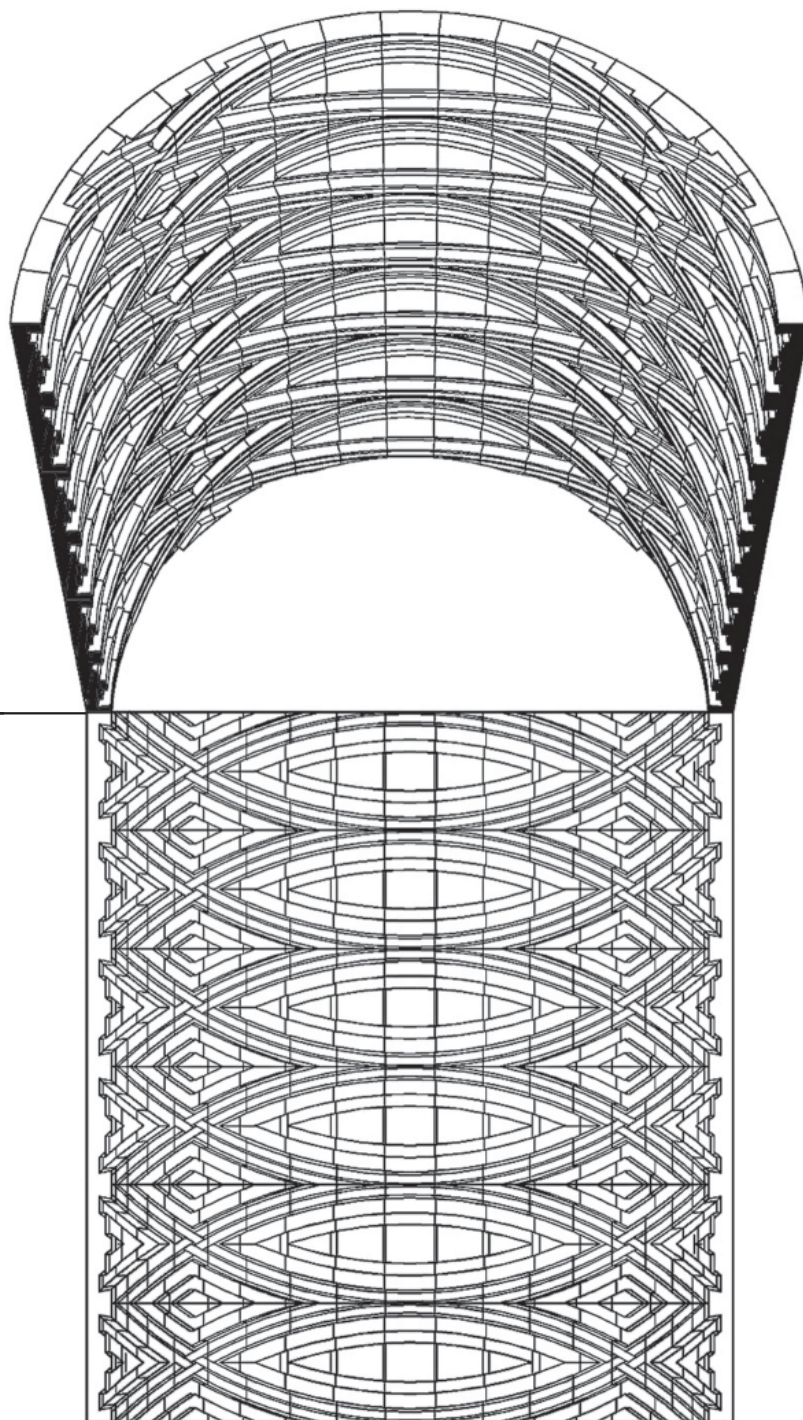


Figura 50. P. de l'Orme, volta a botte dell'androne del castello di Anet: viste.
P. de l'Orme, barrel vault of the Anet castle hall: sights.

Un caso di studio paradigmatico:
la “volta piana” e sue variazioni
topologiche

A paradigmatic study case: the “flat
vault” and its topological variations

7

7. Un caso di studio paradigmatico: la “volta piana” e sue variazioni topologiche

116

A paradigmatic case study: the “flat vault” and its topological variations

Il sistema stereotomico noto col termine di *voute plate* rappresenta una delle più interessanti speculazioni tecnico-stilistiche dell'arte del taglio delle pietre applicate alla costruzione edilizia, che ha trovato nella storia rarissime realizzazioni.

Come vedremo, questo sistema stereotomico ben si presta all'applicazione delle tematiche sin ora esposte. La *volta piana* rappresenta un ossimoro che coniuga due termini geometricamente contraddittori: la volta che per sua defi-

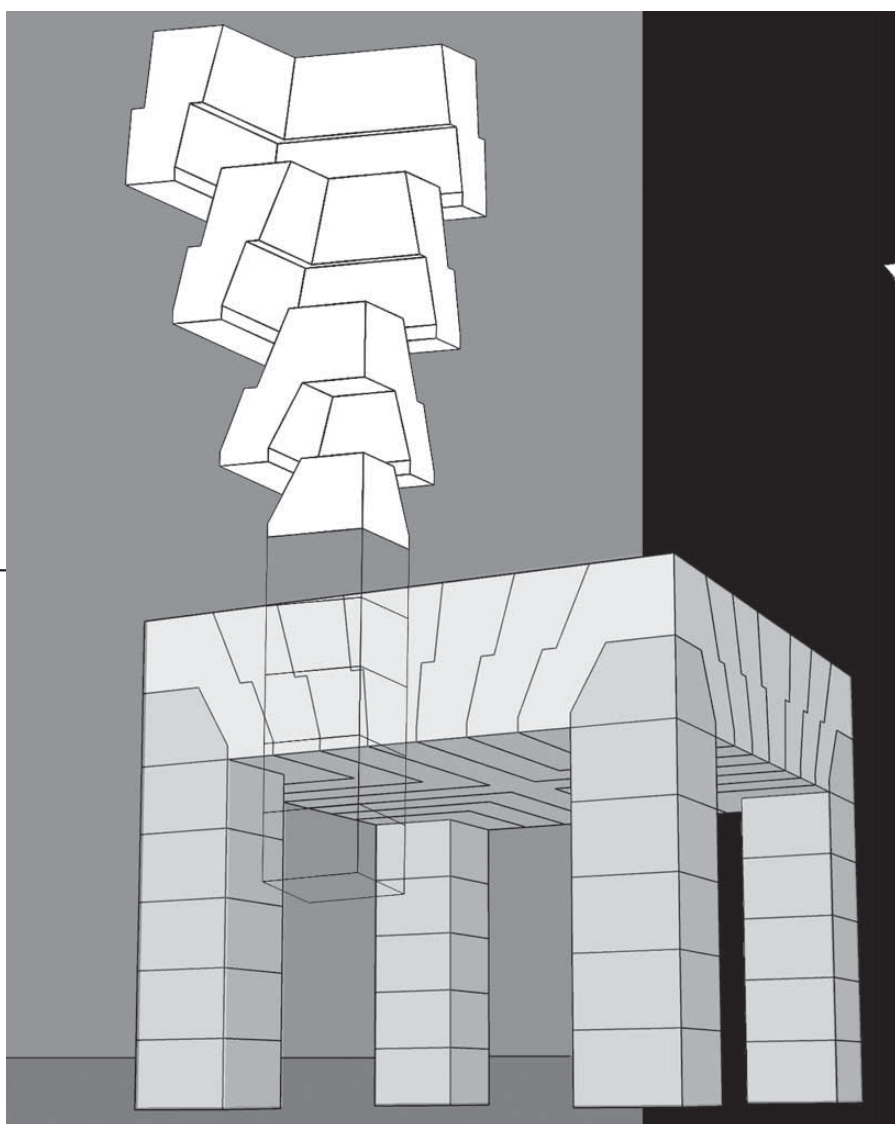


Figura 51. Volta piana a pianta quadrata: apparecchiatura a piattabanda.
Squared plan flat vault: straight arch system.

The stereotomic system known as *voute plate* represents one of the most interesting technical/stylistic speculation of stone cutting art applied

to building which has rarely been implemented during history. As we will see, this kind of stereotomic system is suitable for the application

nizione è una superficie tridimensionale e il piano ovvero una superficie a due dimensioni.

Il problema storico posto è quello di trovare una soluzione costruttiva per coprire un vano con un solaio piano

costituito di piccoli elementi discreti: detto in altri termini, costruire una volta in conci lapidei di freccia pari a zero o raggio infinito.

Tale problematica, ovviamente, sfuggendo ad un condizionamento pura-

mente funzionale, rientra nell'alveo della speculazione stereotomica di non pochi trattati francesi e spagnoli: Frézier, Rondelet, Douliot, Rovira e Rabassa.

Il principio statico, che è alla base di questo sistema coprente, presuppone che il percorso dei carichi sovrastanti la struttura si direzioni dalla verticale all'orizzontale, attraverso l'opportuna ammorsatura dei singoli conci che garantisce la totale compressione del sistema coprente (volta piana).

Per similitudine dalla superficie al piano, lo stesso principio riguarda il funzionamento statico della piattabanda che può essere presa a modello di una delle possibili varianti della volta piana. La costruzione di tale sistema stereotomico può avvenire concettualmente, quindi, sia come *estrazione* di una piattabanda, nel caso d'impianti quadrati o rettangolari, sia come *rivoluzione*, nel caso di impianti circolari. In questa primissima suddivisione sono ovviamente contemplate tutte le possibili geometrie

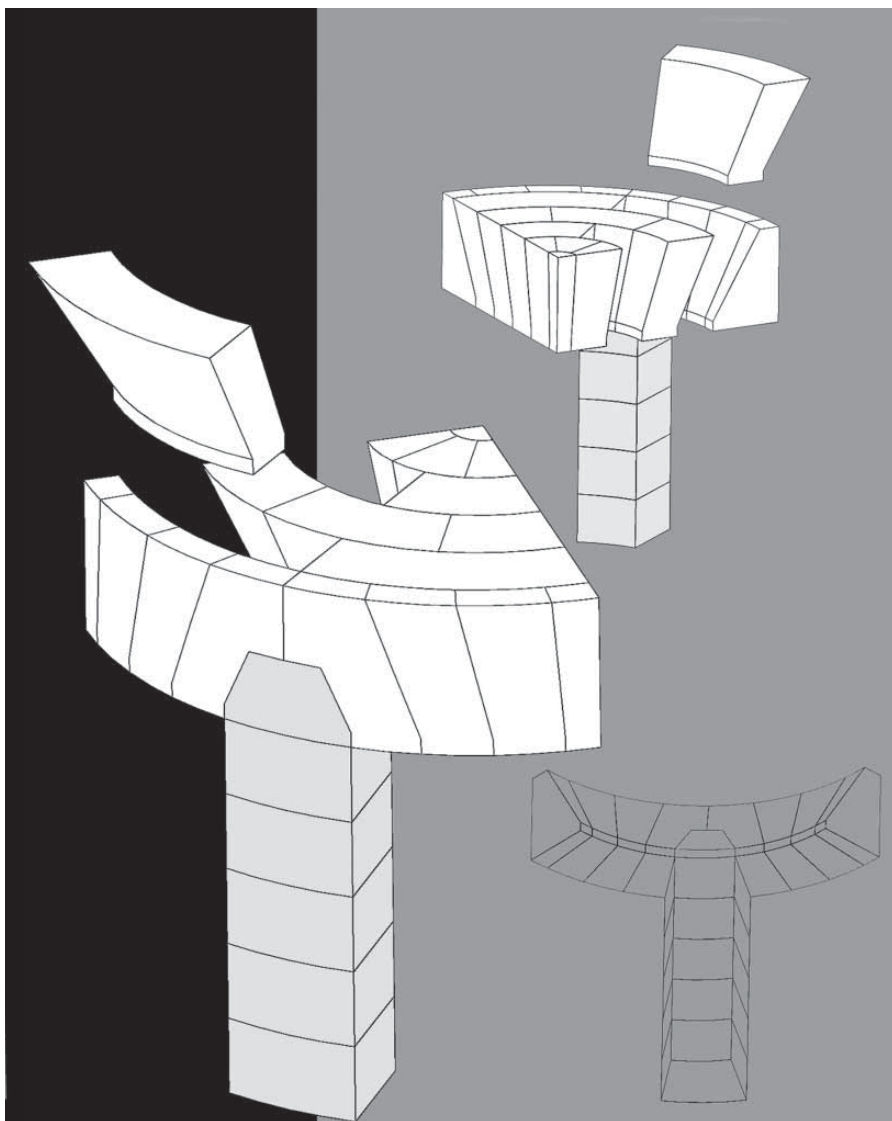


Figura 52. Volta piana a pianta circolare: apparecchiatura a piattabanda.
Circular plan flat vault: straight arch system.

of the exposed techniques. *Flat vault* expresses an oxymoron, connecting two geometrically contradictory words: the vault which is a three-dimensional

surface for its own nature, and the word flat referring to a two-dimensional surface.

The historical problem is to find a build-

ing solution to cover a space with a flat floor made of little discreet elements: in other words, to build a vault with zero radius stone-ashlar.

Such an issue, free from functional influences, lies in the stereotomic speculation area of many French and Spanish treatises (Frézier, A.F. 1737, Rondelet, J.B. 1802, Douliot, J.P. 1825, Rovira y Rabassa 1987).

The static principle which this covering system relies on, presumes that the path of overhanging charges in the structure goes from vertical to horizontal, passing through the scarf of every single ashlar of the vault, which guarantee the total compression of the covering system (flat vault).

Like the analogy between surface and plane, the same principle refers to the static functioning of the straight arch, which can be assumed as a model of one of the possible variants of the flat vault.

Such a stereotomic system can be constructed, ideally, by *extrusion* of the straight arch (in case of squared or

e apparecchiature della piattabanda. L'estensione nel piano della piattabanda produce, pertanto, una volta piana che presenta un numero variabile di conci differenti e simmetrici rispetto all'asse di simmetria della piattabanda stessa (v. Fig. 51 e 52).

Per ovviare a questo inconveniente, e — quindi — per apparecchiare una volta piana con un unico concio lapideo opportunamente configurato, entra in gioco la vera speculazione teorico-geometrica che più interessa la nostra analisi. Il primo brevetto che contempla una siffatta soluzione costruttiva nasce da un'invenzione dell'ingegnere francese d'origine marsigliese: Joseph Abeille (1669–1752). Il brevetto viene pubblicato nel 1699 in *Machines et inventions approuvées par l'Académie Royale des Sciences* (v. Fig. 53).

Il concio-tipo, reiterato in una matrice rettangolare per la realizzazione di questa volta piana, è un poliedro che presenta le due sezioni assiali, a forma di trapezio isoscele, orientate in direzioni opposte. Il funzionamento statico di

rectangular systems) as well as *revolution* of a straight arch (in case of circular systems). This earlier division envisages every possible geometry and bond of the straight arch. The extension on a plane of the straight arch produces a flat vault presenting a variable number of different ashlar, symmetric to the axis of symmetry of the straight arch itself (see. Fig. 51 and 52).

Not to fall in this trap and in order to prepare a flat vault with just one appropriately configured stone ashlar, the real geometric speculation comes into play, that we are truly interested in. The first patent proposing such a constructive solution, comes from a French engineer from Marseille, Joseph Abeille (1669–1752).

The patent was published in 1699 in *Machines et inventions approuvées par l'Académie Royale des Sciences* (see Fig. 53).

Figura 53. Brevetto della volta piana di J. Abeille.
J. Abeille's Flat vault patent.



1699.
No. 50.

VOUTE PLATE,

INVENTÉE

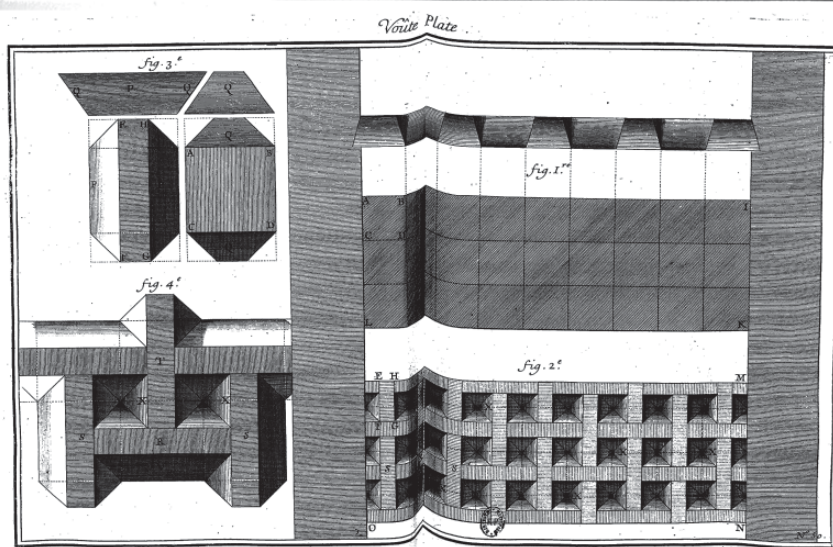
PAR M. ABEILLE.

CETTE Voute est de niveau, tant à son parement de douelle, qu'à celui de l'extrados; les claveaux qui la composent sont tous semblables, & n'ont que six faces ou panneaux, ainsi qu'un aube; ils forment des quarrés parfaits comme ABCD dans toute l'étendue du parement de douelle, & des rectangles EFGH au parement de l'extrados; les quarrés à la douelle sont d'alignement en tous sens, & les rectangles à l'extrados sont avec de petits carreaux entremêlés, un compartiment régulier, de sorte que cette voute forme tout ensemble, & un plafond ABIKL, pour l'étage inférieur, & un pavé EFMNO, pour l'étage supérieur.

Fig. I. II.

· Les quatre panneaux de joints de chaque claveau sont en coupe; il y en a deux qui sont inclinés en talus PP, deux qui sont en faillie depuis les côtés du quarré de douelle QQ.

· Le quarré du parement de douelle des claveaux étant déterminé à une certaine grandeur, l'épaisseur de ces claveaux aura les trois quarts de la longueur du côté de ce quarré, & la coupe des panneaux des joints sera d'un tiers de cette épaisseur, soit aux panneaux en talus, soit aux panneaux en faillie; ce qui donnera des angles égaux pris les uns depuis le parement du quarré de douelle, & les autres depuis le parement d'extrados alternativement.



VOUTE PLATE

INVENTÉE

PAR LE PERE SEBASTIEN,

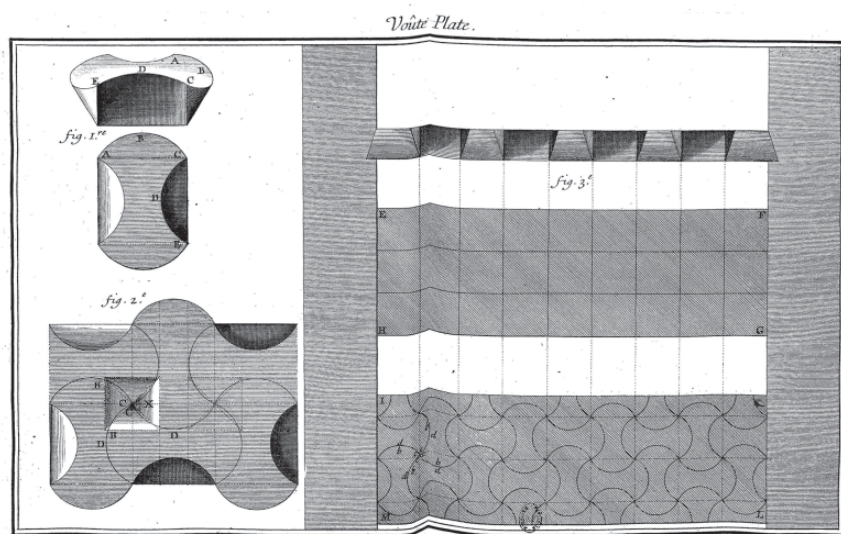
DE L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES.

LE R. P. Sebastien Truchet, de l'Académie Royale des Sciences, voulant perfectionner cette Voute, en en a supprimé les vuides de l'extrados; pour cet effet il donne une forme convexe ABC aux panneaux de joint en faillie, & concave CDE aux panneaux en talus; cette convexité & cette concavité diminuant depuis l'arrête du parement de l'extrados jusqu'à racheter les côtés des quarrés du parement de douelle, l'angle BCD formé par l'arrête convexe, & par l'arrête concave du parement de l'extrados, rencontre l'aplomb de l'angle du quarré X du parement de douelle, & toutes les courbes convexes & concaves correspondantes dans les élémens des panneaux de joint des angles qui répondent au même aplomb, remplissent les vuides de la première construction. Cette invention est très-ingenieuse, mais elle seroit peut-être difficile dans l'exécution, par la sujétion de faire remplir le concave par le convexe dans tous ses points, les courbes étant toutes différentes dans les élémens de ces panneaux de joints. D'ailleurs le plat-fond EFGH de l'appartement inférieur est semblable au plat-fond de la première Voute; c'est-à-dire, qu'il est formé par des quarrés parfaits: & le

1699.
N^o. 51.

Fig. I. & II.

FIG. III.



questa soluzione è quello di una piastra piana bidirezionale che lavora identicamente nelle due direzioni: in essa ogni concio sostiene ed è sostenuto in maniera che la volta entra in funzione esclusivamente a montaggio completo (v. Fig. 55).

La volta piana di Abeille non presenta grandi vantaggi pratici ma, rispetto ai sistemi precedentemente descritti in cui tutti i conci sono diversi, è ottimizzata proprio in base all'unica forma del concio-tipo. La sola conformazione geometrica di un concio garantisce il mutuo sostegno dei blocchi all'interno del sistema voltato.

La suddetta volta presenta due superfici visibili a montaggio avvenuto: una maglia quadrata omogenea e continua all'estradosso e l'altra che richiama il motivo dell'intreccio tessile in virtù della presenza di fori piramidali all'intradosso.

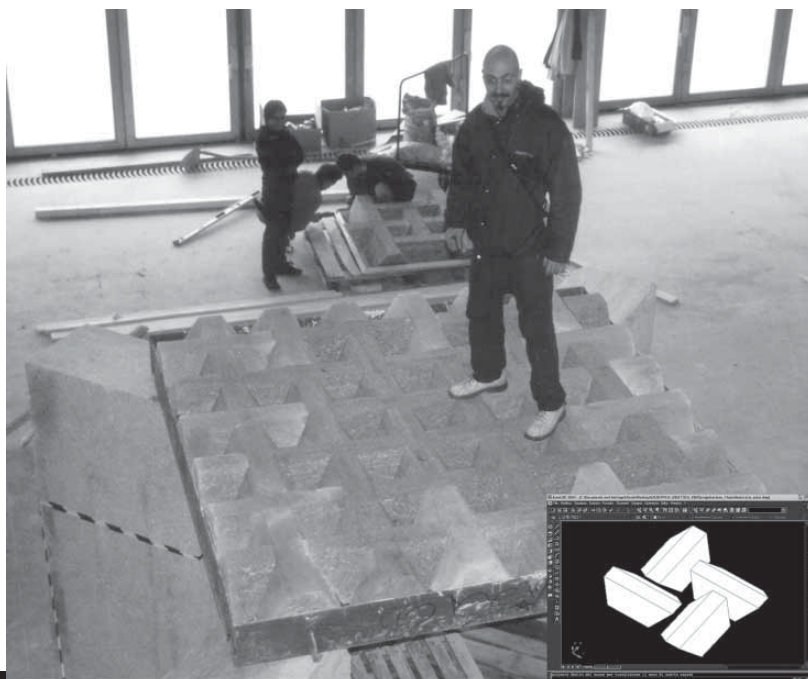
Questa caratteristica intrinseca della struttura rende il sistema particolarmente adatto alla realizzazione di uno

119

The ashlar-standard repeated in a rectangular matrix, in order to create this flat vault is a polyhedron having the two axial section in the shape of an isosceles trapezium. The static functioning of this solution is represented by a flat bidirectional plate working identically in both directions: every ashlar supports and is supported in such a way that the vault comes into play just when the assembling has been finished (see Fig. 55).

Abeille's flat vault does not show interesting practical advantages but, compared with the above mentioned systems, where all the ashlars are different, it is optimized for being just one shape of standard ashlar. The unique geometrical conformation of an ashlar, guarantee the mutual support of the blocks within the vaulted system. Abeille's flat vault presents two visible surfaces once the assembling is ended:

Figura 54. Brevetto della volta piana di S. Truchet.
S. Truchet's Flat vault patent.



120

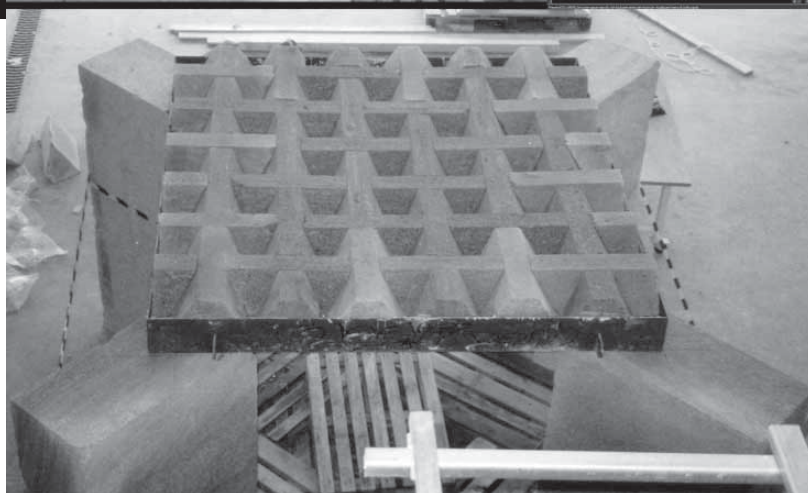


Figura 55. Brevetto della volta piana di J. Abeille: prototipo al vero costruito nel febbraio 2002 presso i *grands ateliers* dell'Isle d'Abeau (Lione).

J. Abeille's Flat vault patent: prototype built in february 2002 by the grands ateliers of Isle d'Abeau (Lion).

a squared homogeneous and unique net on the extrados, and the other reminding the motive of the textile work because of pyramidal holes on the intra-

dos. Such an intrinsic characteristic of structure makes the system particularly suitable to realize a specific ceiling with a peculiar "coffered structure" in its

specific solaio che mostra un distintivo "cassettonato strutturale" nel suo intradosso ed un piano di calpestio quadrato e regolare all'estradosso. La soluzione di continuità caratterizzata dalla presenza dei fori di forma piramidale, seppur di pregio *ornamentale*, può rappresentare un inconveniente di natura statica della soluzione elaborata da Abeille.

La *planche 31* del trattato di Frézier¹ è una mirabile sintesi della tematica relativa al sistema costruttivo della volta piana (v. Fig. 56); in essa è possibile rinvenire le diverse configurazioni geometriche dei conci che realizzano le possibili varianti sul tema. La pagina riproduce in alto una piattabanda fiancheggiata da due schemi apparentemente estranei, relativi ai modi con cui è possibile coprire vani di forma quadrata e circolare con travi lignee disposte a svastica, di dimensione minore rispetto la luce dei vani stessi. In realtà questi schemi colgono perfettamente il principio statico sotteso al comportamento delle volte piane, secondo cui

intrados and a squared, regular floor on the extrados. The interruption by means of pyramidal holes, even if *decorative*, can be considered a static drawback of Abeille's solution.

The *31st planche* of Frezier's treatise¹ is a marvellous summary of the flat vault building system (see Fig. 56). Here it is possible to find several geometrical shapes of ashlar's operating the possible variations on the theme.

On top of the page is represented a straight arch flanked by two apparently foreign schemes is shown, they represent the chances of covering squared or circular areas with wooden beams in the shape of fylfot, smaller than the spans. Actually, these schemes perfectly catch the static principle the flat vault attitude is based on. According to it every ashlar, like a wooden beam, "supports and is supported." According to Frazier it is evident that Abeille's purpose is inspired by the famed ceilings of Sebastiano Serlio whose aim is to cover big spans with small beams (see Fig. 57).

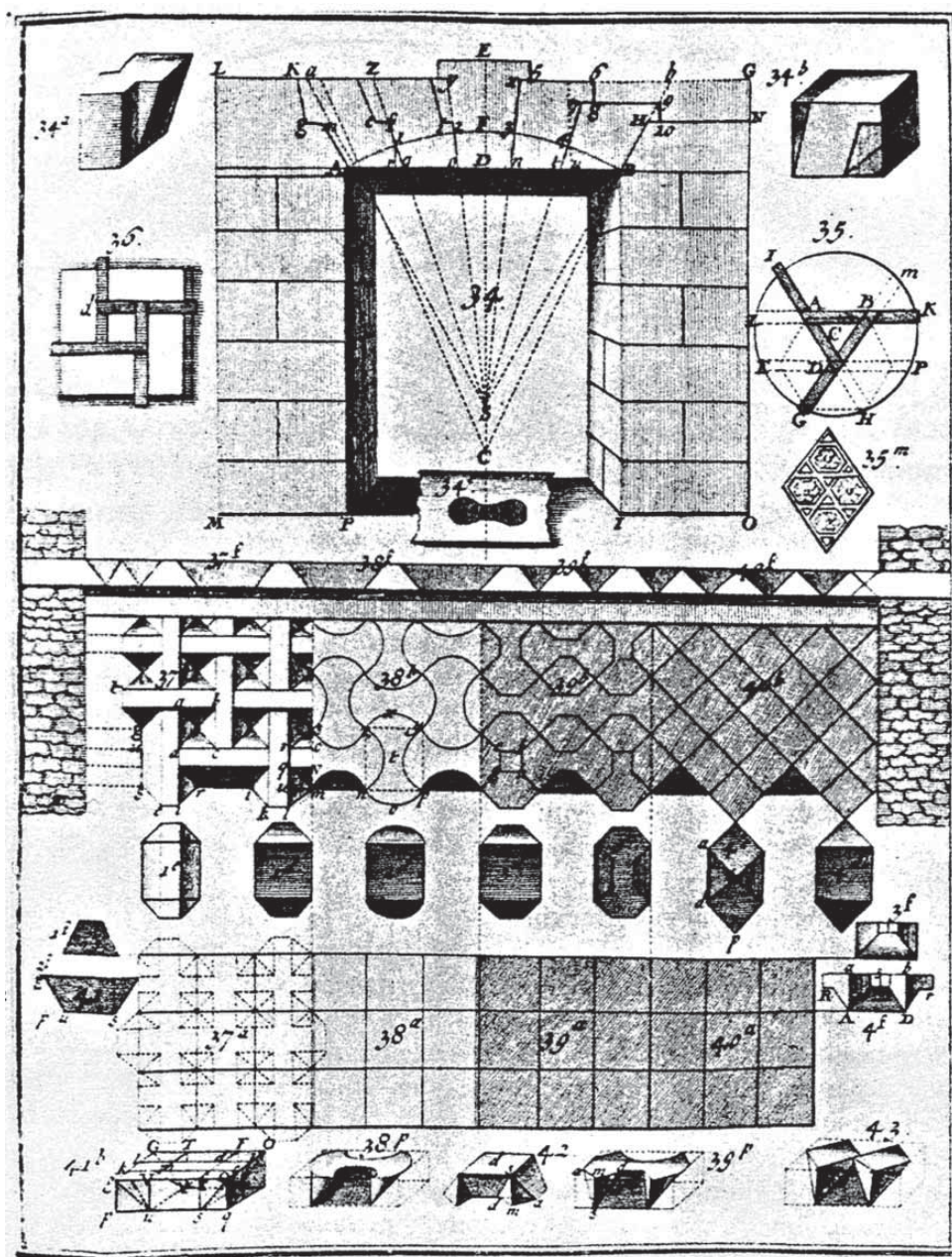


Figura 56. A. F. Frézier, volta piana.
A. Frézier, flat vault.

A paradigmatic study case: the "flat vault" and its topological variations

ogni concio, al pari di una trave lignea, sostiene ed è sostenuto.

Per Frézier è evidente che la proposta di Abeille si ispira ai celebri disegni dei solai di Sebastiano Serlio in cui si propone di coprire grandi luci con travi di piccole dimensioni (v. Fig. 57).

Il legame tra sistema litico delle volte piane e carpenterie lignee resta vivo, all'interno della speculazione costruttiva, sino al 1856 nelle soluzioni per solai bidirezionali contenute nel *Trattato dell'arte del Carpentiere* di A. R. Emy (v. Fig. 58). Al centro della pagina Frézier presenta

una sezione verticale, due viste planimetriche (dal basso e dall'alto) e assonometrie di singoli concii di una volta piana apparecchiata con quattro concii differenti: una sorta d'inventario di "pattern tridimensionali" pronti per l'uso. Di queste quattro soluzioni tre presentano concii realizzati con poliedri a facce piane ed una il concio realizzato con l'involuppo di superfici piane e rigate. Quest'ultima è forse la configurazione più interessante dal punto di vista speculativo e rappresenta la raffinata soluzione elaborata nel 1704 dal

carmelitano Jean Truchet, detto padre Sebastien (1657-1729), su cui ritorneremo nel prosieguo della trattazione, che consente di risolvere il problema dei fori piramidali presenti nella soluzione di Abeille. Il concio elaborato da Truchet è un solido costituito da una base inferiore di forma quadrata e una base superiore di forma mistilinea (composta da quattro archi di cerchio identici disposti in coppia sui lati paralleli del quadrato in modo da formare curve concave e convexe) raccordati per mezzo di superfici rigate (v. Fig. 59). Questa

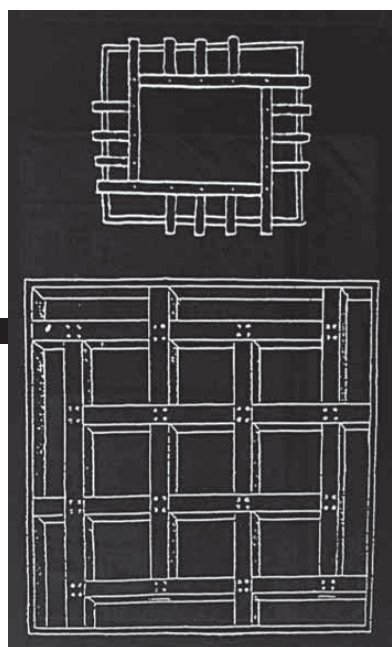


Figura 57. V. de Honnecourt, S. Serlio (in basso): solai lignei bidirezionali.

V. de Honnecourt, S. Serlio (below): bidirectional wooden carpentry.

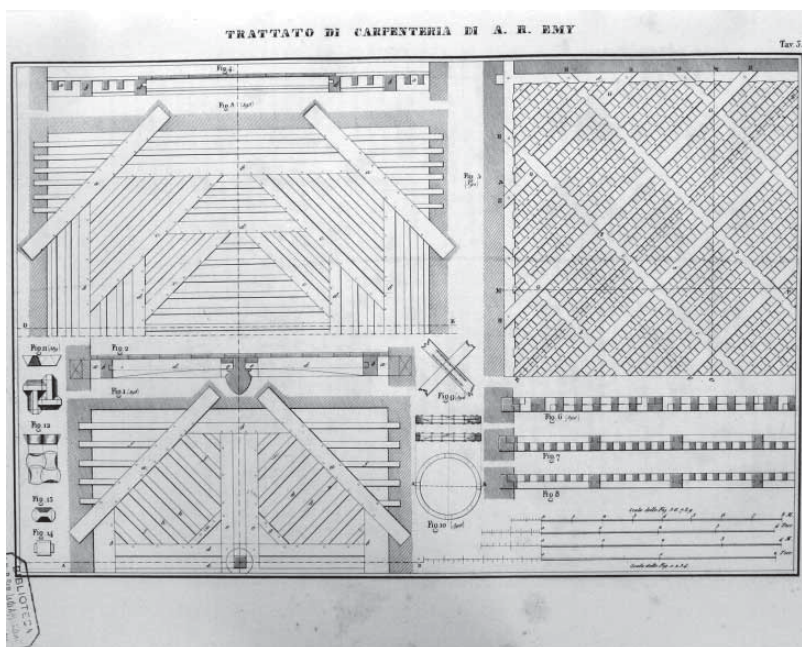


Figura 58. A. R. Emy, *Trattato dell'arte del carpentiere*: piante di solai.

A.R. Emy's *Carpenter's art treatise*: planimetric views of carpentry.

The connection between the "lithic" system of flat vaults and wooden carpentry, existed within building speculation until 1856 with two bidirectional solutions exposed in the A.R. Emy's *Carpenter's art treatise* (see Fig. 58). In the centre of the page Frazier shows a vertical section, two planimetric views (from above and from below) and axonometries of single ashlar of a flat

vault built up with four different ashlar. It is a kind of inventory of three-dimensional ready-to-use pattern. Three of these four solutions show ashlar made of flat-faces polyhedrons, the other one shows the ashlar made of the envelope of flat and lined surfaces. This is maybe the most interesting configuration from the speculative point of view and it represents the polished

solution developed by the Carmelite Jean Truchet, known as father Sebastien (1657-1729) in 1704. The ashlar developed by Truchet is a solid made up of a lower square base and an upper mixtilinear base (consisting of four identical circle-arches arranged in couples on the parallel sides of the square, in order to create concave and convex curves), connected to each other by means of

problematica è proposta da Frézier per mezzo di due varianti di conci che rappresentano una "rettificazione" ed una "canonizzazione" della soluzione di Truchet: nel primo caso, non più involuppo di superfici rigate bensì involuppo di facce piane opportunamente raccordate; nel secondo, le superfici rigate diventano superfici coniche-sviluppabili. La soluzione di Truchet è descritta nelle *Mémoire concernant les voutes plates*, in "Recueil de l'Académie Royale des Sciences" del 1704. Il nostro maggiore interesse nei con-

fronti di questa soluzione risiede nella capacità d'infinita generalizzazione formale che il sistema costituito da semplici enti geometrici intrinsecamente possiede. A tal proposito bisogna sottolineare che padre Sébastien Truchet è un matematico e il suo nome è principalmente legato al *pavage de Truchet*, pur essendo ricordato come specialista e inventore di un numero incredibile di brevetti (dal punto tipografico al celebre carattere tipografico noto come *Romain du roi*, al *Paraboloide di Truchet*). Nel suo *pavage* (pavimenta-

zione), Truchet studia il modo attraverso cui è possibile combinare semplici forme, ad esempio il quadrato bicromo bianco-nero diviso dalla diagonale, al fine di produrre disegni ornamentali mutevoli e, nel 1704, pubblica i risultati delle sue ricerche in *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences* (v. Fig. 60 e 61). Questo concetto connesso al *tiling system*, sicuramente d'ispirazione per il concio della volta piana, non era nuovo, dato che ritroviamo lo stesso tipo di problema in *Curiosités géométriques* di Emile Fourrey, ma Truchet fu il primo a

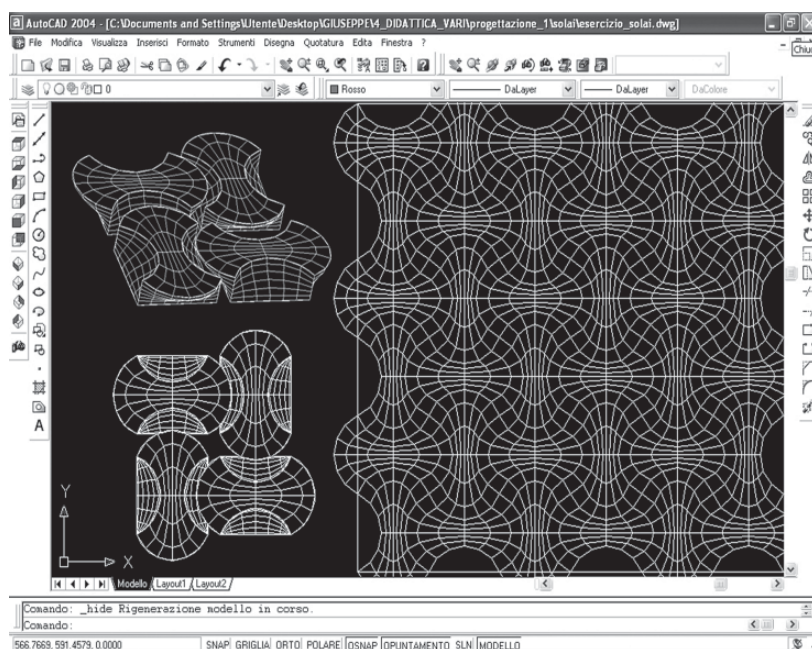


Figura 59. Assemblaggio di conci di Truchet.
Assembling of Truchet's ashlars.

striped surfaces (see Fig. 59). We will speak about it again, in this treatise, to solve the problem of Abeille's theory of pyramidal holes on the estrados. Frézier solves that problem using two variants of ashlar representing an "adjustment" and "canonization" of Truchet's solution: in the first case there is no envelope of lined surfaces but an

envelope of appropriately connected flat faces; in the second case the lined surfaces become conic-developable surfaces. Coming back to Truchet's theory, it is exposed in *Mémoire concernant les voutes plates*, in "Recueil de l'Académie Royale des Sciences" (1704). Our interest, in this theory, has been focused on the capability of infinite formal

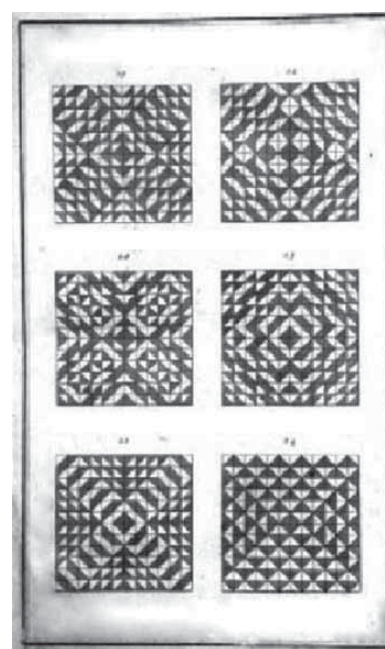


Figura 60. S. Truchet, studi di *pavage*.
S. Truchet, study of pavage.

generalization of simple geometrical body proper of the *three-dimensional pattern system*. It is important to remember that father Sébastien Truchet is a mathematician, and his name is mainly linked to the *pavage de Truchet*, even if he is renowned for having taken out a lot of patents (from the unit point, to the typographical character known as *Romain*

pubblicare studi dettagliati di tutte le combinazioni del *tiling system*. Quest'ultimo, dal punto di vista concettuale, è una superficie-tipo creata dall'accostamento di elementi di base senza fori e senza sovrapposizioni, usando un numero minimo di diversi elementi. Per mezzo di questo principio fondamentale è possibile creare elaborati pattern decorativi, specialmente quando i diversi elementi di base sono complessi e di diverso colore: l'esercizio fa riferimento ad un concorso organizzato dalla associazione Gutemberg. Il problema è stato scoperto, proposto e inizialmente studiato da Philippe Esprey, professore di matematica presso il Lycée Henri IV di Parigi, nel 1995.

Nel 1704, il padre domenicano Sébastien Truchet, che si interessava tanto di matematica che di arte, pubblicò un testo dove mostrava che una infinità di motivi potevano essere generati dal semplice assemblaggio (accostamento) di quadrati colorati a metà. In questo testo appariva infatti una primissima

espressione dei principi della teoria combinatoria e della simmetria dei cristalli. Quindi questo testo di Truchet rappresentò l'origine di un lavoro di un altro domenicano di nome Douat, che pubblicò nel 1722 un libro contenente una grande quantità di disegni sovrapposti

posti di motivi di base. Questo libro ha avuto una influenza su tutta l'arte decorativa europea del XVIII sec.²

È importante mettere in relazione il metodo elaborato per il "pavage de Truchet" con la soluzione del "con-

124

du roi, until Truchet's *Paraboloid*).

In his *Pavage*, Truchet studies how to combine simple shapes in order to get nice decorative drawings, such as the black and white two-tone square divided by a diagonal. Moreover, in 1704, he publishes the results of his researches on *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences* (see Fig. 60 e 01). The *tiling theory*, that was surely a source of inspiration for the ashlar of the flat vault, was not new, as we find the same issue in Emile Fourrey's *Curiosités géométriques*, but Truchet was the first who published detailed studies about all combinations of the *tiling system*. Conceptually, the *tiling system* is a standard surface created by connecting simple elements without holes and superposition, using a small quantity of different elements. Thanks to this central principle it is possible to create complex decorative patterns, especially with complex and differently coloured basic elements: the exercise refers to a competition organized by the Gutemberg association. The problem was

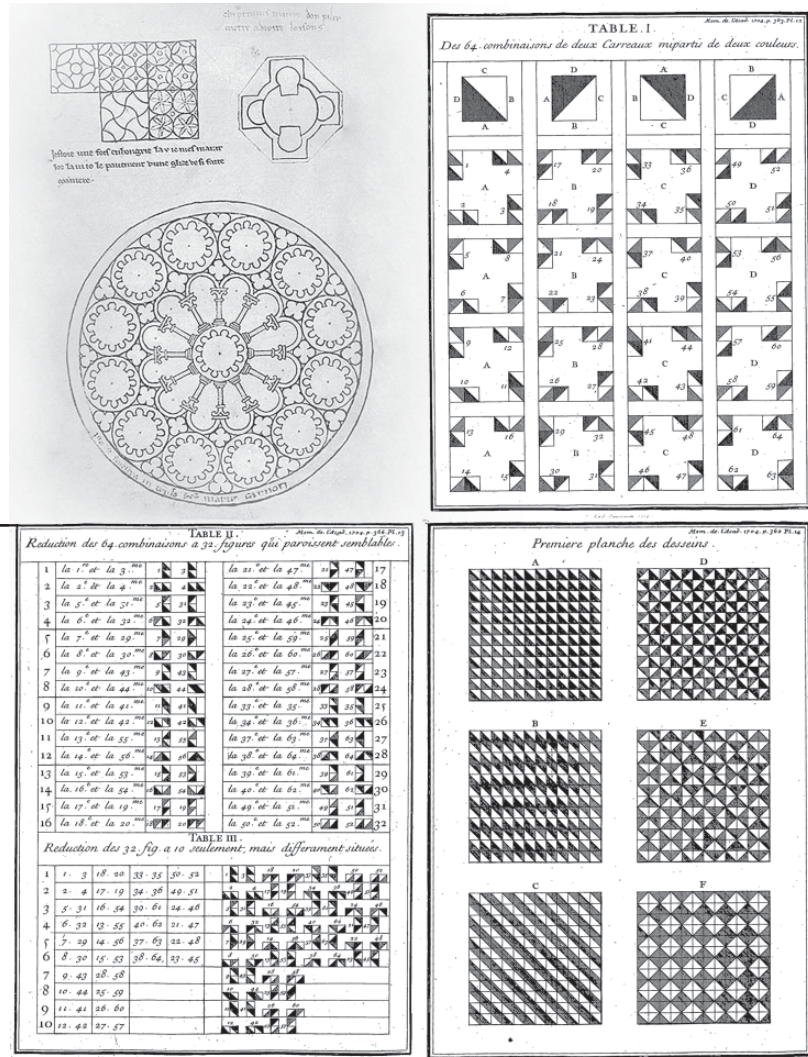


Figura 61. Variazioni sul tema: *Pavage* dal taccuino di Villard de Honnecourt (folio 30) e *pavage de Truchet*.

Variation on a theme: *Pavage* from Villard de Honnecourt's book (folio 30) and *pavage de Truchet*.

Un caso di studio paradigmatico: la "volta piana" e sue variazioni topologiche

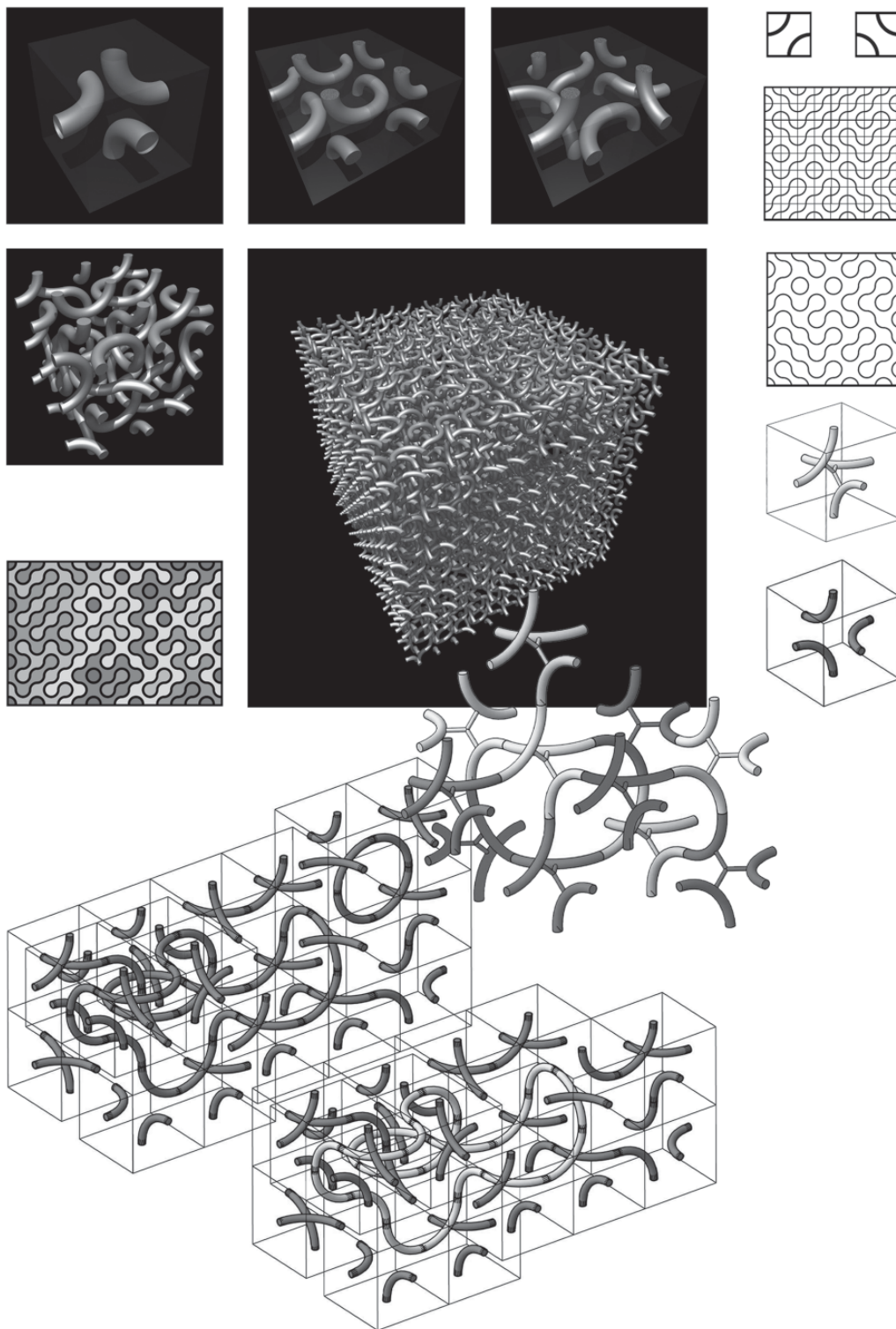


Figura 62. Pattern 2d e 3d tratto dagli studi di P. Bourke, *Truchet tiles in 2D and 3D*, 2006.
2d and 3d pattern by P. Bourke in *Truchet tiles in 2D and 3D*, 2006.

A paradigmatic study case: the "flat vault" and its topological variations

cio-Truchet” della volta piana al fine di coglierne le reciproche peculiarità, ossia la capacità di creare molteplici pattern decorativi che coprono una superficie. Ne risulta che il “pavage de Truchet” può diventare tridimensionale se opportunamente coniugato alla tecnica di conformazione del concio costituente di una volta piana. I due brevetti possono essere correlati in modo tale da poter creare infinite variazioni ornamentali della volta piana, in cui ornato e struttura coincidono totalmente. La storia ci consegna, quindi, riflessioni e tecniche che consentono:

- di costruire un solaio *spingente* costituito da elementi lapidei tutti uguali opportunamente ammassati;
- di poter variare infinitamente la forma degli elementi lapidei e quindi l'intero ornato del solaio.

Se ci astraiamo dal solaio e valutiamo le due considerazioni ora espresse riferendoci ad un solido (parallelepipedo con lo spessore molto piccolo rispetto alle dimensioni di lunghezza ed altezza) costituito dall'assemblaggio di tanti blocchi

discovered, exposed and firstly studied by Philippe Esperet, teacher of mats in the Lycée Henri IV, in Paris in 1995.

In 1704 dominican father Sébastien Truchet, interested in mats as well as in arts, published a work where he showed that an infinity of motives could be produced by the simple connection of half coloured squares. Indeed his work shows the earliest expression of combinatory theory principles and crystals symmetry. Actually this work represented the origin of another work by the Dominican father Douat who published in 1722 a book full of many superimposed basic motive drawings. This book had a big influence on all European decorative art during the 18th century.²

It is important to establish a connection

Figura 63. Deformazione per “piegatura” della volta piana.

Deformation with bending of flat vault.

opportunamente configurati che garantiscono un forte ancoraggio all'insieme, possiamo spingerci ad elaborare alcune fondamentali riflessioni sui principi della deformazione e trasformazione che legano la stereotomia alla topologia.

Siamo quindi ritornati all'ipotesi di partenza del presente studio il cui interesse è quello di manipolare creativamente la forma, codificata storicamente, per giungere a nuove speculazioni sia d'analisi che di progetto (v. Fig. 62 e 65).

La tecnica della deformazione per piegatura esposta in precedenza, per cui da un segmento rettilineo si ottiene un arco di circonferenza o da un piano un cilindro o una sfera, ci permette di formalizzare la nuova famiglia di volte stereotomiche apparecchiata con l'ammorsamento tipico dei conci della volta piana (v. Fig. 66–69).

Questa speculazione tende a risolvere alcuni tra i nodi teorici più importanti connessi alla realizzazione di spazi voltati:

- migliorare il mutuo ancoraggio, e quindi l'attrito, dei conci di un siste-

ma voltato;

- ridurre gli spessori murari;
- concepire l'apparecchiatura di una volta come sistema sia ornamentale sia strutturale;
- variare la forma dell'apparecchiatura in modo agevole e continuo;
- razionalizzare il numero di concitipo per la costruzione di un qualsiasi spazio voltato;
- ottenere automaticamente tutti i dati geometrici per il taglio sia manuale sia elettronico (CAD/CAM/CNC) dei singoli conci-tipo;
- fornire automaticamente tutti i dati numerici finalizzati al calcolo strutturale.

La sperimentazione è stata condotta sui brevetti della volta piana di Abeille e Truchet, i quali sono stati sottoposti ad una deformazione per piegatura che, trasformando il piano in semicilindro, ha consentito di ottenere una nuova conformazione dei singoli blocchi lapidei. Si è ipotizzato quindi di costruire una volta a botte, apparecchiata con i noti brevetti, al fine di assegnarle un

nuovo valore estetico/statico.

Alcune delle immagini proposte sono state concepite in modo da restituire l'effetto dinamico della variazione morfologica all'interno di un'immagine statica. Per questioni connesse alle dimensioni di questo studio si è pensato di presentare solamente le deformazioni per piegatura (v. Fig. 63), ritenendo pleonastica la descrizione degli altri modificatori per cui valgono le stesse considerazioni generali connesse all'infinita possibilità di attuare variazioni e metamorfosi. È interessante sottolineare che il termine "arco" (dal latino *arcus*) contiene in sé il termine "piegare" (dal latino *pli-care*) in virtù della identica radice sanscrita *ar* (*ar-alas* piegato). L'etimo della parola "piegare" trae origine dalla radice sanscrita *park-prak-plak* che esprime il senso del mischiare, collegare, intrecciare e che per traslato fa riferimento alla tessitura organica e alla ramificazione lignea. Una tessitura lignea, quindi, che idealmente si ricolleghi al concetto dell'arco.

Per la trasformazione della volta piana

between the theory for the *Truchet's pavages* and the flat vault *Truchet-ashlar* theory in order to catch the mutual peculiarities, that is, the capability to create several decorative patterns covering one surface.

the *Truchet's pavage* can become three-dimensional if it is appropriately connected with the flat vault ashlar shaping technique. Both the patents can be co-related so that they can create infinite decorative variations of the flat vault, where decoration and structure completely fit together. History gives us two techniques which allow us to:

- Build a *pressure* floor made of same stone appropriately scarfed elements.
- Infinitely vary stone elements shape and consequently the whole ceiling decoration.

If we put aside the ceiling and focus on the two above mentioned considerations, referring to a solid (parallelepiped with a small thickness if compared to length and height) made by assembling

several blocks appropriately configured, which guarantee a strong link, we can go on making some important reflections linking stereotomy with topology. So we are back to the starting theory of this study, where the interest is in manipulating the shape in a creative way, historically codified, to get a new speculation both in analysis and planning (see Fig. 62 and 65).

Deformation with the above exposed bending technique, according to which we get an arch of circumference from a rectilinear segment or we get a cylinder or a sphere from a plane, allow us to formalize the new family of stereotomic vaults made by the scarfing of the flat vault ashlars (see Fig. 66–69).

This work is aimed to solve some of the most important problems connected to the creation of vaulted spaces:

- to improve the mutual anchorage and friction of the ashlars of a vaulted system;
- to reduce the masonry gauge
- to conceive the creation of a vault both as a structural and decorative

system;

- easily and constantly vary the shape of a bond;
- Rationalize the number of standard ashlar to build any vaulted system;
- to get automatically all the geometrical data for both the manual and electronic cutting of any standard ashlar (CAD/CAM/CNC);
- to provide automatically all the number data useful for the structural calculation.

Experiments have been conducted on Abeille and Truchet's flat vaulted patents. They have been subjected to a *folding deformation* which turned the plane into a semi-cylinder. Then, we supposed to build a barrel vault with the mentioned patents to give it a new aesthetic/static value.

Some of the suggested pictures have been conceived in order to have the dynamic effect of variation within a static image. Due to the limited extension of this work only the bending deformation have been presented (see Fig 63), as we consider redundant the descrip-

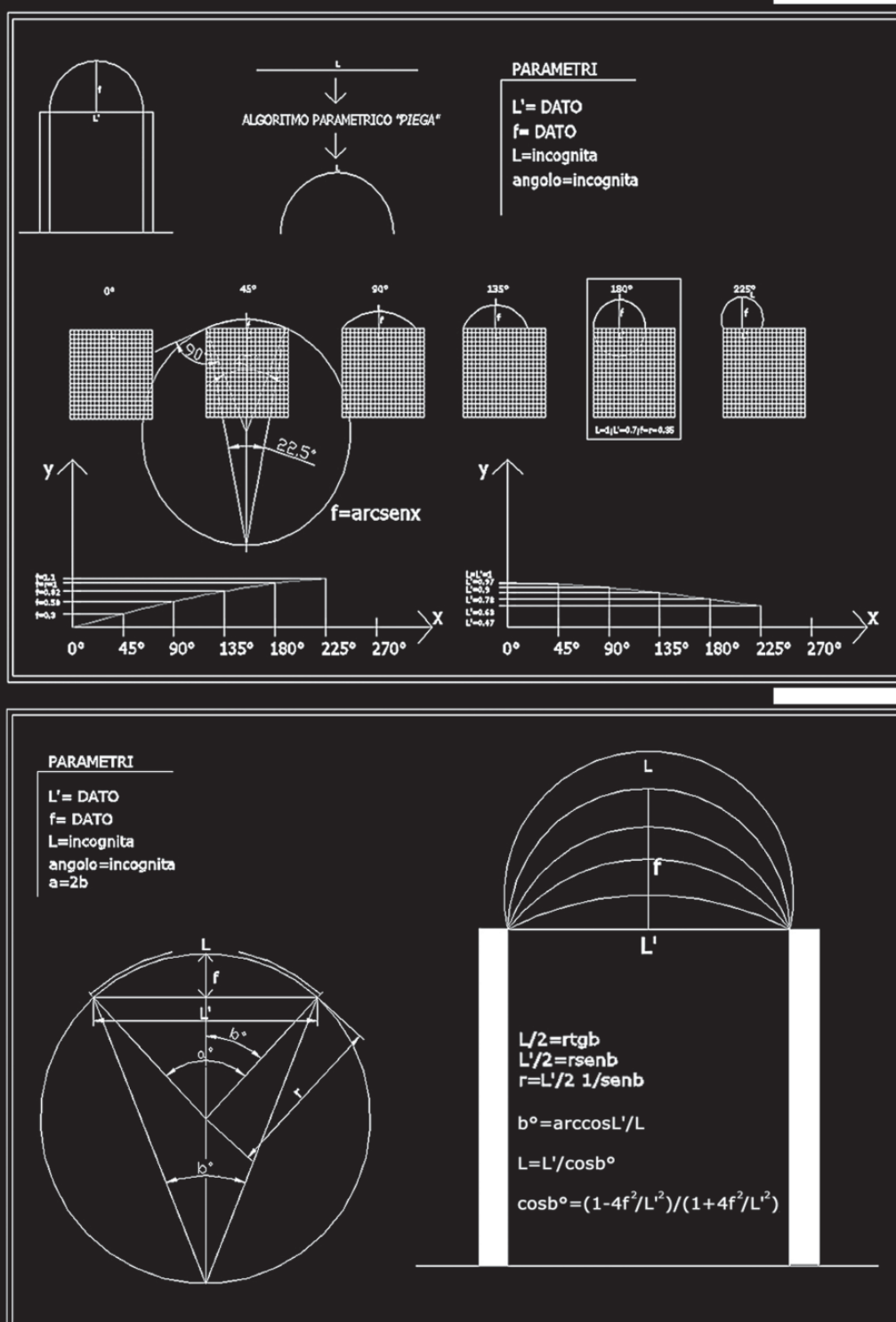


Figura 64. Deformazione per "piegatura" della volta piana: parametri.
 Deformation with bending of flat vault.

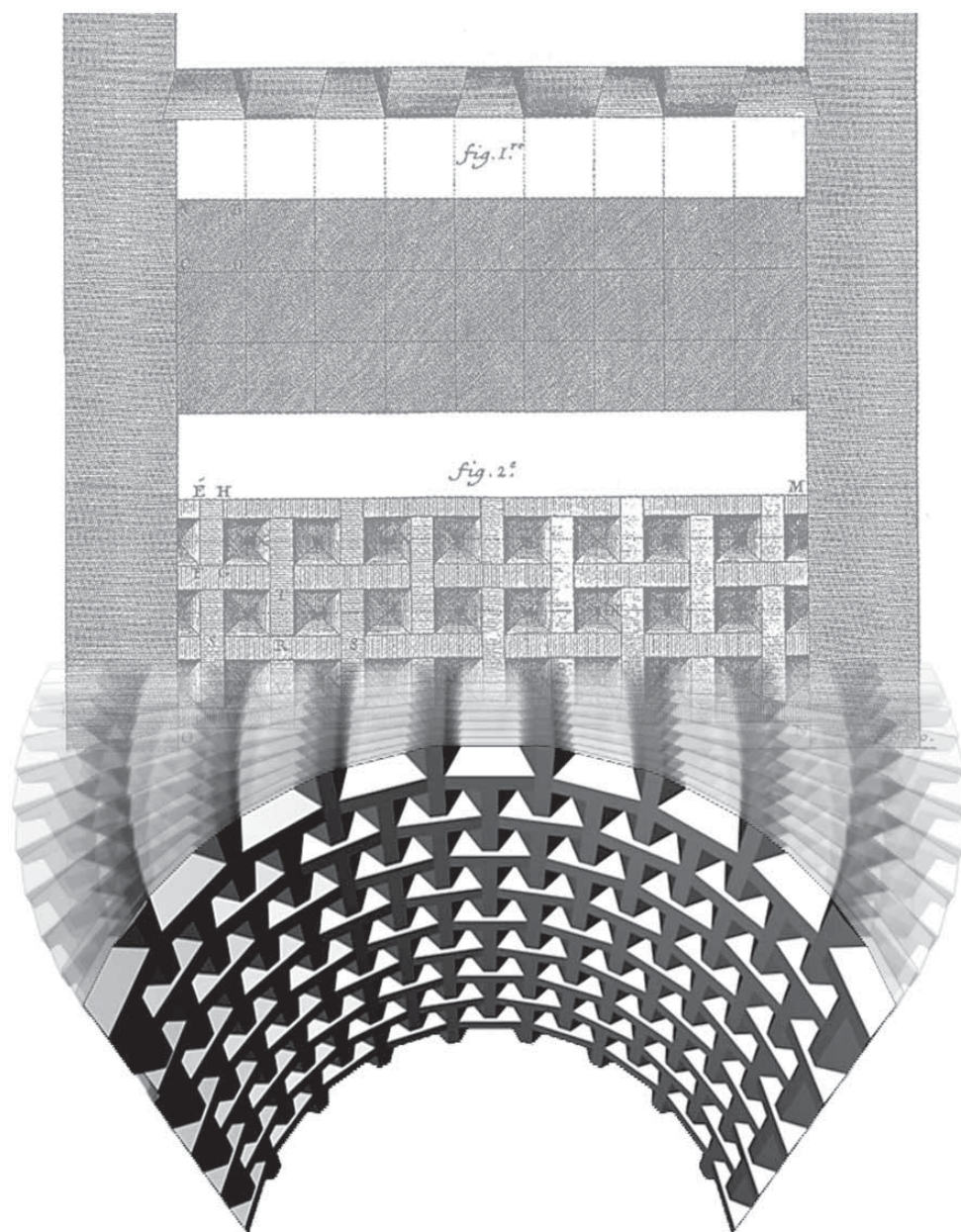
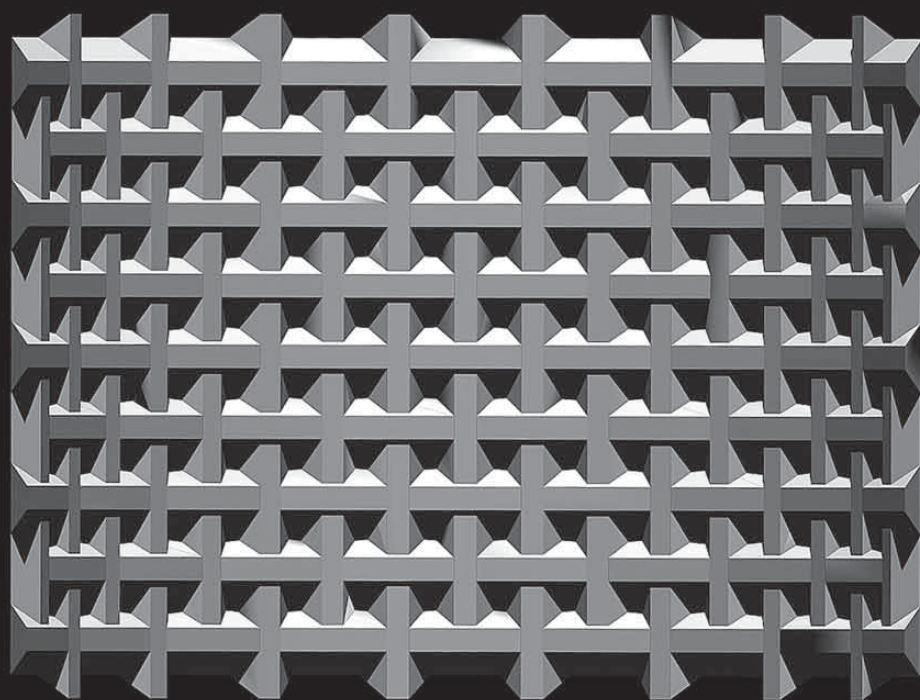
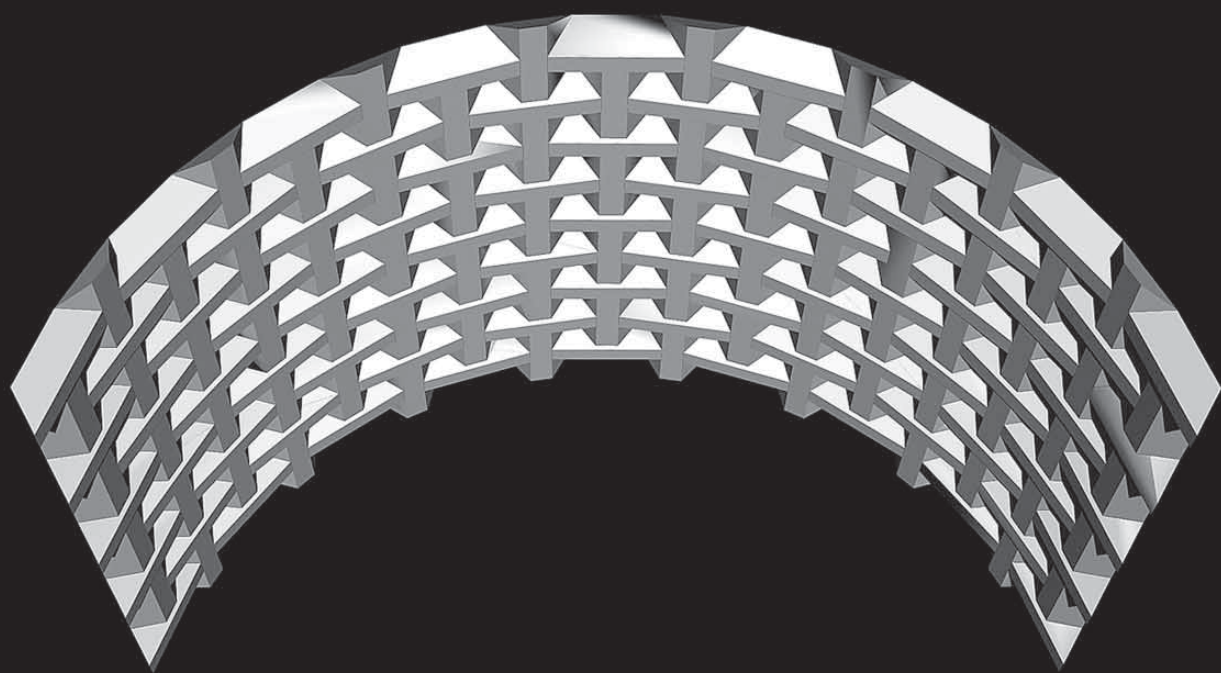


Figura 65. Trasformazioni: volta a botte apparecchiata con il concio di J. Abeille.
Transformations: barrel vault built with J. Abeille's ashlar.

A paradigmatic study case: the "flat vault" and its topological variations



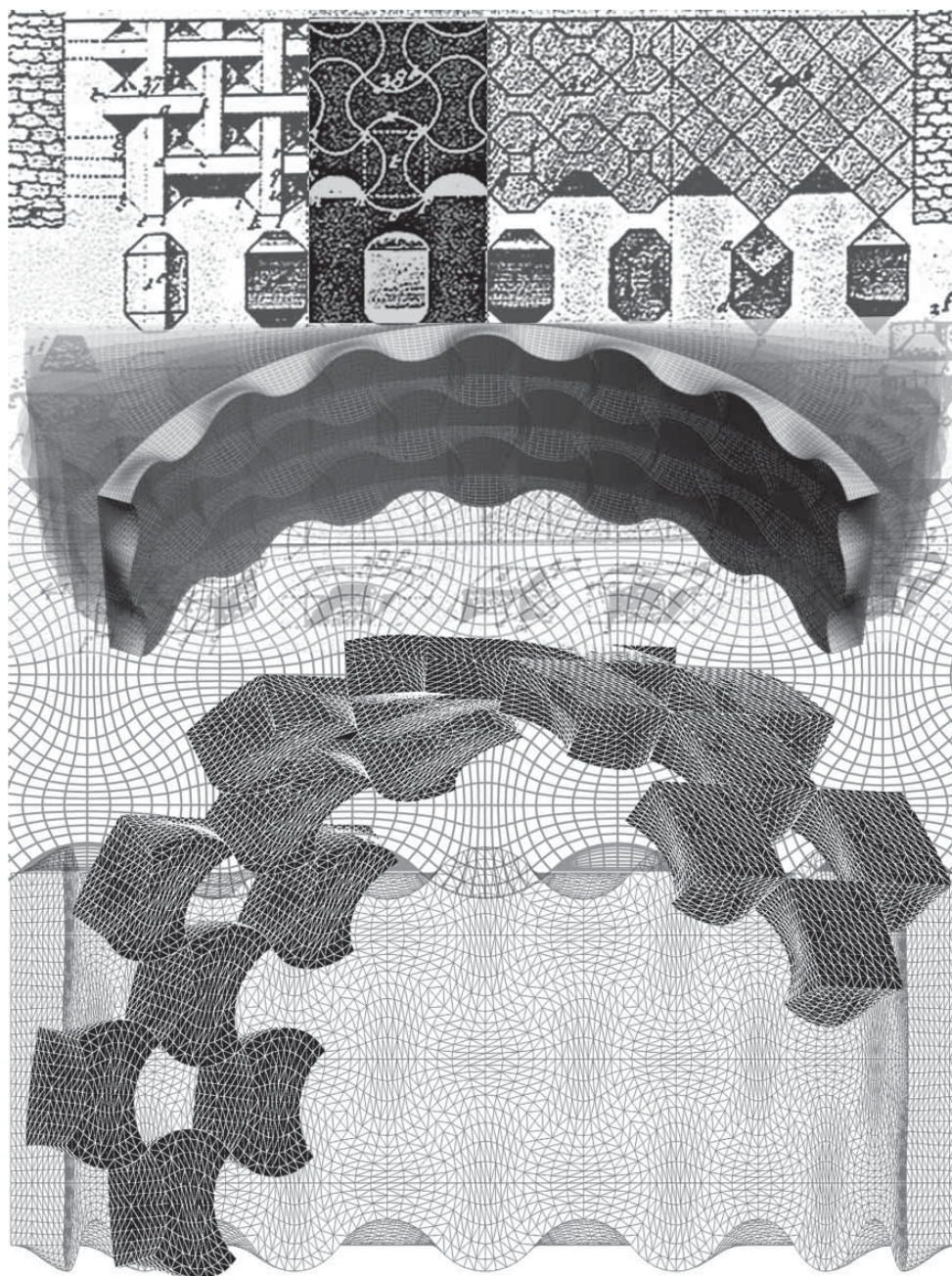


Figura 66. Trasformazioni: volta a botte apparecchiata con il concio di J. Abeille.
Transformations: barrel vault built with J. Abeille's ashlar.

Figura 67. Trasformazioni: volta a botte apparecchiata con il concio di S. Truchet.
Transformations: barrel vault built with S. Truchet's ashlar.

A paradigmatic study case: the "flat vault" and its topological variations

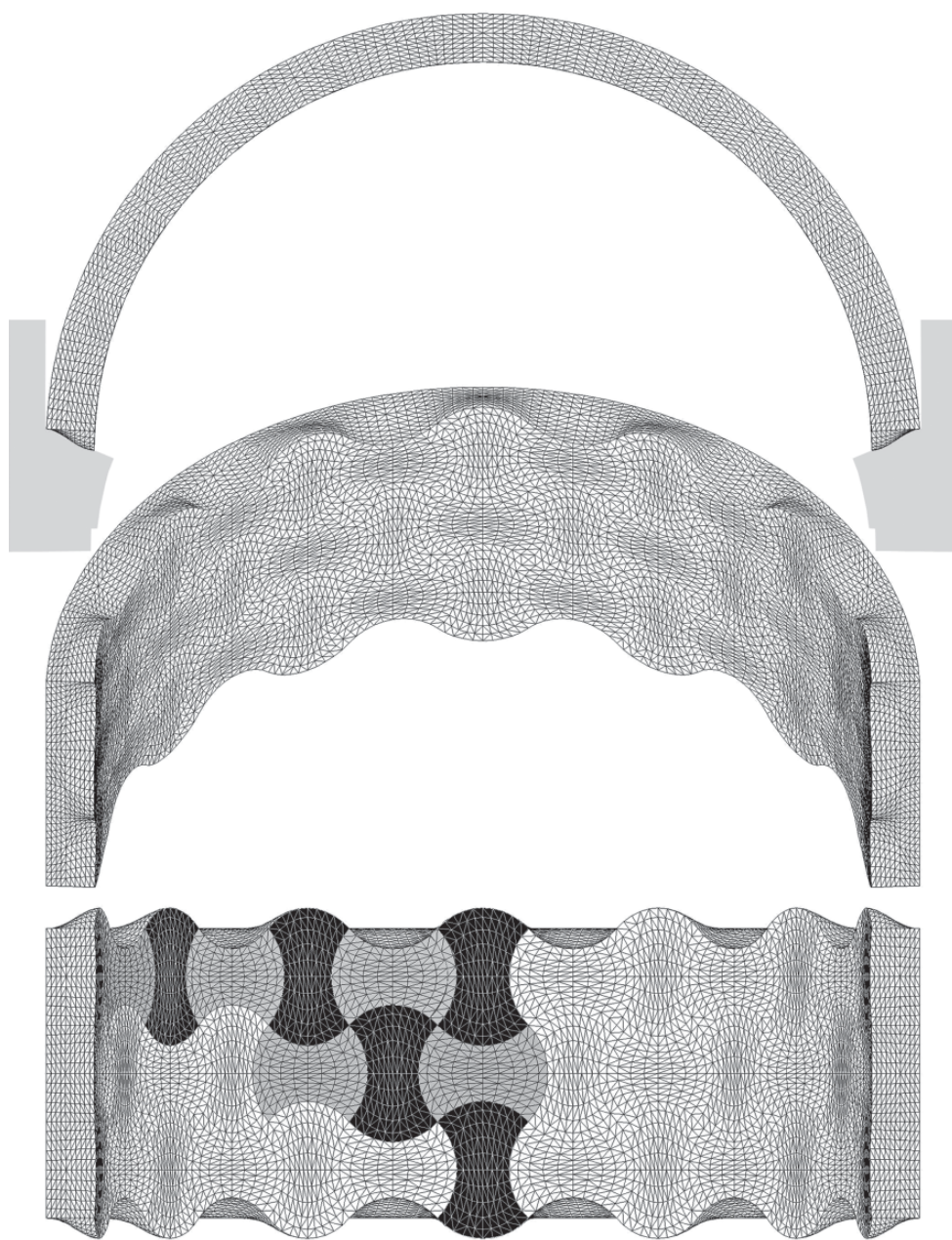


Figura 68. Trasformazioni: volta a botte apparecchiata con il concio di S. Truchet.
Transformations: barrel vault built with S. Truchet's ashlar.

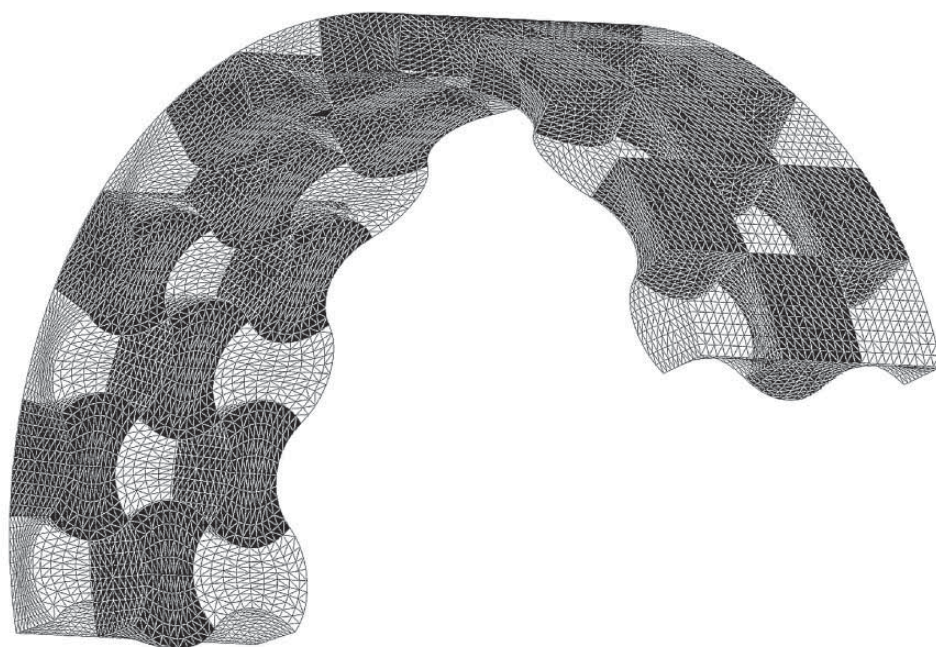


Figura 69. Trasformazioni: volta a botte apparecchiata con il concio di S. Truchet.
Transformations: barrel vault built with S. Truchet's ashlar.

A paradigmatic study case: the "flat vault" and its topological variations

in volta a botte si è proceduto all'individuazione di un campo di variabilità geometrico-formale della stessa, attraverso la definizione dei parametri di modificazione. Ad esempio, dalla figura n. 64, è possibile comprendere la natura dei parametri che entrano in gioco nella messa a punto del metodo: L' (la luce libera tra due muri su cui si imposta la nuova volta a botte) è un parametro dato o stabilito in fase progettuale; f (la freccia dell'arco) è anch'esso un parametro dato o di progetto che nella fattispecie assegna il valore formale più importante della volta (rialzata, ribassata, a tutto sesto...); L (la dimensione dell'arco di circonferenza) è un parametro che dipende dai due precedenti e rappresenta una dimensione di sviluppo sul piano della volta (l'altra dimensione è connessa alla lunghezza del vano da coprire); α (l'angolo di piegatura) è il parametro da inserire nel modificatore "piega" che consente di trasformare il piano in superficie cilindrica deformando opportunamente il modello. Quest'ultimo parametro è calcolato come

angolo compreso tra due rette normali alle tangenti prese all'estremità all'arco di circonferenza e può correlarsi alla freccia della stessa, per cui ad esempio: per *fuguale* ad r si ottiene una semicirconferenza con α pari a 180° ; di contro, con α pari a 0, l'arco si trasforma in un segmento rettilineo e così via. Quindi, una volta stabiliti i parametri morfologici di sezione (L' e f), è possibile calcolare lo sviluppo della volta (L) e assegnare la dimensione in lunghezza del vano da coprire. Questi dati ci restituiranno la dimensione del rettangolo su cui si modellerà la volta piana tradizionale facendo attenzione ai dovuti spessori della stessa in luogo delle dimensioni del vano da coprire. Terminata questa fase e individuato l'angolo α della "piegatura", il modificatore infografico completerà l'opera trasformando il "rettangolo" in "semicilindro". Tutti i conci subiranno una deformazione continua passando dalla configurazione "piana" alla relativa "spaziale" (v. Fig. 70). Assegnare un'unica curvatura al sistema voltato significa ottenere due con-

ci-tipo per la realizzazione dell'intera volta (v. Fig. 71), il cui numero aumenta all'aumentare del grado di curvatura del sistema voltato (v. Fig. 72-74). Per concludere occorre sottolineare che la comprensione di tutte le possibili generalizzazioni formali a cui il sistema stereotomico può sottoporsi sia fondamentale al fine di ripensare progettualmente il valore estetico-statico-costruttivo di una geniale ed innovativa tecnica *aedificandi*.

tion of other modifiers since they show the same general rule concerning the infinite chances to make morphological variations and metamorphosis. It is interesting to emphasize that the entry "arch" (from the Latin *arcus*) incorporates the term "bend" (in Latin *pli-care*) in accordance with the identical Sanskrit root *ar* (*ar-alas* bent). The etymon of the word "plicare" (to bend) stems from the Sanskrit root *park-prak-plak*, which refers to the meaning of blending, linking, intertwining and, figuratively, to organic weave and wooden ramification. A wooden weave that ideally refers to the principle of the arch.

To change the flat vault into a barrel one, we had to find a geometrical formal variability field of the vault by defining modification parameters. If we look at figure 64, we can understand the parameters useful for the method: L' (the free span between two walls where we are going to build the new barrel vault) is a given parameter or settled in the designing phase; f (the height of

the arch) is another given or designed parameter which gives the most important formal value of the vault (lifted, lowered, tight...); L (the dimension of a circumference arc) is a parameter depending on the previous two and it represents a development dimension on the vault plane (the other dimension is connected with the space to cover); α (the bending angle) is the parameter we are going to insert in the *bending modifier* which allows to change the plane in cylindrical surface, deforming the model advisability.

This angle is calculated as lying between two normal straight lines to the tangents at both ends of the circumference arch and can be connected to its height so that: if f is like r we will get a 180° α semi-circumference; where are with 0 α , the arch will be a rectilinear segment, and so on...

Thus, once we get the section morphological parameters (L' and f), it is possible to calculate the vault (L) development and to assign the covering space length.

These data will give us back the rectangle dimension where the traditional flat vault will be modelled. Attention has to be paid to vault gauge in place of covering space dimension.

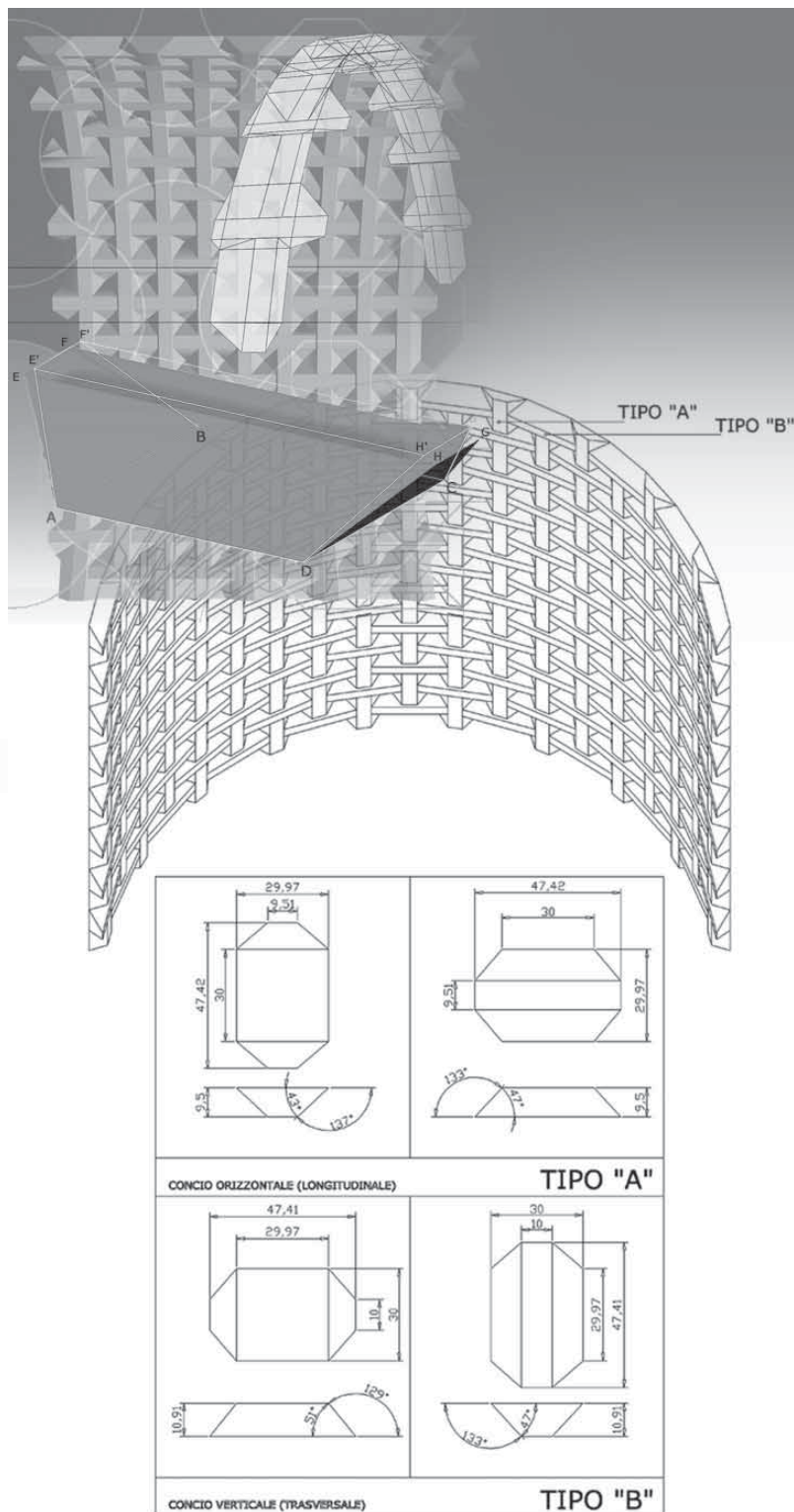
As this stage ends and as we find α bending angle, the infographic modifier will end the work, transforming the rectangle into a semi-cylinder. Every single ashlar will be submitted to a continuous deformation passing from *flat* shape to a *spatial* one (see Fig. 70).

To assign only one curvature to the vaulted system, means to obtain two standard ashlars to create the whole vault (see Fig 71). The number of ashlars increases as the vaulted system curvature gradient rises (see Fig 72-74)

In conclusion, it would be essential to highlight how useful an understanding of all the possible formal generalizations of a stereotomic system, in order to re-think about the aesthetic/static-building value of such a brilliant and innovative *tecnica aedificandi*.

note:

1. A.F. FRÉZIER, *Eléments de stéréotomie à l'usage de l'architecture pour la coupe des pierres*, cit. (nota 5 cap. I), II tomo, p. 77.
2. S. SMITH, *The Tiling Patterns of Sebastien Truchet and the Topology of Structural Hierarchy* in *Leonardo* 4, vol. 20, 1987, pp. 373-385.



135

notes:

1. A.F. FRÉZIER, *Eléments de stéréotomie à l'usage de l'architecture pour la coupe des pierres*, cit. (nota 5 cap. I), II tomo, p. 77.
2. S. SMITH, *The Tiling Patterns of Sebastien Truchet and the Topology of Structural Hierarchy* in *Leonardo* 4, vol. 20, 1987, pp. 373-385.

Figura 70. Trasformazioni: conci della volta a botte apparecchiata con il brevetto di J. Abeille.
Transformations: ashlars of the barrel vault built with J. Abeille's patent.

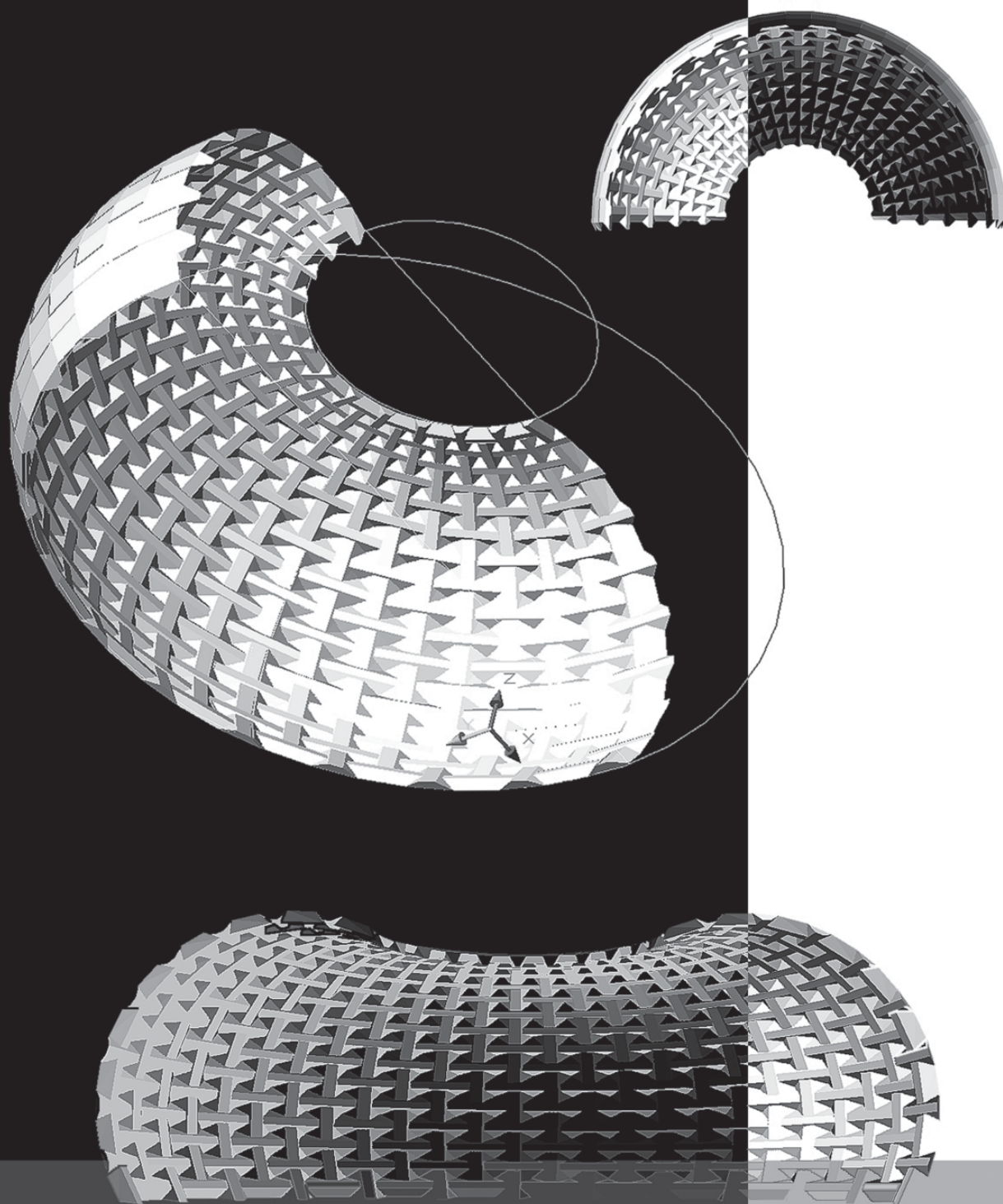


Figura 72. Trasformazioni: cupola a doppia curvatura apparecchiata con il brevetto di J. Abeille.
Transformations: double bent ring vault built with J. Abeille's patent.

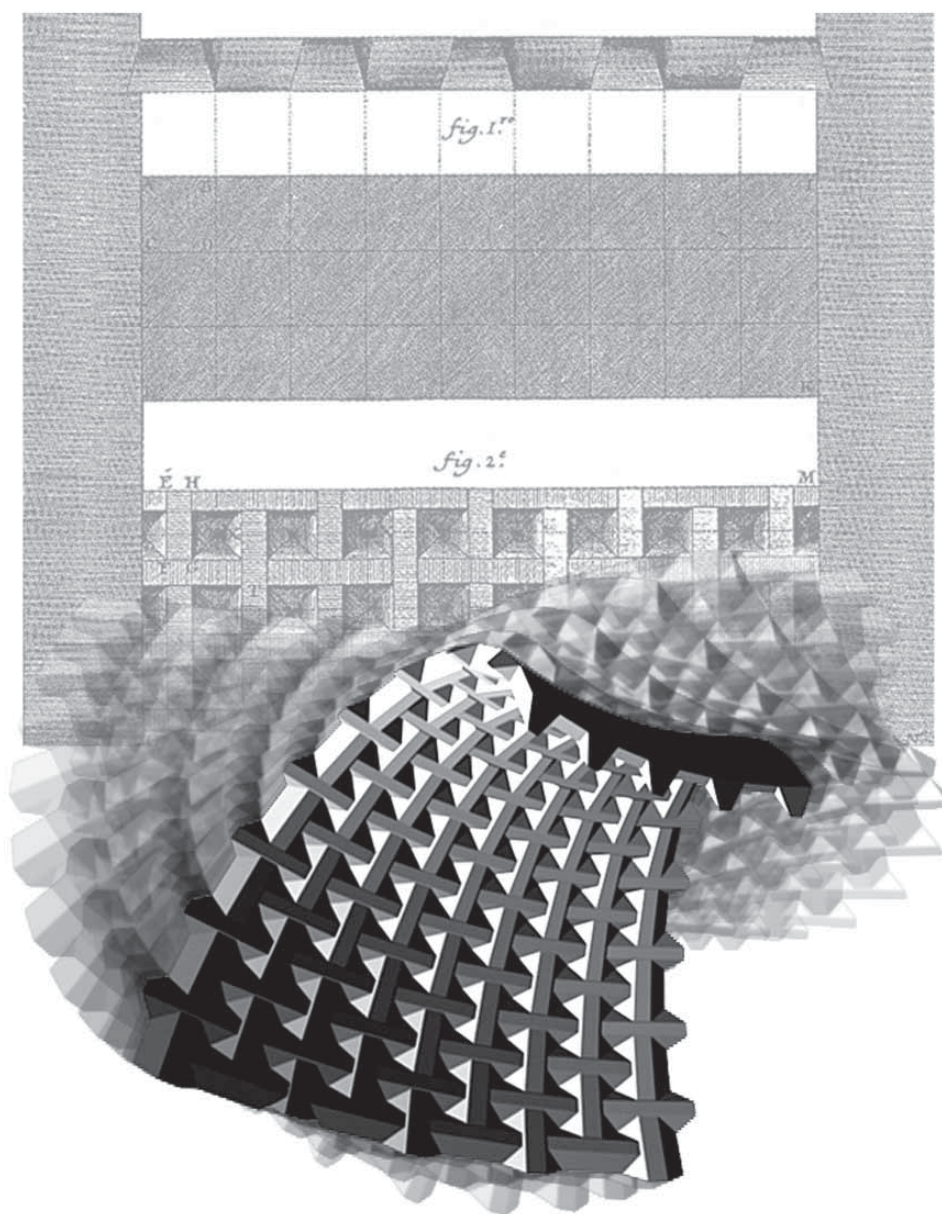


Figura 71. Trasformazioni: volta anulare a doppia curvatura apparecchiata con il brevetto di J. Abeille.
Transformations: double bent ring vault built with J. Abeille's patent.

A paradigmatic study case: the "flat vault" and its topological variations



Figura 73. Trasformazioni: frammento di cupola a doppia curvatura apparecchiata con il brevetto di J. Abeille.
Transformations: part of a double bent ring vault built with J. Abeille's patent.

Verso una progettazione stereotomica

Towards a stereotomic design

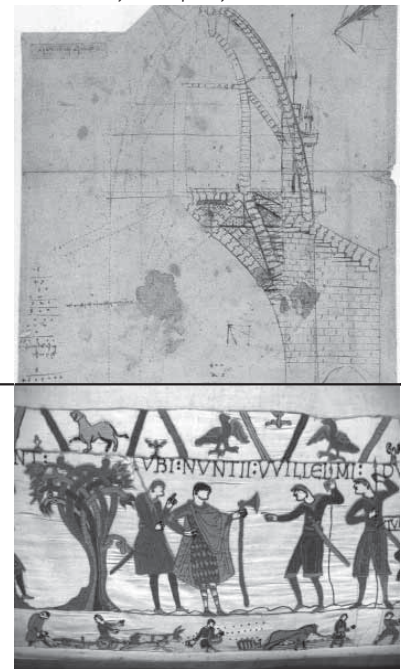
8

8. Verso una progettazione stereotomica

I ragionamenti sin qui esposti e le argomentazioni addotte ci conducono alla formulazione di un nuovo e specifico ambito disciplinare, interno alla progettazione architettonica, che chiameremo *progettazione stereotomica*, ovvero, alla definizione di una specifica metodologia progettuale applicata allo studio dello spazio voltato. Parlare di progettazione stereotomica significa assumere un paradigma teorico–pratico di riferimento atto alla realizzazione di architetture concepite secondo l'utilizzo di sistemi e/o elementi architettonici voltati resistenti per forma costituiti da conci discreti e giuntati a secco. Tale paradigma è ascrivibile alle tecniche tradizionali del costruire, specificamente in pietra e legno, ove il concetto del *legamento* delle parti costituenti la fabbrica rappresenta la cifra distintiva del carattere e della espressività architettonica. È possibile, quindi, parlare di architetture stereotomiche quando sussiste il riconoscimento di una serie di regole, di natura geometrica statica e costruttiva

che abbiamo in precedenza individuato come *principi invariati*, connesse al progetto del suo spazio voltato. Quest'ultimo può genericamente definirsi come una porzione di spazio delimitata da superfici piane di calpe-

Figura 74. Sezione del Duomo di Milano negli studi di Leonardo da Vinci e rappresentazione d'albero nel Bayeux Tapestry. *Section of Milan Cathedral in Leonardo da Vinci's idea and image of a tree in Bayeux Tapestry.*



140

Towards a stereotomic design

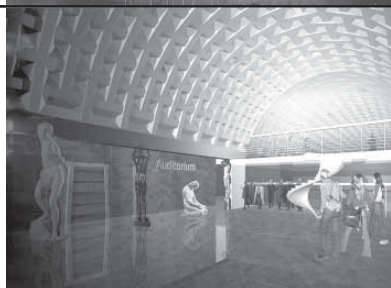
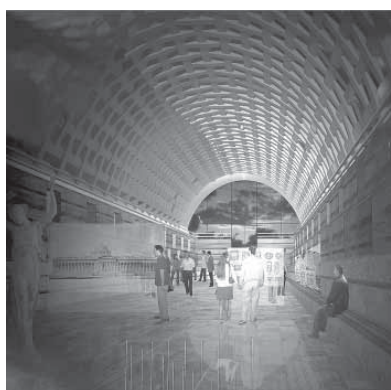
The reasoning so far exposed and the produced argumentations conduct us to the formulation of a new and specific disciplinary sphere, inner to the architectural design, that we will call *stereotomic design*, or rather, to the definition of a specific projective methodology applied to the study of the vaulted space. To speak of stereotomic design means to assume a theoretic–practical paradigm of reference act to the realization of architectures conceived according to the use of systems and/or vaulted architectural elements resistant by form constituted by discreet elements and dry joined together. Such paradigm is imputable to the traditional building techniques, specifically in stone and wood, where the concept of the *joint* of the constituent parts of the fabric represents the distinctive figure of the character and the architectural expressiveness. It is possible, therefore, to speak of stereotomic architectures when exists the recognition of a series of rules, of geometric static and constructive nature

which have in precedence individualized as *invariant principles*, connected to the project of its vaulted space. This ultimate can generically be defined as a portion of space delimited by flat surfaces of trampling and circumscription, and from roofing curved surfaces which represent, specifically for the vaulted architectures, the true place of characterization of the space. The geometric nature of the roofing curved surface makes reference to two principal geometric places: the *sphere* and the *cylinder* (surfaces of rotation and translation), that define as many types

stio e di perimetrazione, e da superfici curve di copertura che rappresentano, specificamente per le architetture voltate, il vero luogo di caratterizzazione dello spazio. La natura geometrica della superficie curva di copertura fa

Figura 75. Volta a botte apparecchiata con il concio di J. Abeille.

Barrel vault built with J. Abeille's ashlar.



of spatiality: *central* and *longitudinal* (closed and open). The whole vaulted architecture, unless specific constructive geometries can be read as a possible composition and articulation of spherical and cylindrical surfaces. To the functionalist and technicist logics deeply rooted in the post-war constructive routine and of modernist cultural root it is possible to make go back the crisis and the end of the vaulted space either as intrinsic value of the art of the building or as specific place of architectural reflection. Our research interest, afar from being

riferimento a due principali luoghi geometrici: la *sfera* e il *cilindro* (superfici di rotazione e traslazione), che definiscono altrettanti tipi di spazialità: *centrale* e *longitudinale* (chiusa e aperta). Tutta l'architettura voltata, a meno di specifiche geometrie costruttive, può essere letta come una possibile composizione e articolazione di superfici sferiche e cilindriche.

Alle logiche funzionalistiche e tecnicistiche connaturate alla prassi costruttiva post-bellica e di radice culturale modernista è possibile far risalire la crisi e la fine dello spazio voltato sia come valore intrinseco dell'Arte del costruire che come specifico luogo di riflessione architettonica.

Il nostro interesse di ricerca, lungi dall'essere riferito alla individuazione dei motivi ideologici o pragmatici che hanno decretato la fine o la decadenza di siffatto spazio architettonico, rinviabile ad un altro e differente approfondimento, si focalizza sulla definizione dei suoi punti di forza tentando di distillare gli argomenti ritenuti peculiari alla temati-

reported to the individualization of the ideological or pragmatic motives which have decreed the end or the decadence of such architectural space, returnable to another and different investigation, is focused on the definition of its points of strength trying to distil the arguments held peculiar to the developed thematic.

In first place the vaulted space has represented for ever and, in way it specifies in the stereotomic architecture, the ideal place where to convey the more refined and complex reflection on the construction of the architectural space. The intrinsic quality of the vaulted architecture resides in the immediate ability, of its simpler forms, to define closed and measurable spaces that are *auto-delimited* in comparison to the indeterminateness of the space. The curved line, proper of the arch-vaulted systems, is the geometric place that establishes without ambiguity a concavity and a convexity in its definition, or, in univocal and absolute way it distinguishes a *within/interior* and an

ca sviluppata.

In primo luogo lo spazio voltato ha rappresentato da sempre e, in maniera specifica nell'architettura stereotomica, il luogo ideale ove muovere la più raffinata e complessa riflessione sulla costruzione dello spazio architettonico. La qualità intrinseca dell'architettura voltata risiede nella immediata capacità, delle sue forme più semplici, di definire spazi chiusi e misurabili che si *auto-delimitano* rispetto alla indeterminatezza dello spazio. La linea curva, propria dei sistemi archivoltati, è il luogo geometrico che nella sua definizione stabilisce senza ambiguità una concavità e una convessità, ovvero, in maniera univoca e assoluta distingue un *dentro/internità* e un *fuori/esternità*.

Piegare una superficie significa renderla "accogliente" e tale da formare uno spazio interno abitabile.

L'*internità* dell'edificio è quindi il luogo dello *stare* e dell'abitare ove la *con-cavità* delle forme, voltate e cupolate, evoca il senso di accoglienza e di protezione, e si riferisce idealmente all'abita-

outside/exterior.

To bend a surface means to make it "welcoming" and in such way to form a habitable inside space.

The *interior* of the building is therefore the place to rest and to live where the *con-cavity* of the forms vaulted and domed, it evokes the sense of reception and protection, and it ideally refers to the primordial residence: the cavern. The *exterior*, for the vaulted architectures, is of a less significant value, it represents the place of the affirmation or dissimulation of the volumetric composition of the interior space: the intrados of a vault is always visible, from the interior of the room one, in its geometric completeness and it individualizes the *material* to mould; while the extrados of a vault is the place of the concentration of the loads, of the reinforcement, and is partially visible only in the cases of vaulted roofs with *curved-cant*.

To design with vaulted systems means, therefore, to characterize a cavity, an "excavation", to give quality to the

zione primordiale: la caverna. L'*esternità*, per le architetture voltate, è un valore meno significante, esso rappresenta il luogo dell'affermazione o dissimulazione della composizione volumetrica dello spazio interno: l'intradosso di una volta è sempre visibile, dall'interno del vano, nella sua completezza geometrica e individua la *materia*

da plasmare; mentre l'estradosso di una volta è il luogo della concentrazione dei carichi, del rinfiando, ed è visibile solo parzialmente nei casi di coperture voltate *estroflesse*.

Progettare con sistemi voltati significa, quindi, caratterizzare una cavità, uno "scavo", dare qualità alla caverna, attraverso due modi possibili ed interrelati:

- proporzionare i volumi che definiscono lo spazio interno;
- qualificare la superficie che involupa i volumi.

Nel primo caso l'attenzione è posta sulla modellazione degli spazi voltati nella loro globalità e nella interazione tra i parametri geometrici che ne determinano le volumetrie: dimensioni e forma del vano da coprire, altezza del piano di imposta del sistema voltato rispetto al piano di calpestio, conformazione delle volte, individuazione delle aperture come soluzione di continuità del sistema voltato, ecc. A seconda delle specifiche scelte progettuali, rispondenti alle differenziate necessità rappresentative, simboliche e funzionali dell'edificio, il carattere del suo spazio può oscillare fra la pienezza e assolutezza propria della famiglia di forme derivanti dall'arco a tutto sesto alla tensione e arditezza strutturale afferenti all'arco ribassato; dal silenzio della volta semplice alla *vibrazione* delle volte composte ad intersezioni spaziali multiple.

cavern, through two possible ways and thus, inter-related:

- To proportion the volumes which define the interior space;
- To qualify the surface that envelops the volumes.

In the first case the attention is set on the modelling of the vaulted spaces in their totality and in the interaction between the geometric parameters that determine the volumetric spaces of them: dimensions and form of the room to be covered, height of the impost plan of the vaulted system in respect to the trampling plan, conformation of the vaults, individualization of the openings as solution of continuity of the vaulted system, etc.. In the direction of the specific projective choices, in conformity with the diversified representative, symbolic and functional necessities of the building, the character of its space can oscillate between the fullness and absoluteness proper to the family of forms deriving from the semicircular arch to the tension and structural bold-

DES SCIENCES 119

SUR QUELQUES ARCS

EMPLQYES

DANS L'ARCHITECTURE.

L Es Architectes ne croient pas avoir besoin d'une si V. les M. exacte Géométrie pour la description de leurs lignes, P. 24. par exemple, pour celle de leurs Arcs & de leurs Ceintres; ils ont principalement les yeux à contenter, qui ne font pas Géomètres, & qui jugent par d'autres Régles. Ainsi de grands Architectes ont prétendu qu'en certaines occasions où l'on avoit à faire des Arcs surbaissés, une certaine Courbe qu'ils ne se font point mis en peine de connoître géométriquement, mais qu'ils sçavoient décrire d'une manière mécanique, feroit un effet plus agréable que des portions de Cercle ou d'Ellipfe.

M. de la Hire a étudié cette Courbe en Géomètre, sur le seul fondement de sa description mécanique, qui l'a conduit à en déterminer la nature. Il a trouvé que c'étoit une Parabole, mais posée nécessairement de manière que son sommet qui est une espèce d'angle & de pointe, feroit à un des côtés du Ceintre, & y choqueroit les yeux qui n'aient point à rencontrer en leur chemin ces sortes d'inégalités rudes & raboteuses. Ce défaut pourroit cependant être sauvé par de certaines ruses de l'art; mais enfin il vaut encore mieux n'avoir pas à le sauver, & l'Ellipfe est préférable. Il se rencontre ici que cette sèche Géométrie qui ne songe nullement à l'agrément des figures, corrige une invention qui n'avoit pour objet que de plaire aux yeux.



Figura 76. *Sopra qualche arco utilizzato nell'architettura*.
The above some arches used in the architecture.

A tal proposito risultano ancora attuali i ragionamenti sulla definizione estetica degli archi, relativi alla costruzione degli spazi voltati, nella dialettica tra proporzionamento visivo ed esattezza geometrica e di calcolo strutturale (v. Fig. 76).

Nel secondo caso l'attenzione è posta sulla aggettivazione estetica della superficie intradosale dello spazio voltato, ovvero sulla possibilità di concepire l'apparecchiatura della volta come una trama decorativa che trasforma l'istanza statico/costruttiva delle commessure dei conci in *ornato spaziale*.

Quest'ultimo, nelle infinite configurazioni possibili, è sempre inteso secondo la logica della concatenazione delle figure che traduce, in astrazione geometrica, il senso dell'incastro o dell'intreccio fra le parti e del legamento strutturale. Questo concetto ci consente per traslato di riferirci all'origine tessile dell'architettura, ove il nodo dei tessuti rappresenta una prima forma di ornato seriale e a valenza costruttiva, e di concepire

quella che G. Semper definiva come *decorazione parietale*. La traduzione in valenza estetica della connessione dei conci di una volta è quindi il compito dell'*ornato spaziale* che, attraverso il concetto dell'*annodare elementi separati*, restituisce un senso di saldezza strutturale e visiva.

La progettazione stereotomica, quindi, in base a quanto esposto, è finalizzata alla celebrazione degli spazi voltati, si insedia sull'*internità* dell'edificio ove *conformazione del volume* e *qualificazione delle superfici* rappresentano i luoghi concettuali della sua speculazione, e si inverte attraverso l'arte del *taglio dei corpi solidi* (στερεο' = solido e τομή' = taglio). L'etimo della parola stereotomia, come si è detto, non contempla riferimenti espliciti ai materiali della costruzione anche se il termine viene coniato da scalpellini e apparecchiatori che affidavano ad esso una accezione scientifica del proprio mestiere basato sulle regole della geometria applicata al taglio delle pietre e dei legnami.

Secondo la stereotomia, uno spazio

voltato non può che darsi come somma coerente di tanti elementi distinti o, al contrario, questi ultimi concorrono alla creazione di uno spazio voltato solo se guidati dalla stereotomia. Questa considerazione esclude automaticamente l'utilizzo dei materiali e delle tecniche costruttive che presuppongono, per la creazione di elementi strutturali, il *continuum* materico, per esempio il calcestruzzo armato e suoi affini. Tale esclusione, lontana da pregiudizi ideologici, è unicamente finalizzata alla ricerca della qualità dello spazio voltato costruito con materiali prevalentemente naturali, per i quali modellare per asportazione significa partecipare alla costruzione della forma. La materia informe è chiamata a perdere qualcosa di sé per diventare materiale da costruzione, quindi elemento costruttivo e poi forma dell'architettura.

La pietra e il legno rappresentano i materiali della costruzione per antonomasia, e possono rappresentare i materiali del futuro in quanto "fabbricati" dalla terra, facilmente perfezionabili e passibili

ness grappled on to the depressed arch; from the silence of the simple vault to the vibration of the composed vaults with multiple spatial intersections. To such intention they still result actual the reasoning on the aesthetical definition of the arches, related to the construction of the vaulted spaces, in the dialectics among visual proportionality and geometric exactness and of structural calculation (see Fig. 76).

In the second case the attention is set on the aesthetical projecting of the intrados surface of the vaulted space, or on the possibility to conceive the bonding of the vault as an adornment frame that transforms the static/constructive application of the proportions of the blocks in *spatial adornment*.

This ultimate, in the endless possible configurations, it is always understood according to the logic of the connection of the figures that explains, in geometric abstraction, the sense of the joint or the interlacement between the parts and of the structural relationship. This

concept allows us by transfer to refer to the textile origin of the architecture there, where the knot of the fabrics represents a first form of serial adornment and with constructive valence, and to conceive what that G. Semper defined as *wall decoration*. The translation in aesthetical valence of the connection of the blocks of a vault is therefore the assignment of the *spatial adornment* that, through the concept of the *bonding of separate elements*, resituates a sense of structural and visual firmness.

The stereotomic design, therefore, on the basis of what has been exposed, is finalized to the celebration of the vaulted spaces, it is settled on the *interior* of the building where *conformation of the volume* and *qualification* of the surfaces represent the conceptual places of its speculation, and it is realized through the *art of the cut of the solid bodies* (στερεο' = solid and τομή' = cut). The origin of the word stereotomy, as it is said, does not contemplate explicit references to the materials of the construction even if the term has been coined

by stone-cutters and stone-dressers which entrusted to it a scientific meaning of the proper work founded on the rules of the geometry applied to the cut of the stones and the lumbers. According to the stereotomy, a vaulted space can only give itself as coherent sum of so many separate elements or, to the contrary, these last ones compete to the creation of a vaulted space only if guided by the stereotomy. This consideration automatically excludes the use of the materials and the constructive techniques which presuppose, for the creation of structural elements, the *continuum* of material, for example the armed concrete and its likes. Such exclusion, distant from ideological prejudices, are entirely finalized to the research of the quality of the vaulted space built with material predominantly natural, for which to model for removal means to participate in the construction of the form. The shapeless material is destined for losing something of itself to become material from construction, therefore constructive element and then form of

di riutilizzo continuo senza sprechi energetici per i re-utilizzi. L'esercizio concettuale connesso alla progettazione di organismi architettonici costituiti dall'incastro di singole parti spinge la riflessione sulla stretta relazione che intercorre tra il *particolare* e il *generale*, l'unità elementare, rappresentata dal concio lavorato, è la sineddoche del progetto, la parte che contiene il tutto in quanto possiede in nuce la sua configurazione spaziale finale.

La progettazione stereotomica si realizza quindi con la "risoluzione spaziale" di sistemi voltati e con la suddivisione in parti degli stessi: un singolo concio può essere generato susseguentemente alla conformazione spaziale dell'insieme, a cui è legato anche nei processi trasformazione geometrica, o viceversa può generare un insieme spaziale di cui conserva le leggi geometriche costitutive. La *parte* viene descritta non in sé, estrapolata dal contesto di appartenenza, ma dipendente fortemente dalla configurazione del *tutto* da cui non può

scindersi.

Un possibile rinnovamento di tali assunti, così come si è tentato di sviluppare in questo studio, presuppone un aggiornamento metodologico e strumentale sempre costante ed innovativo della disciplina stereotomica, atto a facilitare le operazioni sia concettuali che pratiche connesse alla gestione di problematiche diversificate: geometrico/formali, statico/meccaniche e costruttive. Abbiamo visto come, grazie alla forte affinità concettuale con la stereotomia, l'aggiornamento tecnologico per mezzo della modellazione *infografica* tridimensionale, congiunto ai principi di variazione topologica, abbia creato le strade più comode per la riflessione progettuale sullo spazio voltato. La natura "sincretica" dei processi informatici, assicurata dal confluire nella modellazione geometrica di più forme analitico-conoscitive diverse tra loro, contribuisce all'unificazione dei saperi (geometrici, formali, matematici, strutturali, meccanici, costruttivi, ecc.) tipica dell'architetto antico e premoder-

no. Il "corredo genetico" del modello infografico solido, consente un approccio analitico, variegato e puntuale, che tende a riportare la speculazione stereotomica verso l'unità dei saperi disciplinari, storicamente uniti, oggi sfortunatamente parcellizzati. L'idea è quella di costruire un metodo, una via (*hodós*) capace di andare oltre (*metá*) le aporie che caratterizzano il fare architettonico contemporaneo, in cui la prassi progettuale è continuamente "interrotta" e demandata agli specialismi che inevitabilmente corrompono l'unità del pensiero progettante.

In ambiente *infografico* risulta possibile trasferire agevolmente le geometrie di progetto in altri ambienti di analisi: sia di calcolo strutturale che di produzione meccanizzata dei concetti.

La progettazione diviene contestualmente sia verifica delle qualità formali dello spazio, che calcolo dimensionale delle strutture; quindi successiva possibilità di realizzazione computerizzata e meccanizzata CAM degli elementi costruttivi (v. Fig. 77).

the architecture.

The stone and the wood represent the materials of the construction for antonomasia, and they can represent the materials of the future in how much "manufactured" from the earth, easily perfectible and liable of continuous reutilization without energetic wastes for the re-uses.

The conceptual exercise connected to the design of architectural organisms constituted of the encasing of single parts pushes the reflection on the close relationship which exists between the *particular* and the *general*, the elementary unity, represented by the worked block, is the synecdoche of the project, the part that contains the whole because it possesses in nuce its final spatial configuration.

The stereotomic design is realized therefore with her "spatial resolution" of vaulted systems and with the subdivision in parts of the same: an individual block can be produced successively to the spatial conformation of the whole, to which is also tied up in the processes

of geometric transformation, or vice versa it can generate a spatial whole of which it preserves the constitutive geometric rules. The *part* is described not in itself, extrapolated by the context of affiliation, but dependent strongly from the configuration of the *whole* from which it cannot be separated.

A possible renewal of such arguments, so as it is tried to develop in this study, presupposes a methodological and instrumental updating always constant and innovative of the stereotomic discipline, act to facilitate the operations either conceptual or practical connected to the management of diversified problem list: geometric/formal, static/mechanic and constructive.

We have seen how, thanks to the strong conceptual affinity with the stereotomy, the technological updating through the modelling three-dimensional *info-graphical* modelling, joined to the principles of typological variation, has paved the most comfortable ways for the projective reflection on the vaulted space. The "syncretic" nature of the

computerized processes, assured by the merge in the geometric modelling of different analytical-cognitive forms between them, it contributes to the unification of the knowledge (geometrical, formal, mathematical, structural, mechanical, constructive, etc.) typical of the ancient architect and pre-modern. The "genetic outfit" of the solid info-graphical model, consents an analytical approach, variegated and punctual, which has the tendency to carry over the stereotomic speculation toward the unity of the disciplinary knowledge, historically united, today unfortunately broken down into sections. The idea is one which would build a method, a way (*hodós*) able to go over (*metá*) the aporie that characterize the contemporary architectural doing, in which the projective routine is continually "interrupted" and submitted to the specialisms that inevitably corrupt the unity of the design thought.

In *info-graphical* environment it results possible to easily transfer the project geometries to other environments of

A tal proposito è utile rimarcare un altro concetto di alto rigore logico e perfetto per il processo di produzione industriale riferito alla *modularità programmata* dei conci, secondo cui di un qualsiasi sistema voltato è possibile ottimizzare un numero minimo di conci utile a soddisfare l'intera costruzione della volta. L'idea di *produzione seriale*, tipica dell'industria manifatturiera, si coniuga oggi con la nozione di unicità del prodotto architettonico dando vita al concetto di "unicità seriale" del manufatto. È un ossimoro giustificabile grazie all'avvento dell'era infografica parametrico-variazionale coniugata all'uso delle macchine utensili a controllo numerico per cui ogni progetto è unico e ri-producibile in serie. Una sorta di accelerazione produttiva delle qualità del prodotto artigianale che riporta le peculiarità dell'architettura tradizionale ad un livello di migliore efficienza tecnica e prestazionale. Per concludere riteniamo che, in linea con la definizione che Charles Perrault ha dato della stereotomia, l'*Arte del*

Construire in generale abbia da sempre risposto al desiderio di elevazione: questa aspirazione, specificamente per le architetture stereotomiche, designa la sfida costante tra la forza di gravità dei corpi e il progetto di forme che, sfuggendo a tale condizione, aspirano all'ascesa dinamica. Una costante dialettica tra pesantezza (dei materiali) e leggerezza (delle forme) che, se da una parte rappresenta la traccia comune del lavoro degli illustri "stereotomisti" della maniera nazionale francese da Philibert de l'Orme a Jules Hardouin-Mansart, a J. P. Franque... dall'altra si rimette a noi come argomento centrale da riscrivere e ri-progettare.

note:

1. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, avec les Mémoires de Mathématique et de Physique pour la même année. 2e édition, revue, corrigée, augmentée. Années 1699–1704, p. 119.*

analysis: either of structural calculation or mechanized production of the blocks. The design becomes contextually either verification of the formal qualities of the space, or dimensional calculation of the structures; then following possibility of CAM mechanized realization of the constructive elements (see Fig. 77). To such intention it is useful to observe another concept of high logical and perfect rigor for the process of industrial production referred to the *programmed modularity* of the blocks, according to which of any vaulted system it is possible to optimize a least number of useful blocks to satisfy the whole construction of the vault. The idea of *serial production*, typical of the manufacturing industry, conjugates today with the notion of uniqueness of the architectural product giving life to the concept of "serial uniqueness" of the manufactured article. It is a justifiable oxymoron thanks to the advent of the parametric-varietal info-graphic era conjugated to the use of the utensils machines with numerical control for which every project is unique

and reproducible in series. A sort of productive acceleration of the qualities of the handicraft product, that carries over the peculiarities of the traditional architecture to a level of best technical efficiency and performance. To conclude we believe that, in line with the definition that Charles Perrault has given of the stereotomy, the *art of the Building* in general has always responded to the desire of elevation: this aspiration, specifically for the stereotomic architectures, designates the constant challenge between the strength of gravity of the bodies and the project of forms which, escaping such condition, they aspire to the dynamic ascension. A constant dialectics between heaviness (of the materials) and lightness (of the forms) that, if on one side it represents the common trace of the work of the illustrious "stereotomists" of the French national way from Philibert de l'Orme to Jules Hardouin-Mansart, to J. P. Franque... from the other it is handed over to us as central argument to rewrite and to re-design.

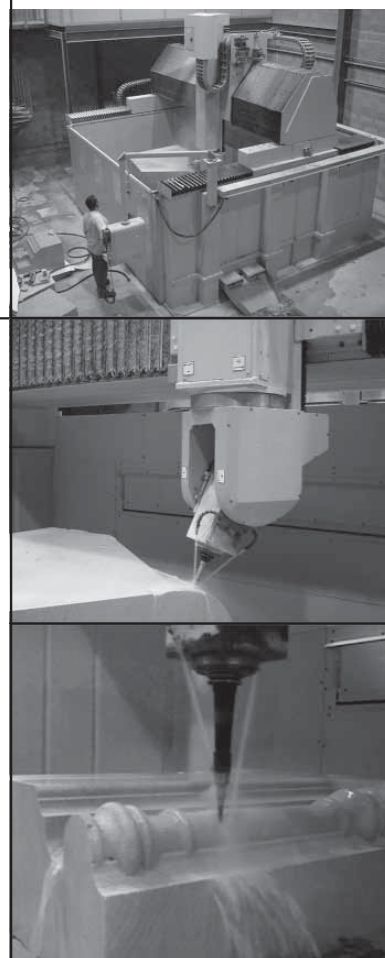
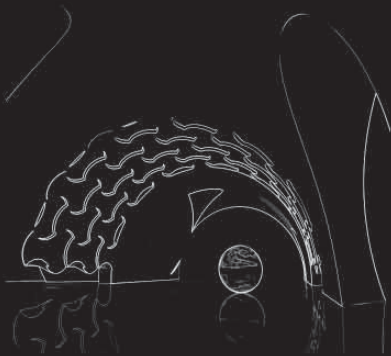


Figura 77. Macchina CNC di 3D Pierre.
CNC machine of 3D Pierre.



Conclusioni

Conclusions

9

9. Conclusioni

La speculazione sulla forma architettonica basata sull'uso della stereotomia ha segnato storicamente un picco tra i secoli *xvi* e *xviii* con una brusca interruzione agli inizi del *xix* secolo. Sin dalla metà del *xviii* secolo, a seguito di un mutato clima culturale, hanno cominciato ad essere evidenti tracce di crisi nei riguardi della stereotomia classica, colpevole di produrre apparati formali ridondanti e non rispondenti alle necessità.

La pubblicazione dell'*Essai sur l'architecture* dell'Abate Laugier rappresentò un'aspra critica contro l'eccessiva bizzarria della costruzione lapidea di natura stereotomica.

La voce dell'Abate Laugier non fu la sola a scagliarsi contro la stereotomia, tra i molti detrattori anche J.F. Blondel sostenne che «un buon architetto avrebbe dovuto preferire la verosimiglianza all'arroganza presuntuosa della stereotomia». Inoltre, a cominciare dal 1770, in virtù della Rivoluzione, si dà l'avvio alla distruzione di tutti i più celebri archetipi della costruzione stereotomica legati,

nei fatti, ai fasti dell'*ancien régime*. È interessante assistere per contro, negli stessi anni, ad una mutata vocazione della stereotomia, ovvero alla trasformazione della stessa in materia scolastica. Tale impostazione avviene al tempo della creazione dell'Ecole du Génie de Mézières, una delle prime scuole militari d'ingegneria d'Europa. Dalla sua creazione nel 1748 (prima dell'arrivo di Monge), l'insegnamento della stereotomia nella scuola va oltre il mero aspetto utilitario di una tecnica costruttiva già in declino. I fondatori dell'Ecole du Génie de Mézières formularono quest'idea esplicitamente: «Queste arti forniscono una così esatta e precisa conoscenza del disegno di piani e superfici, e la maniera in cui esprimere il rilievo che vanno rappresentando, da poter essere considerate alla stessa stregua degli Elementi di Euclide».

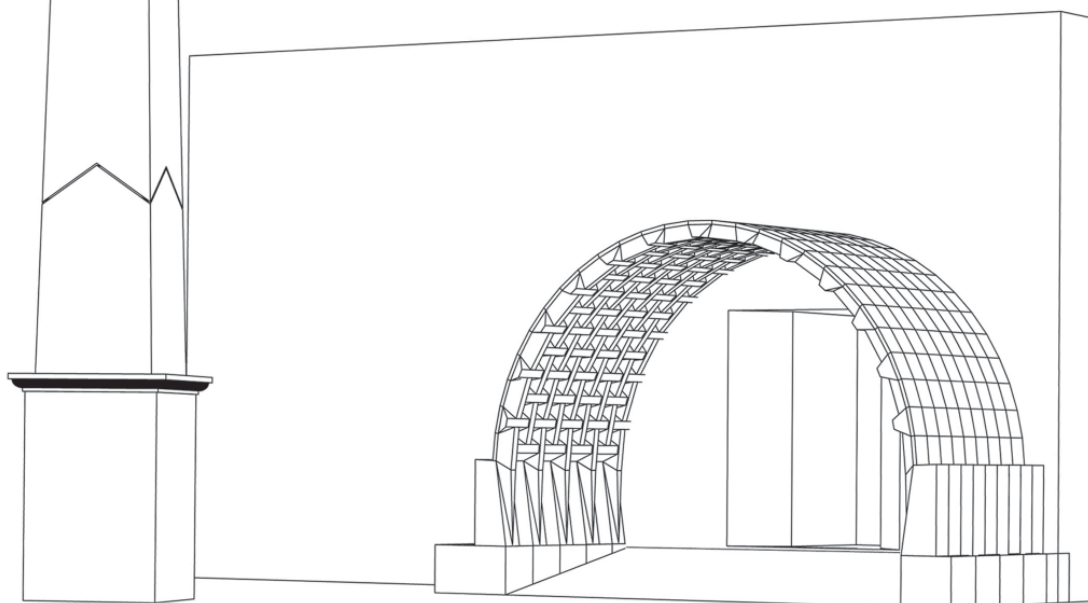
Dai primi del *xix* secolo l'Ecole des Beaux Arts e l'Ecole Polytechnique, rispettivamente rappresentative degli insegnamenti di Architettura e di Ingegneria, seppur strutturate con

148

Conclusions

Speculations about architectural form based on use of stereotomy marked a historically relevant peak between the 16th and the 18th centuries, followed by

a sudden break at the beginning of the 19th century. As from the half of the 18th century, as a result of a changed *Weltanschauung*, the classical stereotomy



Conclusioni

specifici programmi didattici custodiscono in comune l'insegnamento della Stereotomia, che meglio di qualsiasi altro insegnamento appare in grado di favorire all'allievo lo sviluppo di quella capacità di immaginare e "costruire lo spazio". La Stereotomia diviene in questo periodo la materia d'insegnamento centrale nei primi anni della formazione tanto degli studenti delle due scuole. La stereotomia oggi è purtroppo assente sia dalla pratica costruttiva sia dagli insegnamenti scolastici, risultando solo l'oggetto di parziali e isolate ricerche nell'alveo della storia della costruzione. Il presente studio s'interroga fondamentalmente sulla possibilità di riannodare il filo tagliato delle ricerche sulla costruzione in pietra da taglio ricalcando le trame smagliate della cultura stereotomica al fine di riconsegnare la spinta creativa, in essa congenita, alla progettazione architettonica contemporanea. I risultati fin qui delineati non assumono certamente il valore di assoluta compiutezza, in quanto si tratta di una giovane sperimentazione che cerca di

coniugare il carattere *sincretico* della modellazione *infografica* tridimensionale all'analisi morfologica dell'architettura specificamente stereotomica. Si tracciano, quindi, alcune strade di ricerca, tanto proficue quanto poco battute che meriterebbero ovviamente approfondimenti multidisciplinari più marcati. Ciò che si propone è una lettura dell'architettura *sub specie* stereotomica in tutte le sue possibili accezioni. Tale categoria interpretativa, quando è applicata all'analisi di un monumento architettonico (organismo/sistema/elemento) è finalizzata a decrittare la genesi geometrica ed i *processi dinamici* di costruzione della forma; quando si riferisce al progetto fornisce importanti strumenti logici di costruzione ed invenzione della forma. Gli esiti concreti scaturiti da tale riflessione, come si è accennato nella premessa, hanno contribuito alla redazione della sezione *Architetture Stereotomiche in Città di Pietra*, esposizione curata da Claudio D'Amato Guerrieri per la 10ª Mostra Internazionale di Architet-

began to show undeniable signs of weakness; it was considered unable to produce anything but superfluous formal structures, which failed to meet the required needs.

The appearance of the *Essay sur l'architecture* by Abbot Laugier depicts the fierce criticism against the pompous eccentricity of the stereotomic way of stone construction.

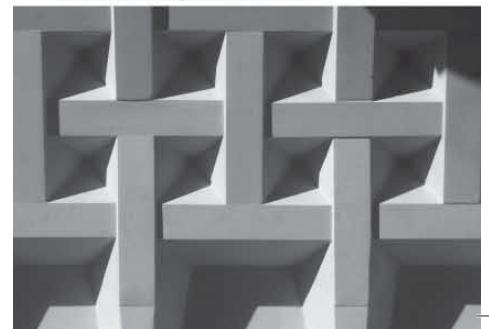
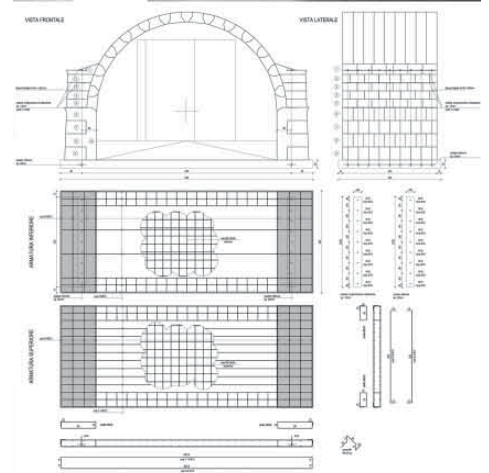
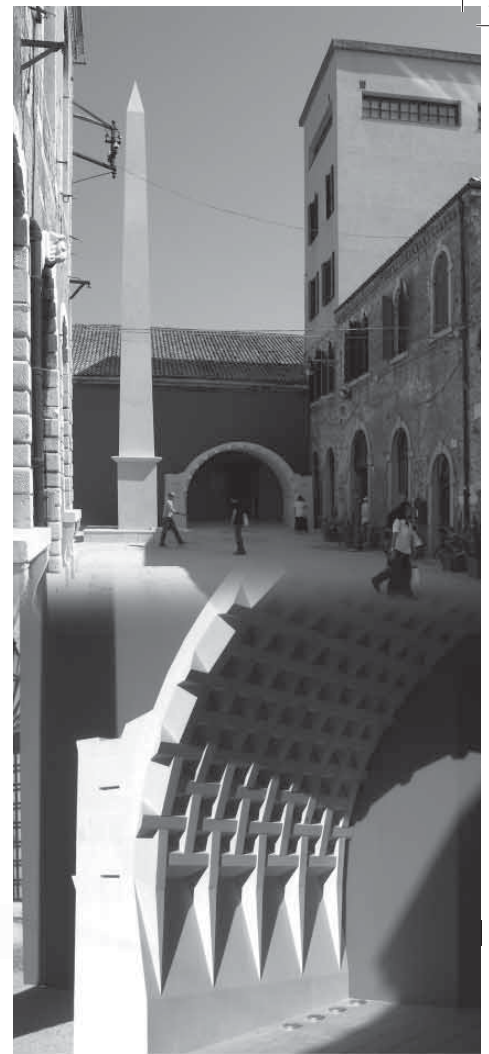
Abbot Laugier's voice was not the only one to tarnish the reputation of stereotomy; amongst many others, J.F. Blondel asserted that a good architect had to prefer likelihood/naturalism to the pretentious arrogance of stereotomy. Furthermore, a destruction of all most renowned archetypes of stereotomic construction takes place as from 1770, in keeping with the tenets of the Revolution and its detraction of the lavishness of the *ancien régime*.

On the other hand, it is worth mentioning that, in those very years, stereotomy was turned into a school subject, thus reinventing itself. This structuring was performed at the time the *Ecole du Génie*

de Mézières, one of the first military engineering schools of Europe, was founded. From its establishment on in 1748 (before the coming of Monge), the teaching of stereotomy went beyond the sheer utilitarian aspect of a declining technique. The founders of the *Ecole du Génie de Mézières* explicitly stated: "These arts provide such an exact and accurate knowledge of the drawing of planes and surfaces, and of the way of expressing the relief they purport to represent, to be considered by the same standards as Euclid's Elements". The Ecole des Beaux Arts and the Ecole Polytechnique, representative of the fields of Architecture and Engineering respectively, share from the beginning of the 19th century the common teaching of the subject of stereotomy, although they have specific curricula and teaching

Figura 78. Volta "Abeille" all'ingresso della mostra *Città di Pietra* (Venezia 2006). "Abeille" vault at the entry gate of *Città di Pietra* (Venice 2006).

Conclusions



tura alla Biennale di Venezia 2006. In tale occasione si è costruita al vero, con procedimenti CAD/CAM, la Volta “Abeille”, in qualità di portale d’ingresso della mostra presso le Artiglierie dell’Arsenale veneziano, e si è presentato il progetto del Ponte “canocia” come evoluzione del sistema voltato “Abeille”¹. Inoltre chi scrive, in qualità di progettista invitato a *VEMA, la città nuova, Italia-y-2026*, allestimento del Padiglione Italiano alla 10^a Mostra Internazionale di Architettura di Venezia 2006 curato da Franco Purini, ha sviluppato alcuni dei presenti temi nel progetto delle strutture ricettive del lago della città di Vema dal nome *Lago_Rgone* (La Gorgone). Lo sguardo della Medusa ha trasformato tutto in pietra: ogni parte del progetto esiste solo in pietra e legno al di sopra di un piano d’acqua². Le strutture voltate progettate per *Vema* e realizzate per *Città di Pietra* rispecchiano l’impostazione teorica fin qui descritta e dimostrano l’assoluta vitalità della lezione stereotomica proiettata, forse, in un nuovo avvenire (v. Fig. 78-83).

150

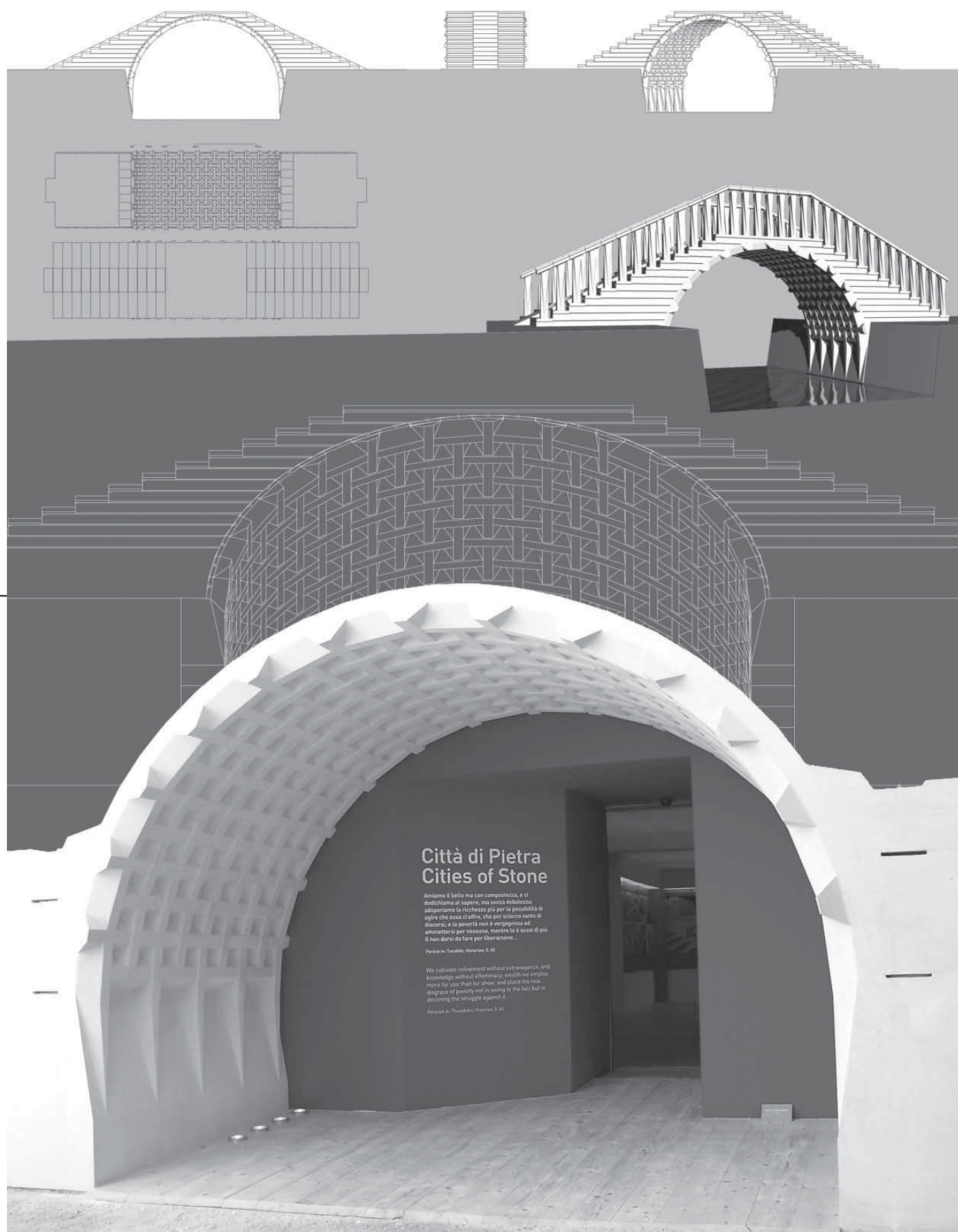
programmes. This subject was regarded as the most appropriate in encouraging students to “build space” and stimulate creativity. In those years stereotomy became the pivotal subject in the first years of education of both the students of the Ecole des Beaux Arts and the Polytechniciens. Stereotomy has nowadays no place whatsoever in both building practice and education, the subject being merely the result of partial and isolated research in the riverbed of the history of construction. The present study basically wonders about the possibility of tying up again the broken thread of the research on stone-cutting construction following in the wake of the discontinued weave of the stereotomic culture, aiming at applying its innate creative momentum in contemporary architecture planning. The hitherto outlined results are not to be taken as thorough, complete, and perfect, since they draw on *young* experimentation, which endeavours to combine the *syncretic* character of three-



Figura 79. Fasi di montaggio della volta “Abeille” all’ingresso della mostra *Città di Pietra* (Venezia 2006).
Assembling phases of “Abeille” vault at the entry gate of *Città di Pietra* (Venice 2006).

dimensional *infographic* modelling with morphological analysis of architecture. Some research paths, still untrodden territories, are being hence discovered and deserve further and closer cross-disciplinary examination. It should be recommended to give a *sub specie* stereotomic architectural interpretation in all respects. This interpretational category, when applied to the analysis of an architectural monument (organism/system/element), has the task to decipher the geometric genesis and the dynamic processes of construction of the form; when referred to the project it supplies important logical construction means and creative devices. The practical outcome of this speculation, as stated in the introduction, has contributed to the production of the *Stereotomic Architectures* section within *Città di pietra* (*Cities of Stone*), an exhibition curated by Claudio D’Amato Guerrieri for the 10th International Architecture

Exhibition held at the Venice Biennale 2006. On this occasion the “Abeille” vault had been reproduced from life, as an entry gate to the exhibition at the *Artiglierie dell’Arsenale* in Venice, and the project for the “Canocia” Bridge had been presented as an evolution of the “Abeille” vaulted system¹. Moreover, the present writer, as designer invited to *VEMA, la città nuova, Italia-y-2026*, has contributed to the preparation of the Italian pavilion 10th International Architecture Exhibition in Venice 2006 curated by Franco Purini, has developed some of the present issues in the project on responsive structures by the lakeside of the town of Vema called “*Lago_Rgone*” (La Gorgone: *the gorgon*). The vaulted structures designed for *Vema* and crafted for *Città di Pietra* mirror the theoretic assumption set forth hitherto and display the vitality of the stereotomic lesson, maybe as a leap into a new future.



Città di Pietra Cities of Stone

Amiamo il bello con compostezza, e ci dedichiamo al sapere, ma senza debolezza; adoperiamo la ricchezza più per la possibilità di agire che essa ci offre, che per sacro vanità di discorsi; e la povertà non è vergognosa ad ammetterla per nessuna, mentre se è assai di più il non darsi da fare per liberarsene...

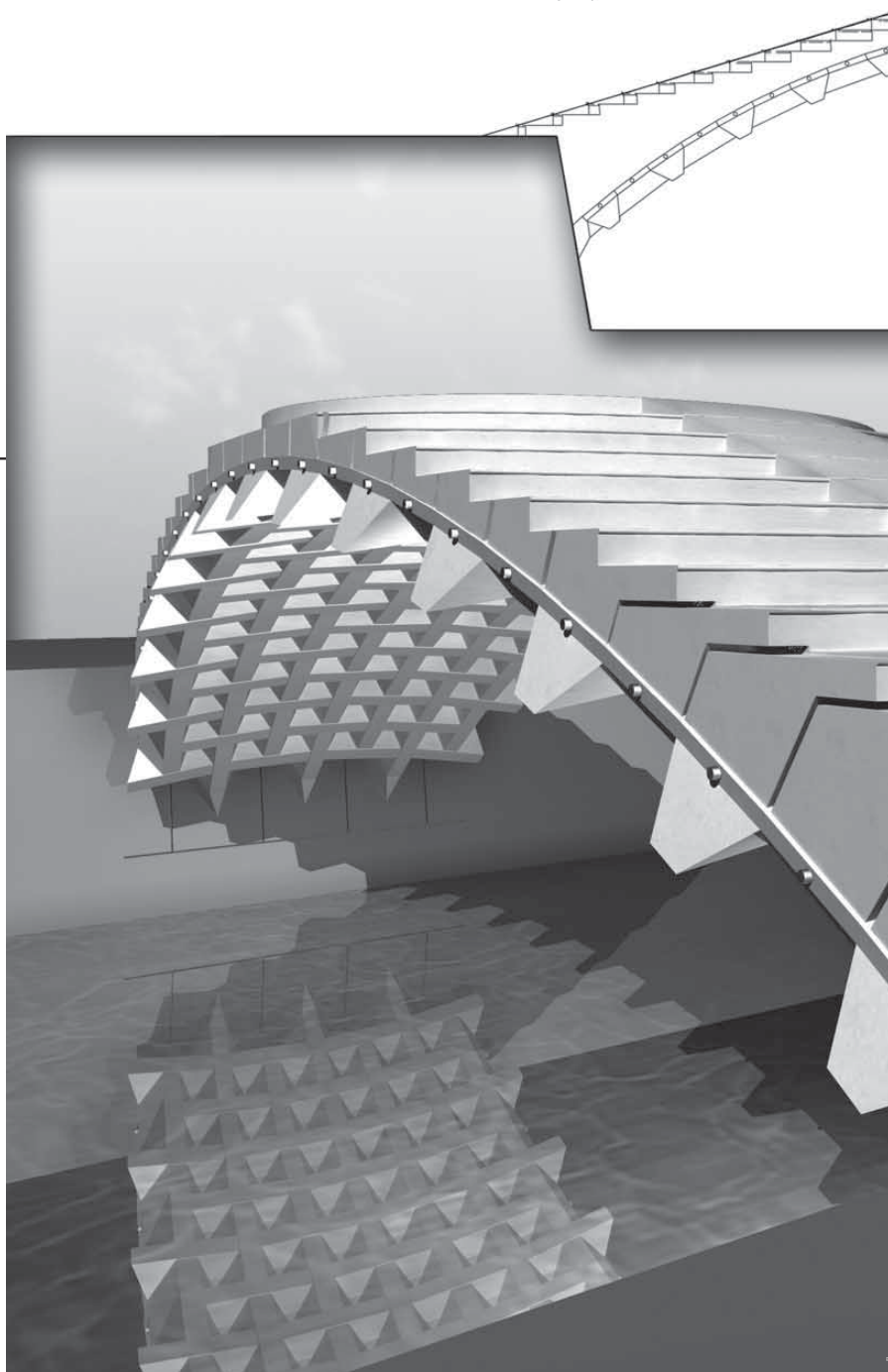
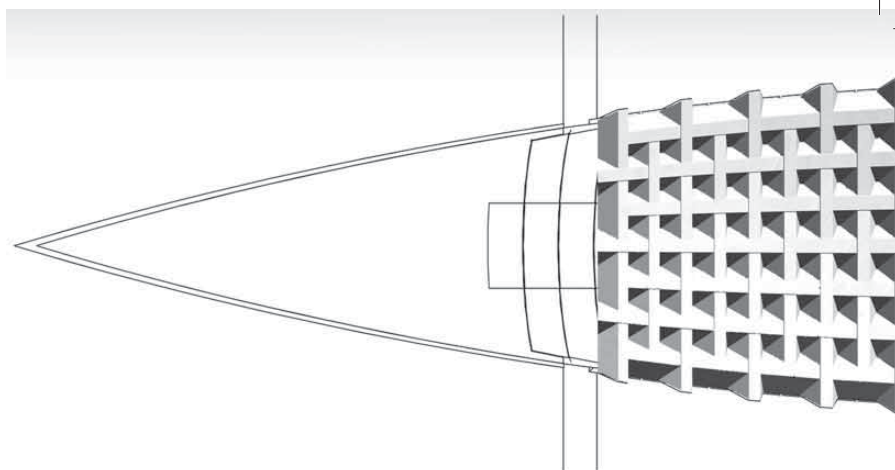
Pericle in Tucidide, *Historiae*, II, 40.

We cultivate refinement without extravagance, and knowledge without effeminacy; wealth we employ more for use than for show, and spare the real diagnosis of poverty not in owing to the fact but in declining the struggle against it.

Pericles in Thucydides, *Historiae*, II, 40.

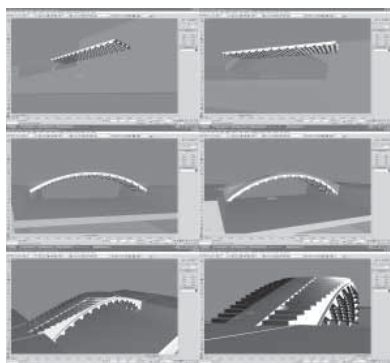
note:

1. Si consulti a tal proposito Claudio D'amato Guerrieri e Giuseppe Fallacara, *Architetture Stereotomiche. Costruire con la pietra oggi*, pp. 314-337, in C. D'Amato Guerrieri (a cura di), *Città di Pietra, 10. Mostra Internazionale di Architettura La Biennale di Venezia, Venezia 2006*.
2. Si veda il dvd allegato al presente volume.



notes:

1. See C. D'amato Guerrieri and G. Fallacara, *Architetture Stereotomiche. Costruire con la pietra oggi*, pp. 314-337, in C. D'Amato Guerrieri (a cura di), *Città di Pietra, 10. Mostra Internazionale di Architettura La Biennale di Venezia, Venezia 2006*.



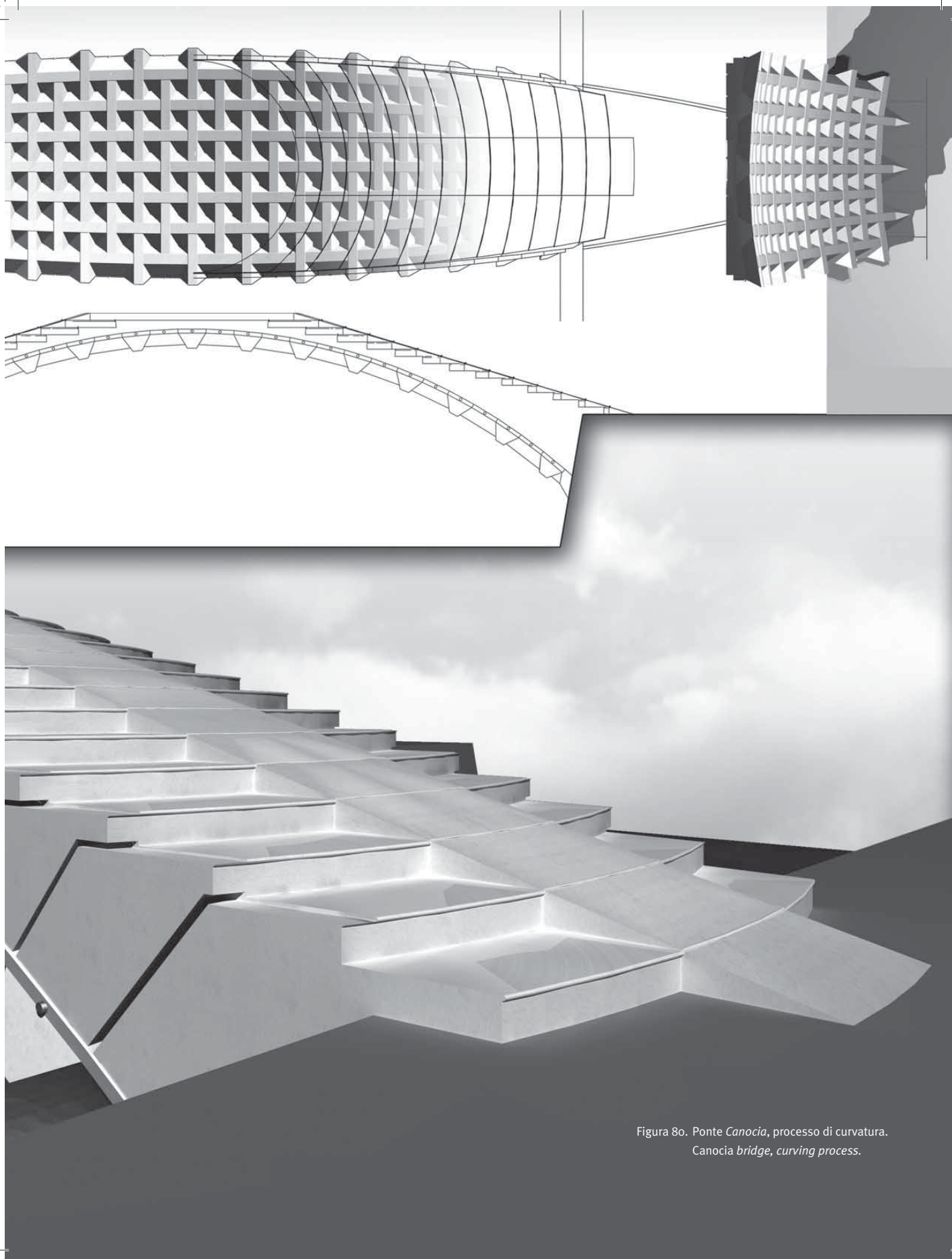


Figura 80. Ponte *Canocia*, processo di curvatura.
Canocia bridge, curving process.

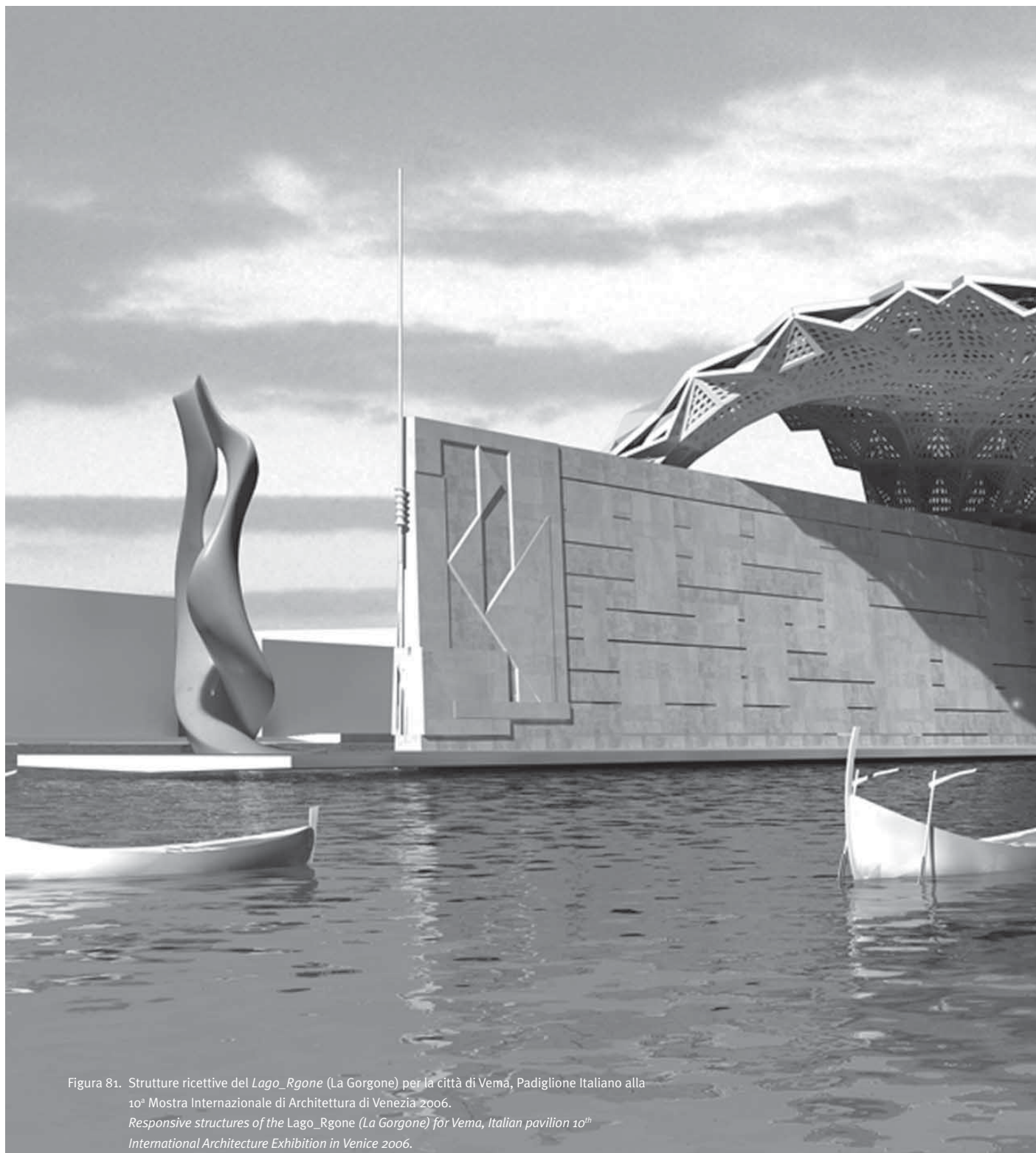
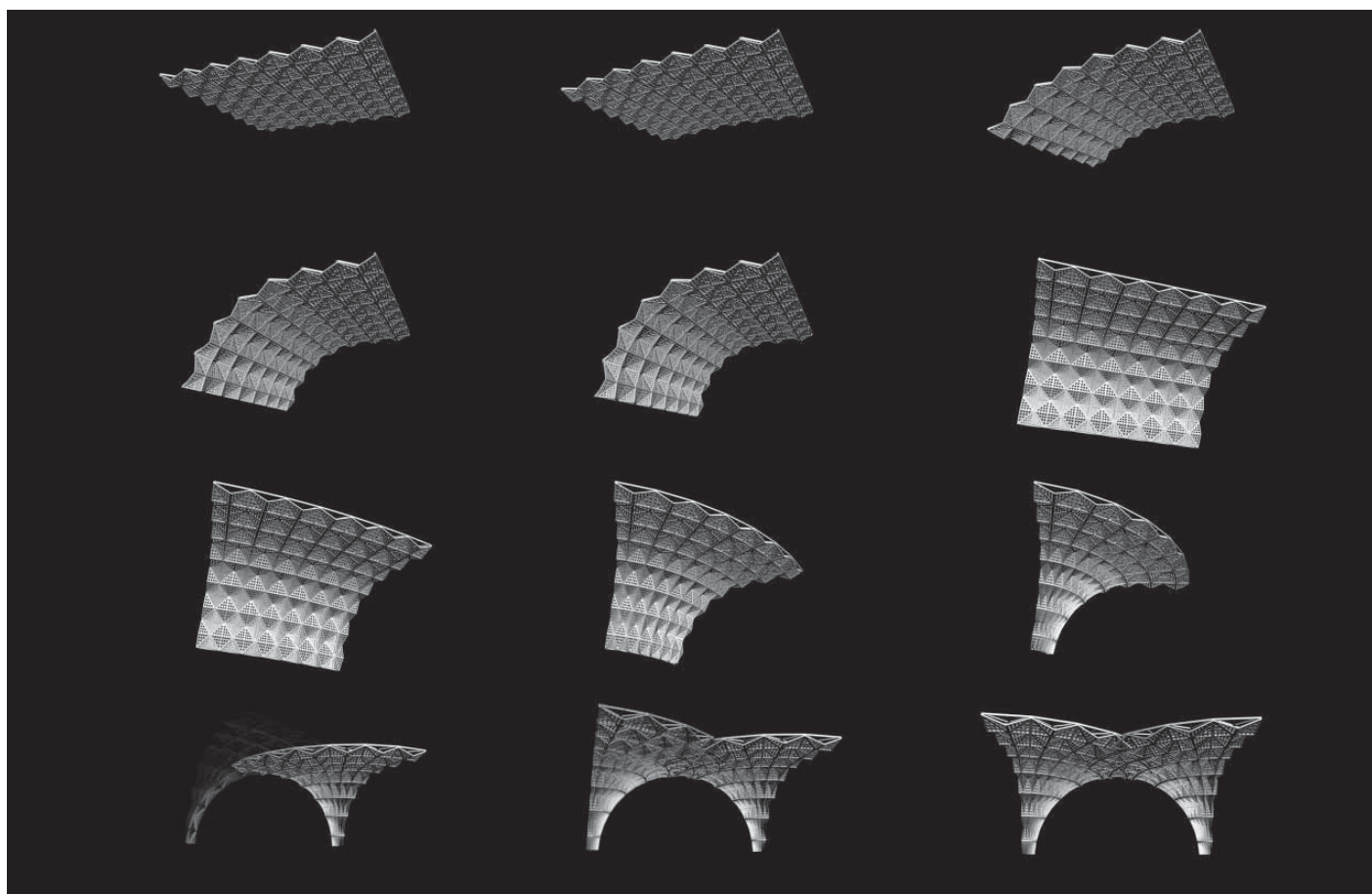


Figura 81. Strutture ricettive del *Lago_Rgone* (La Gorgone) per la città di Vema, Padiglione Italiano alla 10^a Mostra Internazionale di Architettura di Venezia 2006.
Responsive structures of the Lago_Rgone (La Gorgone) for Vema, Italian pavilion 10th International Architecture Exhibition in Venice 2006.





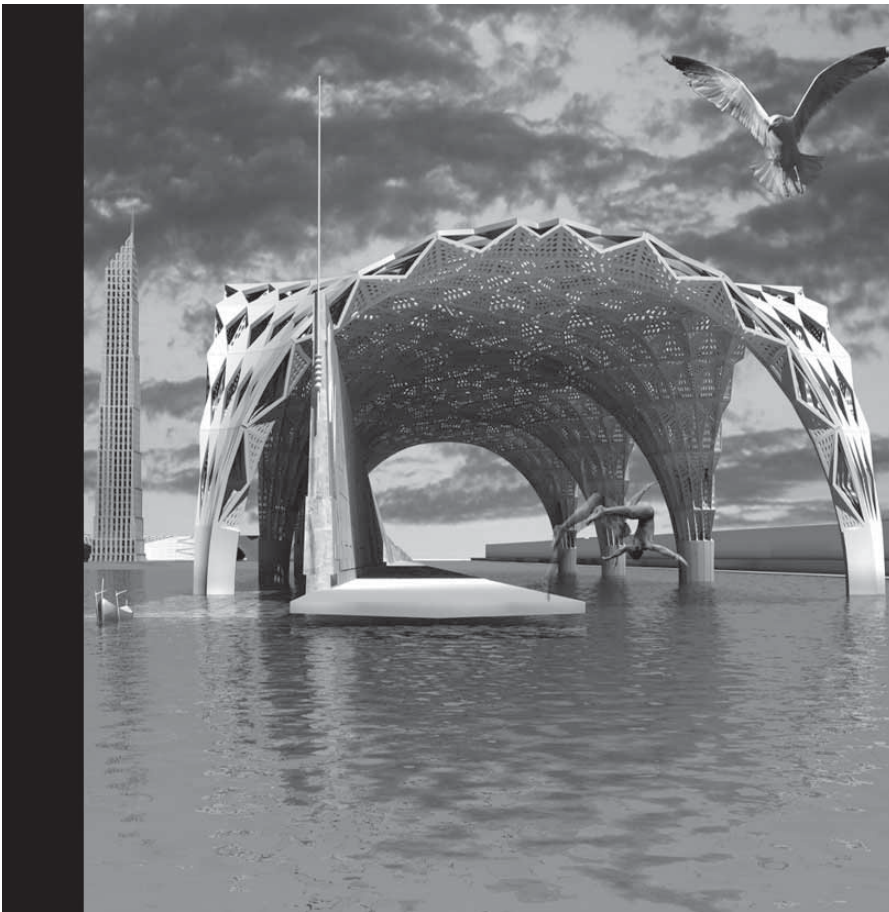
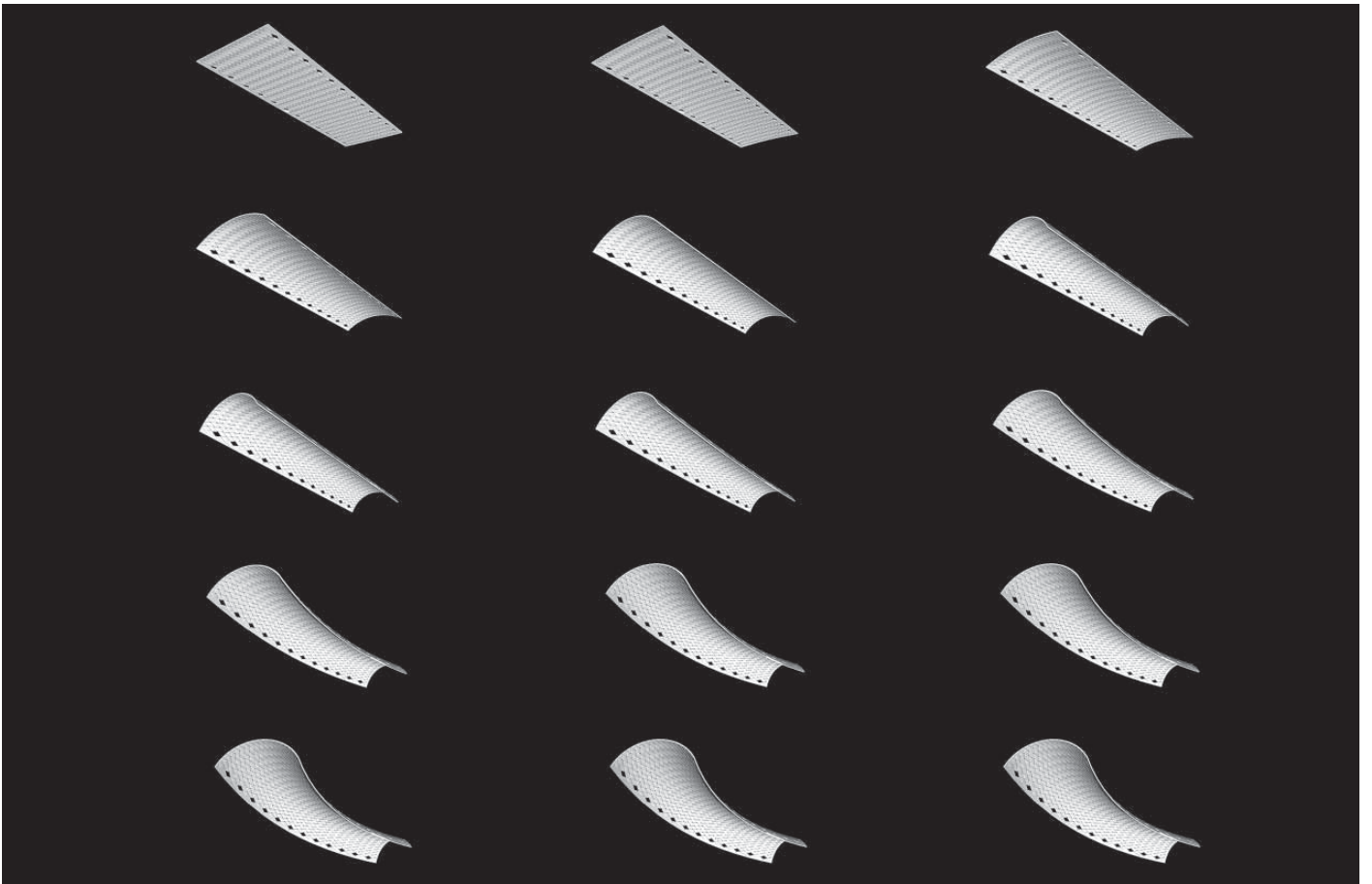


Figura 82. Strutture ricettive del *Lago_Rgone* (La Gorgone) per la città di Vema, Padiglione Italiano alla 10^a Mostra Internazionale di Architettura di Venezia 2006.
Responsive structures of the Lago_Rgone (La Gorgone) for Vema, Italian pavilion 10th International Architecture Exhibition in Venice 2006.



Capitolo ix



Chapter ix



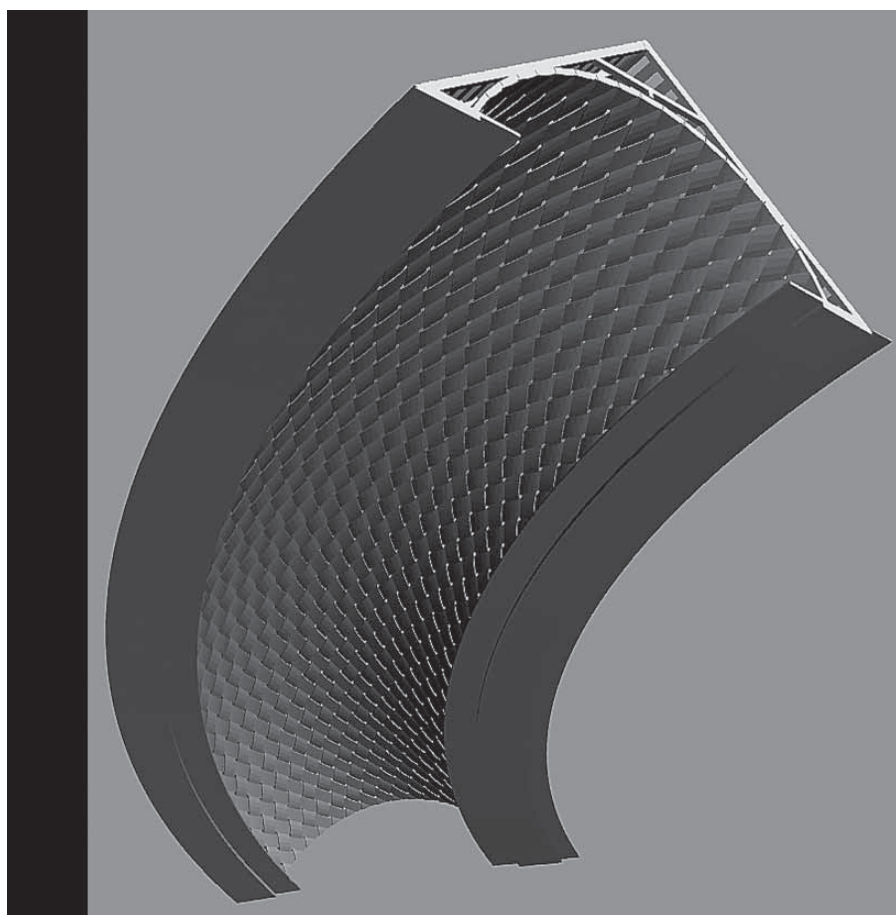
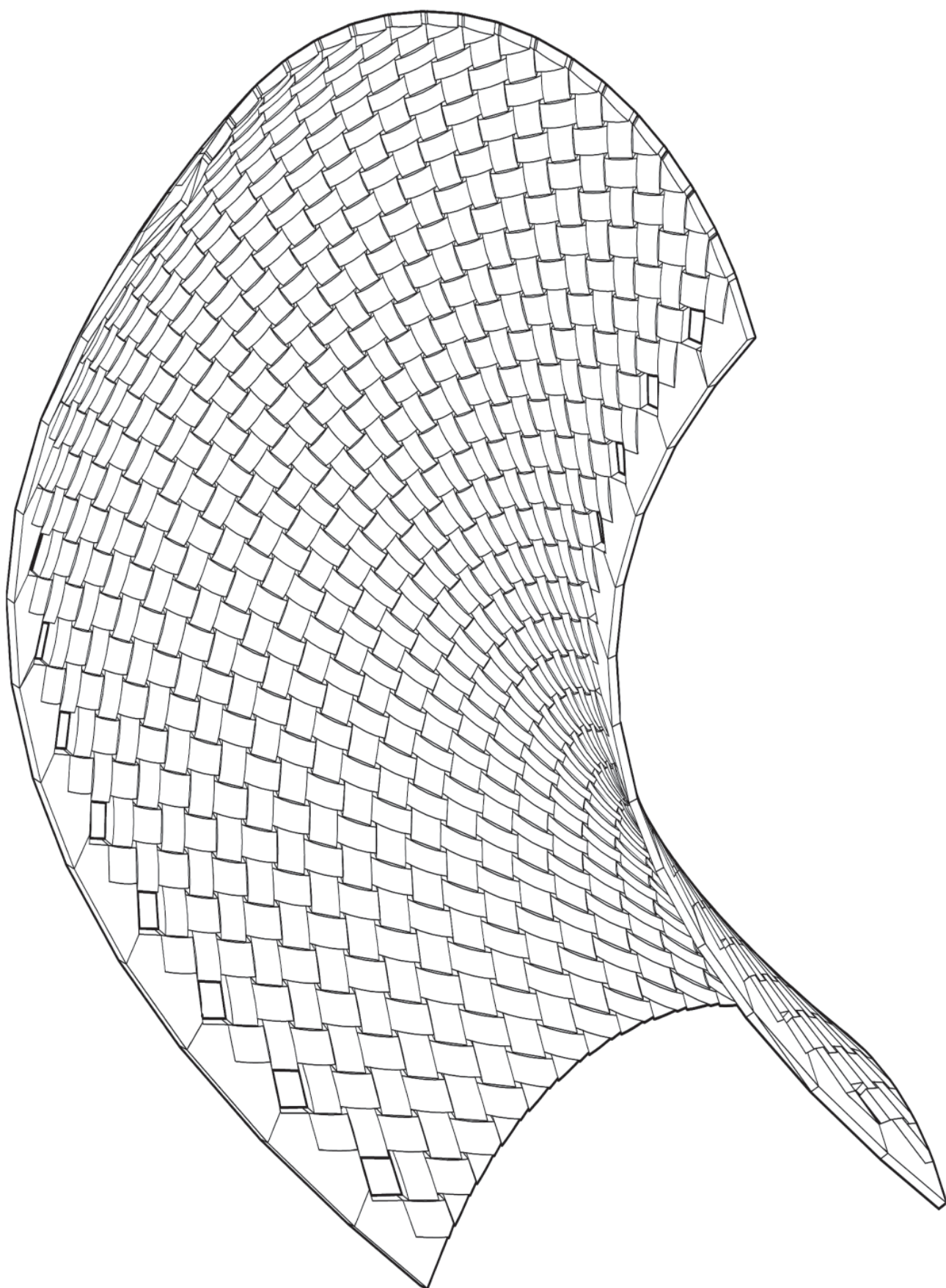
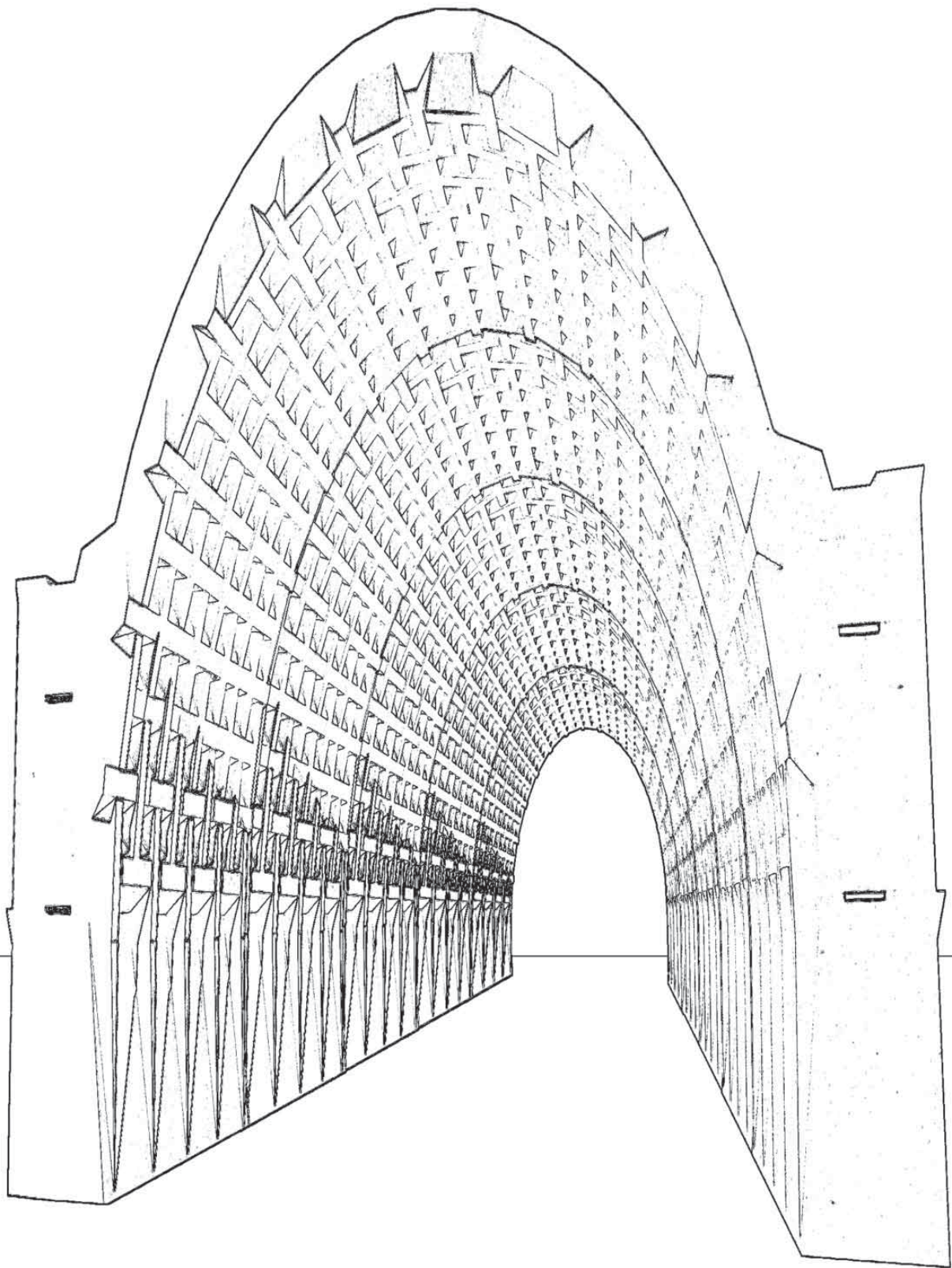
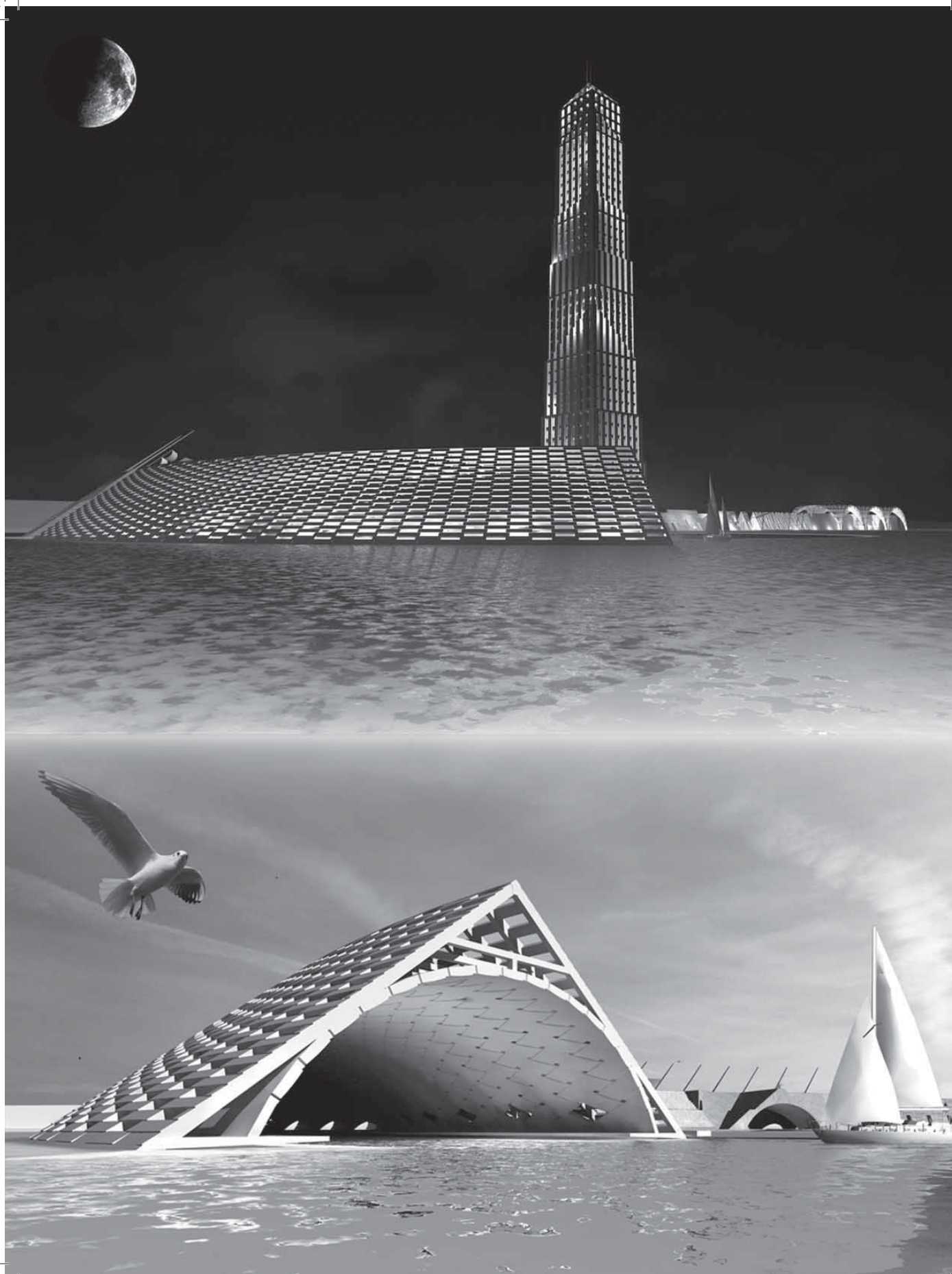


Figura 83. Strutture ricettive del *Lago_Rgone* (La Gorgone) per la città di Vema, Padiglione Italiano alla 10^a Mostra Internazionale di Architettura di Venezia 2006.
Responsive structures of the Lago_Rgone (La Gorgone) for Vema, Italian pavilion 10th International Architecture Exhibition in Venice 2006.







L'arte del tracciato geometrico alla Francese tra la pietra e il legno

L'art du trait géométrique à la Française entre la pierre et le bois

Luc Charles Pierre Tamborero

APPENDICE

L'arte del tracciato geometrico alla Francese tra la pietra e il legno

Luc Charles Pierre Tamborero

L'esempio di de l'Orme che incarna la figura dell'Architetto, dell'artista e dello scienziato, attraverso l'arte della stereotomia, segna il punto di partenza di un lungo lavoro di ricerca identitaria degli attori della costruzione. Come il controllo della stereotomia è stato la più alta manifestazione della competenza, così i muratori e gli scalpellini situano i maestri del tracciato geometrico al vertice della gerarchia del cantiere, ed è spesso per questi il cammino naturale per divenire architetto, un modello elitario caratteristico dell'architetto gotico. Ma Philibert de l'Orme sostiene anche l'idea dell'architetto come professione liberale dove l'architettura non è più di sola proprietà del muratore ma anche dell'architetto colto nelle arti, nelle scienze e nelle tecniche e libero di tutte le politiche corporative. Tuttavia egli pone la legittimità dell'architetto alle condizioni della sua competenza:

alcuni architetti e maestri, che per mancanza di conoscenza nella pratica dei tracciati, e della geometria dicono (...)

che non c'è bisogno di non dare credito alla maniera di operare di questi muratori. Dunque bisogna riconoscere che i muratori sanno più di questi architetti¹.

Gli architetti formati dal corso corporativo, quelli rappresentanti delle arti meccaniche, e quelli di culture diverse (scientifiche, aristocratiche, religiose), rappresentanti delle arti libere, costituiscono due idee distinte di architetto e due partiti presi che si affronteranno nel XVI e XVII sec.

L'episodio più conosciuto di questo confronto è il dibattito del 1644 tra Jacques Curabelle, rappresentante della corporazione dei muratori, e lo studioso di geometria Girard Desargues. Desargues pubblica nel 1639, *Brouillon project d'une atteinte aux événements des rencontres du Cone avec un Plan*² e fonda le basi della geometria proiettiva applicata alla teoria delle sezioni coniche. Nel 1640, nel *Brouillon Project d'exemple d'une manière universelle du S.G.D.L. [Sieur Girard Desargues Lyonnais] touchant la pratique du trait*

164

L'art du trait géométrique à la Française entre la pierre et le bois

L'exemple de de l'Orme qui instaure l'Architecte artiste et savant, avec la stéréotomie comme son expression la plus subtile marque le point de départ d'un long travail de recherche et d'identité pour les acteurs de la construction. La maîtrise de la stéréotomie étant la plus haute manifestation de la compétence, les maçons et tailleurs de pierre placent les maîtres du trait au sommet de la hiérarchie des chantiers, et c'est souvent pour eux le chemin naturel vers l'état d'architecte, un modèle élitiste caractéristique de l'architecte gothique. Mais Philibert de l'Orme soutient aussi l'idée d'une profession d'architecte libéral où l'architecture n'est plus la seule propriété des maçons mais celle de l'architecte cultivé aux arts, aux sciences et techniques et libre de toute politique corporative. Il place cependant la légitimité de l'architecte aux conditions de sa compétence:

certaines architectes et maîtres, qui par faute de n'entendre la pratique des traits, et la géométrie disent (...) qu'il

n'est besoin de s'y amuser et que c'est ouvrage de maçon. Il faut donc dire par confession, que les maçons savent plus que tels architectes¹.

Entre les architectes issus du cursus corporatif, représentants des arts mécaniques, et ceux qui de cultures diverses, scientifiques, aristocrates, religieux, sont représentants des arts libéraux, ce sont deux idées distinctes de l'architecte et deux partis pris qui vont s'affronter aux XVIème et XVIIème siècles.

L'épisode le plus connu de ces affrontements est la polémique de 1644 entre Jacques Curabelle, représentant de la corporation des maçons, et le géomètre Girard Desargues. Desargues publie en 1639, le *Brouillon project d'une atteinte aux evenemens des rencontres du Cone avec un Plan*² et fonde les bases de la géométrie projective appliquée à la théorie des sections coniques. En 1640, dans le *Brouillon Project d'exemple d'une manière universelle du S.G.D.L. [Sieur Girard Desargues Lyonnais] touchant*

à preuve pour la coupe des pierres en l'Architecture³, Desargues propone un nuovo metodo del tracciato di taglio basato sui principi della geometria proiettiva, e pertanto egli è molto critico nei confronti dei metodi dei tracciati degli operai, che giudica approssimativi. J. Curabelle, portavoce della corporazione dei muratori, gli risponde nel 1644 nell'*Examens des œuvres du Sieur Desargues*⁴. Questo è l'inizio di un lungo dibattito e della pubblicazione di tanti pamphlets tra i due protagonisti, che non è assolutamente uno scontro tra due uomini, ma è semplicemente il confronto tra due partiti⁵. Sia de l'Orme che Desargues arricchiscono o modificano la tradizione costruttiva e le conoscenze geometriche dei costruttori. L'obiettivo è sempre lo stesso: dare all'architetto le basi di una conoscenza (se è possibile universale) che gli permetta di dirigere gli operai. Il nostro studio cerca di mostrare come questi aggiornamenti di de l'Orme e Desargues, come quelli che vedremo di De la Hire e di Monge, hanno fatto

evolvere la stereotomia a scienza quale è attualmente. Per de l'Orme, la nozione di universalità si trova nel metodo per costruire le *trompes* che inventa nel 1536, descritto precedentemente da G. Fallacara, per il quale: «da un solo tracciato e una sola maniera di *trompe*, si possono fare tutti i tipi di *trompe*»⁶. Nello stesso modo l'interesse per il metodo di Desargues si fonda su un'applicazione universale per il taglio delle pietre, che egli annuncia immediatamente nel titolo della sua opera, *maniere universelle du S.G.D.L. touchant la pratique du trait à preuve pour la coupe des pierres*.

Un altro punto in comune tra de l'Orme e Desargues è la preoccupazione della messa in atto del loro metodo attraverso opere audaci: De l'Orme realizza la *trompe* del castello di Anet, che è una *trompe* ondulata, rampante sull'angolo, posizionata sotto una piccola torre (*trompe ondée, rampante sur l'angle et sous tourelle*). Desargues ripren-

de il tema nel Louvre con un modello dimostrativo e fa tagliare un'apertura conica obliqua smussata rampante in canonniera sotto una torretta curva e ondulata irregolarmente in pendenza e formante un catino⁷, al fine di dimostrare le qualità del suo metodo vittima delle più vive critiche di Curabelle. Per i due autori si tratta di presentare un soggetto dall'aspetto complesso e molto difficile da risolvere con i tracciati comuni accessibili agli operai, ma facilmente realizzabile seguendo i loro nuovi metodi del tracciato geometrico (v. Fig. 84). Desargues non riuscirà a far valere tutta l'importanza del suo metodo poiché è particolarmente complesso e necessita di un apprendistato successivo che non si realizza nella sola pratica di cantiere. Inoltre, elimina i riferimenti di verticalità e di orizzontalità che il praticante utilizza di solito nelle riflessioni sui tracciati. Il dibattito Desargues-Curabelle pone tuttavia le basi per la ricerca di un nuovo metodo del tracciato geometrico, si può ora concepire che questo sarà

la pratique du trait à preuve pour la coupe des pierres en l'Architecture³, Desargues propose une nouvelle méthode de trait de coupe basée sur les principes de la géométrie projective; il est alors très critique envers les méthodes de trait des ouvriers, qu'il juge hasardeuse. J. Curabelle, porte-parole de la corporation des maçons, lui répond en 1644 dans *Examens des œuvres du Sieur Desargues*⁴. C'est le début d'une longue polémique et de la publication de plusieurs pamphlets entre les deux protagonistes, mais loin d'être un accrochage entre deux hommes, ce sont bien les deux partis qui s'affrontent⁵. De l'Orme comme Desargues enrichissent ou modifient l'habitude constructive et les connaissances géométriques des bâtisseurs. Le but est toujours le même: asseoir l'architecte sur une maîtrise (si possible universelle) qui lui permet de diriger les ouvriers. Notre étude cherche à montrer comment ces révisions de De l'Orme et Desargues, comme celles nous le verrons

de De la Hire et Monge, ont fait évoluer la stéréotomie vers la science qu'elle est aujourd'hui. Pour De l'Orme, il s'agit de la méthode pour les trompes qu'il invente en 1536, décrite ci-dessus par G. Fallacara, dans laquelle on trouve une notion d'universalité: «d'un seul trait, & seule façon de trompe, on les peut faire toutes»⁶. De même, l'intérêt de la méthode de Desargues repose sur une application universelle pour la coupe des pierres, qu'il annonce immédiatement dans le titre de son ouvrage, *maniere universelle du S.G.D.L. touchant la pratique du trait à preuve pour la coupe des pierres*.

Un autre point commun entre De l'Orme et Desargues est le souci de mise en œuvre de leurs méthodes à travers des ouvrages audacieux: De l'Orme exécute la *trompe* du château d'Anet, qui est une «*trompe ondée, rampante sur l'angle et sous tourelle*». Desargues reprend le thème au Louvre avec une maquette de démonstration et fait tailler une «Descente biaise ram-

pante en canonniera en tour courbée en ondoyant irrégulièrement en talus et rachetant un cul de four»⁷, afin de démontrer les qualités de sa méthode en proie aux plus vives critiques de la part de Curabelle. Chez les deux auteurs il s'agit de présenter un sujet à l'apparence complexe et très difficile à résoudre par les traits communs aux ouvriers, mais facilement exécutable suivant leur nouvelle méthode de trait (v. Fig. 84). Desargues ne réussira pas à faire valoir tous les intérêts de sa méthode car elle est particulièrement complexe et nécessite un apprentissage conséquent qui ne se justifie pas dans la pratique. De plus, elle élimine les repères de verticalité et d'horizontalité que le praticien utilise habituellement dans le raisonnement des tracés. La polémique Desargues-Curabelle pose cependant les jalons pour la recherche d'une nouvelle méthode de trait, on peut à présent concevoir qu'elle devra être facile d'apprentissage, applicable à toute typologie de voûte et valable dans sa mise en œuvre.

di facile apprendimento, applicabile a tutte le tipologie di volte e valido nella sua messa in opera.

La volta del municipio di Arles, costruito nel 1675, è la prima applicazione di un nuovo metodo dei tracciati dopo Desargues (v. Fig. 85). Quest'opera che Jean-Marie Pérouse de Montclos considerata come il capolavoro della stereotomia francese⁸ è il frutto dell'immaginazione di Jules Hardouin-Mansart (1646-1708), allora 27enne e oggi noto come l'architetto del castello di Versailles.

L'intradosso⁹ della volta del municipio di Arles non è definito a partire da superfici regolari, come un assemblaggio di porzioni di cilindri, di coni o di sfere... L'irregolarità dell'apparecchiatura, che economizza la quantità di pietra da tagliare, mostra che la volta non è stata concepita a partire dalle intersezione di volumi canonici, che corrisponde tuttavia al metodo tradizionale dei muratori. Se fosse questo il caso, le curve di intersezione sarebbero false curve. Qui, sono regolate sul tracciato della vista in

pianta: questo è servito come direttrice per la definizione delle superfici dell'intradosso. Questa volta è definita a partire dai suoi spigoli e prende il nome di *voûte de cerce*.

Se una volta non è definita a partire da volumi regolari, occorre dividere la sua superficie in poliedri (ad esempio triangolari) per poterla tagliare. Il metodo di Desargues funziona per una volta in cui i piani dei giunti sono radianti rispetto ad un asse, ma non si applica al caso del municipio di Arles, in cui i conci di una stessa volta hanno i piani dei giunti di direzioni diverse. Il metodo di De l'Orme potrebbe applicarsi alla volta di Arles, ma il lavoro del tracciato sarebbe troppo ovvio.

Un'importante ricerca a proposito della volta di Arles, comprendente lo studio del suo tracciato, della cronistoria del cantiere e della realizzazione di un modello in scala 1:5, è stato oggetto di una pubblicazione¹⁰ e ci ha permesso di concludere che il metodo del tracciato impiegato è quello della *sauterelle*, metodo utilizzato ancora oggi. Il metodo

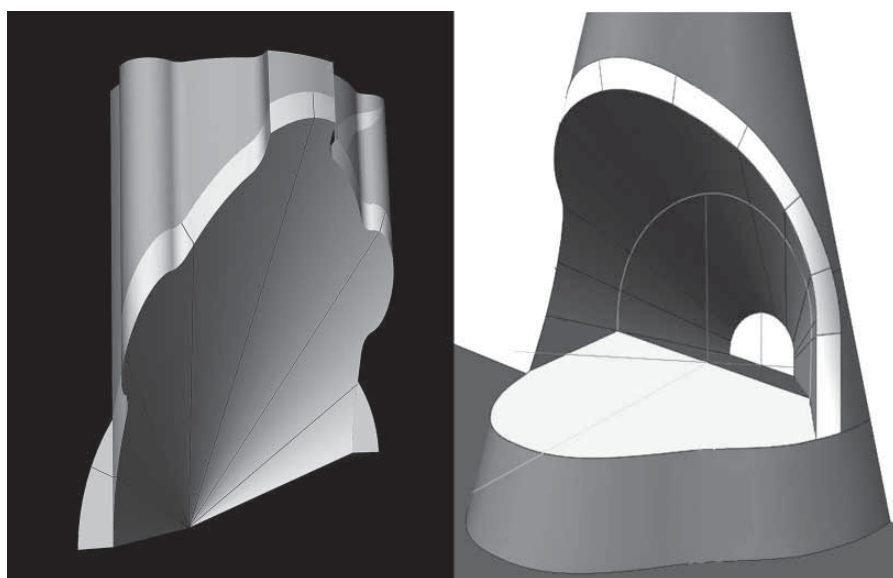


Figura 84. La trompe d'Anêt de De l'Orme (G. Fallacara) e la discesa del Louvre di Desargues (interpretazione di L. tamborero).

La trompe d'Anêt de De l'Orme (G. Fallacara) et la descente du Louvre de Desargues (interprétation de L. tamborero).

La voûte de l'hôtel de ville d'Arles, bâtie en 1675, est la première application d'une nouvelle méthode de trait après Desargues (v. Fig. 85). Cet ouvrage que Jean-Marie Pérouse de Montclos considère comme le chef-d'œuvre de la stéréotomie française⁸ est le fruit de l'imagination de Jules Hardouin-Mansart (1646-1708), alors âgé de 27 ans et qui est resté célèbre comme architecte du château de Versailles. L'intrados⁹ de la voûte de l'hôtel de ville d'Arles n'est pas défini à partir de sur-

faces régulières, comme un assemblage de portions de cylindres, de cônes ou de sphères... L'irrégularité de l'appareil, qui économise la quantité de pierre à tailler, montre que la voûte n'a pas été conçue à partir d'une génération globale des volumes, qui correspond pourtant à la méthode traditionnelle des appareilleurs. Si tel était le cas, les courbes d'intersections seraient des courbes gauches. Ici, elles sont régulières sur le tracé de la vue en plan : ce sont elles qui ont servi comme directri-

ces à la définition des surfaces d'intrados. Cette voûte est définie à partir de ses arêtes ; on appelle cela une *voûte de cerce*.

Si une voûte n'est pas définie à partir de volumes réguliers, il faut diviser sa surface en polyèdres (par exemple trianguler) pour pouvoir la couper. La méthode de Desargues fonctionne pour une voûte où les plans des joints sont rayonnants sur un axe, mais ne s'applique pas au cas de l'hôtel de ville d'Arles, dont les voussoirs d'une même voûte ont des plans de joint de directions différentes. La méthode de De l'Orme pourrait s'appliquer sur la voûte d'Arles, mais le travail de tracé serait trop conséquent.

Une importante recherche autour de la voûte d'Arles, comprenant l'étude de son tracé, de l'historique du chantier et la réalisation d'une maquette à l'échelle un cinquième, a fait l'objet d'une publication¹⁰ et nous a permis de conclure que la méthode de tracé employée est la méthode *à la sauterelle*, méthode de trait de charpente encore utilisée

della *sauterelle* si basa sulle proprietà dell'angolo solido, le cui prime applicazioni si trovano in gnomonica per i tracciati dei quadranti solari digradanti; la più antica immagine ci viene fornita da Oronce Fine nel 1532¹¹ (v. Fig. 86). Si può dunque immaginare che la gnomonica sia la fonte d'ispirazione di Florimond De Beaune (1601–1652), primo autore di un trattato sull'angolo solido. Nella sua *Doctrine de l'Angle Solide*, manoscritto conservato presso gli archivi dell'*Académie des Sciences* di Parigi redatto tra il 1639 e il 1644, pubblicato per la prima volta nel 1975 da Pierre Costabel¹², Florimond De Beaune precisa che «nessuno ha ancora sviluppato [in modo puramente geometrico] per quanto riguarda l'angolo solido (...) sebbene (...) il suo utilizzo sia fortemente vantaggioso in architettura»¹³. Tale impiego è infatti molto utile al taglio delle pietre e del legno poiché il metodo della *sauterelle* dei carpentieri potrebbe essere descritto come «la *Doctrine de l'Angle Solide* applicata al taglio del legno». Come

osserva Jean–Pierre Le Goff:

ricordiamo che il problema della determinazione di un angolo solido, cioè degli elementi geometrici di un triedro, noti alcuni di essi, è connesso a quello della risoluzione dei triangoli sferici, e che è in generale posto come segue: dato un angolo solido, caratterizzato dai suoi tre angoli piani (angoli compresi tra due spigoli...) e dai suoi tre angoli diedri (angoli compresi tra due facce...), determinare tre dei sei angoli

*conoscendo gli altri tre*¹⁴.

Il tracciato di base di questo metodo è la tesi n. 16 della *Doctrine de l'Angle Solide*. Per i carpentieri, si chiama «tracé de la vue par bout de l'arêtier»¹⁵ e per Philippe De la Hire «la méthode générale». Questo tracciato è la ricerca dell'angolo diedro di un triedro rappresentato in proiezione orizzontale dall'aggiunta di un piano ausiliario. La spiegazione di questo tracciato da parte di Philippe De la Hire è riportata sotto, accompagnata

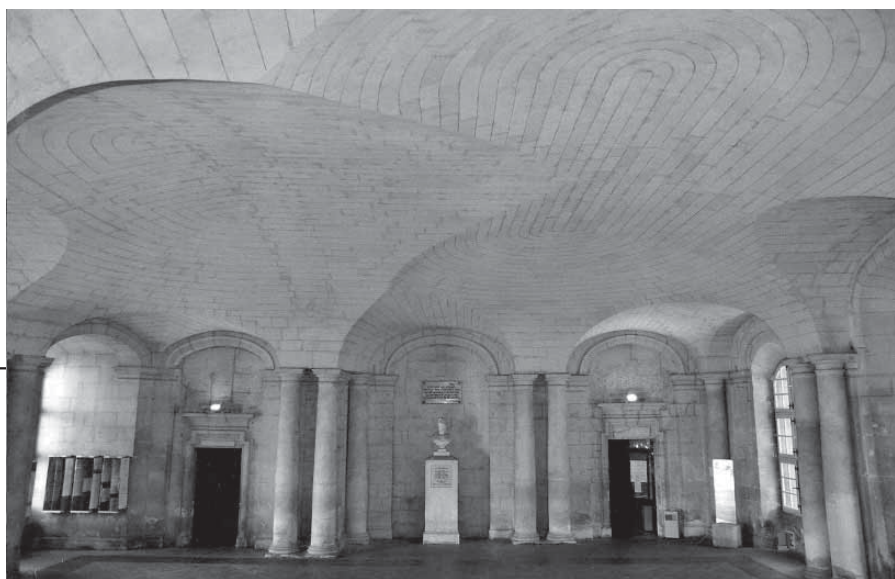


Figura 85. La volta dell'hôtel de ville di Arles.
La voûte de l'hôtel de ville d'Arles.

aujourd'hui. La méthode à la *sauterelle* repose sur les propriétés de l'angle solide, dont les premières applications se trouvent en gnomonique pour les tracés des cadrans solaires déclinants ; la plus ancienne figure en est donnée par Oronce Fine¹¹ en 1532 (v. Fig. 86). On peut donc imaginer que la gnomonique est la source d'inspiration de Florimond de Beaune (1601–1652), premier auteur d'un traité sur l'angle solide. Dans sa *Doctrine de l'Angle Solide*, manuscrit conservé aux archives de l'Académie des Sciences de Paris qu'il rédige entre 1639 et 1644, édité pour la première fois en 1975 par Pierre Costabel¹², Florimond de Beaune précise que «personne n'a encore rien fait [de manière purement géométrique] touchant l'angle solide (...) quoique (...) l'usage en soit fort utile à l'architecture»¹³. L'usage est en effet fort utile à la coupe des pierres et des bois car la méthode à la *sauterelle* des charpentiers pourrait être décrite comme «la *Doctrine de l'Angle Solide* appliquée à la coupe des bois».

Comme le note Jean–Pierre Le Goff:

rappelons que le problème de la détermination d'un angle solide, c'est-à-dire des éléments géométriques d'un trièdre, connaissant certains d'entre eux, est connexe à celui de la résolution des triangles sphériques, et qu'il est en général posé comme suit : étant donné un angle solide, caractérisé par ses trois angles plans (angles compris entre deux arêtes...) et par ses trois angles dièdre (angles compris entre deux

*face...), déterminer trois d'entre les six angles connaissant les trois autres*¹⁴.

Le tracé de base de cette méthode est la proposition 16 de la *Doctrine de l'Angle Solide*. Pour les charpentiers, il se nomme le «tracé de la vue par bout de l'arêtier»¹⁵ et pour Philippe de la Hire «la méthode générale». Ce tracé est la recherche de l'angle dièdre d'un trièdre représenté en projection horizontale par l'adjonction d'un plan auxiliaire. L'explication de ce tracé par Philippe de

dai fogli 72 e 73 del *Coupe des pierres*¹⁶. Osserveremo che gran parte dei termini geometrici è rappresentata da simboli nel testo originale. Viene chiamata *douelle* o superfici le facce del triedro; il piano ausiliario è 31, 28, 29 (v. Fig. 87).

Ecco un metodo generale per trovare l'angolo o il beiveau costituito da due superfici unite insieme, come sulle due *douelles* 18, 20, 21, 19; 22, 24, 25, 23; i cui piani sono dati come di seguito, 5,

9, 10, 6; 13, 9, 10, 12; insieme ai profili che sono segnati dall'inclinazione delle corde 1, 2; 14, 15; con la destra di livello, 1, 26; 14, 27; affinché non si obblighi a ripetere quest'operazione in molte circostanze, sarà sufficiente rinviare a questa regola sulla linea 9, 10; che è il piano dello spigolo dove devono congiungersi le due superfici della *douelle*, al punto 10, si condurrà la perpendicolare 28, 10; 29; che incontrerà le linee 1, 9; 14, 9; prolungate ai due punti 28, 29,

sulla linea 10; 28; segnando la dimensione 10, 30; uguale¹⁷ a 15, 27; che sono uguali tra loro, si tirerà la linea 9, 30; e dal punto 10, si abbasserà la perpendicolare 10, 31; sulla linea 9, 30; e si otterrà 10, 32; uguale alla 10, 31; dico che l'angolo 28, 32, 29; è il biveau o l'angolo che devono fare le due *douelles* 18, 20, 21, 19; 22, 24, 25, 23; chi si incontrano nello spigolo segnato sulla *douelle* dalla linea 20, 21; o 24, 25; o infine 9, 30; che devono essere tutte e

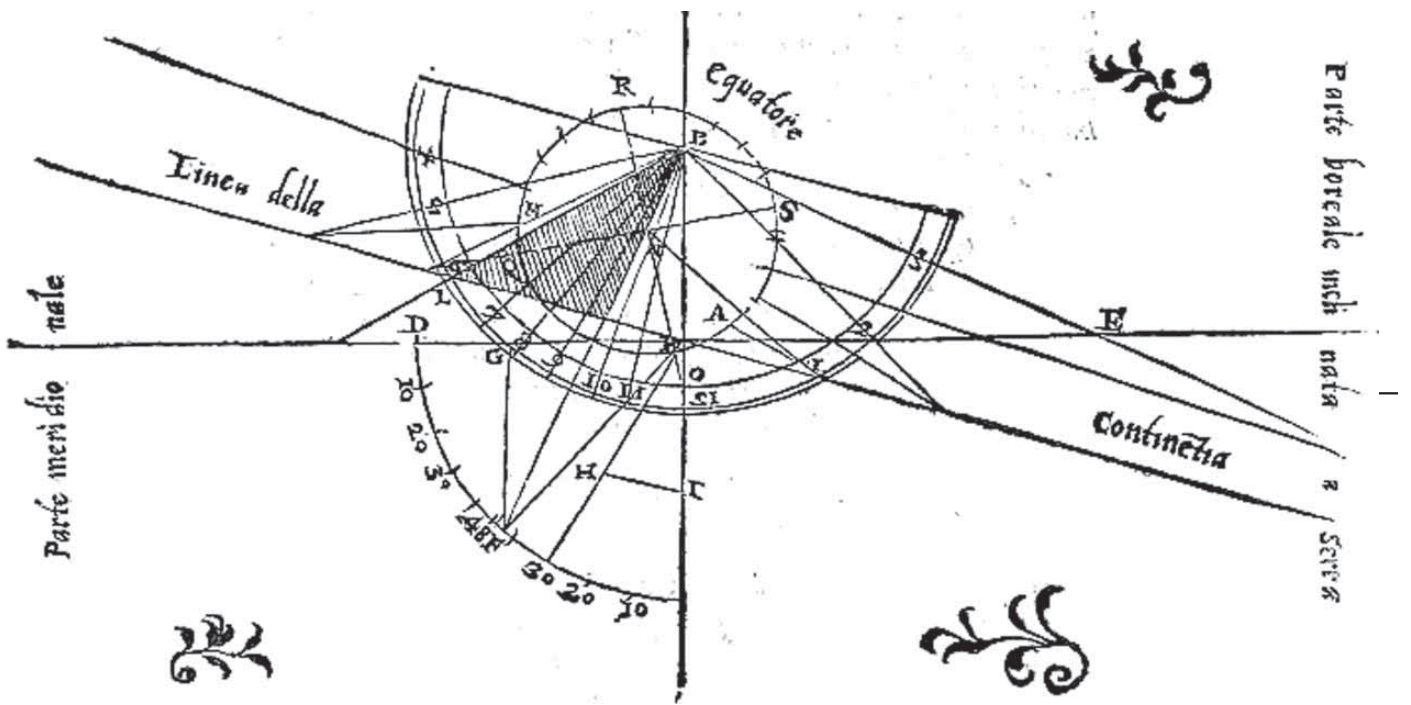


Figura 86. Épure d'un cadran solaire tracé par Oronce Fine.
Épure d'un cadran solaire déclinant par Oronce Fine.

la Hire est réécrite ci-dessous, accompagnée des Folios 72 et 73 de la *Coupe des pierres*¹⁶. Nous remarquerons qu'une grande partie des termes géométriques est représentée par des symboles dans le texte original. Il appelle *douelle* ou surfaces les faces du triedre; le plan auxiliaire est 31, 28, 29 (v. Fig. 87).

Voici une méthode générale pour trouver l'angle ou le beiveau que font deux

surfaces jointes ensemble, comme sur les deux *douelles* 18, 20, 21, 19; 22, 24, 25, 23; dont les plans sont donnés comme ici, 5, 9, 10, 6; 13, 9, 10, 12; avec les profils qui sont marqués par l'inclinaison des cordes 1, 2; 14, 15; avec la droite de niveau, 1, 26; 14, 27; afin que l'on ne soit pas obligé de répéter cette opération dans plusieurs rencontres, il suffira de renvoyer à cette règle. sur la ligne 9, 10; qui est le plan de l'arête où doivent se joindre les deux

surfaces de *douelle*, au point 10, on mènera la perpendiculaire 28, 10; 29; qui rencontrera les lignes 1, 9; 14, 9; prolongées aux deux points 28, 29, sur la droite 10; 28; ayant marqué la grandeur 10, 30; égale¹⁷ à 15, 27; qui sont égales entre elles, on tirera la ligne 9, 30; et du point 10, on abaissera la perpendiculaire 10, 31; sur la ligne 9, 30; et l'on fera 10, 32; égal a 10, 31; je dis que l'angle 28, 32, 29; est le beiveau ou l'angle que doivent faire les deux

tre uguali tra loro (v. Fig. 87).

Il manoscritto di Florimond De Beaune ha ispirato Philippe De la Hire? Questo è molto probabile. Nell'edizione della *Doctrine de l'Angle Solide*, Pierre Costabel segnala che «il trattato dell'angolo solido di De Beaune era andato nelle mani di Roberval... e passato con la morte di Roberval negli archivi dell'accademia»¹⁸. Invece De la Hire, che succede a Roberval (1602–1675) al collegio di Francia¹⁹, si prende cura «di raccogliere tutti i manoscritti dei matematici della nostra Accademia e di ciò che era andato disperso di entrambi dopo la loro morte»²⁰. Fra cui gli archivi di Roberval che ha scritto ad Huygens (1629–1695) a settembre del 1686. I metodi di Florimond De Beaune hanno dunque ispirato De la Hire nella redazione della sua *Coupe des pierres*. Desargues è l'unico autore citato nel trattato di De la Hire, anche se molto rapidamente, per il nome attribuito ad un piano inclinato²¹. Nonostante il vocabolario impiegato nel *brouillon project*

di Desargues sia lo stesso riportato da De la Hire, la geometria è diversa.

La volta del municipio di Arles richiede l'utilizzo di un riferimento geometrico pietra per pietra: i tracciati geometrici propri dell'angolo solido sono i più adatti e certamente l'unica maniera per realizzare tale volta. Infatti, il *méthode générale* e gli sviluppi che ne dà De la Hire, grazie ai tracciati che permettono di trattare il caso di ogni pietra in modo indipendente, offrono un'ottimale possibilità d'interpretazione, ed una grande libertà d'espressione nella definizione delle superfici da tagliare. Ma Jules Hardouin-Mansart può aver conosciuto la *Doctrine de l'Angle Solide* prima di giugno del 1673, data del suo intervento ad Arles? Il manoscritto è arrivato a Parigi soltanto all'inizio del 1673²² per essere attribuito all'abate Picard (1620–1682) in previsione della sua pubblicazione. Sembra dunque difficile che Mansart abbia potuto ispirarsi a questo. I lavori di Desargues sull'angolo solido sono certamente una pista migliore per

comprendere le competenze dell'architetto, poiché una testimonianza del Padre Mersenne (1588–1648) nel 1644 ci annuncia la pubblicazione di molti trattati di Desargues, di cui uno sull'angolo solido²³. Questo trattato sfortunatamente non è giunto fino a noi, ma non possiamo fare altro che sostenere la tesi che sviluppa Jean-Pierre Le Goff²⁴, concernente la ricerca di Desargues:

in ogni caso di queste ricerche di Desargues e dei loro progressi, in mancanza di elementi più precisi, resta il fatto che sono probabilmente in relazione con le considerazioni che le hanno portate a scegliere un riferimento proprio all'oggetto per definire il tracciato del taglio della pietra (sottolineo), che rompono con una tradizione che legava questo riferimento alla condizione naturale del tailleur de pierre i cui riferimenti, orizzontale e verticale, sono dettati dalla gravità tanto pregnante che caratterizza il materiale utilizzato. Così, le questioni che solleva il tracciato di un trattato di stereotomia non sarebbero all'origine

douelles 18, 20, 21, 19; 22, 24, 25, 23; qui se rencontrent dans l'arête marquée sur la douelle par la ligne 20, 21; ou bien 24, 25; ou enfin 9, 30; qui doivent être toutes trois égales entre elles (v. Fig. 87).

Le manuscrit de Florimond de Beaune a-t-il inspiré Philippe de la Hire? C'est fort probable. Dans l'édition de la *Doctrine de l'Angle Solide*, Pierre Costabel signale que «le traité de l'angle solide de De Beaune était tombé entre les mains de Roberval... et passé avec la succession de Roberval dans les Archives de l'Académie»¹⁸. Or, de la Hire succède à Roberval (1602–1675) au collège de France¹⁹, et prend «beaucoup de soin à ramasser tous les manuscrits des Mathématiciens de notre Académie ce qui avoit esté dispersé d'un costé et d'autre après leur mort»²⁰. Dont les archives de Roberval écrit t-il à Huygens (1629–1695) en septembre 1686. Les méthodes de Florimond de Beaune ont donc pu inspirer de la Hire dans la rédaction de sa *Coupe des pierres*.

Desargues est le seul auteur cité dans le traité de De la Hire, mais ce n'est que très brièvement, pour la dénomination d'un plan d'inclinaison²¹. C'est bien le vocabulaire employé dans le *brouillon project* de Desargues qui est rapporté par de la Hire, mais la géométrie est différente.

La voûte de l'hôtel de ville d'Arles nécessite l'utilisation d'un repère géométrique pierre par pierre : les tracés propres à l'angle solide sont les plus adaptés et certainement le seul moyen de la réaliser. En effet, la *méthode générale* et les développements qu'en donne de la Hire, grâce au tracé qui permet de traiter le cas de chaque pierre de manière indépendante, offrent une grande possibilité d'interprétation, et une grande liberté d'expression dans la définition des surfaces à couper. Mais Jules Hardouin-Mansart peut-il avoir connu la *Doctrine de l'Angle Solide* avant juin 1673, date de son intervention à Arles? Le manuscrit n'est arrivé à Paris qu'au début de l'année

1673²² pour être remis à l'abbé Picard (1620–1682) en vue de sa publication. Il semble donc difficile que Mansart ait pu s'en inspirer. Les travaux de Desargues sur l'angle solide sont certainement une meilleure piste pour comprendre les compétences de l'architecte car un témoignage du père Mersenne (1588–1648) en 1644 nous annonce la publication de plusieurs traités de Desargues, dont un sur l'angle solide²³. Ce traité n'est malheureusement pas parvenu jusqu'à nous, mais nous ne pouvons qu'appuyer la thèse que développe Jean-Pierre Le Goff²⁴, au sujet de la recherche de Desargues:

Quoi qu'il en soit de ces recherches de Desargues et de leur état d'avancement, et en l'absence d'éléments plus précis, il reste qu'elles sont probablement en relation avec les considérations qui l'ont amené à choisir un repère propre à l'objet pour définir le trait de la coupe d'une pierre (je souligne), rompent avec une tradition qui attachait ce repère à la station naturelle du tailleur

di lavori sull'angolo solido²⁵?

Come Hardouin-Mansart ha potuto essere informato di questo metodo? Come Desargues l'ha insegnato? La questione rimane, ma in ogni caso, il metodo dell'angolo solido sembra essere stato di grande influenza su Hardouin-Mansart. Questo nuovo modo di pensare la stereotomia è secondo noi la continuità di un progetto cominciato da Philibert de l'Orme, nel 1567²⁶, che mira ad instaurare il potere degli architetti del

re al cospetto delle corporazioni con il controllo dei metodi geometrici. Il dibattito del 1644 tra Curabelle²⁷, rappresentante della corporazione dei muratori, e il Geometra Desargues è della stessa natura. Il metodo che presenta quest'ultimo non è tuttavia corretto: troppo ricco, troppo complesso, mal presentato, rifiuta gli esperti come l'architetto, e dunque non è utilizzato. Invece questo nuovo metodo di Florimond De Beaune, di Hardouin-Mansart, di Philippe De la Hire e degli architetti

del re, ha tutto il senso di una rivincita, con la volta del municipio di Arles, del 1675, che ne è il simbolo. Dalla creazione dell'*Académie Royale d'Architecture* a dicembre del 1671, l'istituzione del mestiere dell'architetto non sarà più discutibile e gli architetti del re saranno formati dall'accademia. Le corporazioni saranno dunque sottoposte agli architetti, e l'unica pista che un *tailleur de pierre* o che un muratore può intraprendere per diventare architetto è quella dell'accademia.

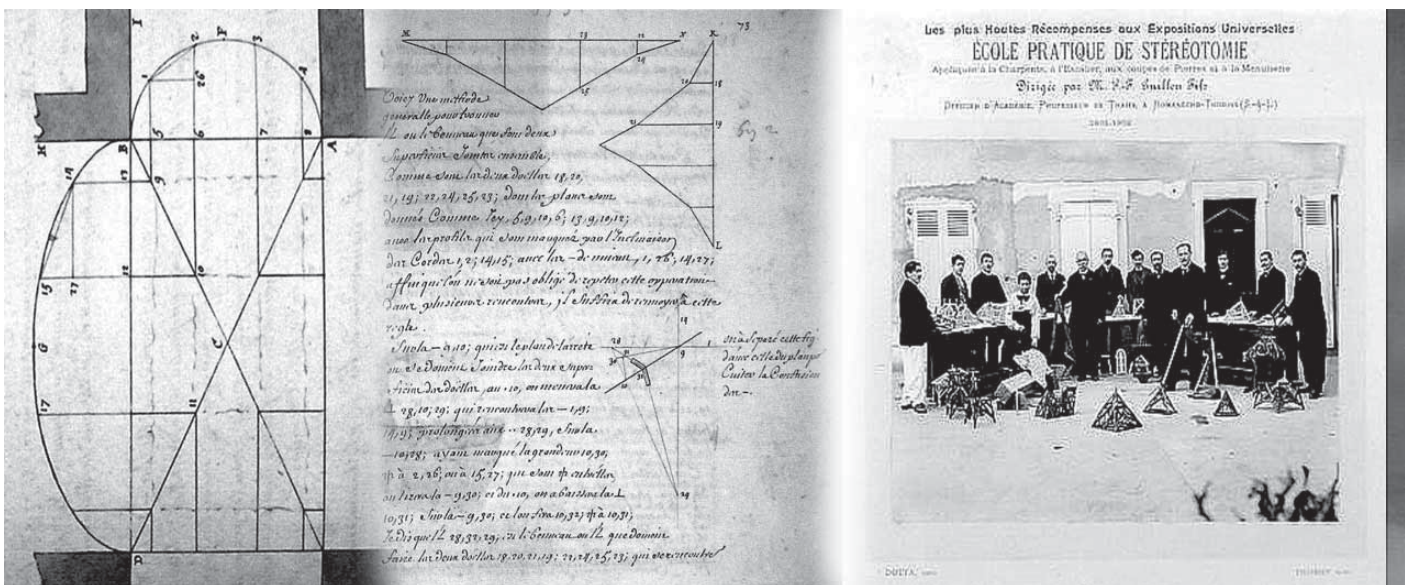


Figura 87. *Méthode générale* di P. de la Hire, fol. 72 haut-fol. 73 bas.
Méthode générale de P. de la Hire, fol. 72 haut-fol. 73 bas.

de pierre dont l'horizon et l'aplomb sont dictés par une gravité d'autant plus prégnante qu'elle caractérise le matériau traité. Ainsi, les questions que soulève le tracé d'un trait de stéréotomie ne seraient-elles pas à l'origine de travaux sur l'angle solide²⁵?

Comment Hardouin-Mansart a-t-il pu être instruit de cette méthode? Comment Desargues l'a-t-il enseigné? La question reste posée, mais quoiqu'il en soit, la méthode de l'angle solide semble avoir été d'une grande influence

sur Hardouin-Mansart. Cette nouvelle façon de penser la stéréotomie est selon nous la continuité d'un projet commencé par Philibert de l'Orme, en 1567²⁶, visant à installer le pouvoir des architectes du roi face aux corporations par la maîtrise des méthodes géométriques.

La polémique de 1644 entre Curabelle²⁷, représentant de la corporation des maçons, et le géomètre Desargues est de même nature. La méthode que présente ce dernier n'est cependant pas la bonne: trop fournie, trop complexe,

mal présentée, elle rebute les praticiens comme l'architecte et n'est pas utilisée. Par contre cette nouvelle méthode de Florimond de Beaune, de Hardouin-Mansart, de Philippe de la Hire et des architectes du Roi a tout d'une revanche, avec en 1675 la voûte de l'hôtel de villes d'Arles comme symbole.

Avec la création de l'*Académie Royale d'Architecture* en décembre 1671, l'institution du métier d'architecte ne sera plus discutable et les architectes du roi seront formés par l'Académie. Les corporations seront donc soumi-

Questa nuova organizzazione dei poteri segna il declino dell'architettura stereotomica per svariate ragioni. Un approccio scientifico innanzitutto, di cui De la Hire è paradossalmente il promotore, che riguarda la spinta degli archi e delle volte, rende marginale a partire dal XVIII sec. l'esperienza e il giudizio degli esperti della costruzione, e favorisce una modellazione regolare delle superfici impiegate, che può prestarsi a dei calcoli della spinta²⁸. A partire da quest'epoca, nessun architetto o ingegnere

si assumerà la responsabilità di una costruzione così complessa, barocca, come la volta di Arles. La seconda ragione, legata alla prima, è di natura estetica. Sia le *voûtes de cerces* che le volte molto ardite costituite da intersezioni complesse di solidi sono criticate fin dalla fine del XVII sec.²⁹. La preferenza è data alla sobrietà, alla regolarità. De la Hire stesso se ne fa testimone: «la regolarità delle volte impiegate in maggioranza sono quelle che soddisfanno in maggior misura la

vista, poiché le cose più straordinarie non sono sempre le più piacevoli»³⁰. Infine, la difficoltà degli uomini di mestiere nell'accettare un cambiamento radicale nei loro metodi di lavoro, mentre detengono con orgoglio un patrimonio geometrico sul quale si basa la loro legittimità, non favorirà l'integrazione dei metodi di Philippe De la Hire nei trattati della *coupe des pierres* del XVIII sec. Nel 1728, Jean-Baptiste de La Rue dà una sola rappresentazione del *méthode générale* di De la Hire in tutto



Figura 87. Da destra a sinistra: fotografia della scuola di *Trait* de Pierre-François Guillon; uno dei capolavori di Pierre-François Guillon, 1872-1882 (2,42 m de hauteur) e insieme di *maquettes* realizzate dagli allievi esposte al Musée départemental du compagnonnage Pierre-François Guillon a Romanèche-Thorins, FR. De gauche a droite: photographie de l'école de *Trait* de Pierre-François Guillon; un des chef-d'œuvre de Pierre-François Guillon, 1872-1882 (2,42 m de hauteur) et ensemble de *maquettes* réalisées par les élèves exposées au Musée départemental du compagnonnage Pierre-François Guillon à Romanèche-Thorins, FR.

ses aux architectes, et la seule voie qu'un tailleur de pierre ou qu'un maçon puisse emprunter pour devenir architecte est celle de l'Académie. Cette nouvelle organisation des pouvoirs marque le déclin de l'architecture stéréotomique pour plusieurs raisons. Une approche scientifique tout d'abord, dont de la Hire est paradoxalement le promoteur, concernant la poussée des arcs et des voûtes marginalise à partir du 18^{ème} siècle l'expérience et le jugement des experts de la construction, et favorise une modélisation régulière des

surfaces employées, pouvant se prêter à des calculs de poussée²⁸. A partir de cette époque, aucun architecte ou ingénieur n'endosserait la responsabilité d'une construction aussi complexe, baroque, que la voûte d'Arles.

La seconde raison, liée à la première, est d'ordre esthétique. Les voûtes de cerces comme les voûtes très riches en pénétrations de volumes sont critiquées dès la fin du 17^{ème} siècle²⁹. La préférence est donnée à la sobriété, à la régularité. De la Hire lui-même s'en fait le témoin:

«la régularité des voûtes que l'on met le plus en usage et qui plaisent le plus à la vue, car les choses les plus extraordinaires ne sont pas toujours les plus agréables»³⁰. Enfin, la difficulté des gens de métiers à accepter un changement radical dans leurs méthodes de travail, alors qu'ils détiennent avec fierté un patrimoine géométrique sur lequel repose leur légitimité, ne favorisera pas l'intégration des méthodes de Philippe de la Hire dans les traités de la coupe des pierres du 18^{ème} siècle. En 1728, Jean-Baptiste

il suo trattato³¹.

Invece, A. F. Frezier (1682–1773), nel 1737³², ne descrive il tracciato in un capitolo chiamato *Goniographie ou de description des angles*. Prima testimonianza dei metodi di De la Hire da parte di quest'ingegnere del re che moltiplica gli ammonimenti nei confronti dei praticanti che «disprezzano la teoria, in quanto non è paragonabile all'esperienza che invece continuano ad elogiare»³³.



Figura 89. Dettaglio del *Grand chef-d'oeuvre des Compagnons Charpentiers du Devoir de Liberté de la ville de Lyon* di P.F. Guillon e 6 compagni (5,20 m di altezza).
Détail du Grand chef-d'oeuvre des Compagnons Charpentiers du Devoir de Liberté de la ville de Lyon di P.F. Guillon et 6 compagnons (5,20 m de hauteur).

de la Rue donne una seule représentation de la *méthode générale* de De la Hire dans tout son traité³¹. Par contre, A.F. Frezier (1682–1773), en 1737³², en décrit les tracés dans un chapitre appelé *Goniographie ou de description des angles*. Premier témoignage des méthodes de De la Hire par cet ingénieur du roi qui multiplie les reproches aux praticiens : ils «méprisent la théorie, et la comptent pour rien

Il trattato di Frezier suggerisce un nuovo approccio stereotomico, già annunciato nel trattato di De la Rue, che tende a rapportare ciascuna volta ad un volume geometrico regolare, per esempio i volumi sferici, conici...

L'ingegnere Frezier ha ricevuto l'insegnamento dell'*Académie royale d'Architecture* come tutti gli ingegneri del re della sua epoca. Ma dal 1747, sarà l'ufficio dei *Ponts et Chaussée* a provvede alla formazione degli aspiranti ingegneri. Questa prima scuola di formazione degli ingegneri che prefigura le scuole moderne, viene istituita nel 1748 a Mézières. Questa è l'*Ecole Royale du Génie*, nel recinto della fortezza costruita da Vauban. La selezione degli aspiranti viene effettuata su concorso. Il livello dei requisiti matematici richiesti è elevato e gli studenti si preparano all'esame d'ingresso grazie ai corsi organizzati a Parigi nelle *écoles régimentaires*. Il corso associa un insegnamento scientifico fondamentale alla formazione tecnica e pratica: arte di base, taglio delle pietre, del legno. Gaspard Monge

au prix de l'expérience qu'ils ne cessent de vanter»³³.

Le traité de Frezier donne une nouvelle approche de la stéréotomie, déjà annoncée dans le traité de De la Rue, qui tend à classer chaque voûte dans une catégorie de volume géométrique régulier, comme les volumes sphériques, coniques...

L'ingénieur Frezier a reçu l'enseignement l'*Académie royale d'Architecture* come tous les ingénieurs du Roi de son époque. Mais dès 1747, le bureau des Ponts et Chaussée se voit attribuer la formation des aspirants ingénieurs. Cette première école de formation d'ingénieurs qui préfigure les écoles modernes est ouverte en 1748 à Mézières. C'est l'*Ecole Royale du Génie*, dans l'enceinte de la forteresse construite par Vauban. La sélection des aspirants se fait par concours. Le niveau de mathématique requis est élevé et les étudiants se préparent à l'examen d'entrée grâce aux cours donnés à Paris dans les écoles régimentaires. Le cursus associe un enseignement scientifique

(1746–1818) vi è professore a partire dal 1764, insegna alla *gâcherie*, cioè nella sezione d'insegnamento pratico in cui i candidati dell'*Ecole Royale du Génie* apprendono il taglio e l'assemblaggio delle strutture, il taglio delle pietre, la concezione delle volte ed il disegno dei piani.

Gli ingegneri *du Génie* seguono un insegnamento molto importante in geometria, ma la diffusione di questo sapere non è immediata, *nombreuse témoignances attestent que la technique graphique élaborée à l'Ecole du Génie de Mézières, quasiment classée « confidentiel défense » et considérée comme propriété de la scuola, non doveva essere rivelata al di fuori di essa. Il segreto che la circondava non si prefiggeva certamente di impedire ai corpi speciali degli eserciti stranieri di impadronirsi di un'arma così temibile, bensì costituiva il vantaggio di garantire agli ufficiali di Mézières una certa superiorità sui loro confratelli francesi*³⁴.

Gaspard Monge diventa *Professeur Royal* di matematica e di fisica nel 1775,

fondamental à la formation technique et pratique : art du siège, coupe des pierres, des bois. Gaspard Monge (1746–1818) y est professeur à partir de 1764, il enseigne à la gâcherie, c'est-à-dire dans la section d'enseignement pratique où les aspirants de l'Ecole royale du Génie apprennent la coupe et l'assemblage des charpentes, la coupe des pierres, la conception des voûtes et le dessin des plans.

Les ingénieurs du Génie suivent un enseignement très important en géométrie, mais la diffusion de ce savoir n'est pas immédiate, *de nombreux témoignages attestent que la technique graphique élaborée à l'Ecole du Génie de Mézières, quasiment classée « confidentiel défense » et considéré comme propriété de l'Ecole, ne devait pas être dévoilé hors de ces murs. Le secret qui l'entourait n'avait sans doute pas pour objectif d'empêcher les corps savants des armées étrangères de s'emparer d'une arme aussi redoutable, Mais bien d'avantage d'assurer aux officiers de Mézières une certaine supériorité sur*

quindi abbandona l'*Ecole du Génie* nel 1784 e si installa a Parigi. È nel 1795, dopo la rivoluzione francese, che Monge pubblica la *Géométrie descriptive*³⁵ il cui principale oggetto è l'esatta rappresentazione attraverso disegni che hanno soltanto due dimensioni, di oggetti che ne hanno tre, e che sono suscettibili di definizione rigorosa. (...) Il secondo oggetto della geometria descrittiva è la deduzione dalla descrizione dei corpi di tutto quello che (deriva) segue necessariamente dalle loro forme e dalle loro posizioni reciproche³⁶.

La geometria descrittiva più che un nuovo metodo rappresenta una nuova scienza. Questa è apparentemente accettata senza difficoltà dai muratori e *tailleur de pierre*, che la praticano ancora oggi. Le leggi rivoluzionarie limitano comunque qualsiasi manifestazione corporativa: a marzo del 1791 il decreto di Allade sopprime le corporazioni, le manifatture, i privilegi, allo scopo di porre il libero contratto come la base delle nuove relazioni di mercato. A giugno del 1791, la legge *Le Chape-*

lier proibisce agli operai *compagnons* come ai maestri di organizzarsi in vista dei loro presunti interessi comuni o di formare assembramenti.

Per attenuare la scomparsa dell'organismo d'insegnamento corporativo, a settembre del 1793 Monge redige un progetto d'organizzazione di scuole secondarie, per i dipartimenti della *Seine*, destinate agli artisti ed agli operai. È in questo documento che appare per la prima volta l'espressione «*Géométrie descriptive*»³⁷. In queste scuole la geometria descrittiva viene insegnata sia per il taglio del legno che per quello delle pietre, ma se la nuova scienza è adottata dai *tailleur de pierre* e la maggior parte dei *compagnons*, non durerà presso i carpentieri. Le leggi rivoluzionarie del 1791 non sono riuscite ad estinguere questa corporazione sotto la sua forma *compagnonnique*. Nel 1810, ad esempio, il prefetto segnala tensioni tra i *compagnons charpentiers du Devoir* e di altri operai chiamati *renards*³⁸ operanti sul cantiere dell'*Arc du Triomphe* a Parigi³⁹. I carpentieri sono,

lo abbiamo visto, gli eredi dei metodi di De la Hire sotto forma del tracciato alla *sauterelle*⁴⁰. Nel corso del XIX sec., il metodo del tracciato alla *sauterelle* si sviluppa considerevolmente nell'ambito della società *compagnonnique*, il controllo del tracciato riprende il suo valore sociale nella gerarchia della corporazione, e pone il carpentiere di fronte all'ingegnere ed alla geometria descrittiva.

Sviluppando una politica d'insegnamento geometrico impressionante (v. Fig. 88), mediante la pubblicazione dei trattati di taglio del legno, la creazione di scuole dei tracciati, e la loro partecipazione ai lavori dello stesso calibro della Tour Eiffel, i *compagnons charpentiers* riproducono l'ambivalenza post-academica prefigurata da Curabelle e Desargues, essendo la geometria descrittiva completamente eliminata dall'insegnamento agli allievi carpentieri nel XX sec.

È attualmente frequente che giovani *compagnons charpentiers* francesi passino un anno in Germania per la

*leurs confrères français*³⁴.

Gaspard Monge devient Professeur Royal de mathématique et de physique en 1775, puis quitte l'Ecole du Génie en 1784 et s'installe à Paris. C'est en 1795, après la Révolution Française, que Monge publie la *Géométrie descriptive*³⁵ dont le premier (objet) est de représenter avec exactitude sur des dessins qui n'ont que deux dimensions, les objets qui en ont trois, et qui sont susceptibles de définition rigoureuse. (...) Le second objet de la géométrie descriptive est de déduire de la description des corps tout ce qui suit nécessairement de leurs formes et de leurs positions respectives³⁶. Plus qu'une nouvelle méthode, c'est bien d'une nouvelle science que représente la géométrie descriptive.

Cette science est apparemment acceptée sans difficulté par les maçons et tailleurs de pierre, qui la pratiquent encore aujourd'hui. Les lois révolutionnaires limitent de toutes façons toute manifestation corporative : en mars 1791 le décret d'Allade supprime les corporations, les manufactures, privilèges, dans le but de

poser le libre contrat comme la base des nouveaux rapports de marché.

En juin 1791, La loi Le Chapelier interdit aux ouvriers *compagnons* comme aux maîtres de s'organiser en vue «de leurs prétendus intérêts communs» ou de former des attroupements. Pour pallier à la disparition de l'organisme d'enseignement corporatif, en septembre 1793 Monge rédige un projet d'organisation d'écoles secondaires, pour les départements de la *Seine*, destinées «aux artistes et ouvriers». C'est dans ce document qu'apparaît pour la première fois l'expression «*Géométrie descriptive*»³⁷. Elle est aussi bien enseignée pour la coupe des bois que pour la coupe des pierres dans ces écoles, mais si la nouvelle science est adoptée par les tailleurs de pierre et la plupart des métiers, elle ne perdurera pas chez les charpentiers.

Les lois révolutionnaires de 1791 ne sont pas parvenues à éteindre cette corporation sous sa forme *compagnonnique*. En 1810 par exemple, le préfet signale des tensions entre les *compagnons char-*

pentiers du Devoir et d'autres ouvriers appelés *renards*³⁸ sur le chantier de l'*Arc de Triomphe* à Paris³⁹. Les charpentiers sont, nous l'avons vu, les héritiers des méthodes de De la Hire sous la forme du trait à la *sauterelle*⁴⁰. Au cours du 19^{ème} siècle, la méthode du trait à la *sauterelle* se développe considérablement au sein de la société *compagnonnique*, la maîtrise du trait reprend sa valeur sociale dans la hiérarchie de la corporation, et positionne le charpentier face à l'ingénieur et à la géométrie descriptive. Développant une politique d'enseignement géométrique impressionnante (v. Fig. 88), par la publication de traités de coupe des bois, la création d'écoles de trait, et leur participation aux travaux d'envergure comme la tour Eiffel, les *compagnons charpentiers* reproduisent l'ambivalence post-académique figurée par Curabelle et Desargues, la géométrie descriptive étant totalement écartée de l'enseignement aux élèves charpentiers au 20^{ème} siècle.

Il est actuellement fréquent que de jeunes *Compagnons charpentiers* français

loro formazione. È sorprendentemente scoprono metodi dei tracciati geometrici completamente diversi praticati dai loro colleghi, poiché il tracciato tedesco è rimasto sul modello tradizionale corrispondente a quello del XVIII sec. in Francia. Il loro metodo di tracciato richiede una messa in relazione di varie proiezioni delle facce articolate su un piano, mentre il tracciato alla *sauterelle* dei carpentieri francesi è una ricerca diretta degli angoli di riunione degli elementi della struttura. I *compagnons de charpentiers* francesi realizzano così l'originalità dei tracciati di taglio alla *sauterelle*. I carpentieri tedeschi conoscono anche il tracciato del *méthode générale*, forse grazie a Georg Peter Shillinger⁴¹, architetto tedesco che ne descrive il tracciato nel 1743 nel suo trattato d'architettura. Questi dà un nuovo nome alla tesi n. 16 di Florimond De Beaune, al *méthode générale* di De la Hire, o ai tracciati geometrici dei carpentieri: Shillinger lo chiama *Frantzösischer Façon* o anche il tracciato alla francese.

note:

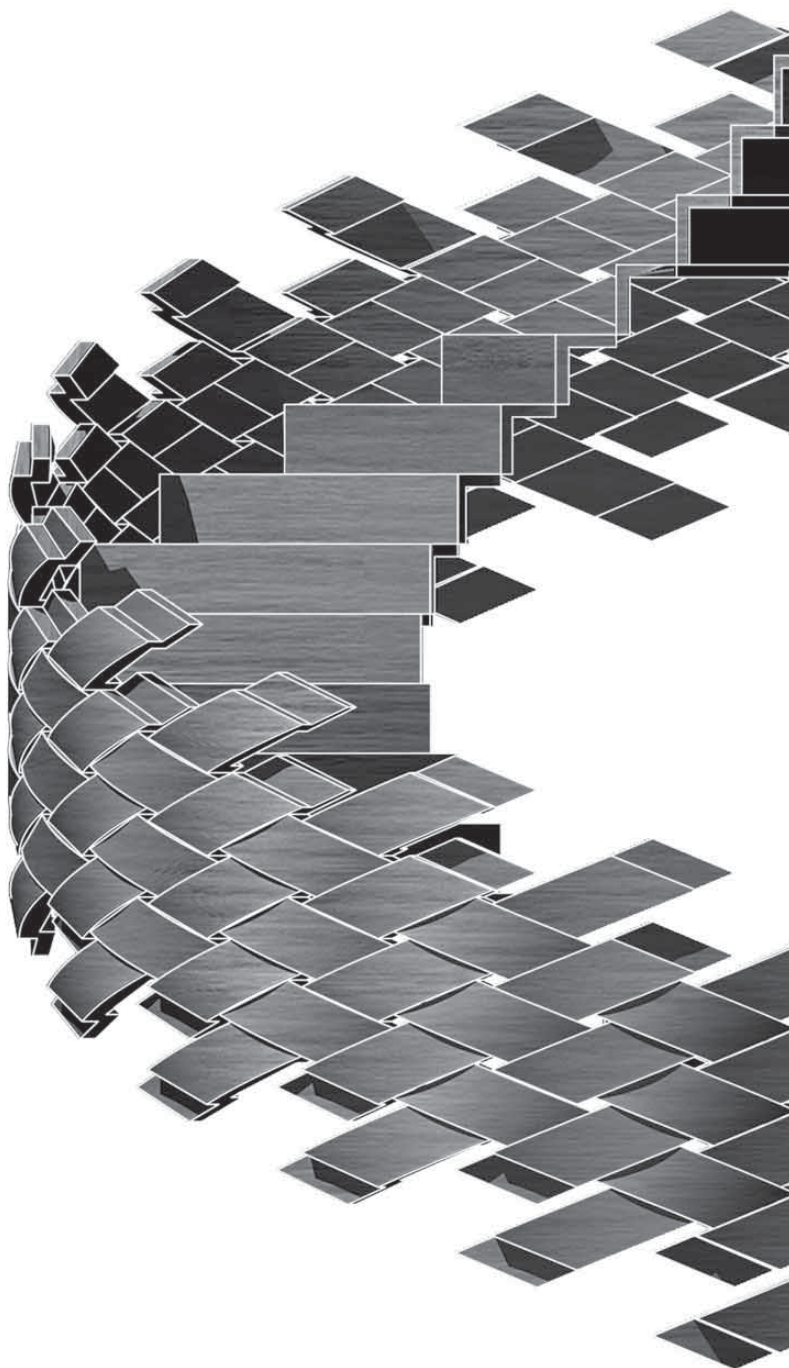
1. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. II, f. 81., estratto preso da: C. ASSEGONT, *Socialisation du savoir, socialisation du regard. Les usages techniques et sociaux du savoir géométrique et de la stéréotomie chez les compagnons tailleurs de pierre*, Université François Rabelais, tesi di dottorato in sociologia, Tours 2002, . p 167.
2. G. DESARGUES, *Brouillon Project d'une atteinte aux evenemens des rencontres du Cone avec un Plan par L.S.G.D.L. [Le sieur Girard Desargues lyonnais]*, Paris 1639.
3. Id., cit. (nota 4, cap. 2), Paris 1640.
4. J. CURABELLE, cit. (nota 1, cap. 2), Paris 1644.
5. Vedere: J. DHOMBRES et J. SAKAROVITCH (dir.), *Desargues en son temps*, Paris 1994.
6. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. II, f. 91 r.
7. G. DESARGUES, *Récit au vray de ce qui a été la cause de faire ce récit*, 1644, p.23.
8. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *La voûte de l'Hôtel de ville d'Arles est-elle le produit de la tradition locale ou une importation parisienne ?*, Université de Provence 1983, pp. 123–126.
9. L'intradosso è la superficie interna della volta, l'estradosso è quella esterna.
10. L. TAMBORERO, J. SAKAROVITCH, cit. (nota 9 cap. 1), Madrid 2003.
11. O. FINE, *Protomathesis, De solaribus horlogiis et quadrantibus*, libri IIII, Paris 1532, p. 157.
12. F. DE BEAUNE, *Doctrine de l'angle solide*, Paris 1975.
13. *Ibidem*, p.20.
14. J.P. LE GOFF, *Desargues et la naissance de la géométrie projective*, dans: J. DHOMBRES et J. SAKAROVITCH (dir.), *op. cit.*, Paris 1994, p.190.
15. ASSOCIATION OUVRIÈRE DES COMPAGNONS DU DEVOIR, *La charpente et la construction en bois*, Tome 3, Paris 1977, p. 283–322.
16. P. DE LA HIRE, *La Coupe des Pierres*, Paris, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, manuscrit 228, T.1, 1688–1690, T.2, 1702–1704.
17. Il segno uguale utilizzato da de la Hire nel 1688, è 2l2 mentre Descartes ha introdotto l'uguale nella *Géométrie* en 1637 nel 1637 lo indica in questa maniera ∞, cioè dal latino *ae*, dell'inizio del termine *aequalis*. Tuttavia 2l2 è sostituito da = nel secondo tomo della *coupe des pierres* redatto tra il 1702 e il 1704.
18. F. DE BEAUNE, *op.cit.*, p 16.
19. Vince il concorso nel 1676 (L. AUGER, *Un savant*

passent un an en Allemagne pour leur formation. C'est avec surprise qu'ils découvrent des méthodes de trait totalement différentes pratiquées par leurs confrères, car le trait allemand est resté sur le modèle traditionnel correspondant au 18^{ème} siècle en France. Leur méthode de trait demande une mise en relation de différentes projections des faces articulées sur un plan, alors que le trait à la *sauterelle* des charpentiers français est une recherche directe des angles de rencontre des éléments de la charpente. Les compagnons charpentiers français réalisent ainsi l'originalité du trait de coupe à la *sauterelle*. Les charpentiers allemand connaissent aussi le trait de la *méthode générale*, peut-être grâce à Georg Peter Shillinger⁴¹, architecte allemand qui en décrit le tracé en 1743 dans son traité d'Architecture. Il donne un nouveau nom à la *proposition 16* de Florimond de Beaune, à la *méthode générale* de De la Hire, ou au *trait de la vue par bout* des charpentiers : Shillinger l'appelle la *Frantzösischer Façon* ou encore le trait à la Française.

note:

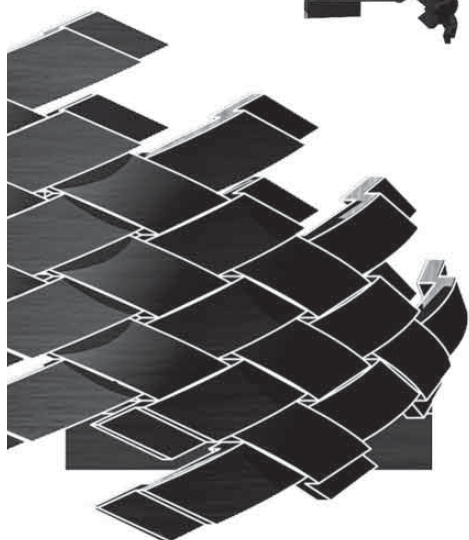
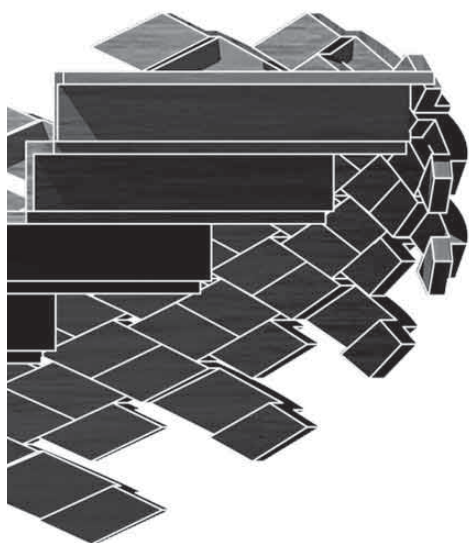
1. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. II, f. 81., extrait relevé par: C. ASSEGONT, *Socialisation du savoir, socialisation du regard. Les usages techniques et sociaux du savoir géométrique et de la stéréotomie chez les compagnons tailleurs de pierre*, Université François Rabelais, thèse de doctorat en sociologie, Tours 2002, . p 167.
2. G. DESARGUES, *Brouillon Project d'une atteinte aux evenemens des rencontres du Cone avec un Plan par L.S.G.D.L. [Le sieur Girard Desargues lyonnais]*, Paris 1639.
3. Id., cit. (note 4, ch. 2), Paris 1640.
4. J. CURABELLE, cit. (note 1, ch. 2), Paris 1644.
5. Voir: J. DHOMBRES et J. SAKAROVITCH (dir.), *Desargues en son temps*, Paris 1994.
6. P. DE L'ORME, *op. cit.*, L. IV, cap. II, f. 91 r.
7. G. DESARGUES, *Récit au vray de ce qui a été la cause de faire ce récit*, 1644, p.23.
8. J.M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *La voûte de l'Hôtel de ville d'Arles est-elle le produit de la tradition locale ou une importation parisienne ?*, Université de Provence 1983, pp. 123–126.
9. L'intrados est la surface intérieure de la voûte, l'extrados en est l'extérieur.
10. L. TAMBORERO, J. SAKAROVITCH, cit. (note 9 ch. 1), Madrid 2003.
11. O. FINE, *Protomathesis, De solaribus horlogiis et quadrantibus*, libri IIII, Paris 1532, p. 157.
12. F. DE BEAUNE, *Doctrine de l'angle solide*, Paris 1975.
13. *Ibidem*, p.20.
14. J.P. LE GOFF, *Desargues et la naissance de la géométrie projective*, dans: J. DHOMBRES et J. SAKAROVITCH (dir.), *op. cit.*, Paris 1994, p.190.
15. ASSOCIATION OUVRIÈRE DES COMPAGNONS DU DEVOIR, *La charpente et la construction en bois*, Tome 3, Paris 1977, p. 283–322.
16. P. DE LA HIRE, *La Coupe des Pierres*, Paris, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, manuscrit 228, T.1, 1688–1690, T.2, 1702–1704.
17. Le signe égal utilisé par de la Hire en 1688, est 2l2 alors que Descartes a introduit le signe égal dans la *Géométrie* en 1637 en notant ∞, c'est-à-dire d'après le latin *ae*, début de *aequalis*. Cependant 2l2 est remplacé par = dans le deuxième tome de la coupe des pierres rédigé entre 1702 et 1704.
18. F. DE BEAUNE, *op.cit.*, p 16.
19. Il gagne le concours en 1676 (L. AUGER, *Un savant méconnu: Gilles Personne de Rober-*

- méconnu: Gilles Personne de Roberval, 1602-1675..., Paris 1962) ma presta giuramento solo nel 1683 (Archives du Collège de France, dossier "La Hire").
20. SOCIÉTÉ HOLLANDAISE DES SCIENCES, *Œuvres complètes de Christiaan Huygens*, vol 9, p. 91 *lettre de Ph. De la Hire à Christiaan Huygens du 8 septembre 1686*. Harlem 1901.
 21. P. DE LA HIRE, *op. cit.*, T 1, fol 26 verso.
 22. F. DE BEAUNE, *op.cit.*, p 16.
 23. M. MERSENNE, *cogitata physico-mathematica...*, Paris 1644, *Hydraulica pneumatica...*, *Præfatio ad lectorem*, p 11, non paginée, Cf. supra et note 55.
 24. J.P. LE GOFF, *op. cit.*, pp. 157–206.
 25. *Ibidem*, p 191.
 26. P. DE L'ORME, *op. cit.*
 27. J. CURABELLE, *op. cit.*
 28. Voir: A. BECCHI, *op.cit.*
 29. Per esempio: A.F. FRÉZIER, cit. (nota 3 cap. 3), p.14.
 30. P. DE LA HIRE, *op. cit.*, T 1, fol 9 verso.
 31. J.B. DE LA RUE, *Traité de la Coupe des Pierres*, Paris, 1728.
 32. A.F. FRÉZIER, *op. cit.*, p. 368–388.
 33. *Ibidem*, p. 3.
 34. J. SAKAROVITCH, *Epure d'Architecture*, Basel–Boston–Berlin–Birkhäuser 1998, p. 245.
 35. G. MONGE, *Géométrie descriptive*, in: *Les séances des écoles normales recueillies par des sténographes et revues par des professeurs*, Paris, 1795 (vedere J. SAKAROVITCH, *op.cit.*)
 36. G. MONGE, *Cours de géométrie descriptive école normale an III*, réédition J.Gabay 1989.
 37. Vedere: J. SAKAROVITCH, *op.cit.*, p. 249.
 38. I *Compagnons Passants Charpentiers Bons Drilles du Devoir* costituiscono una delle più antiche società del Compagnonnage. La leggenda li associa alla costruzione del Tempio di Salomone e ritiene che il fondatore sia il Padre Soubise, uno dei suoi maîtres d'œuvre. Alla fine del XVIII sec., appaiono i « Renards de Liberté », discendenti dei Bons Drilles. Questi prenderanno il nome di Compagnons Charpentiers du Devoir de Liberté o « Indiens » intorno al 1804. In concorrenza con i Bons Drilles sui cantieri, questi si affrontano spesso fisicamente ma anche attraverso i concorsi dai quali sono usciti i grandi chefs-d'œuvre del XIX sec. Essi si sono uniti nel 1945 costituendo i *Charpentiers des Devoirs* (testo reperito al musée du compagnonnage a Tours).
 39. I. MOULLIER, *Le ministère de l'Intérieur sous le Consulat et le Premier Empire (1799–1814) Gouverner la France après le 18 brumaire*, Université Lille III–Charles de Gaulle, Thèse d'histoire, Lille 2004.
 40. Il primo trattato francese di carpenteria dove si ritrova questa testimonianza è: N. FOURNEAU, *L'Art du trait de charpenterie*, Rouen 1767–1770.
 41. G.P. SCHILLINGER, *Architectura civilis*, Nürnberg 1745–48.
- val, 1602-1675..., Paris 1962) mais ne prête serment qu'en 1683 (Archives du Collège de France, dossier "La Hire").
20. SOCIÉTÉ HOLLANDAISE DES SCIENCES, *Œuvres complètes de Christiaan Huygens*, vol 9, p. 91 *lettre de Ph. De la Hire à Christiaan Huygens du 8 septembre 1686*. Harlem 1901.
 21. P. DE LA HIRE, *op. cit.*, T 1, fol 26 verso.
 22. F. DE BEAUNE, *op.cit.*, p 16.
 23. M. MERSENNE, *cogitata physico-mathematica...*, Paris 1644, *Hydraulica pneumatica...*, *Præfatio ad lectorem*, p 11, non paginée, Cf. supra et note 55.
 24. J.P. LE GOFF, *op. cit.*, pp. 157–206.
 25. *Ibidem*, p 191.
 26. P. DE L'ORME, *op. cit.*
 27. J. CURABELLE, *op. cit.*
 28. Voir: A. BECCHI, *op.cit.*
 29. Par exemple : A.F. FRÉZIER, cit. (note 3 ch. 3), p.14.
 30. P. DE LA HIRE, *op. cit.*, T 1, fol 9 verso.
 31. J.B. DE LA RUE, *Traité de la Coupe des Pierres*, Paris, 1728.
 32. A.F. FRÉZIER, *op. cit.*, p. 368–388.
 33. *Ibidem*, p. 3.
 34. J. SAKAROVITCH, *Epure d'Architecture*, Basel–Boston–Berlin–Birkhäuser 1998, p. 245.
 35. G. MONGE, *Géométrie descriptive*, in: *Les séances des écoles normales recueillies par des sténographes et revues par des professeurs*, Paris, 1795 (voir Sakarovitch, *op.cit.*)
 36. G. MONGE, *Cours de géométrie descriptive école normale an III*, réédition J.Gabay 1989.
 37. Voir: J. SAKAROVITCH, *op.cit.*, p. 249.
 38. Les *Compagnons Passants Charpentiers Bons Drilles du Devoir* constituent l'une des plus anciennes sociétés du Compagnonnage. La légende les associe à la construction du Temple de Salomon et leur donne pour fondateur le Père Soubise, l'un de ses maîtres d'œuvre. A la fin du XVIII^e siècle, apparaissent des « Renards de Liberté », dissidents des Bons Drilles. Ils prirent le nom de Compagnons Charpentiers du Devoir de Liberté ou « Indiens » vers 1804. En concurrence avec les Bons Drilles sur les chantiers, ils s'affrontèrent souvent physiquement mais aussi lors de concours d'où sont issus les chefs-d'œuvre grandioses du XIX^e siècle. Ils ont fusionné en 1945 pour constituer les *Charpentiers des Devoirs* (texte copié au musée du compagnonnage a Tours).
 39. I. MOULLIER, *Le ministère de l'Intérieur sous le Consulat et le Premier Empire (1799–1814) Gouverner la France après le 18 brumaire*, Université Lille III–Charles de Gaulle, Thèse d'histoire, Lille 2004.
 40. Le premier traité français de charpente où l'on retrouve ce témoignage est: N. FOURNEAU, *L'Art du trait de charpenterie*, Rouen 1767–1770.
 41. G.P. SCHILLINGER, *Architectura civilis*, Nürnberg 1745–48.



Crediti

Credits



3D Pierre

www.3dpierre.com
contact@3dpierre.com

Lavorando la pietra da molti decenni, *3D Pierre* è oggi uno dei più importanti atelier di taglio della pietra della Francia.

All'origine, questo atelier era parte integrante dell'impresa *Chevalier*, società specializzata nel restauro dei monumenti storici già dal 1946.

Localizzata a Nanterre dal 1987, *3D Pierre* ha acquisito le sue competenze partecipando al restauro di numerosi monumenti storici parigini.

Il castello di Versailles, il Louvre, la piazza Vendôme, la piazza de la Concorde, la cappella reale des Invalides, oltre ai numerosi palazzi del XVII secolo, situati nel Le Marais hanno permesso a *3D Pierre* di acquisire ampie e diversificate competenze nella maîtrise del taglio della pietra.

L'erogazione irregolare dei finanziamenti statali riservati al restauro dei monumenti storici ci ha condotti alla diversificazione della nostra attività. Per questo, abbiamo deciso di associare al nostro *savoir-faire* gli strumenti moderni più tecnologici al fine di rispondere in

maniera competitiva ai nuovi mercati. Dalle nuove costruzioni in pietra massiva nel cuore di Parigi alle case unifamiliari in Inghilterra, in Florida o in California, abbiamo condiviso il nostro amore per la pietra con un nuovo pubblico.

Fortemente legata al nostro mestiere e al suo sviluppo nel futuro, la strada intrapresa dalla *Facoltà di Architettura del Politecnico di Bari* di associare le conoscenze tecniche tradizionali, basate sul sapere della stereotomia, agli strumenti della moderna tecnologia (modellatori 3D, macchine a controllo numerico a 5 assi) ci ha immediatamente sedotto. E' per questo che siamo molto contenti di associarci ai progetti universitari, basati sulla sperimentazione ed evoluzione delle tecniche e delle forme architettoniche in pietra da taglio, come la costruzione della volta con apparecchiatura *alla Truchet* che sarà realizzata a Madrid.

Travaillant la pierre depuis plusieurs décennies, *3D Pierre* est aujourd'hui l'un des plus importants ateliers de taille de pierre de France.

A sa création, cet atelier faisait partie intégrante de l'entreprise *Chevalier*, société spécialisée dans la restauration des monuments historiques depuis 1946.

Installé à Nanterre depuis 1987, *3D Pierre* a acquis ses compétences en participant à la restauration de nombreux monuments historiques parisiens.

Le château de Versailles, le Louvre, la place Vendôme, la place de la Concorde, la chapelle royale des Invalides, ainsi que de nombreux hôtels du XVII^e siècle, situés dans Le Marais ont permis à *3D Pierre* d'acquérir des compétences étendues et très diverses dans la maîtrise de la taille de pierre.

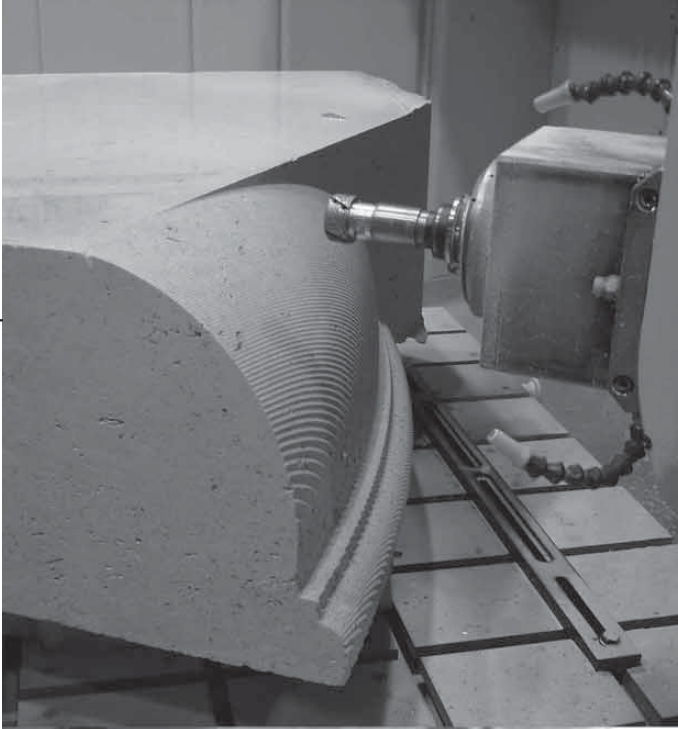
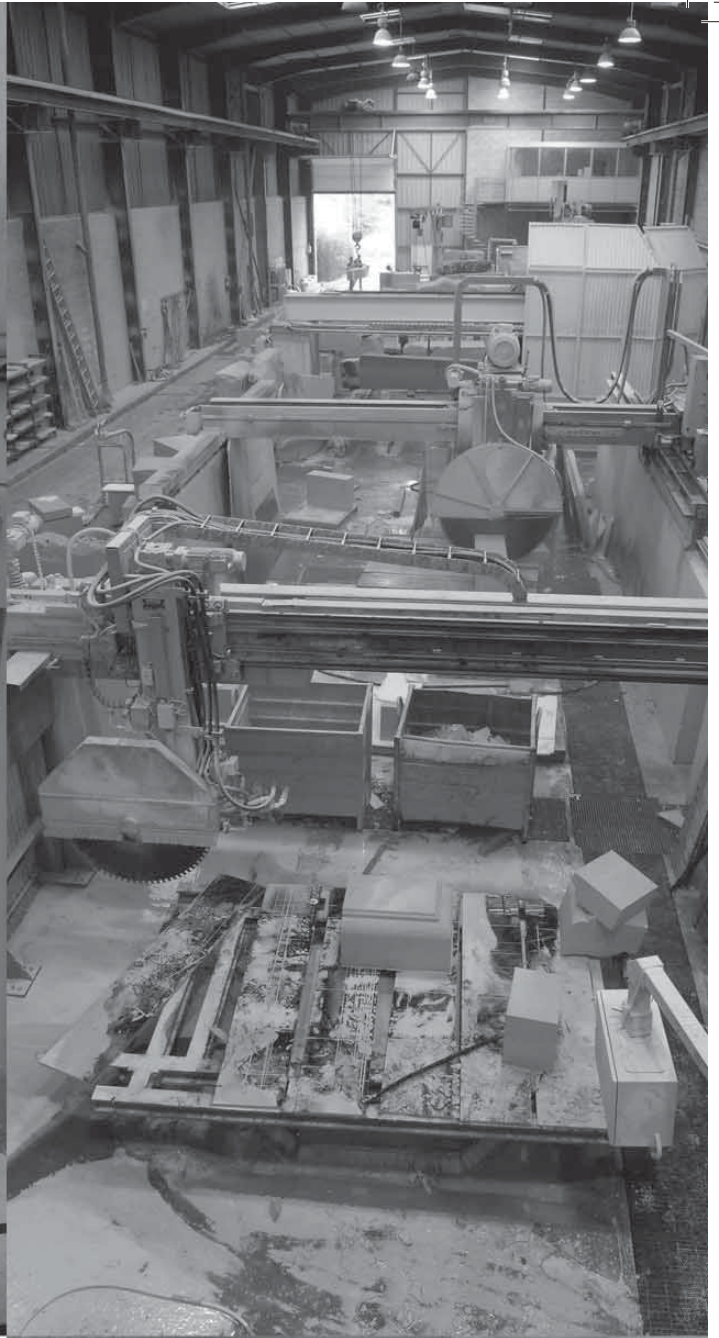
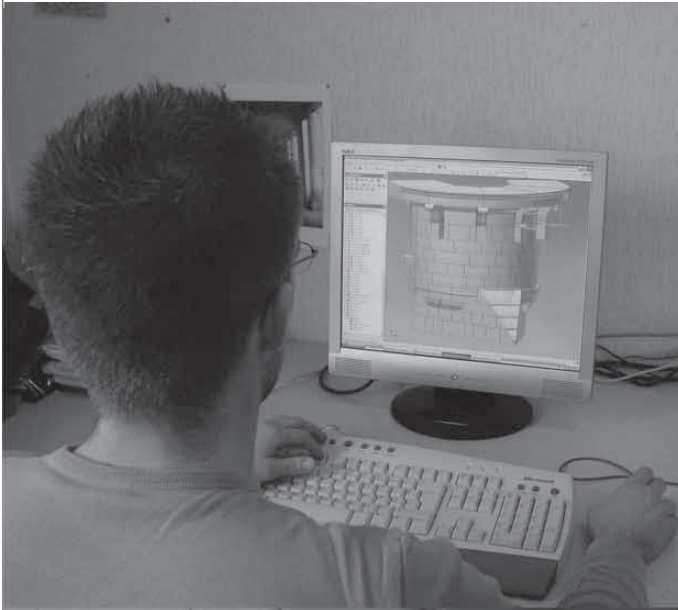
L'évolution irrégulière des crédits d'état affectés à la restauration des monuments historiques nous a cependant amenés à diversifier notre activité. De ce fait, nous avons décidé d'associer à notre *savoir-faire* des outils modernes

à la pointe de la technologie afin de répondre de manière compétitive à de nouveaux marchés.

De constructions neuves en pierre massive au cœur de Paris en passant par des villas en Angleterre, en Floride ou en Californie, nous avons su faire partager notre amour de la pierre avec un nouveau public.

Fortement attaché à notre métier et à son évolution dans le futur, la démarche entreprise par la *Facoltà di Architettura* du Politecnico di Bari d'associer les connaissances techniques traditionnelles, à savoir la stéréotomie aux outils modernes d'aujourd'hui (modeleurs 3D, machines numériques 5 axes) nous a immédiatement séduit.

C'est pour cela que nous sommes très heureux de nous associer aux projets universitaires basés sur l'expérimentation et l'évolution des techniques et des formes architectoniques employant la pierre de taille: en particulier, à la construction de la voute appareillée à la *Truchet* qu'on réalisera à Madrid.



Mecastone

Stone Technology Solutions
mecastone@hotmail.fr

Mecastone è una impresa che ricerca le migliori soluzioni tecnologiche per la costruzione in pietra massiva.

Mecastone ha come principale obiettivo la messa a punto di specifiche tecniche per la realizzazione di progetti complessi in pietra, grazie alla relazione con diversi istituti di formazione superiore (Politecnico di Bari, Ecole des mines d'Alès, Facoltà di Architettura in Francia, in Italia e in Spagna), e di riunirle alle competenze del mondo del lavoro (imprese del settore lapideo italiane, francesi ed inglesi) al fine di rendere possibile ogni aspettativa progettuale del cliente.

In stretta relazione con i progettisti (dei differenti ambiti disciplinari) *Mecastone* fornisce lo studio sintetico e completo del progetto, portando anche a realizzazione l'opera.

I punti di forza sono: il taglio della pietra, la direzione dei cantieri, i disegni esecutivi CAD, i prototipi in pietra, e anche la conservazione/restauro delle opere d'arte, dei monumenti, i progetti

di valorizzazione dei quartieri storici e dei siti archeologici.

Mecastone opera a livello internazionale potendo agire in tutti i luoghi extra-nazionali. Le competenze linguistiche (francese, inglese, italiano, tedesco, arabo) assicurano una completa operatività.

Tra le principali realizzazioni di tipo sperimentale assumono particolare rilevanza: prototipo di scala armata autoportante esposta a *Marmomacc* (Veronafiere) 2005; Obelisco di 16 metri di altezza esposto alla *Biennale di Architettura* di Venezia del 2006 in relazione con il Politecnico di Bari; volta obliqua realizzata nell'atelier della Facoltà di Architettura San Pablo CEU di Madrid del 2007.

Mécastone est une entreprise qui cherche à trouver les meilleures solutions pour tous les projets de construction en pierre, même les plus innovants.

Mécastone a pour objectif principal de permettre la réalisation de projets complexes en pierre, grâce à ses contacts avec les pôles innovants de la formation (Politecnico di Bari, Ecole des mines d'Alès, Ecoles d'Architecture en France, en Italie, en Espagne) et de réunir les compétences de ses partenaires (Entreprises du secteur pierre en Italie, France, Angleterre) pour rendre le projet du client possible.

En lien avec les acteurs spécialisés du projet (bureau d'ingénieurs, bureau d'étude), *Mécastone* fournit l'étude complète du projet, et peut également se charger de sa réalisation.

Ses nombreuses spécialités sont la taille de pierre, la direction de chantier, le dessin sur ordinateur, les prototypes en pierre, mais aussi la conservation-restauration d'œuvres d'art, de monuments, les projets de mise en valeur

de quartiers historiques et de sites archéologiques.

Mécastone a un fonctionnement international, car son équipe est prête à travailler partout dans le monde. Ses déplacements sont facilités par la maîtrise de nombreuses langues (français, anglais, italien, allemand, arabe). Son pôle Recherche et Formation est particulièrement actif : prototype d'escalier pour *Marmomacc* (Veronafiere) 2005; étude et taille d'un obélisque de 16 mètres en pierre post contrainte pour la *Biennale d'Architecture* de Venezia (2006) en lien avec le Politecnico di Bari, enseignement et animateur d'atelier de taille de pierre pour la Summerschool du San Pablo CEU, école d'architecture de Madrid (2007).



Crediti

Luc Tamboréro

è *tailleur de pierre* dal 1995.

Ricercatore associato al Laboratorio *Géometrie Structure Architecture* della *École d'Architecture Paris-Malaquais* (Prof. Joël Sakarovich).

Studente della *École des Hautes Etudes* in Scienze Sociali della Sorbona, sotto la Direzione del Prof. Jean Dhombres, ha studiato in Francia, approfondendo la sua conoscenza dei vari materiali lapidei in diverse città e imprese.

Da diversi anni opera sui cantieri di nuove costruzioni e di restauro in diverse nazioni (Italia, Irlanda, Svizzera, Egitto, Cambogia), dove svolge anche servizi di formazione.

Appassionato al suo mestiere, si è specializzato nel campo della storia della scienza e nella realizzazione di prototipi al fine di promuovere una nuova edificazione in pietra massiva.

Claire Piffaut

è restauratrice di opere d'arte dal 1999, diplomata alla Sorbona di Parigi.

È specializzata nella conservazione e nel restauro di opere monumentali in pietra, gesso e terracotta.

Lavora regolarmente all'estero (Egitto, Qatar, Svizzera, Siria, Vietnam) gestendo, a volte, numerose équipes di lavoro; è specializzata nei progetti di valorizzazione dei centri storici e dei siti archeologici.

L'ottima conoscenza dei materiali e il loro deperimento le permette di adottare le migliori soluzioni di restauro.

Luc Tamboréro

est *tailleur de pierre* depuis 1995.

Chercheur associé au laboratoire *Géométrie Structure Architecture* de l'Ecole d'Architecture Paris-Malaquais (Prof. Joël Sakarovich).

Etudiant à l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales sous la direction de Jean Dhombres, il a étudié son art en France, changeant chaque année de ville et d'entreprise pour parfaire sa maîtrise de tous les matériaux pierreux. Depuis plusieurs années il réalise des chantiers de construction et de restauration dans de nombreux pays (Italie, Irlande, Suisse, Egypte, Cambodge), pendant lesquels il est souvent amené à organiser des stages de formation.

Passionné par son métier, il s'est parallèlement spécialisé dans l'histoire des sciences et la réalisation de prototypes pour promouvoir la construction neuve en pierre massive.

Claire Piffaut

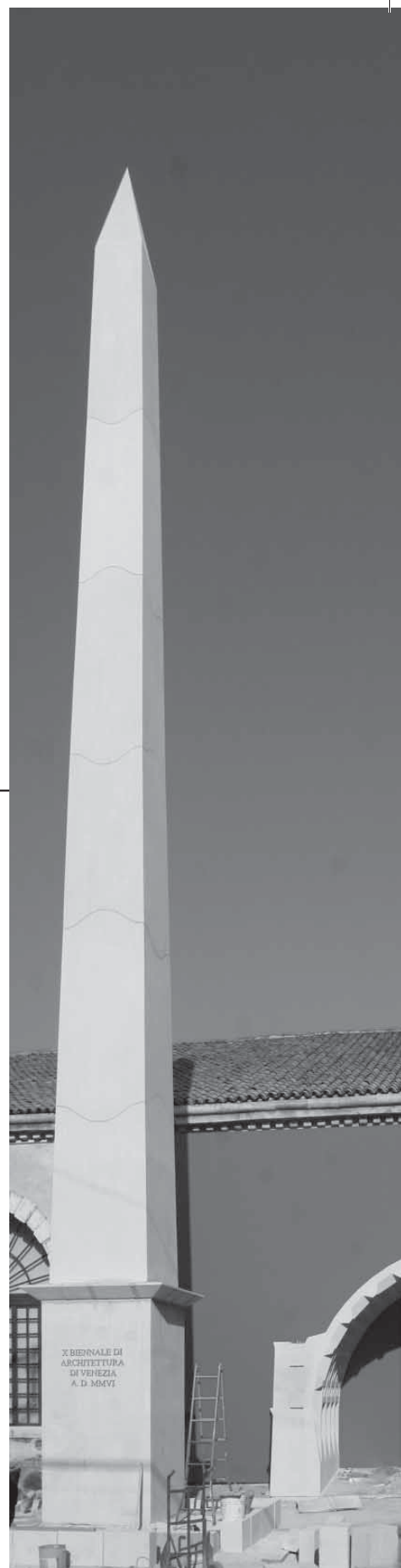
est restauratrice d'œuvres d'art depuis 1999, diplômée de la Sorbonne à Paris.

Elle est spécialisée dans la conservation et la restauration d'œuvres monumentales en pierre, plâtre et terre cuite.

Travaillant régulièrement à l'étranger (Egypte, Qatar, Suisse, Syrie, Vietnam), elle gère des équipes parfois nombreuses, et s'est progressivement spécialisée dans les projets de mise en valeur de centres historiques et de sites archéologiques.

Sa connaissance des matériaux et de leur altération lui permet de proposer des solutions adaptées et durables.

Credits





Bibliografia

Bibliography



Bibliografia

Fonti primarie:

Manoscritti

- BOYE B., *L'Architecture des voutes*, ms. n. 619 Bibliothèque Municipale Bordeaux, 1741.
- CHEREAU J., *Livre d'architecture*, ms. n. 2280 Biblioteca Municipale Gdansk (Danzica), 1567-74.
- GELABERT J., *De l'art de Picapedrer*, ms. n.1653 facsimil en Palma de Mallorca, Diputació 1977.
- DE HONTAÑON G., *Rodrigo*, raccolta di Simon García; ms. 1540.
- DE GUARDIA A., *Colección de trazas de montea manuscrita sobre Ludovico Dolce. Imprese de diversi principi...*, ms. 4196 Biblioteca Nacional; Venezia 1560.
- DE LA HIRE P., *Traité de la coupe des pierres*, ms. n. 1596 Bibliothèque de l'Institut de France, Paris.
- DE MAZARRASA A. J., *Tratado de Arquitectura*; transcripción en MAZARRASA O., FERNÁNDEZ HERRE-RO F., MAZARRASA, SANTANDER, ms. 1750-60 C.O.A. de Cantabria, 1988.
- DE PORTOR Y CASTRO J., *Cuaderno de arquitectura*, ms. 1708 Biblioteca Nacional, Madrid.
- NAVASCUES P., *El Libro de Arquitectura de Hernán Ruíz El Joven*; ETSAM, Madrid 1974.
- DE VANDELVIRA, A., *Libro de traças de cortes de piedras*, ms. 12.719 Biblioteca Nacional de Madrid 1575-1580.
- DE HONNENCOURT V., *Disegni*, a cura di AA.VV., Jaca Book, Milano 1988.

Trattati

- ADHEMAR J.A., *Traité de la coupe des pierres*, Bachelier, Paris 1840.
- ÁLVAREZ F., *Breve tratado de relojes solares y arquitectura*, Francisco Mojado, Madrid 1727.
- BAILS B., *Elementos de matemáticas...*, tomo IX, Ibarra, Madrid 1783.
- BERRUGUILLA J.G., *Verdadera práctica de las resoluciones de la geometría*, Francisco Mojados, Madrid 1747.
- BARBE-COQUELIN DE LISTE G., *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira*, Caja de Ahorros, Albacete 1977.
- BLANCHARD E., *Traité de la Coupe des Bois pour le revêtement des Voutes, Arrières-Voussures, Trompes...*, Josse et Jombert, Paris 1729.
- BOSSE A., *La Pratique du Trait a preuves de Mr. Desargues Lyonnais, pour la Coupe des Pierres en l'Architecture*, Paris 1643.
- CARAMUEL J., *Arquitectura civil recta y oblicua*, Imp.Obispa, Vigevano 1678.
- CHAIX, J., *Traité de la coupe des pierres. La*

stéréotomie, H. Chairgrasse fils, Paris 1890.

- DE CHALES MILLIET C.F., *De Lapidum Sectione in Cursus seu mundus mathematicus*, ex officina Anissoniana, Lugduni 1674.
- CHOISY A., *Histoire de l'Architecture*, Paris 1899.
- DE CHALES MILLIET C.F., *Cursus seu mundus mathematicus, Tractatus XIV De lapidum sectione*, Anissonm, Lyon 1674.
- DE L'ORME P., *Le premier tome de l'architecture...*, Paris 1567.
- DE L'ORME P., *Nouvelles Inventiones pour bien bastir et à petits fraiz*, Paris 1551.
- DERAND F., *L'Architecture des voûtes Ou l'Art Des Traits, Et coupe Des Voutes...*, Paris 1643.
- DESARGUES G., *Brouillon project d'exemples d'une manière universelle du sieur G.D.L., touchant la pratique du trait à preuve pour la coupe des pierres en architecture...*, Melchor Tavernier, Paris 1640.
- DOULIOT J.P., *Traité de Coupe des Pierres*, Carilian-Goeury, Paris 1825.
- FREZIER A.F., *Eléments de stéréotomie à l'usage de l'architecture pour la coupe des pierres*, Paris 1760.
- FREZIER A.F., *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois...*, 3 vol., L.H. Guérin, Paris 1737-39.
- GUARINI G., *Architettura civile*, postuma, 2 vol., Torino 1737.
- HACHETTE J.N.P., *Traité de géométrie descriptive avec les applications aux ombres, a la perspective et a la stereotomie*, Paris 1822.
- HAMILTON J., *Stereography or a compleat body of perspective*, London 1738.
- JOUSSE M., *Le Secret d'Architecture, decouvrant fidèlement les traits Géométriques, Coupes & Dérobemens nécessaires dans les Bastimens*, La Flèche, Paris 1642.
- DE LA GOURNERIE J.M., *Discours sur l'art du Trait et la Géométrie descriptive*, Mallet-Bachelier, Paris 1855.
- DE LA RUE J.B., *Traité de la coupe des pierres*, Imprimerie Royale, Paris 1728.
- LAUNOY J., *Cours pratique de coupe des pierres*, Aug. Fonteyn, Louvain 1899.
- LEJEUNE E., *Traité pratique de la coupe des pierres précédé de toute la partie de la géométrie descriptive qui trouve son application...*, Baudry, Paris 1872.
- LEROY C.F.A., *Traité de stéréotomie...*, Bachelier, Paris 1844.
- MIGUEL, LUCUY M., *Lecciones de cortes de piedras*, Ingenieros, Madrid 1864.
- MOJADOS E., *Esterotomía*, Madrid 1883.
- MONDUIET L., DENIS A., *Stéréotomie au point de*

Bibliografía

- vue de la coupe des pierres*, 1889.
- MONGE G., *Géométrie Descriptive*, Paris 1795.
 - PILLET J.J., *Traité de stéréotomie, charpente et coupe des pierres: texte et dessins*, Delagrave, Paris 1887.
 - PONTE F., PONTE B., *Tratado práctico de Estereotomía, aplicaciones al corte de piedras, maderas y hierros*, La Coruña 1921.
 - RONDELET J.B., *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, Paris 1802–17.
 - ROUCHE E., BRISSE C., *Coupe des pierres*, Baudry, Paris 1893.
 - ROVINA, RABASSA A., *Estereotomía de la piedra*, Provincial de Caridad, Barcelona 1897.
 - DE SAN NICOLAS, L., *Arte y uso de arquitectura*, Madrid 1639–64.
 - SIMONIN W., *Traité élémentaire de la coupe des pierres, ou art du trait*, Paris 1792.
 - SINAUD H., *Coupe des pierres limitée aux épures usuelles avec l'indication sommaire des sujet qui ne sont plus en usage*, 1890.
 - TACHON E., *Traité pratique de la coupe des pierres*, Librairie de la construction moderne, Paris 1914.
 - DE TORIJA J., *Breve tratado de todo género de bóvedas...*, Pablo de Val, Madrid 1661.
 - TOUSSAINT DE SENS C.T., *Manuel de la coupe des pierres, varias ed. desde comienzos del XIX*, Madrid 1860.
 - TRAMONTINI G., *Delle proiezione grafiche, Società Tipografica*, Modena 1811.
 - VALLEE L.L., *Coupe des Pierres*, Paris 1828.
 - VIOLLET-LE-DUC E.E., *Dictionnaire raisonné de l'Architecture française*, Baucé, Paris 1854.
- Fonti secondarie:**
- AGURTO CALVO S., *Estudios acerca de la construcción, arquitectura y planeamiento incas, Cámara peruana de la construcción*, Lima 1987.
 - ALADENISE V., *Taille de Pierre, technologie*, Librairie du Compagnonnage, Paris 1991.
 - BECCHI A., FOCE F., *Degli archi e della volte: Arte del costruire tra meccanica e stereotomia*, Marsilio Editori, Venezia 2002.
 - BECHMANN R., *Villard de Honnecourt*, Picard, Paris 1991.
 - BESSAC J.C., *L'Outilsage traditionnel du tailleur de pierre*, CNRS, Paris 1993.
 - BLUNT A., *Philibert Delorme*, London 1958.
 - BONET CORREA A., *Los tratados de cortes de piedra espartes en los siglos XVI, XVII e XVIII*, in "Academia Madrid", n. 69, 1989, pp. 29–62.
 - BONNET SAINT-GEORGES D., *Philibert de l'Orme lyonnais*, in "Les dossier des Archives Municipales", n. 5, Lyon 1993.
 - BUCHER F., *Design in Gothic Architecture*, in "Journal of the Soc. of Arch. Historians", n. 37, 1968, pp. 49–71.
 - BUCHER F., *Medieval Architectural Design Methods*, 800–1560, in "Gesta", n. XI/2, 1972, pp. 37–51.
 - BUCHER F., *The Desden Sketch-book of vault projection*, in "Proceedings of the 22th Congress of Art History, 1969", Budapest 1972, pp. 527–537.
 - CABEZAS GELABERT L., *Del "Arte de la Cantería" al "Oficio de la Cantería"*, in: AA.VV., *Juan de Herrera y su influencia, Actas del Simposio Camargo 1992*, Universidad de Cantabria, Santander 1993, pp. 137–142.
 - CAMEROTA F., *Prospettiva aedificandi. Ottica, stereotomia e architettura obliqua*, tesi di dottorato di ricerca, Firenze 1994.
 - CHAPPUIS R., *Géométrie et structure des coupes sur pendentifs dans les églises romanes entre Loire et Pyrénées*, in "Bulletin monumental" 1962, pp. 7–39.
 - CHASLES M., *Aperçu Historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*, Paris 1837.
 - CHATELET-LANGE L., *Philibert de l'Orme à Montceaux-en-Brie. Le pavillon de la grotte*, in "Architectura", n. 2, 1973, pp. 153–170.
 - CHATENET M., *Le château de Madrid au bois de Boulogne*, Picard, Paris 1987.
 - CHAUVEL A., *Étude de la taille des pierres au moyen age*, in "Bulletin Monumental", vol. 93, 1934, pp. 435–450.
 - CHEVALIER A., *Lettres et devis de Ph. De l'Orme*, Paris 1864.
 - CHUECA F., *La Catedral Nueva de Salamanca*, Universidad de Salamanca, Salamanca 1951.
 - CLOUZOT H., *Philibert Delorme*, Paris 1910.
 - DAMISCH H., *L'origine de la perspective*, Flammarion, Paris 1987.
 - DEFORGE Y., *Le graphisme technique, son histoire et son enseignement*, Editions du Champ Vallon, 1981, pp. 48–55.
 - DESHOULIERES F., *Les trompes des coupes romanes en France*, in "Bulletin archéologique", 1927, pp. 367–78.
 - DHOMBRES J., SAKAROVITCH J., *Desargues en son temps*, Blanchard, Paris 1994.
 - DOBSON E., *Masonry and Stonecutting*, London 1903.
 - DU COLOMBIER P., *Les chantiers des cathédrales, ouvriers, architectes, sculpteurs*, Picard, Paris 1953.
 - DURÁN SALGADO M., *El arte de la cantería*, Publicaciones de la Escuela de Artes y Oficios Artísticos, Madrid 1945.
 - EVANS R., *La trompe di Anet*, in "Eidos" n. 2, Asolo Arti, 1988, pp. 50–57.
 - EVANS R., *The Projective Cast*, MIT Press, Cambridge Mass. 1995, pp. 179–239.
 - FIELD J.V., *Linear perspective and the projective geometry of Girard Desargues*, in "Nuncius", vol. II, 1987, pp. 3–40.
 - FITCHEN J., *The Construction of Gothic Cathedrals*, Clarendon Press, Oxford 1961.
 - FOURREY E., *Notions de stéréotomie*, 1955.
 - FRIEDERICH K., *Die Steinbearbeitung in ihrer entwicklung vol XI, Jahrhundert*, Augsburg, Aegis 1932.
 - GAUTHIER, J.P., *Stéréotomie, étude des arcs, voûtes, escaliers*, École National Supérieure des Beaux-Arts, Paris 1989.
 - GIMPEL J., *Les bâtisseurs des cathédrales*, Seuil, Paris 1956.
 - GIORDANO A., *Cupole volte e altre superfici. La genesi e la forma*, Utet, Torino 1999.
 - GÓMEZ MARTÍNEZ J., *El gótico español en la edad moderna*, Universidad de Valladolid, Valladolid 1998.
 - GUILLAUME J., *De L'Orme et Michel-Ange*, in "Il se rendit en Italie: études offertes à André Chastel", Elefante-Flammarion, Paris 1987.
 - GUILLAUME J., *Philibert Delorme: un traité différent*, in "Les Traités d'Architecture de la Renaissance", Picard, Paris, pp. 347–54.
 - HAUTECOEUR L., *De la trompe aux moukarnas*, in "Gazette des Beaux-Arts", 1931, pp. 27–59.
 - HELIOT P., *Documents inédit sur le château d'Anet, Mémoires de la société des antiquaires de France*, 1951, pp. 257–269.
 - HERBERT F., *Les travaux de Philibert Delorme à Fontainebleau, Annales de la société d'histoire et d'archéologie du Gatinais*, 1894, pp. 6–8.
 - HOFFMANN V., *Philibert Delorme und das Schloss Anet*, in "Architectura", 1973, pp. 131–52.
 - ICHER F., *La France de compagnons*, Éd. de la Martinière, Paris 1994.
 - IVINS W., *A note on Girard Desargues*, in "Scripta Mathematica", 1943, vol. IX, pp. 33–48.
 - IVINS W., *Two First Editions of Desargues*, in "Bulletin of the Metropolitan Museum of Art", 2nd Series, 1942, vol. I, pp. 33–45.
 - LALBAT C., MARGUERITE G., MARTIN J., *De la Stéréotomie Médiévale: La Coupe des Pierres chez Villard de Honnecourt*, in "Bulletin Monumental", 1987, vol. 145, pp. 387–406 e 1989, vol. 147, pp. 11–34.
 - LEEDY W.C., *Fan Vaulting: A Study of Form, Technology and Meaning*, Scolar Press, London 1980.
 - MARIAS F., *Piedra y ladrillo en la arquitectura*

- española del siglo XVI, in : GUILLAUME J., *Les Chantiers de la Renaissance, Actes des colloques tenus à Tours en 1983-84*, Picard, Paris 1991, pp. 71-83.
- MARIAS F., *Trazas, trazas, trazas: tipos y funciones del dibujo arquitectónico*, in: DE HERRERA J., *Actas del Simposio Camargo 1992*, Universidad de Cantabria, Santander 1993, pp. 351-359.
 - MAYER M., *Le château d'Anet*, nouv.éd. remise à jour par Ch. de Yturbe, Anet 1989, p. 88.
 - MIDDLETON R.D., *Des architectes qui imitent les ingénieurs. La question des linteaux au XVIII^e siècle*, in: MALVERTI X., *L'idée constructive en architecture*, Picart, Paris 1987, pp. 119-135.
 - MOUTON B., *Cryptoportique d'Anet*, in "Monuments historiques", Chateaux du Val-de-Loire 1989, vol. 164, pp. 30-33.
 - MÜLLER W., *Guarini e la stereotomia*, in "Guarino Guarini e l'internazionalità del barocco", Torino 1970, vol. I, pp. 531-56.
 - MÜLLER W., *Le dessin technique à l'époque gothique*, in "Les bâtisseurs des cathédrales gothiques", Les Musées de la Ville, Strasbourg 1989, pp. 237-254.
 - MÜLLER W., *The authenticity of Guarini's Stereotomy in his Architettura Civile*, in "Journal of the society of architectural historians", 1968, vol. 27, pp. 202-208.
 - NOËL P., *Technologie de la Pierre de Taille*, in "Dictionnaire des termes...", SEBTP, Paris 1994.
 - PALACIOS G., JOSÉ C., *La estereotomía en el Renacimiento, El Escorial*, in "Fábricas y orden constructivo. La Construcción, IV Centenario del Monasterio de El Escorial", Comunidad de Madrid, Madrid 1986.
 - PALACIOS G., JOSÉ C., *Trazas y cortes de cantiera en el Renacimiento español*, Madrid 1990.
 - PAUWELS Y., *Philibert de L'Orme et l'ordre ionique*, in "L'Emploi des ordres dans l'architecture de la Renaissance", Picard, Paris 1992.
 - PEROUSE DE MONTCLOS J.M., *L'architecture à la française, XVI^e, XVII^e, XVIII^e siècles*, Picard, Paris 1982.
 - PEROUSE DE MONTCLOS J.M., *La charpente à la Philibert de L'Orme, réflexions sur la fortune des techniques en architecture*, in "Les chantiers de la Renaissance", Picard, Paris 1991.
 - PEROUSE DE MONTCLOS J.M., *Anet, Le guide du patrimoine, Centre-Val de Loire*, Paris 1992, pp. 112-123.
 - PEROUSE DE MONTCLOS J.M., *Les éditions des traités de Philibert Delorme au XVII^e siècle*, in "Les Traités d'Architecture de la Renaissance", Picard, Paris 1997, pp. 355-65.
 - PEROUSE DE MONTCLOS J.M., *Philibert de L'Orme, architecte du roi (1514-1570)*, Paris 2000, p. 388.
 - PEYRONNET J.B., *Discurso del Sr. D. Juan Bautista Peyronnet (sobre los cortes de cantería en relación con los estilos y épocas de la arquitectura)*, in "Actas de la Academia de San Fernando. Exposición Pública", 1856, pp. 77-104.
 - PENOR R., *Monographie du château d'Anet, construit par Philibert de L'Orme en MDXLVIII*, Paris 1867.
 - PICON A., *Architectes et ingénieurs au Siècle des Lumières*, Parenthèses, Marseille 1988.
 - PINTO F., JIMÉNEZ A., *Monteas en la Catedral de Sevilla*, in "Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica", 1993, n. 1, pp. 79-84.
 - POITIE P., *Philibert Delorme: figures de la pensée constructive*, Parenthèses, Paris 1996.
 - POITIE P., *Philibert Delorme: la théorie du projet architectural à la Renaissance*, thèse de doctorat, Ecole des Hautes Etudes en Sciences sociales, Paris 1984.
 - PORCHER J., *Les premières construction de Philibert Delorme au château d'Anet*, in "Bulletin de la société de l'histoire de l'art français", 1939, pp. 6-17.
 - PORTOGHESI P., *Bernardo Vittone. Un Architetto tra illuminismo e Rococò*, Edizioni dell'Elefante, Roma 1966.
 - POUDRA N.G., *Ouvres de Desargues*, 2 vol., Leiber, Paris 1864.
 - RABASA DÍAZ E., *Arcos esviados y puentes oblicuos, el pretexto de la estereotomía del siglo XIX*, in "Obra pública", 1996, n. 38, pp. 461-475.
 - RABASA DÍAZ E., *Auguste Choisy*, in "Auguste Choisy, El arte de construir en Roma", Instituto Juan de Herrera, Madrid 1999.
 - RABASA DÍAZ E., *El corte de piedras en el proceso de construcción de las bóvedas góticas y renacentistas*, in "La construcción española", FCC, Madrid 2000.
 - RABASA DÍAZ E., HUERTA S., *Estereotomía y cálculo de estructuras en la reconstrucción de una bóveda del siglo XVIII: Pazo de Antequera (A Coruña)*, in "OP Ingeniería y Territorio. Ingeniería e Historia", 2001, n. 57, pp. 60-69.
 - RABASA DÍAZ E., *Forma y construcción en piedra: de la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*, Akal, Madrid 2000.
 - RABASA DÍAZ E., *La bóveda plana de Abeille en Lugo*, in: RABASA DÍAZ E., BORES F., FERNÁNDEZ SALAS J., HUERTA S., *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Instituto Juan de Herrera, Madrid 1998.
 - RABASA DÍAZ E., *La transmisión y el aprendizaje de la estereotomía de la piedra*, Ars Sacra, 2002, n. 22, pp. 93-101.
 - RABASA DÍAZ E., *Los arcos oblicuos en la traza de cantería*, in "Revista de E.G.A.", 1994, n. 2, pp. 145-154.
 - RABASA DÍAZ E., *Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI*, in "Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción", Instituto Juan de Herrera, Madrid 1996.
 - RABASA DÍAZ E., ALONSO M. A., MACHÍN C., *The external façade of the Monastery of El Escorial: Traces of a process*, in "Proceedings of the First International Congress on Construction History", Juan de Herrera, Madrid 2003, vol. I, pp. 461-471.
 - RABASA DÍAZ E., *The single coursed ashlar vault*, in "Proceedings of the First International Congress on Construction History", Juan de Herrera, Madrid 2003, vol. III, pp. 1679-1689.
 - RECHT R., *Le dessin d'architecture. Origine et fonctions*, Adam Biro, Paris 1995.
 - ROCKWELL P., *The art of stonemasonry: a reference guide*, Cambridge Univ. Press, Cambridge Mass. 1993.
 - ROY M., *Anet*, in "Bulletin de la Société de l'histoire de l'art français", 1924, pp. 122-180.
 - RUIZ DE LA ROSA J.A., *Traza y Simetría de la Arquitectura en la Antigüedad y el Medioevo*, Univ. de Sevilla, Sevilla 1987.
 - SAINT AUBIN J.P., *Les enjeux architecturaux de la didactique stéréotomique de Desargues*, in "Desargues en son temps", Blanchard, Paris 1994, pp. 363-370.
 - SAKAROVITCH J., *Epures d'architecture: de la coupe des pierres à la géométrie descriptive XVI^e - XIX^e siècles*, Birkhäuser, Basel 1998.
 - SAKAROVITCH J., *La géométrie descriptive, une reine déchuée*, in: AA.VV., *La formation polytechnique 1794-1994*, Dunod, Paris 1994.
 - SAKAROVITCH J., *La taille des pierres et la géométrie descriptive*, in "La figure et l'espace", IREM, Lyon 1993, pp. 117-138.
 - SAKAROVITCH J., *Le fascicule de stéréotomie, entre savoir et métiers, la fonction de l'architecte*, in "Desargues en son temps", Blanchard, Paris 1994, pp. 347-362.
 - SAKAROVITCH J., *Le Traité de Coupe des Pierres de Girard Desargues*, in "Destin de l'art, desseins de la science", Aderhem, Paris 1991.
 - SAKAROVITCH J., *Théorisation d'une pratique, pratique d'une théorie. Des traitées de coupe des pierres à la géométrie descriptive*, tesi

Bibliografia

- di dottorato, École d'Architecture de Paris La Villette, Paris 1989.
- SAKAROVITCH J., *The teaching of stereotomy in engineering schools in France in the XVIIIth and XIXth centuries: an application of geometry, an "applied geometry", or a construction technique?*, in: RADELET DE GRAVE P., BENVENUTO E., *Entre Mécanique et Architecture*, Birkhäuser, Basilea 1995.
 - SALMON J., SCHEFER J.L., *8 rue Juiverie—la lumière élargie*, Editions Comp'Act, Lyon 1989.
 - SANABRIA, S.L., *From Gothic to Renaissance Stereotomy: The Design Methods of Philibert de L'Orme and Alonso de Vandelvira*, in "Technologie and Culture", 1989, vol. 30, pp. 266–299.
 - SAVIGNAT J.M., *Dessin et Architecture du Moyen-âge au XVIIIe siècle*, Ministère de la Culture, Paris 1980.
 - SCHNEIDER M., *Girard Desargues. The architectural and perspective geometry: a study in the rationalization of figure*, tesi di dottorato, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg 1983.
 - SCHÖLLER W., *Le dessin d'architecture à l'époque gothique*, in "Les bâtisseurs des cathédrales gothiques", Les Musées de la Ville, Strasbourg 1989, pp. 227–236.
 - SHELBY L.R., *Mediaeval Mason's Templates*, in "Journal of the Soc. of Arch. Historians", 1971, vol. 30, pp. 140–154.
 - SHELBY L.R., *The Geometrical knowledge of mediaeval master masons*, in "Speculum", 1972, vol. 47.
 - SHELBY L.R., *Setting Out the Keystones of Pointed Arches: A Note on Medieval "Baugeometrie"*, in "Technology and Culture", 1969, vol. 10, pp. 537–548.
 - SIGURET P., *Les voûtes plates*, in "Gypsum", 1963, pp. 94–98.
 - TATON R., *Les grandes étapes de la mathématisation des techniques graphiques: des origines à Dürer, à Desargues et à Monge*, in "XV, Dimensioni del Disegno", 1986, n. 1, pp. 75–88.
 - TATON R., *L'Histoire de la Géométrie Descriptive*, Paris 1954.
 - TATON R., *L'Oeuvre Scientifique de Monge*, Paris 1951.
 - TATON R., *L'œuvre mathématique de G. Desargues (1951)*, Lyon 1988.
 - TORRES BALBÁS L., *Bóvedas caladas hispano-musulmanas*, Al-Andalus 1952, vol. XVII, pp. 167–175.
 - TORRES BALBÁS L., *Leonardo de Vinci y las bóvedas hispano-musulmanas*, Al-Andalus 1952, vol. XVII, pp. 438–441.
 - VACHON M., *Philibert de l'Orme*, Paris 1887.
 - VAQUIER J., *Anet, les anciens châteaux de France*, IV série, L'Île-de-France, Paris 1922, pp. 1–8.
 - VARENE P., *Sur la taille de la pierre antique, médiévale et moderne*, Université, Dijon 1974.
 - WARLAND E.G., *Cantería de edificación*, Reverté, Barcelona 1953.
 - DE YTURBE C., *Le château d'Anet*, Ingersheim 1993.
 - ZARAGOZÁ CATALÁN A., *El arte del corte de piedras en la arquitectura valenciana del cuatrocientos*, Francesch Baldomar y el inicio de la estereotomía moderna, in "Actas del Primer Congreso de Historia del Arte Valenciano", Conselleria de Cultura de la Generalitat Valenciana, Valencia 1993, pp. 97–105.

