



# Stereotomic Design

Giuseppe Fallacara  
Vincenzo Minenna

**dicar**   
Politecnico di Bari

**PIMAR**



*In memory of Joël Sakarovitch*



*www.lithicdesign.it*



*Stereotomic Design Stone Youtube Channel*



*New Fundamentals Facebook Profile*

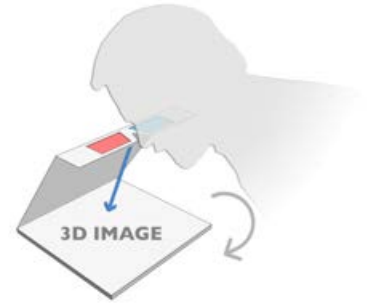
**Stereotomic Design** è il risultato di un progetto di ricerca più ampio diretto dal Prof. Giuseppe Fallacara cofinanziato nel 2013 dal Politecnico di Bari e dalla PI.Mar srl, dal titolo "Costruzioni Litiche Digitali".

*Giuseppe Fallacara  
Vincenzo Minenna*

# **Stereotomic Design**



Colophon  
© Giuseppe Fallacara, 2014  
www.atelierfallacara.it  
© Vincenzo Minenna, 2014  
www.lithicdesign.it  
© Pimar Srl 2014  
www.pietraleccese.it



Stereotomic Design  
Catalogo della mostra omonima per Inside Marmomacc & Abitare il Tempo Veronafiere, Verona 2014

Exhibition:  
Autori/ Autors  
Giuseppe Fallacara with:  
Claudio D'Amato (Politecnico di Bari), Brandon Clifford (MIT Boston), Yuri Estrin (Monash University Clayton Au), Jelle Feringa (TU Delft), Vincenzo Minenna (Politecnico di Bari), Marco Stigliano (Politecnico di Bari).  
Collaboratori / Collaborators / Coworkers  
Maurizio Barberio, Micaela Colella e Laureandi Tesi specialistica Morfologia Strutturale (Relatori: C. D'Amato, G. Fallacara) CdL Architettura Politecnico di Bari A.A 2014-2015

Aziende partner/ Partner companies

Main partners:  
Pimar Pietra Leccese – Melpignano (Le), MGI Sicilmarmi - Massa, T&D Robotics - Verona,  
La carrière Ouachèe Sait Maximin Oise and A.P.A. Saint Maximin Oise.

Other partners:  
Tarricone prefabbricati - Corato (Ba), Crea 3D printer – Ruvo di P. (Ba)

Catalogue:  
Giuseppe Fallacara, Vincenzo Minenna.

Tutte le immagini e le fotografie di cui non è specificata il copyright sono degli autori.

Ai progetti *Parabolithic Vela* e *RayStone*, di G. Fallacara, hanno collaborato i laureandi (Tesi di Laurea *Morfologia Strutturale* A.A. 2014-2015): F. Amoruso, D. Cannito, G. Clemente, D. Martielli, N. Martielli, D. Minuto N. Moschetta.

Questo catalogo contiene: testi in italiano ed inglese per le presentazioni, testi solo in italiano per i saggi, testi solo in inglese per tutto ciò che viene esposto al Marmomacc 2014 e per tutto ciò che è stato esposto alle precedenti edizioni.

Translation:  
C. D'Amato (pp. 6-9), M. Barberio (10-13), F. Amoruso (38-52), C. Calabria (57), E. D'Autilia (69-79).

Graphic design:  
Micaela Colella

Typesetting:  
Fedra Sans, Fedra Serif, Fedra Display  
© Peter Biřak, 2001 - 2006

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage or retrieval system, without permission in writing from the publisher.

Unless otherwise stated, all illustrations are the property of the authors.

© 2014 ISBN 978-88-940228-0-3

Edizioni Gioffreda, via V. Vella, sn 73024 Maglie (LE)

Immagine di Copertina: Visioni, dettaglio dell'allestimento del Cubo Pi.Mar per Stereotomic Design, foto V. Minenna.

Immagine di Frontespizio: P. De l'Orme, progetto di cupola diaframmata con costoloni lossodromici, Riedizione de Le Premiere Tome de l'Architecture, 1648.

# Index

## *Presentazione*

- pag. 6 Perché il modernismo non ha mai costruito volte  
*Claudio D'Amato Guerrieri*
- pag. 10 Topological interlocking and osteomorphic blocks  
*Yuri Estrin*
- pag. 14 Pi.Mar nel Mondo  
*Giorgia Marrocco*

## *Saggi*

- pag. 16 Stereotomia e rappresentazione del mondo  
*Giuseppe Fallacara*
- pag. 26 Stereoma Pop -up
- pag. 30 *La mappa del nuovo mondo:  
dall'Archivio delle Indie agli spazi stereotomici generativi*  
*Vincenzo Minenna*

## *Marmomacc 2014*

- pag. 38 "Stereotomic Design" Stand. Evolution: from the hand to the robot  
*Micaela Colella*
- pag. 50 Building the stereotomic design  
*Maurizio Barberio*
- pag. 56 New Stereotomic Prototypes: Pi.Mar for research  
*Giuseppe Fallacara*
- pag. 68 Solar Natural House  
*Giuseppe Fallacara, Marco Stigliano*
- pag. 74 SNH Energy: Energy analysis and environmental comfort  
*Francesco Errede*

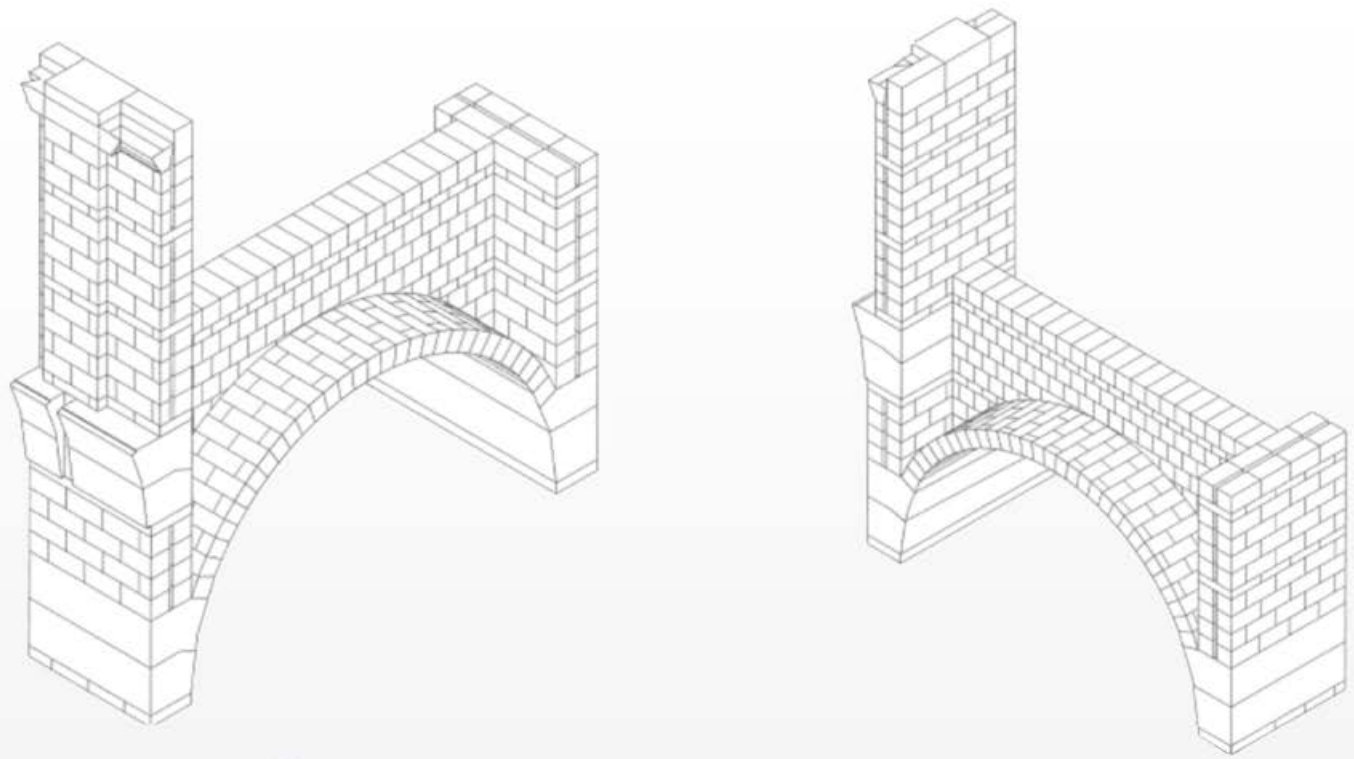


Fig. 1. Claudio D'Amato, Amedeo Vitone. *Prototipo per una architettura voltata con muratura in pietra armata*. SITEP - FIERA DEL LEVANTE, BARI. Anno 1998, 6-9 febbraio.

# PERCHÉ IL MODERNISMO NON HA MAI COSTRUITO VOLTE

Why modernism has never built the vaults

Claudio D'Amato Guerrieri\*

\*Direttore del Dipartimento DICAR del Politecnico di Bari

Spesso la questione è liquidata in maniera semplicistica (e un po' ingenua). Ragioni tecniche (*Firmitas*): le luci consentite dalla tecnologia del cemento armato hanno reso inutile la copertura di grandi spazi attraverso l'impiego di volte (in mattoni, pietra, legno); grandi masse spingenti che richiedono particolari accorgimenti strutturali al posto delle snelle ed economiche gabbie strutturali (in cemento armato o in ferro); risparmio sui costi di costruzione; velocità esecutiva, ecc. Anche se, a ben vedere, assistiamo oggi all'"irrazionale" sottomissione della struttura alla forma. E poi ragioni tipologiche (*Utilitas*): lo stesso concetto di edificio specialistico che ebbe ancora nel modernismo una sua cittadinanza fino ai tardi anni sessanta del novecento dotando di volte sottili in c.a. (anche se sub specie di gusci e membrane), ha lasciato il passo alla suggestione del "contenitore" privo di connotazioni architettoniche. Infine, e soprattutto, ragioni estetiche (*Venustas*): fu proprio la "forma" della volta e della cupola a essere messa in mora, perché non rispondente più ai canoni estetici del modernismo stesso che aveva rifiutato la logica classica dell'organismo architettonico.

Inevitabilmente dobbiamo continuare a fare i conti con la triade vitruviana; e ancora una volta dobbiamo constatare che nessuna delle tre componenti può assicurare esiti positivi se scollegata concettualmente dalle altre due. L'opzione teorica del modernismo è stata una scelta nichilista<sup>1</sup> che ha cancellato dal suo repertorio formale volte e cupole perché esse rappresentavano il simbolo dell'istanza spirituale dell'architettura come interpretazione del cosmo. Il modernismo non ha più progettato volte e cupole perché smarrendo il senso del divino, ha interrotto la dialettica fede-ragione<sup>2</sup> che per secoli aveva guidato la progettazione dell'architettura e il suo modo di esplorare e costruire lo spazio. Negando le volte, il modernismo ha trasformato l'atto di conoscenza dello spazio in un dato banalmente tecnico e funzionale.

Quando Monge squadrò il mondo in pianta-prospetto-sezione fece sì che un'irresistibile vocazione analitica prevalesse su quella visione del mondo continua e tridimensionale alimentata dalle avventure della prospettiva brunelleschiana e della geometria proiettiva di Desargue. Strumenti che avevano consentito di stabilire le giuste relazioni dei corpi fra loro (prospettiva) e al loro interno (stereotomia) in uno spazio continuo, infinito, omogeneo che prescindeva dalla percezione e rimandava direttamente alla sua essenza spirituale e divina.

Often this question is settled in a simplistic way (and a bit naive). Technical reasons (*Firmitas*): the structural width allowed by the technology of reinforced concrete have made unnecessary coverage of large areas through the use of vaults (in brick, stone, wood); large pushing masses that require special structural devices, instead of slender and economic structural cages (in concrete or steel); savings in construction costs; speed work, etc. Even though it is in hindsight we see today the irrational dependence of the structure on the architectural shape. And then typological reasons (*Utilitas*): the same concept of specialized building that in late modernism still had its citizenship, equipped sometimes with subtle vaults in reinforced concrete (although sub species of shells and membranes), became a "container" without architectural connotations. Finally, and most importantly, aesthetic reasons (*Venustas*): the "form" of the vaults and of the domes had been forgotten because they did not correspond any more to the aesthetic standards of modernism itself that had refused the classic logic of architectural organism.

Inevitably, we must continue to deal with the Vitruvian triad; and once again we must note that none of its components is able to ensure positive outcomes if it is conceptually disconnected from the others. The theoretical choice of modernism had been a nihilist choice<sup>1</sup> that erased vaults and domes from its formal repertoire because they represented the symbol of the architecture as a spiritual interpretation of the universe. The Modernism has no longer designed vaults and domes, because it lost the sense of the divine, interrupting the dialectic between faith and reason<sup>2</sup>, which for centuries had guided the design of the architecture and its way of exploring and constructing space. Refusing to build the vaults, modernism has transformed an act of knowledge into a trivial thing, technical and functional.

When Monge began to represent the world in two dimensions, that meant an irresistible and analytical vocation has prevailed over the continuous and three-dimensional view of the world fueled by the adventures of Brunelleschi's perspective and the projective geometry of Desargues. Tools that had been capable to establish the right relations between architectural bodies (perspective) and inside them (stereotomy) in a continuous space, infinite, homogeneous, completely separated from the perception and directly inspired by its spiritual essence and divine. Durand, the favorite pupil of





Fu Durand, allievo prediletto di Boullée e dominatore con Monge dell'*École Polytechnique*, che deteologizzò l'architettura proponendola come *ars combinatoria*. Tuttavia, l'esempio di Guarini, che progettò meravigliosi spazi "stereotomici" in ritardo con conquiste teoriche di Newton, ci suggerisce però che non sempre esiste una diretta corrispondenza fra spazio estetico e spazio teorico.

Il saggio introduttivo di Fallacara in questo catalogo è non solo un contributo prezioso all'avventura intellettuale e di ricerca che nella Scuola di Architettura di Bari alcuni docenti e molti allievi affrontano da circa otto anni; ma anche un ulteriore stimolo a ragionare sulla stereotomia come mezzo di progettazione contemporanea se la si considera non solo in base alla sua utilità tecnica (resa oggi più attuale ad opera delle tecniche informatiche di rappresentazione e taglio delle pietre) ma anche al suo fondamento teorico. Essa può infatti offrire inedite possibilità alla progettazione dello spazio architettonico, aiutandoci a superare il contrasto fra spazio estetico (simbolizzato) e spazio teorico (logicizzato), nel momento in cui essa viene "potenziata" dall'apporto di altre discipline, come per es. la topologia.

Proprio per la sua capacità didattica di favorire la visione tettonica dello spazio costruito, la stereotomia già svolse un ruolo decisivo nel passaggio dalla modernità pre-rivoluzione industriale a quella ottocentesca. Essa fu l'elemento di continuità in Francia fra la vecchia Accademia di Architettura e la nuova *École Polytechnique*; l'elemento di continuità fra il Frezier antimoderno e il Monge modernista che proprio da Frezier mutuò il termine "descrittivo" per identificare la propria codifica geometrica. Fallacara si interroga dunque se la stereotomia può ancora oggi svolgere un ruolo di traghettamento fra due culture –quella modernista e quella postmoderna– che sembrano così inconciliabili fra loro nei loro assunti e nei loro esiti. La nuova alleanza fra stereotomia e topologia può offrire una inedita interpretazione dello spazio curvo, così come emerge dalla teoria della relatività generale attraverso i concetti di piegatura e di deformazione. In questa maniera gli spazi voltati e cupolati possono tornare ad avere diritto di cittadinanza nell'orizzonte della conoscenza progettuale come aggiornamento di quell'ansia conoscitiva dello spazio che aveva guidato la fertile mente degli architetti nella prima stagione della modernità.

Fig. 2-3. C. D'Amato, G. Fallacara, Portale d'ingresso alla mostra dal titolo *Città di Pietra*, 10<sup>a</sup> Biennale di Architettura, Venezia 2006.

Boullée, who ruled with Monge the *École Polytechnique* for over forty years, has led the architecture out of the theology, proposing it as combinatorial art. However, the beautiful architectural spaces of Guarino Guarini, designed according to the geocentric theory, tell to us that there is not always a direct correspondence between aesthetic space and theoretical space.

The introductory essay by Fallacara in this catalog is not only a valuable contribution to the intellectual adventure and research of some teachers and many students in the School of Architecture of Bari in the last eight years; but it also provides an additional stimulus to think of the stereotomy as a means of contemporary design, if we consider it not only in relation to its technical utility, enhanced by computer techniques of representation and stone cutting, but also to its theoretical foundation. It may indeed offer new possibilities to the design of architectural space, helping us to overcome the contrast between the theoretical and aesthetic space, when it is “enhanced” by the contribution of other disciplines, such as eg the topology.

Because of its ability to promote the educational vision of the built space, stereotomy already played a decisive role in the transition from pre-modernity in the nineteenth-century industrial revolution. The stereotomy was the element of continuity between the old French Academy of Architecture and the new *École Polytechnique*; it was the element of continuity between the anti-modern Frezier and the modernist Monge that from Frezier borrowed the term “descriptive” to identify its geometrical encoding. Fallacara wonders, therefore, whether the stereotomy can still be a bridge between the two cultures – the modernist and that one postmodernist– that seem so irreconcilable with each other in their assumptions and their outcomes. The new alliance between stereotomy and topology may offer a novel interpretation of curved space as it emerges from the theory of general relativity through the concepts of folding and deformation. Only in this way, the domed spaces and the vaulted ones can have again a right of citizenship in the contemporary architectural design as the update of anxiety of knowledge of the first season of modernity.

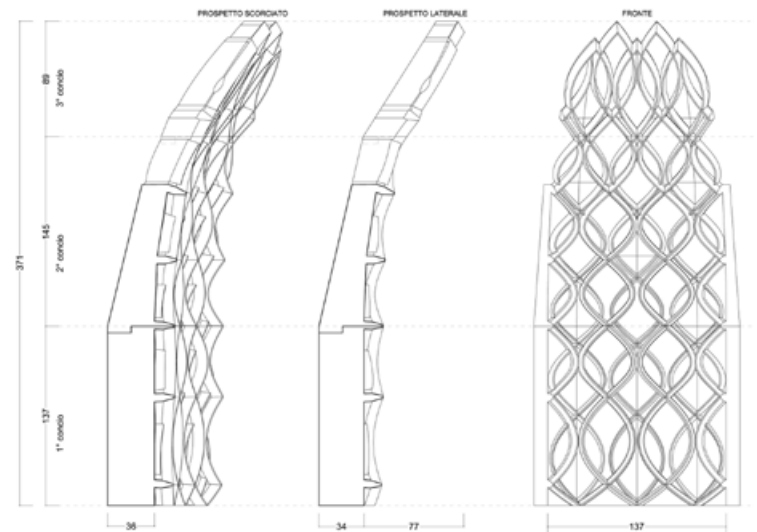
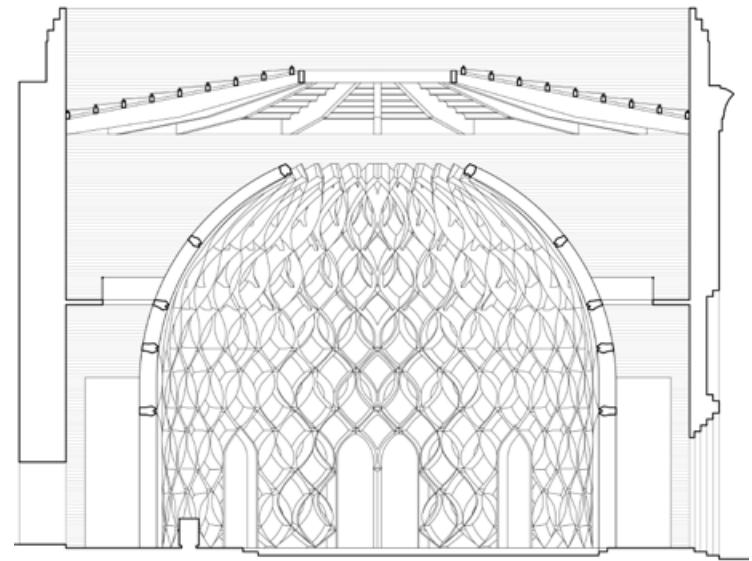


Fig. 4. Cirillo e Metodio's Dome (Claudio D'Amato, Giuseppe Fallcara, Graziella Fittipaldi, Francesco Scricco, 2012).

#### Note - References

[1] C. D'Amato (2006). Teaching of Architecture and Urbanism in the Age of Globalization, in: The Teaching of Architecture and Urbanism in the Age of Globalization. Lisboa and Viseu, Portugal, 5-9 May 2004, p. 131-137, CASAL DE CAMBRA: Caleidoscópico Edição, ISBN: 989-8010-24-X.

[1] C. D'Amato (2006). Teaching of Architecture and Urbanism in the Age of Globalization, in: The Teaching of Architecture and Urbanism in the Age of Globalization. Lisboa and Viseu, Portugal, 5-9 May 2004, p. 131-137, CASAL DE CAMBRA: Caleidoscópico Edição, ISBN: 989-8010-24-X.

[2] J. Ratzinger (Benedetto XVI), Lectio magistralis "Fede, ragione e università - Ricordi e riflessioni", 12 settembre 2006, Università di Ratisbona, Baviera (versione integrale, in Il Foglio, 13.09.2006, pp. 1-1).

[2] J. Ratzinger (Benedict XVI), Lectio magistralis, "Faith, Reason and the University - Memories and Reflections", 12 September 2006, University of Regensburg, Bavaria (Integral version, in Il Foglio, 13.09.2016, pp. 1-1)

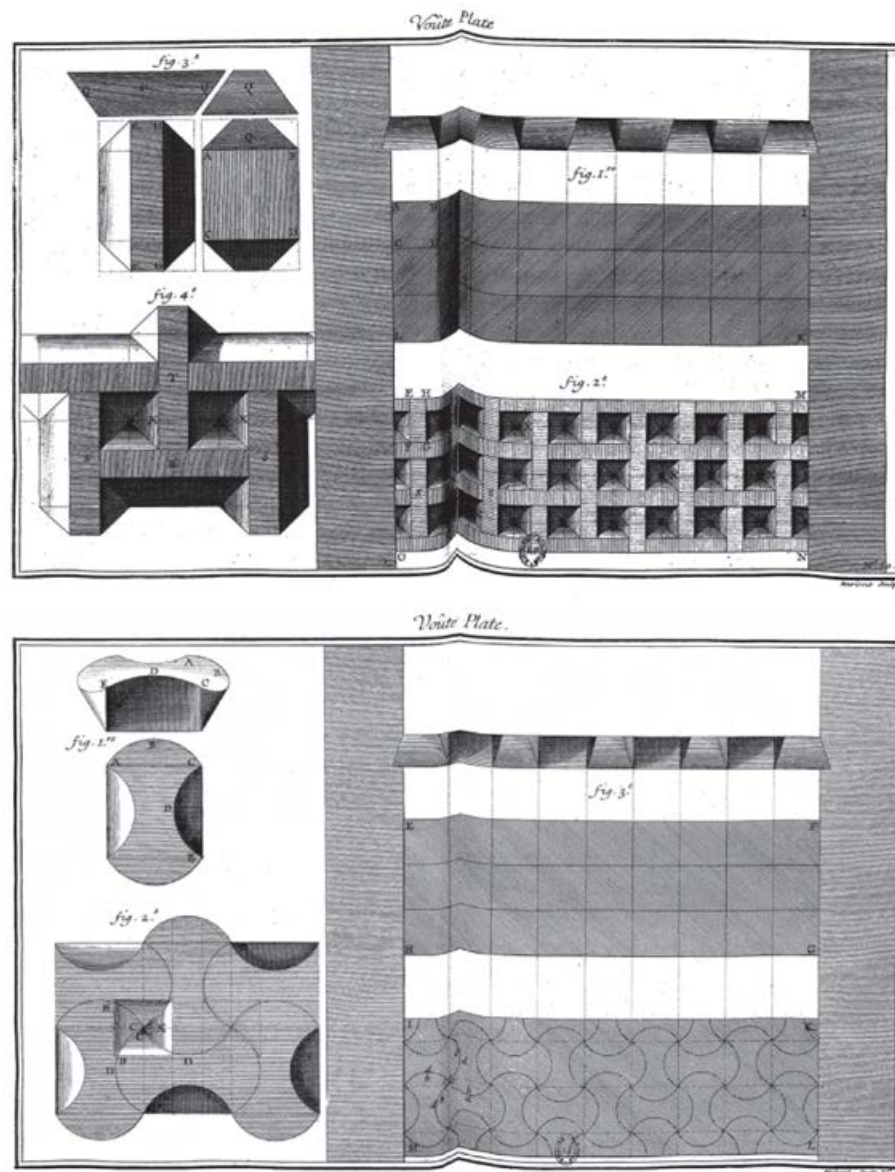


Fig. 1. Brevetti delle volte piane di J. Abeille (in alto), S. Truchet (in basso) in Recueil des Machines Academie Royale des Sciences, Paris 1699.

Fig. 1. J. Abeille's flat vault patent (top), S. Truchet's flat vault patent (bottom) in Recueil des Machines Academie Royale des Sciences, Paris 1699.



# TOPOLOGICAL INTERLOCKING AND OSTEOMORPHIC BLOCKS

Incastri topologici e blocchi osteomorfici

Yuri Estrin\*

\* Director Centre for Advanced Hybrid Materials, Department of Materials Engineering - Monash University, Clayton - Australia

Probabilmente è abbastanza raro che uno scienziato dei materiali possa scrivere una prefazione per un architetto.

Eppure esiste un profondo legame tra il lavoro sulla progettazione con i materiali condizionati dalla geometria e la stereotomia in architettura, ed è giusto che il punto di vista di uno scienziato dei materiali sia esposto nel contesto dell'architettura. Nel 2001, un gruppo di autori, di cui facevo parte, ha pubblicato un documento che introduce il concetto di incastro topologico come principio di progettazione dei materiali<sup>1</sup>. Siamo stati guidati dall'idea che la fragilità di alcuni materiali usati in ambito ingegneristico può essere superata suddividendo gli stessi in blocchi identici. Scegliendo una forma appropriata e una reciproca disposizione dei blocchi, è stato possibile progettare un assemblaggio in piano in cui ogni singolo blocco funziona per mutuo contrasto con i suoi vicini. Nessun legante o connessione è stata necessaria per mantenere i blocchi in posizione. Siamo in debito con Alexei Kanel-Belov, che ha posto il problema matematico che ha portato a tali modelli. La geometria dei blocchi che ha reso questo possibile è quella del tetraedro; l'orientamento reciproco dei tetraedri all'interno del gruppo mostrato in fig. 1 è la chiave per l'integrità della struttura. Fu coniato il termine "materiali ad incastro topologico" (topological interlocking materials), termine poi adottato da altri ricercatori. Con nostra sorpresa, abbiamo scoperto più tardi che un solaio fatto di tetraedri ad incastro topologico, ma con tetraedri tronchi, è stato in precedenza proposto per delle pavimentazioni. Una sorpresa ancora più grande per noi è stata quella di scoprire un progetto medievale noto come volta Abeille, che si basa su quello che noi oggi chiameremmo incastro topologico di tetraedri tronchi. Abbiamo avuto modo di conoscere delle bellissime strutture di Abeille attraverso il lavoro di architetti ispirati della stereotomia, come Oliver Tessmann<sup>2</sup>, Giuseppe Fallacara<sup>3</sup> e Irina Miodragovic Vella.

Nel momento in cui stavamo sviluppando le nostre strutture topologicamente interbloccate, il nostro lavoro non è stato influenzato da alcuna conoscenza preliminare di progettazione stereotomica, e abbiamo proposto una serie di disegni inediti sviluppati da noi. Così, siamo arrivati alla conclusione che un incastro topologico può essere realizzato con blocchi della forma di una delle cinque figure platoniche (tetraedro, cubo, ottaedro, dodecaedro e icosaedro)<sup>4</sup>, nonché forme

It is probably fairly uncommon that a materials scientist would write a preface to an architect's catalog. Yet there exists a profound connection between the work on geometry inspired materials design and stereotomy in architecture, and it is fitting that a materials scientist's views are presented in the architecture context. In 2001, a group of authors to which I belonged published a paper introducing a concept of topological interlocking as a materials design principle<sup>1</sup>. We were guided by the idea that brittleness of some engineering materials can be combated by segmenting them into identical building blocks. By choosing an appropriate shape and mutual arrangement of the blocks, it was possible to design a plate-like assembly in which each individual block is interlocked with its neighbours. No binder or connectors were needed to keep the blocks in place. We are indebted to Alexei Kanel-Belov who posed the mathematical problem that has led to such designs.

The geometry of the blocks with which this was possible is that of a tetrahedron; the mutual orientation of the tetrahedra within the assembly shown in Fig. 1 is key to the integrity of the structure. The term topological interlocking materials was born, which was later adopted by other researchers. To our surprise, we discovered later that a similar plate-like arrangement of tetrahedra that ensures topological interlocking, albeit with truncated tetrahedra, was earlier proposed for pavements. An even greater surprise for us was to discover the medieval design known as the Abeille's vault, which is based on what we would now call topological interlocking of truncated tetrahedra. We got to know about Abeille's beautiful structures through the stereotomy-inspired work of architects, such as Oliver Tessmann<sup>2</sup>, Giuseppe Fallacara<sup>3</sup> and Irina Miodragovic Vella.

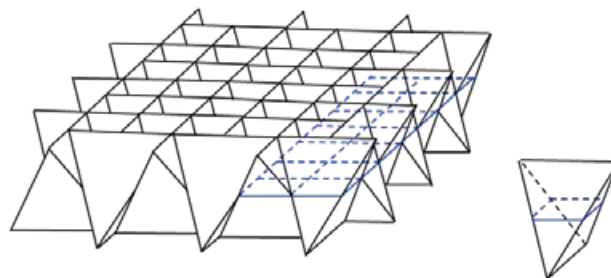


Fig. 1. Dettaglio di un gruppo piano di tetraedri topologicamente interbloccati.  
Fig. 1. A plate-like assembly of topologically interlocked tetrahedra.

derivate, tra cui elementi tubolari interbloccabili. Ad esempio, la fig. 2 mostra un assieme di ottaedri topologicamente interbloccati. Il nostro team ha sviluppato anche fondamenti matematici per la creazione di possibili forme topologicamente interbloccabili suggerendo delle soluzioni per la loro applicazione pratica<sup>5</sup>.

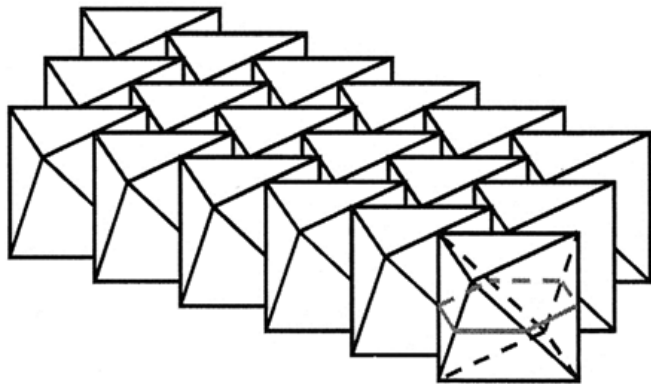


Fig. 2. Assemblaggio di ottaedri topologicamente interbloccati.

Fig. 2. Assembly of topologically interlocked octahedra.

At the time when we were developing our topologically interlocked structures, our work was not influenced by any prior knowledge of stereotomic design, and so we proposed a range of hitherto unknown designs of our own. Thus, we came up with a proof that topological interlocking can be realised with blocks in the form of any of the five platonic shapes (tetrahedron, cube, octahedron, dodecahedron, and icosahedron)<sup>4</sup>, as well as their derivatives, including interlockable tubular elements. Figure 2 shows an assembly of topologically interlocked octahedra as an example. Our team also developed mathematical foundations for creating possible topologically interlockable shapes and suggested recipes for their practical implementation<sup>5</sup>.

A different line of thought brought us to interlockable building blocks with concavo-convex matching surfaces, which we dubbed 'osteomorphic blocks' for their bone-like appearance<sup>6</sup>, cf. Fig. 3. My colleague Arcady Dyskin was instrumental in developing this shape. Again, much to our surprise, we found later that bricks of a similar shape were patented in the late 1970s by a civil engineer. Even more stunning was the discovery that, with their concavo-convex surfaces, the ashlar on which Truchet's vaults described in<sup>7</sup> are based are akin to our osteomorphic blocks. The evolution of the topological interlocking design from packing of tetrahedra to stacking of osteomorphic blocks has replicated, in a way, the evolution from Abeille's to Truchet's vault design. Truly, there is nothing new under the sun!

Still, some novel features and ideas can be realised in materials based on stereotomy: segmentation of a massive body into topologically interlocked elements.

Indeed, structures built from topologically interlocked blocks have a number of beneficial properties, which make them very attractive for engineering applications. Due to the presence of inner interfaces, such assemblies possess a high resistance to fracture propagation. They are also superior to monolithic structures in terms of impact resistance and sound absorption, as well as damping of vibrations. Owing to the latter property, topological interlocking structures offer themselves for construction in earthquake endangered areas. Some of these structures, including assemblies of tetrahedra ('Abeille-like') and osteomorphic blocks ('Truchet-like'), are highly tolerant to local failures. An important benefit of topological interlocking structures (or materials) is the ease of assembly and disassembly and nearly full recyclability of the blocks. The blocks can be massive or hollow, in which case they can be filled with other substances to provide them with new functionalities.

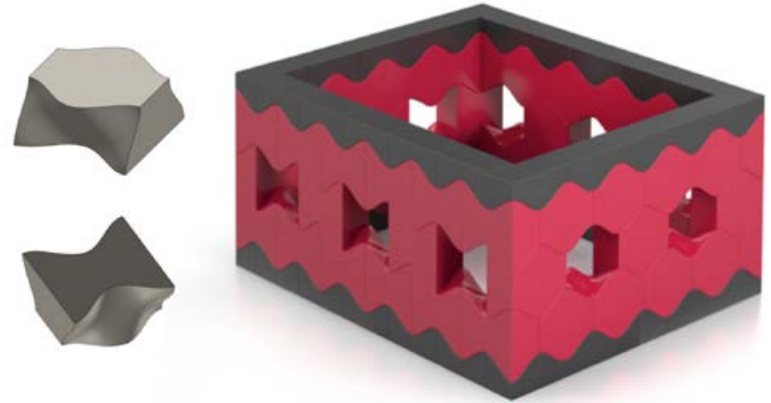
12 Un differente approccio ci ha portato a conci interbloccabili con superfici concavo-convesse, che abbiamo soprannominato 'blocchi osteomorfici' per il loro aspetto simile all'osso<sup>6</sup>, cf. fig. 3. Il mio collega Arcady Dyskin è stato fondamentale per lo sviluppo di questa forma. Ancora una volta, con nostra grande sorpresa, abbiamo scoperto in seguito che mattoni di una forma simile sono stati brevettati alla fine del 1970 da un ingegnere civile. Ancora più sorprendente è stata la scoperta che, con le loro superfici concavo-convesse, i conci su cui si basano le volte di Truchet<sup>7</sup> sono simili ai nostri blocchi osteomorfici. L'evoluzione della ricerca dai conci di tetraedro fino all'impilamento dei blocchi osteomorfici ha replicato, in un certo senso, l'evoluzione da Abeille fino al brevetto di Truchet. In verità, non c'è nulla di nuovo sotto il sole!

Ancora, alcune idee innovative possono essere realizzate con i materiali basandosi sulla stereotomia: la segmentazione di un corpo massiccio in elementi topologicamente interbloccati. Infatti, le strutture costruite da blocchi topologicamente interbloccati hanno una serie di proprietà benefiche, che li rendono molto interessanti per le applicazioni di ingegneria.

A causa della presenza di superfici di contatto interne, tali assemblaggi possiedono un'elevata resistenza alla propagazione delle fessurazioni. Essi sono anche superiori a strutture monolitiche in termini di resistenza agli urti e assorbimento

acustico, nonché di smorzamento delle vibrazioni. Grazie a  
 Fig. 3. Schema di un blocco osteomorfo (sopra) e un insieme di blocchi osteomorfici di un castello giocattolo (sotto).

Fig. 3. Top and bottom views of an osteomorphic block (above) and an assembly of osteomorphic blocks to a toy building (below).



quest'ultima proprietà, le strutture ad incastro topologico si prestano alla costruzione in aree soggette a rischio sismico. Alcune di queste strutture, compresi i gruppi di tetraedri ('Tipo Abeille') e blocchi osteomorfici ('Tipo Truchet'), sono molto tolleranti ai cedimenti locali. Un importante vantaggio di strutture (o materiali) ad incastro topologico è la facilità di montaggio e smontaggio e quasi completa riciclabilità dei blocchi. I blocchi possono essere enormi o cavi, nel qual caso essi possono essere riempiti con altri materiali per fornire loro nuove proprietà. Per esempio, essi possono essere riempiti con materiale a cambiamento di fase che assorbono calore durante il giorno e lo rilasciano durante la notte. Si possono immaginare molte altre applicazioni come nella costruzione di smart-home. Infine, il principio d'incastro topologico può essere utilizzato per produrre strutture ibride in cui materiali di diverso tipo possono essere miscelati in diverse proporzioni e disposti secondo vari pattern. Le strutture ad incastro topologico hanno un chiaro appeal estetico. È quindi difficile capire perché l'architettura moderna non fa più uso di tali strutture, o più in generale, della stereotomia come fonte d'ispirazione. Giuseppe Fallacara dovrebbe pertanto essere lodato, congratolandoci con lui per il suo lavoro costante e per il rilancio di una scienza quasi dimenticata come l'arte della stereotomia. Alcuni esempi dei suoi bei design stereotomici in pietra sono presentati al Marmomacc 2014. Sono orgoglioso che lui abbia implementato le nostre forme osteomorfe presso il suo stand. Spero che in questo modo sia possibile raggiungere una più ampia comunità di architetti, ingegneri e scalpellini, come anche il pubblico in generale, presentando loro la bellezza e l'utilità dei progetti basati sulla stereotomia - sia in architettura che nello sviluppo dei materiali avanzati.

that absorb heat during the day and release it during the night. One can imagine many other applications in smart-home construction. Finally, the principle of topological interlocking can be used to produce hybrid structures in which materials of different kind can be blended in any proportion and arranged in various patterns.

The topological interlocking structures have a distinct aesthetic appeal. It is therefore hard to understand why the modern architecture does not make more use of such structures, or more broadly, stereotomy as a source of inspiration.

Giuseppe Fallacara should therefore be commended for and congratulated on his consistent work on reviving the almost forgotten science and art of stereotomy. Samples of his beautiful stereotomic stone designs are presented at Marmomacc 2014.

I am proud that he also implemented our osteomorphic shapes in an installation exhibited at his stand. I hope that in this way we can reach a broader community of architects, engineers and stone cutters, as well as the general public, and present to them the beauty and utility of stereotomy-based design – both in architecture and in development of advanced materials.

#### References

- [1] A Dyskin, Y. Estrin, A. Kanel-Belov and E. Pasternak, 'A New Concept in Design of Materials: Assemblies of Interlocked Tetrahedron-Shaped Elements', *Scripta Materialia* 44: 2689-2694, 2001.
- [2] O. Tessmann, M. Becker, 'Extremely heavy and incredibly Light', *Open Systems: Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013)*, O. Tessmann, R. Stouffs, P. Janssen, S. Roudavski, B. Tunçer (ed.), 469-478, 2013.
- [3] G. Fallacara, 'Digital Stereotomy and Topological Transformations: Reasoning about Shape Building', in: *Proceedings of the second international congress on construction history*, vol 1: 1075-1092, 2006.
- [4] A.V. Dyskin, Y. Estrin, A.J. Kanel-Belov and E. Pasternak, 'Topological interlocking of platonic solids: A way to new materials and structures', *Phil. Mag. Lett.*, 83: 197-203, 2003.
- [5] Y. Estrin, A.V. Dyskin and E. Pasternak, 2011. 'Topological interlocking as a materials design concept', *Materials Science & Engineering. C*, 31, 1189-1194.
- [6] A.V. Dyskin, Y. Estrin, A.J. Kanel-Belov and E. Pasternak, 'Toughening by fragmentation - how topology helps', *Advanced Engineering Materials*, 3: 885-888, 2001.
- [7] G. Fallacara, 'Toward a Stereotomic Design: Experimental Constructions and Didactic Experiences', *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*, Cottbus, May 2009: 553-559.



## PI.MAR NEL MONDO

Pi.Mar in the world

*\*Giorgia Marrocco, \*\*Giuseppe Marrocco*

PIMAR può tranquillamente essere definita un'azienda Italiana nel Mondo. Grazie a questa realtà imprenditoriale le la pietra naturale estratta dalle cave PIMAR, risorsa del Mediterraneo, ha raggiunto nuovi mercati internazionali, divenendo la viva testimonianza dell'artigianalità italiana. Ad oggi Stati Uniti, Russia ed Emirati Arabi sono solo alcuni dei Paesi che ospitano progetti ed edifici ideati da PIMAR e realizzati con la pietra naturale estratta direttamente dalle cave di sua proprietà. Grazie ad un bagaglio culturale e professionale di oltre 150 anni, PIMAR è riuscita quindi ad assecondare la creatività dei migliori architetti e progettisti di tutto il mondo, garantendo una pietra di altissima qualità che si offre all'estro dell'uomo come nessun'altra.

Esperienza, avanzate tecnologie di estrazione, consulenza di tecnici e manodopera specializzata sono i pilastri con cui PIMAR tiene salda la propria leadership internazionale, diventando punto di riferimento e sinonimo di qualità per chi opera in questo settore in Europa ed oltre.

*\* Amministratore delegato PI.MAR srl Cursi (LE)*

*\*\* Responsabile tecnico PI.MAR srl Cursi (LE)*

PIMAR can be fairly described as an Italian company for the World. Thanks to this important business enterprise, the PIMAR natural limestone – authentic treasure of Mediterranean areas – have entered new international markets bringing with it the proof of the Italian artisan abilities. Thus far, several projects have been realized across Europe, USA, Russia, Arabian Emirates and others, projects and buildings designed by PIMAR using the natural limestone extracted from its own quarries.

Thanks to its professional and cultural baggage of over 150 years, PIMAR has been able to accommodate and satisfy architects' creativity and imagination all over the world, always offering high quality building products.

Experience, innovative technologies, expert technical advice and qualified work force are the cornerstones with which PIMAR confirms its international leadership, being synonymous with quality and a benchmark for the experts in the global arena.

14





Renzo Piano e P.I.Mar



Philippe Starck e P.I.Mar

Le collaborazioni che PIMAR ha intrapreso negli ultimi anni hanno visto difatti il coinvolgimento di nomi che, coi loro progetti, lasciano la propria firma nella storia dell'architettura contemporanea. Sono state realizzate opere come il colonnato scultoreo del Museo Alhondiga a Bilbao (Spagna) di Philippe Starck, il rivestimento in carparo fiorato del CIS di Nola (NA) studiato da Renzo Piano, le opere antropomorfe del portoghese Alvaro Siza, responsabile anche della riqualifica delle ex Cave Marco Vito di Lecce, numerosi progetti architettonici ideati da Luca Scacchetti e prestigiose sculture firmate dallo statunitense Steven Holl.

Numerose anche le collaborazioni attive con il mondo accademico, attività attraverso le quali vengono studiati e realizzati progetti di ricerca innovativi e funzionali. Il Politecnico di Milano, il CETMA di Brindisi e il Politecnico di Bari sono alcune delle istituzioni con cui collabora costantemente la P.I.M.A.R., importanti relazioni che portano alla nascita di progetti come il qui illustrato "Disegno Litico" del dipartimento DICAR (Politecnico Bari).

PIMAR started many interesting collaborations with famous names of the international contemporary architecture. From these cooperations have been born projects like the sculptural colonnade of Alhondiga Museum in Bilbao (Spain) designed by Philippe Starck, the covering made in carparo fiorato of CIS in Nola (Italy) projected by Renzo Piano, the anthropomorphic sculptures of the Portuguese Alvaro Siza, the architect in charge of the recovery of ex Cave Marco Vito in Lecce (Italy), the several works and realizations of Luca Scacchetti, and the sculptures designed by Steven Holl.

Currently, PIMAR maintains a direct relation with some of the most important Italian schools and research institutes in order to find together new building and living solutions. The University Polytechnic of Bari, the engineering center CETMA and the Polytechnic of Milan collaborate with PIMAR constantly - collaborations that lead results as the project "Disegno Litico", designed by DICAR (Polytechnic of Bari) and introduced by this catalog.



τοῖς κούμυρον ωσὶν. ἤνικα δὲ ἐξήθεν διατεχί, ἐν  
θαύδον κτασσιγ. συλλήλυδιω δὲ καταπὸ ἐνδρόμο  
μορ; σαίλιμ δαφρομυρ τεμῶσι καὶ τῶν μω. ἀτι  
δὲ ὄλεος: - **πῶρ ἀγραφή** :-

τοῦτο πάλιν τὸ μέρος τῆσιν τὸ ἐπιβάλλεται οὐκ  
ραῦ. ἀτι τὸ ἀείκητομ. ἐν θαύδα τεχνίσι μ ἀποδιδώ  
ωσ δαφρομωρ ἄσπι ἀματολασ. ὀρθόμοσ ἀσπιο  
χονῶ παρχον. ἐν σῶν μὸ μέρος ὁ ἥλιος. ἔσ το ἄλλο  
μῆρος αὐτῆσ τοῖς κούμυρον. μικταῖ ἀποβρίστῃ  
καταδιδάμθερ μῶσι τοῦσ ἀποστῶμοῖς κούμυρον  
αὐτῆσ μῆρος ἀρίσκηται. ἦτοσ ἔσοισιν ἐν τῶν τῶ  
μῆρ. ἀποκαταθεμ τῶσ κταμοῦ. ἐσοσ ἀφο τῶ  
ἦτοσ αὐτῆσ. ὁ θεμ μῶσι βολοισ τοῖς φασί τῶ μῶ  
αρομ ἀρικτάσ, καὶ τῶ ἀλλοπαμ τῶσ ἀκολοῦσιμ:-



Tabernacolo di Cosma Indicopleuste. *Topographia Christiana*, XI sec., Biblioteca Medicea Laurenziana, Firenze, Pl. 82.10, ff. 95v-96r.



# STEREOTOMIA E RAPPRESENTAZIONE DEL MONDO

\*Giuseppe Fallacara

\* Ricercatore universitario SSD ICAR 14, Dipartimento DICAR - Politecnico di Bari

*Uno dei nostri più celebri architetti, se avesse avuto a compartire nella gran volta del cielo la moltitudine di tante stelle fisse, credo io che distribuite le avrebbe con bei partimenti di quadrati, esagoni ed ottangoli, interzando le maggiori tra le mezzane et le piccole, con sue intese corrispondenze, parendogli in questo modo di valersi di belle proporzioni; ma all'incontro Iddio, quasi che con la mano del caso le abbia disseminate, pare a noi che senza regola, simmetria, o eleganza alcuna le abbia sparpagliate.*

Galileo Galilei 16 luglio 1611 (lettera indirizzata al Gallanzoni)°.

La comparsa del termine *Stereotomia* nella letteratura architettonica avviene notoriamente nel 1644 con l'opera di Jaques Curabelle<sup>1</sup> dal titolo *Examen des oeuvres de Sr. Desargues* (fig. 1) in cui l'autore analizza, criticando aspramente e puntualmente, i testi di Desargues sulla geometria applicata al taglio delle pietre.

La disputa tra Desargues e Curabelle passerà alla storia come uno degli scontri più accesi sulla difesa ed esattezza dei metodi teorici e pratici applicati alla costruzione che si risolverà in tribunale, tra sfide ed insulti, il 12 maggio del 1644. A fronteggiarsi non sono solo due uomini bensì i rappresentanti di due categorie sociali che ambiscono al controllo e primato dell'esercizio professionale: i geometri detentori della teoria e gli apparecchiatori detentori della pratica. Dall'estratto del *privilegio del Re* dell'opera di Curabelle leggiamo:

*Par grace & privilege du roy il est permis à Jacques Curabelle, de faire imprimer, & vendre par tel Imprimeur & Libraire que bon lui semblera, un Cours d'Architecture par lui composé, divisé 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... Privilege, Donné à Paris, le 4 decembre 1643.*

Il termine compare ancora alla pagina 25 della stessa opera:

*Je deduiray plus au long plusieurs autres particularites d'icelles figures dans ma **Stereotomie**, que je n'ay pas icy voulu mettre, tant a cause de la briefueté que je me suis propose dans cet ouvrage; qu'à raison aussi que je les traicte là amplement en leur lieu: Reprenons maintenant nos brifées.*

È utile osservare che il termine *Stereotomia*, comparso in questa opera per la prima volta, non è oggetto né di una specifica ed esauriente descrizione terminologica (viene infatti inteso esclusivamente come sezione dei solidi, probabilmente mutuato dalla unione di due parole greche  $\sigma\tau\epsilon\rho\epsilon\omicron'\varsigma$ = solido e  $\tau\omicron\mu\eta'$ = taglio) né di una esauriente descrizione grafica (l'autore rimanda, a causa

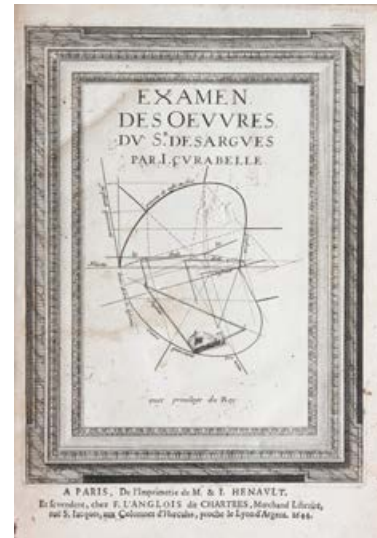


Fig. 1. Frontespizio de *Examen des oeuvres de Sr. Desargues*, Jaques Curabelle, 1644.



Fig. 2. Frontespizio de *Le Premiere Tome de l'Architecture*, Philibert De l'Orme, 1567.

17

della voluta brevità e circospezione dello scritto, ad un'altra sua opera chiamata specificamente *Stereotomia*).

Questa premessa è ben nota a tutti gli studiosi e ricercatori della disciplina, ma ciò che resta ancora poco evidente è comprendere quali siano stati, da un lato i motivi per i quali Curabelle abbia "coniato" il termine *stereotomia* (di origine greca) per descrivere una tecnica già da secoli assolutamente nota, e conosciuta con il termine francese *art du trait géométrique*; e dall'altro lato ricercare i possibili riferimenti o antecedenti e influenze culturali legati al termine.

L'indagine contenuta in questo saggio su tali questioni, che potrebbero sembrare settoriali e di poco interesse per la conoscenza specifica di una disciplina, traccia a mio avviso una nuova ed inedita possibile parabola evolutiva della vita della *stereotomia* utile alla comprensione generale della disciplina e al suo possibile sviluppo contemporaneo. La descrizione di alcune vicende storiche, poco note, la loro connessione logica e terminologica potrebbe far luce e aprire nuove prospettive ai molti potenziali inespressi della *stereotomia* che pur nella sua ampiezza culturale è sempre stata relegata nell'alveo delle discipline tecniche, tranne rare eccezioni legate a grandi nomi dell'architettura: da Philibert de l'Orme a Jules Hardouin Mansart.

Bisogna ricordare che la trattazione del metodo e la definizione dell'*art du trait géométrique* risalgono a circa un secolo prima della pubblicazione di Curabelle, ad opera di Philibert de l'Orme che, nel suo trattato del 1567 (fig. 2), denunciò la paternità di questo nuovo metodo (specificamente per il tracciato geometrico delle volte coniche o trompe): «l'en trouuay le traict & inuentay l'artifice en ladite année mil cinq cens trentesix, par le moyen & ayde de Geometrie, & grand traual d'esprit»; "ho scoperto il tracciato e ho inventato il metodo nel 1536, attraverso l'aiuto della Geometria, e un gran lavoro di spirito".

Quindi, secondo Philibert de l'Orme la stereotomia, ovvero l'*art du trait géométrique*, è figlia della Geometria e di un grande lavoro spirituale. Se il termine *geometria* è tradotto letteralmente come *misurazione della terra* cosa si dovrebbe intendere per lavoro spirituale? Un riferimento mistico e/o religioso?

È noto che i due riferimenti delormiani, alla misurazione e rappresentazione della terra e a Dio, sono sempre presenti nelle dediche e premesse dei trattati o di altre opere sacre, come la famosa immagine di Dio misuratore e creatore del Mondo con il compasso della *Bible moralisée* del 1250 ca (fig. 3).

Negli *Advertissement au lecteur* del suo trattato, Curabelle riporta e dedica a Dio ogni sua conoscenza:

*Voicy le premier essay, e comme un echantillon des fruits que mon esprit par la culture des sciences a produit, depuis que j'ay commencé à operer par le moyen de la raiçon, jusques a maintenant. le les offre, comme les premices de mes estudes et labeurs, à la souveraine bonté, source inépuisable de tous les excellens biens te dons parfaits qui découlent du Ciel icy bas,...; Si vous y rencontrez quelque chose de bon, nous sommes obligez vous et moy de la reporter à la gloire de Dieu, pour laquelle nous devons agir incessamment,... A Dieu.*

Curabelle sicuramente ha letto *Le Premiere Tome de l'Architecture* (1567) di De l'Orme ove, a proposito della teoria sulla Divina Proporzione, ci si riferisce alle geometrie e ai rapporti proporzionali dettati da Dio.

De l'Orme fonda la propria dottrina sulla deduzione delle leggi proporzionali degli edifici "dettati" da Dio agli Ebrei, descritti nell'antico Testamento: l'Arca di Noè, l'Arca dell'Alleanza, il tempio e la casa di Salomone, il tempio rivelato al profeta Ezechiele e le dimensioni e proporzioni del Tabernacolo dettate a Mosè. Tutto secondo una emanazione diretta della divinità:

*"Venant à conclusion, vous pouuez par ce petit narré collinger, comme la dignité, origine, & excellence d'Architecture est venue de Dieu, & du ciel, sans en faire plus grand discours ..."*

Anche l'astronomia fornisce a De l'Orme, secondo le teorie di Francesco Zorzi (Francesco Giorgio Veneto) esposte nel *De harmonia mundis totius cantica* dedicata al pontefice Clemente VII nel 1525, gli elementi speculativi molto importanti per la sua architettura:

*"sept estoilles errantes appelées planètes" come le "sept arts et disciplines qui rendent l'architecture parfaite".*



Fig. 3. Miniatura "Dio come architetto del mondo", dalla *Bible moralisée*, foglio I v.

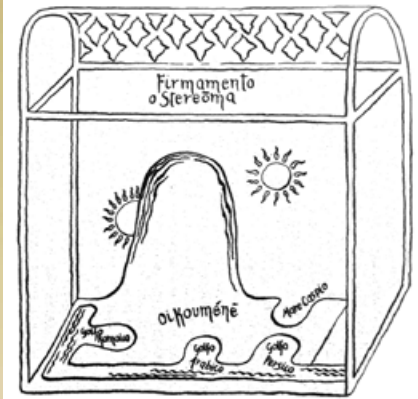


Fig. 4. Ricostruzione del tabernacolo di Cosma Indicopleuste in Umberto Eco, *Baudolino*, Bompiani 2000.

Se provassimo ad indagare ciò che per la dottrina cristiana era la geometria, ovvero la misura o forma della terra, arriveremmo a scoprire un importante legame concettuale connesso alla stereotomia, sicuramente un riferimento "spirituale" che può aver influenzato Curabelle nell'uso del termine.

Una nota, e per noi attinente, rappresentazione cristiana del mondo fu messa a punto da Cosma Indicopleuste (titolo onorifico di "viaggiatore dell'India", pseudonimo di Costantino di Antiochia), mercante geografo bizantino del VI secolo che in seguito divenne monaco. Cosma, nella sua *Topografia Cristiana*, le cui trascrizioni più antiche sono dell'XI secolo<sup>3</sup> (fig. 4), pensando al tabernacolo biblico, aveva sostenuto che il cosmo fosse rettangolare, con un arco che sovrastava il pavimento piatto della Terra.

*Nel modello di Cosma la volta ricurva rimane celata ai nostri occhi dallo **Stereoma**, ovvero dal velo del firmamento. Sotto lo **Stereoma** si stende l'ecumene, ovvero tutta la terra sui cui abitiamo, che poggia sull'Oceano e monta per un declivio impercettibile e continuo verso nord-ovest, dove si erge una montagna talmente alta che la sua presenza sfugge al nostro occhio e la sua cima si confonde con le nubi. Il sole, mosso dagli angeli - a cui si debbono anche le piogge, i terremoti e tutti gli altri fenomeni atmosferici - passa al mattino da oriente verso il meridione, davanti alla montagna, e illumina il mondo, e alla sera risale a occidente e scompare dietro la montagna. Il ciclo inverso viene compiuto dalla luna e dalle stelle<sup>4</sup>.*

La ricostruzione del mondo-tabernacolo di Cosma Indicopleuste, presentata da Umberto Eco già in Baudolino<sup>5</sup> (fig. a pag 16), mostra chiaramente il parallelepipedo del tabernacolo che contiene la terra piatta con una grande montagna e una volta a botte che sormonta il parallelepipedo in cui si sviluppa il cielo stellato chiamato **Stereoma**



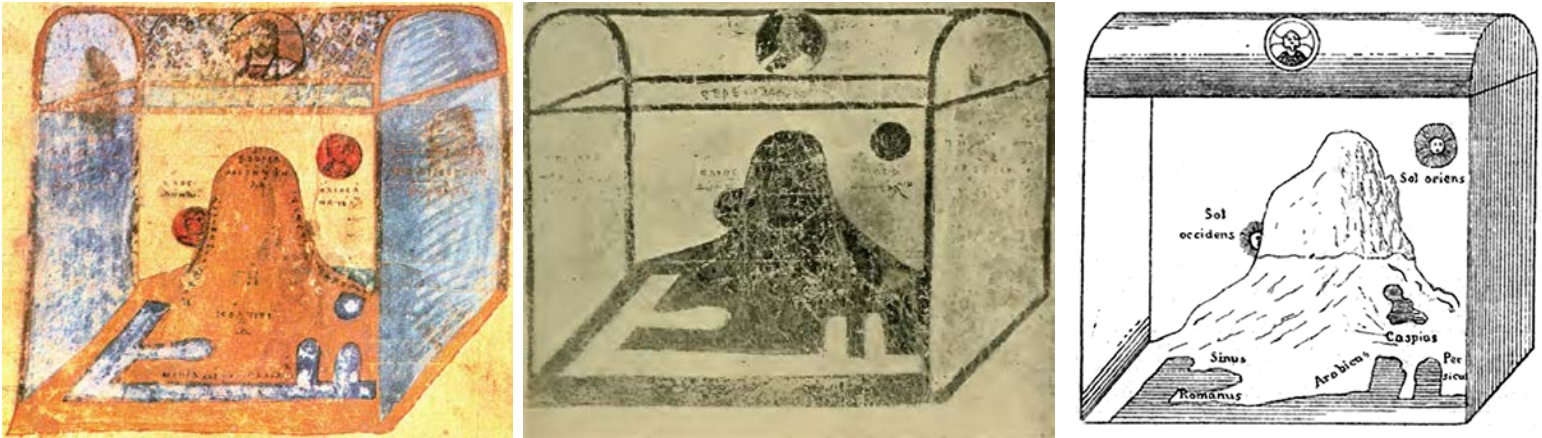


Fig. 5. Composizione di alcune delle rappresentazioni del tabernacolo di Cosma Indicopleuste.

o **Firmamento**. Nelle varie rappresentazioni del mondo-tabernacolo (fig. 5) le stelle sono disegnate geometricamente, in maniera ordinata all'interno del semi cilindro della volta, organizzandosi attorno al volto del Cristo che ricorda quello sul Mandylion della Scala Celeste di Giovanni Climaco<sup>6</sup> (fig. 6) che la tradizione definisce espressamente rappresentazioni «pneumatiche», cioè «spirituali». Il Tabernacolo biblico di Mosè è il riferimento originario della rappresentazione di Cosma che diventerà un riferimento per le chiese a navata longitudinale, voltate a botte con intradosso cassettonato. Ciò che si vuole qui sottolineare è la forte affinità terminologica tra **Stereotomia** e **Stereoma**, due termini che per certi versi identificano uno Spazio Voltato: nel primo caso in riferimento alla costruzione di una volta "terrena", nel secondo caso per identificare la volta "celeste". Se per la descrizione del mondo si è preso in prestito una immagine umana, ovvero un tabernacolo sotto forma di baule e una volta a botte, viceversa, per l'identificazione di un metodo scientifico per il taglio delle pietre e la realizzazione di volte e cupole si prende in prestito un concetto "spirituale". Non si vuole qui asserire che nel 1644 Curabelle non avesse conoscenza della sfericità della terra, la cui diffusione comunque non doveva essere capillare in ogni strato sociale, ma si vuole evidenziare che il testo di Cosma Indicopleuste, scritto in greco, una lingua non praticata almeno a partire dal medioevo cristiano, fu reso noto al mondo occidentale solo a partire dalla metà del XVII secolo inizi del XVIII. Una domanda che sarebbe lecito porsi è: come mai Curabelle non parli esplicitamente (noi non ne abbiamo conoscenza) del riferimento biblico legato al termine **Stereotomia** da lui presentato per la prima volta? Una possibile risposta potrebbe riguardare il fatto che questo titolo ricompare, attorno alla fine del XVI secolo, nei testi della Chiesa Riformata in contrasto con la Chiesa Cattolica di cui Curabelle faceva parte. Già nel 1571, infatti, viene pubblicato in Germania, a Dresda, un testo religioso riformista dal titolo *Stereoma*<sup>7</sup> in cui si dibatte sui principi ontologici cristiani nelle dispute tra Calvinisti e Luterani. Successivamente saranno stampati altri testi biblici riformati con

lo stesso titolo (fig. 7 – *Stereoma Doctrinae Evangelicae*, Lipsia, 1692). Il titolo del libro indica, secondo il suo etimo, un principio fisso immutabile, un fondamento in relazione alla sua radice ontologica greca **Aster** (Star) ovvero stella fissa. Quindi **Stereoma** trae il suo significato originario dal termine **Astro**, ovvero stella che in latino si traduce in **Firma** (ferma, fissa) e per estensione quindi **Firmamento**<sup>8</sup>. Nella Genesi la funzione del firmamento è sia di sostegno alle stelle sia di separazione delle acque superiori da quelle inferiori. Alcune aperture nel firmamento erano utilizzate da Dio per far scendere le precipitazioni atmosferiche, come la pioggia e la grandine. Anche nella tradizione rabbinica le "stelle fisse" pendono dal firmamento, simili a lampade, tutte equamente distanti dalla Terra, e la loro luminosità dipende unicamente dalle relative dimensioni (Mishnah tradizione orale ebraica raccolta nel 1° secolo d.C.).

Fig. 6. Immagini di Cristo, dalla *Scala Celeste* di Giovanni Climaco.





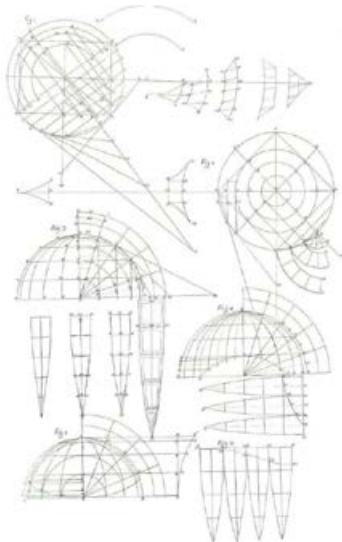
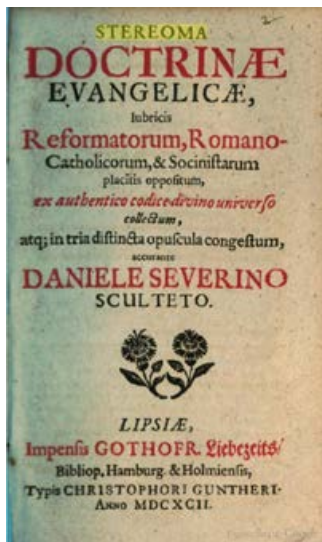
Antonio Stoppani nella sua *Cosmologia Mosaica*<sup>9</sup> richiama il termine **Arakia**, sinonimo dichiarato di **Cielo** nella *Cosmogonia Mosaica*, che fu tradotto in **Stereoma**, *latini firmamentum*, e Lutero, nella sua traduzione tedesca eseguita sul testo ebraico e molto stimata dai linguisti, **Jeste** (Fest in tedesco vuol dire saldo, fermo). Tutte parole che indicano, trattandosi di un concreto, e precisamente di un sinonimo di cielo, una estensione, e al tempo stesso di solido, di rigido, di resistente in sommo grado, di fermo e di stabile per eccellenza, che si regge da sé e al tempo stesso serve di appoggio e di sostegno a qualche cosa. Inoltre i termini greci "taxis" (ordine) e "stereoma" (fortezza) furono usati in contesti militari per indicare la gerarchia militare e la fortificazione e il centro di potere.

La rappresentazione del mondo, per la dottrina cristiana, non poteva non avere una rappresentazione chiara, una stabile emanazione della chiarezza Divina che eliminasse ogni salto concettuale o metafisico e di difficile comprensione come, per esempio, l'immagine della sfericità e degli uomini agli antipodi. Allo stesso modo, *mutatis mutandis*, la critica serrata di Curabelle puntava principalmente alla demolizione del complesso apparato terminologico messo a punto da Desargues rispetto alla chiarezza e maggiore efficacia dell'*Architettura Praticapiù vicina alle esigenze di un apparecchiatore*. L'*Architettura Teorica* era "colpevole" del salto metafisico<sup>10</sup>:

*De plus, l'objet de l'Architecture Pratique est de former les matieres. Et quand l'on objecteroit que l'Architecture Pratique a pour objet les matieres propres pour effectuer ce ne'est pas dire qu'elle n'aura pas des figures precedentes das l'esprit pour former icelles matieres, e qu'elle n'vfe des memes intelligeces et manieres de parler et d'entendre, que l'Architecture Theorique, car pour avoir memes intelligeces et manieres de parler et d'entendre, ce n'est pas avoir meme speculation. .... Advantage pourquoy dire plutot la route que le biais, ou obliquité Metaphisique?*

Fig. 7. Frontespizio de *Stereoma Doctrinae Evangelicae*.

Fig. 8. Guarino Guarini, *Architettura Civile*, tav. XLI.



E Desargues risponde<sup>11</sup>:

*"Les géometres pour s'avancer en sette science ne vont ni à l'école, ni à la leçon des maçons, mais au contraire les maçons pour se rendre habiles aux traits géométriques nécessaires à la pratique de leur art et devenir plus capables de faire chef doeuve pour leur laitrise, vont à l'école et à la leçon des géometres"*

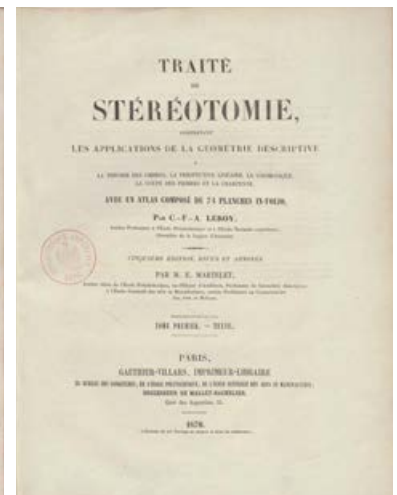
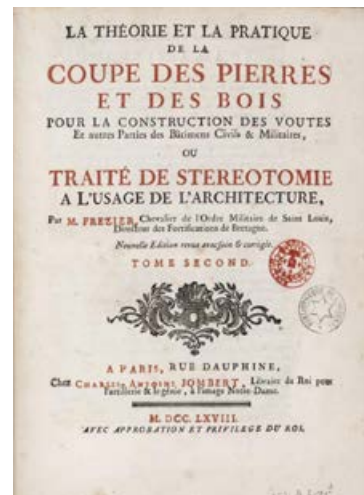
La **Stereotomia** di Curabelle, prendendo a prestito dal mondo religioso il termine **Stereoma**, vuole avere a metà del XVII secolo un duplice e preciso significato: da un lato vuole stabilire un nuovo e saldo **Fondamento** disciplinare, necessario in quel preciso momento, per evitare la perdita della supremazia minata dagli attacchi speculativi da parte dei teorici della geometria; dall'altro vuole identificare precisamente il campo di indagine della disciplina ovvero lo **Spazio Voltato** terrestre come diretta proiezione della **Volta Celeste** che, secondo i dettami della dottrina cristiana, può essere facilmente immaginato, misurato, disegnato e analizzato. Gli **Astri - Aster** che identificano lo spazio **Stereo** possono essere sottoposti al **Taglio - Tomia**, ovvero possono essere tagliati da piani di sezione al fine di ricomporre graficamente il disegno delle volte spaziali allo stesso modo in cui si opera il taglio della sfera terrestre per la costruzione del planisfero.

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 (fig. 8).

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 adottate

Fig. 9. Frontespizio de *La théorie et la pratique de la coupe de pierres et de bois pour la construction des voûtes, et autre parties des bâtiments civils et militaire, ou traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture*, A.F. Frézier.

Fig. 10. Frontespizio de *Traité de stéréotomie*, C.F.A Leroy.



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.

L'arte del taglio delle pietre non viene identificata, dopo Curabelle, *tout court* col termine di **Stereotomia** bensì ancora con i termini tradizionali conformi alla disciplina, bisognerà aspettare la fine del XIX secolo per ritrovarlo di uso comune.

Se due anni prima della pubblicazione di Curabelle quest'arte viene assimilata con M. Jousse (1642) a *Le Secret d'Architecture*, e con F. Derand (1643) a *L'Architecture des voûtes Ou l'Art Des Traits*, dopo Curabelle il trattato di Milliet De Chales (1674) la identifica come *De Lapidum Sectione*, poi con J. B. De La Ruè (1728) *Traité de la coupe des pierres*.

Sarà A.F. Frézier tra il 1737 e il 1739 a riprendere il termine con il suo capolavoro sulla **Stereotomia**, *La théorie et la pratique de la coupe de pierres et de bois pour la construction des voûtes, et autre parties des bâtiments civils et militaire, ou traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture* dedicato a Monseigneur le Marquis d'Asfeld Marescial de France (fig. 9). E nel 1760 in versione ridotta per un più semplice uso con *Eléments de stéréotomie à l'usage de l'architecture pour la coupe des pierres*. Non è chiaro se Frézier, nell'utilizzo del termine **Stereotomia**, sia stato influenzato direttamente dal lavoro di Curabelle oppure da altro (certo è che fosse a conoscenza di tutte le opere pubblicate prima di lui), dato che in un passaggio del suo quarto libro, in cui viene trattato il metodo di Desargues egli scrive di non aver visto la Critica di Curabelle (*Examen des oeuvres du Sieur Desargues*):

*Abraham Bosse [...] più curioso delle pratiche tratte dalla geometria che di istruirsi sulla conoscenza dei principi, [...] ha dato al pubblico nel 1643 un libro sul taglio delle pietre intitolato "Pratique du Trait à preuve de M. Desargues", che ha scritto in uno stile così diffuso, con dei nuovi termini, che gli Artisti, e anche alcuni Autori lo hanno guardato come uno sproloquio inintelligibile; così ne parla M. de la Ruè nella prefazione: "Sembra che Desargues, di cui l'incisore Bosse ha messo in luce le opere, abbia voluto sottrarre agli altri la Scienza del taglio delle pietre, per i principi stessi che ne propone; tanto ha assegnato delle novità nei termini e delle particolarità nei Traits"; a cui aggiunge che "Jacques Curabelle ha individuato con precisione tutti i suoi errori". Non ho visto questa critica e quindi non posso giudicare con esattezza, tuttavia posso dire che il metodo di Desargues non è completamente da rifiutare [...].<sup>12</sup>*

Frézier passerà alla storia come un grande stratega militare, esperto di fortificazioni e grande viaggiatore, in particolare per le diverse occasioni di viaggio che gli furono offerte per la carica di Ingegnere del Genio che ricoprì durante il corso della sua lunga carriera militare. L'arte della guerra risulta essere il filo conduttore della sua produzione pratica e teorica, che perfettamente si allinea con quell'idea di **Stereotomia** legata alla solidità, saldezza e fissità che un edificio deve possedere alla pari di una teoria scientifica o una dottrina religiosa o filosofica. La prassi costruttiva stereotomica

collimava perfettamente alle esigenze di una fortezza o di un edificio militare che non ammette imperfezioni o approssimazioni costruttive, pena le perdita della sua efficacia. È anche noto che Frézier si fosse imbattuto in polemiche culturali con la Compagnia di Gesù contrapponendo le sue teorie architettoniche a quelle dei Gesuiti mettendo a frutto le proprie solide conoscenze teologiche nel dibattito tra architettura teorica e architettura pratica.

Il termine **Stereotomia** ricompare nei titoli dei trattati dedicati al taglio delle pietre (numerati tra XVIII e XIX secolo), nel 1844 con il *Traité de stéréotomie* di C.F.A Leroy (fig. 10), per poi comparire anche in Spagna, a Madrid, con la *Estereotomía* di E. Mojados nel 1883, e diventare di comune utilizzo verso la fine del XIX secolo, J.J. Pillet (1887) *Traité de stéréotomie, charpente et coupe des pierres*, L. Monduit (1889) *Stéréotomie au point de vue de la coupe des pierres*, J. Chaix (1890), *Traité de la coupe des pierres. La stéréotomie*, e ancora in Spagna a Barcellona, Rovina y Rabassa (1897), *Estereotomía de la piedra*.

La **Stereotomia**, nella maggior parte degli studi citati, è intesa come tecnica costruttiva legata principalmente alla pietra, pur non avendo nel suo etimo il riferimento esplicito allo specifico materiale. Infatti, come si è dimostrato, per **Stereotomia** intendiamo un Fondamento per disegnare e costruire spazi voltati: in pietra o legno. La produzione scientifica riferita alla carpenteria lignea, coeva allo sviluppo dei trattati del taglio delle pietre, appare più limitata e meno approfondita.

Fig. 11. Frontespizio de *Placita Philosophica*, G. Guarini.

Fig. 12. Cappella della Sacra sindone a Torino, G Guarini.



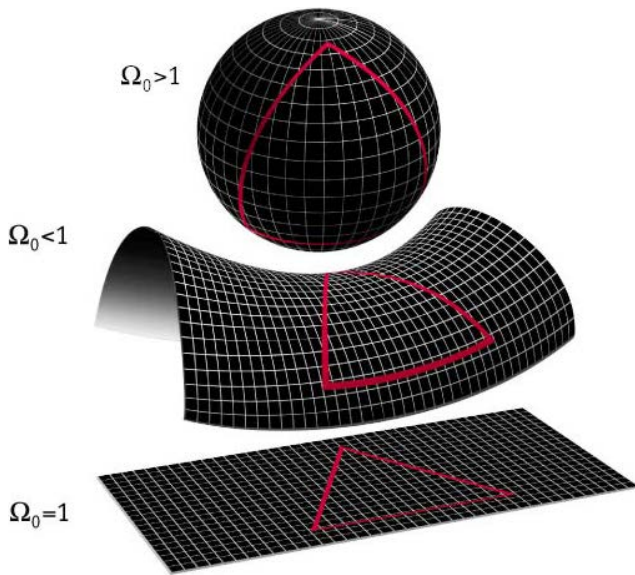


Fig. 13. Dall'alto verso il basso: un universo sferico, uno iperbolico e uno piatto.

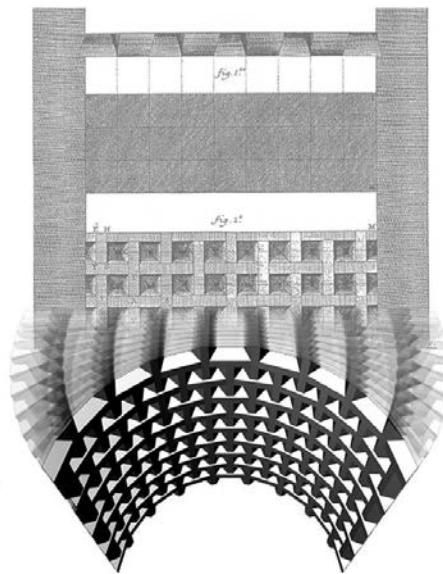


Fig. 14. Deformazione topologica del brevetto del 1699 di Joseph Abeille, G. Fallacara.



Fig. 15. Portale d'ingresso alla mostra dal titolo *Città di Pietra*, curata da Claudio D'Amato, 10<sup>a</sup> Biennale di Architettura, Venezia 2006.

È utile ricordare, di contro, che dall'analisi delle prefazioni ai trattati, soprattutto 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. Tale impostazione teorica è ben esplicitata nel succitato titolo del poderoso trattato di Amedée François Frézier, *La theorie et la pratique de la coupe des pierre et du bois*, in cui è possibile leggere che la stereotomia, o arte della *coupe des pierres*, non è che una applicazione *dell'art du trait géométrique* dei carpentieri, modificata per la specifica natura della pietra. Leroy nel 1844 riporta nel suo trattato che, 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. Ancora Chaix, nel suo trattato del 1890 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.

Secondo una interpretazione differente (ma comprensibile) del termine **Stereotomia**, dai trattati francesi e spagnoli, in Germania nel 1852 Gottfried Semper utilizza il termine in *Die vier Elemente der Baukunst*<sup>13</sup>, in cui, rifiutando indirettamente l'interpretazione della capanna primitiva secondo il valore teorico assegnato dall'abate Laugier nel suo *Essai sur l'Architecture*<sup>14</sup>, individua i quattro termini fondativi dell'abitazione e quindi, per traslato, dell'architettura.

L'abitazione primordiale 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**.

In base a quanto descritto in precedenza, risulta essere assolutamente comprensibile l'associazione logica che Semper compie tra **Stereotomia** e **Basamento/Fondazione** della casa, in quanto, come si è detto, **Stereotomia** deriva da **Astro** quindi **Firma (Jeste - Fest)** quindi punto fisso, stabile, ovvero fondamento e per traslato fondazione. Quindi per Gottfried Semper la parte stabile dell'abitazione, l'atto fondamentale della sua costruzione è la **Stereotomia**, come lo **Stereoma** è il fondamento della dottrina riformata (Dresda, 1571). Diventa molto interessante osservare come cambino i riferimenti architettonici, dalla stabilità delle stelle fisse, e quindi della volta celeste, alla stabilità delle fondamenta di un edificio, al mutare dell'interpretazione di un termine secondo la propria radice etimologica che nella fattispecie si poggia in entrambi i casi sul senso di stabilità, fissità.

Quindi la **Stereotomia** guarda al cielo e alla terra, come **firmamento** e come **fondamento**, e che guarda al mondo: dall'interpretazione di Cosma Indicopleuste alla tecnica dei geografi per disegnare il planisfero e le rotte marine secondo i tracciati lossodromici minori o migliori. La **Stereotomia** osserva il mondo e lo ripropone in scala minore,



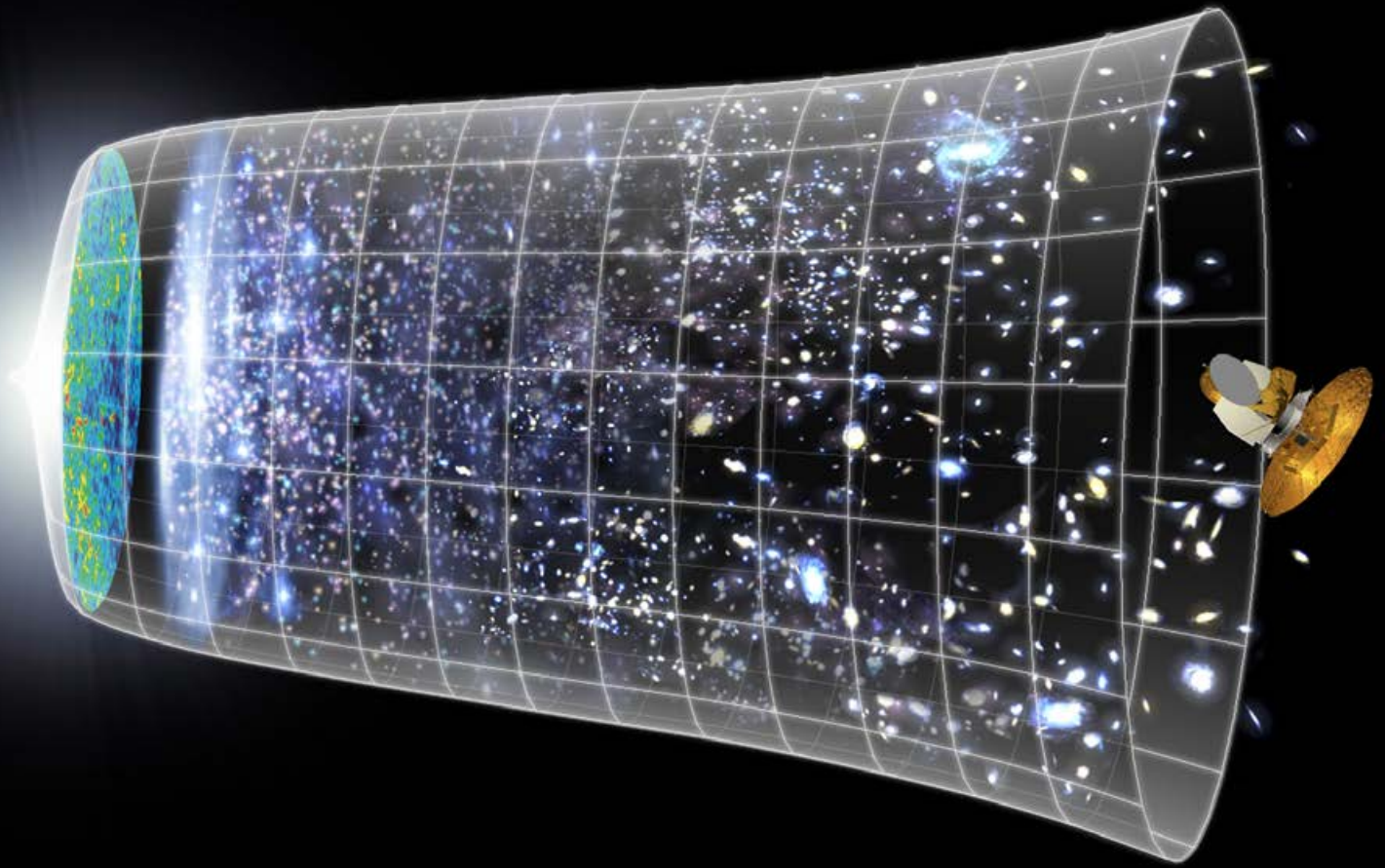
dalle meravigliose decorazioni delle cupole estradossate mamelucche del Cairo alla Cappella di Anet di Philibert de l'Orme alle straordinarie volte cassettonate dell'Archivio delle Indie a Siviglia, in cui si mette insieme la lezione *vandelviresca* con la meraviglia della scoperta delle Americhe (Indie) e le conquiste geometriche dei geografi, così come sarà descritto nel saggio di Vincenzo Minenna. In Italia, Guarino Guarini monaco teatino, è l'unico architetto che lavora nel solco delle ricerche francesi estendendo le proprie conoscenze, manifestando interesse per l'architettura gotica, l'opera di Mansart e le ricerche sulla geometria proiettiva di Girard Desargues. Nel 1665 pubblicò a Parigi il trattato matematico-filosofico *Placita Philosophica* (fig. 11), che difendeva la tesi del sistema geocentrico dell'universo contro le teorie di Niccolò Copernico e Galileo. Nelle sue architetture, principalmente nella concezione degli spazi voltati, Guarini riversa tutto il suo sapere relativo al moto degli astri e all'astrologia mettendo a punto modelli spaziali molto complessi e sostanzialmente riferiti ad una idea errata e geocentrica dell'universo (fig. 12), a dimostrazione che la rivoluzione copernicana non poteva essere sostenuta da un rappresentante religioso. Quindi ancora una volta si incontrano indissolubilmente il disegno dello spazio voltato architettonico (Stereotominco), con la rappresentazione del mondo e dell'universo (Cosmologico). Come è noto, dal punto di vista filosofico, questo passaggio segnò la fine della concezione dell'universo centrato sull'Uomo, provocando grandi resistenze da parte della Chiesa cattolica. Con Newton, nel 1687, si ebbe una delle prime chiavi interpretative della struttura del Sistema Solare e dell'Universo in generale: la legge di gravitazione universale, che unificava una serie di fenomeni (la caduta dei gravi, le maree, il moto dei pianeti). La teoria newtoniana, nella fattispecie la teoria sulla luce, invase anche l'architettura e gli spazi voltati di Bernardo Vittone allievo di Guarino Guarini<sup>15</sup>.

La **Cosmologia**, come la **Stereotomia**, affonda le proprie radici storiche nelle narrazioni religiose sull'origine di tutte le cose (cosmogonie) e nei grandi sistemi filosofico-scientifici pre-moderni (come il sistema tolemaico). Attualmente la cosmologia è una scienza fisica che interessa diverse discipline, quali l'astronomia, l'astrofisica, la fisica delle particelle, la relatività generale, mentre 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 saggio 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, in un orizzonte di senso, la spinta creativa, in essa congenita, alla progettazione architettonica contemporanea. A tal fine la **Stereotomia**, nella sua parabola evolutiva, ha guardato anche alle evoluzioni scientifiche/geometriche relative alla geometria topologica e ai modelli non euclidei per la rappresentazione dell'universo (fig. 13<sup>16</sup>). La scoperta della Topologia (con Riemann, a metà XIX secolo) ha mostrato tutta

la sua pervasività nella scienza moderna in maniera impressionante: la Fisica, a tutti i livelli, dalla Teoria delle Particelle Elementari e in particolar modo alla Cosmologia. Nella Teoria di Einstein della Relatività Generale, ad esempio, lo spazio non è necessariamente piatto, ma può avere una curvatura, così come una sfera o un iperboloido. Se lo studio della geometria locale dell'universo riguarda principalmente la curvatura dell'universo osservabile (quindi sostanzialmente una geometria euclidea), l'indagine sulla sua geometria globale investe soprattutto il campo della topologia con i concetti fondamentali di "piegatura" e "deformazione" continua. Per la topologia si può assumere che l'unico concetto di equivalenza fra le figure sia quello della continuità, un oggetto topologico può deformarsi a piacimento (purché non lo si strappi o lo si tagli) senza alterare la sua natura. Così un quadrato, una calotta sferica, un disco, sono tutti equivalenti.



Fig. 16. *The Bin Jassim Dome*, per l'hammam progettato dall'architetto Joseph Caspari (G. Fallacara, M. Brocato, L. Tamborero, Doha, Qatar, 2012).



La stereotomia ha subito un importante processo di rigenerazione teorico-pratica grazie alla grande attinenza con gli odierni sistemi di modellazione parametrica cda-cam-cnc.

Su questi concetti di base, e a conclusione della mia tesi di dottorato<sup>17</sup>, nel 2006 fu pubblicata la prima ricerca sul rapporto tra stereotomia e topologia con un saggio presentato al Second International Congress on Construction History, Cambridge (UK) dal titolo *Digital stereotomy and topological transformations: reasoning about shape building*. L'ipotesi teorica, sulla deformazione topologica del celebre brevetto del 1699 di Joseph Abeille sulla volta piana, contenuta nel saggio, diviene manifesto e opera costruita alla 10<sup>a</sup> Mostra Internazionale di Architettura, la Biennale di Venezia, sotto forma di portale di ingresso, in pietra leccese, alla mostra dal titolo *Città di Pietra*, curata da Claudio D'Amato (fig. 14-15).

Questa suggestione architettonica è stata elaborata in contemporanea anche in altri contesti accademici, come ha ben evidenziato Yuri Estrin nella presentazione al presente libro, ponendo l'accento sulla topologia dell'incastro e connessione tra elementi strutturali disgiunti. L'enorme potenzialità progettuale ed operativa, messa a punto dalla formalizzazione geometrica che lega la topologia alla stereotomia, viene descritta nel libro *Verso una progettazione stereotomica. Nozioni di stereotomia, stereotomia digitale e trasformazioni topologiche: ragionamenti intorno alla costruzione della forma* (G. Fallacara, Roma,

2007), e nel 2008 nel libro *Plaited Stereotomy – Stone Vaults for the Modern World* (R. Etlin, G. Fallacara, L. Tamborero, Roma, 2008) in cui si mette a punto il progetto Sphera, ovvero una cupola sferica apparecchiata con il concio di Abeille, che ha trovato nel 2013 la sua realizzazione a Doha (fig. 16). La contaminazione dialettica tra pesantezza del materiale lapideo e la leggerezza delle forme aeree o "pneumatiche" del **Cielo Stellato** o **Stereoma** o **Firmamento** rappresenta la principale leva di ricerca progettuale dello scrivente che ormai da anni indaga sulle potenzialità morfologiche insite in tale assunto concettuale come **Fondamento** per l'aggiornamento della **Stereotomia**. Resta infine una domanda lecita da porsi: cosa sarà la Stereotomia oggi che il mondo si è rimpicciolito ed è in una nostra mano con Google Earth secondo la meravigliosa ricostruzione The known Universe sviluppata dall'American Museum of Natural History in partnership con Rubin Museum of Art?<sup>18</sup>

Fig. 17. Nella pagina accanto: NASA. Time Line of the Universe - The expansion of the universe over most of it's history has.

#### Note

[0] M. Torrini, *Galileo copernicano*, in " *Giornale critico della filosofia italiana*" anno LXXII (LXXIV), fasc. I, gennaio-aprile 1993).

[1] J. Curabelle, *Examen des oeuvres du Sieur Desargues*, Paris, 1644.

[2] P. De l'Orme, *Le premier tome de l'architecture*, L. iv, p. 91r, 1567.

[3] Cosma Indicopleuste, *Topographia Christiana*, Firenze, Biblioteca Medicea Laurenziana, Pl. 82.10, ff. 95v-96r.

[4] U. Eco, in *Storia delle terre e dei luoghi leggendari*, Bompiani 2013.

[5] U. Eco, sia in *Baudolino*, Bompiani 2000, che in *Storia delle terre e dei luoghi leggendari*, Bompiani 2013.

[6] Ms. Rossianus 251, c. 12v, Roma, Biblioteca Apostolica Vaticana.

[7] Si veda *Dell'istoria ecclesiastica antica e moderna dalla nascita di Gesù*, Volume 2 Di Johann Lorenz Mosheim, Jacopo Sabatini, Josè Maria Fonseca de Evora, inizi XVIII secolo.

[8] <http://it.wikipedia.org/wiki/Firmamento> - vocabolo "firmamento" venne utilizzato per la prima volta in senso astronomico nel IV secolo dalla Vulgata per tradurre il termine greco stereoma, utilizzato dai LXX, i Settanta, del nel libro della Genesi (1,6). Nella Genesi la funzione del firmamento è sia di sostegno alle stelle sia di separazione delle acque superiori da quelle inferiori. Alcune aperture nel firmamento erano utilizzate da Dio per far scendere le precipitazioni atmosferiche, come la pioggia e la grandine. Anche nella tradizione rabbinica le "stelle fisse" pendono dal firmamento, simili a lampade, tutte equamente distanti dalla Terra, e la loro luminosità dipende unicamente dalle relative dimensioni. (Mishnah tradizione orale ebraica raccolta nel 1° secolo d.c.).

[9] A. Stoppani (2013) pp. 54-5, *Sulla Cosmogonia Mosaica: Triplice Saggio Di Una Esegese Della Storia Della*. London: Forgotten Books. Original work published 1887.

[10] J. Curabelle, *Examen des oeuvres du Sieur Desargues*, pag. 14, Paris, 1644.

[11] *Reconnaissance de Monsieur Desargues* in A. Bosse, *Manière universelle de Mr Desargues, pour pratiques la perspective par petit-pied, comme le géométral*, Paris, 1648.

[12] A. F. Frézier, *Traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture*, pp. 191-206.

[13] G. Semper, *Die vier Elemente de Baukunst*, Brunswick 1852.

[14] M.A. Laugier, *Essai sur l'Architecture*, Paris 1753.

[15] Si veda Filippo Camerota, *A Scientific Concept of Beauty in Architecture: Vitruvius Meets Descartes, Galileo, and Newton*, Springer, 2014.

[16] Fonte Wikipedia, [http://it.wikipedia.org/wiki/Forma\\_dell%27universo](http://it.wikipedia.org/wiki/Forma_dell%27universo), consultato nell'Agosto 2014.

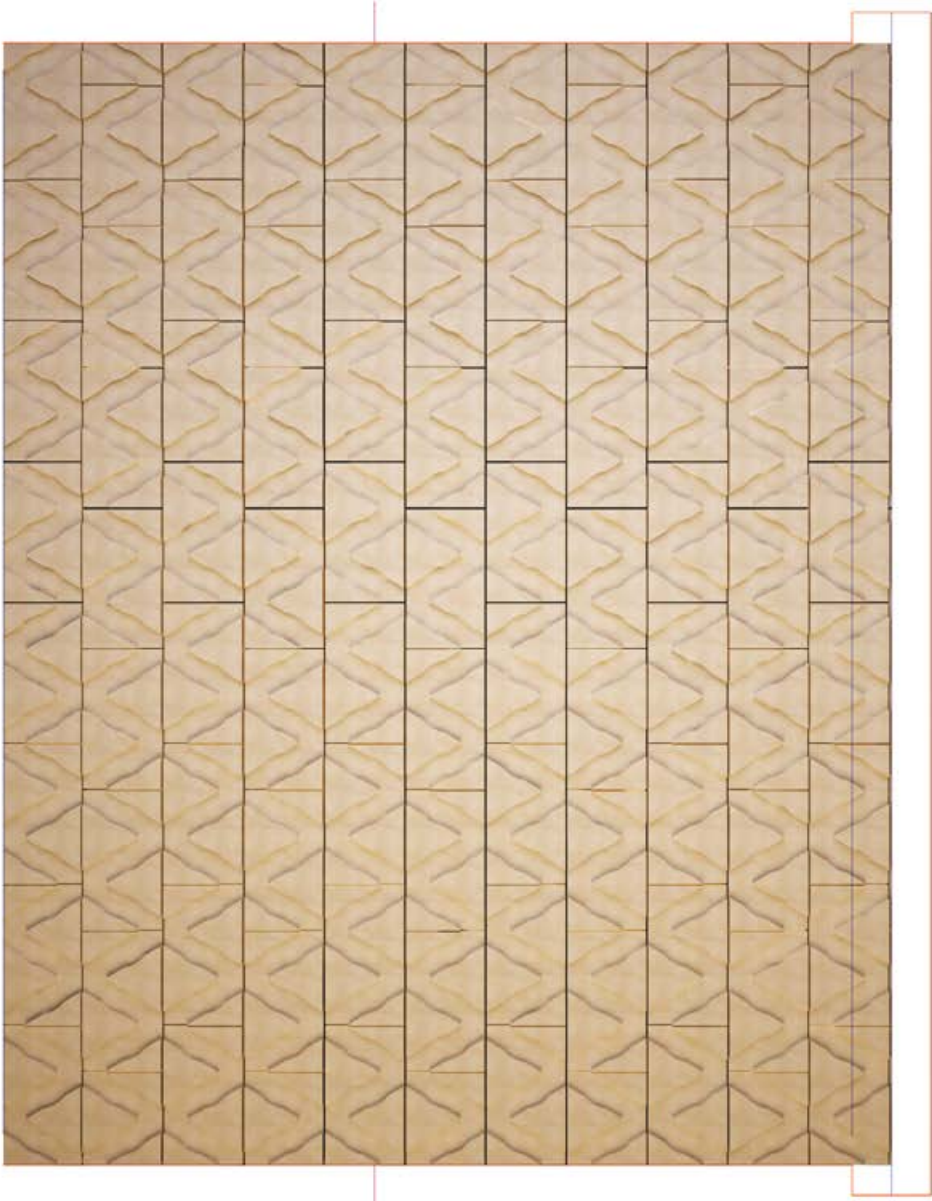
[17] Tesi intitolata: *Il paradigma stereotomico nell'arte del costruire. Dalla natura sincretica della modellazione digitale alla progettazione/costruzione di elementi architettonici in pietra da taglio*. Tutor: prof. Claudio D'Amato Guerrieri, Febbraio 2004.

[18] [https://www.youtube.com/watch?v=A7b\\_YCvc-tE](https://www.youtube.com/watch?v=A7b_YCvc-tE)

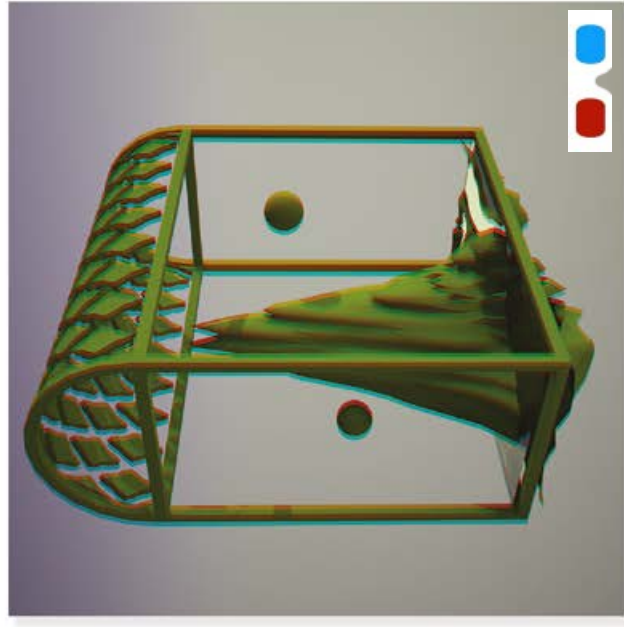
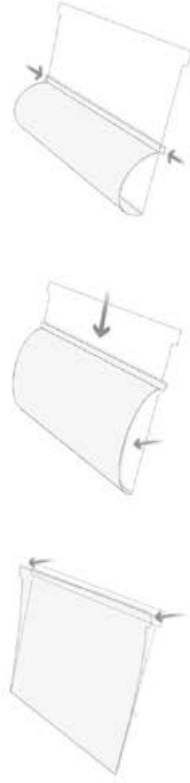




Interpretazione del mondo tabernacolo di Cosma Indicopleuste: Manto di Stelle che Avvolge A-Volta.



## STEREOMA VAULT POP-UP



Follow the pics above and look inside the paper vault





Stereōma e Stereōtomija





Particolare della volta della copertura della scala principale dell'Archivio delle Indie.



# LA MAPPA DEL NUOVO MONDO: DALL'ARCHIVIO DELLE INDIE AGLI SPAZI STEREOTOMICI GENERATIVI

\*Vincenzo Minenna

\*Dottore di ricerca in Progettazione architettonica, Dipartimento DICAR - Politecnico di Bari

Per comprendere l'interazione tra la rappresentazione del mondo e il progetto stereotomico con le sue possibili evoluzioni è fondamentale riflettere su alcuni eventi storici e sulle implicazioni che ne seguirono sia dal punto di vista scientifico che culturale.

La stereotomia è la disciplina che insegna a costruire i sistemi volti in pietra "sull'immagine della volta celeste". L'idea delle forme del cielo ha subito nei secoli, soprattutto con l'influenza dell'antico testamento (si veda la letteratura sulle teofanie cosmografiche), mutamenti ed interpretazioni che hanno seguito l'evoluzione del pensiero e delle scoperte scientifiche. La forma del cielo segue le evoluzioni delle forme della terra e soprattutto nel XVI secolo la consapevolezza più diffusa della sfericità del globo.

A tal riguardo, in questo saggio si cerca di dimostrare come le scoperte geografiche del XVI secolo e il conseguente cambiamento della visione del mondo (da piano a "sferico") abbiano fortemente riformulato gli studi cartografici, astronomici, geometrici e di come questi abbiano in certo qual modo influenzato la storia della costruzione.

La rappresentazione del "nuovo mondo", contribuì di fatto a stimolare il dibattito sulla comprensione geometrica della sfera (dal greco σφαῖρα, sphaîra) e quindi del planisfero e il relativo controllo grafico sul piano. Di fondamentale importanza fu la comparsa dei primi manuali e trattati di astronomia, cartografia e matematica che affrontavano le problematiche relative alla misurazione degli angoli delle curve spaziali.

Come è noto per la restituzione grafica della sfera, vi è il metodo delle

superfici di proiezione, ovvero la proiezione geometrica di parti della sfera su un piano utilizzando una superficie di sviluppo. Infatti, se la proiezione della sfera (discretizzata) viene "associata" previamente ad altre superfici intermedie come il cono e il cilindro, si hanno dei "sistemi" di proiezioni denominati rispettivamente proiezione di sviluppo conico e cilindrico (fig. 1).

Ambedue offrono limitazioni dovute alle deformazioni tra la superficie proiettante e proiettata. Nessun sistema è tecnicamente risolutivo, poiché tutte le relazioni geometriche sulla sfera, come il parallelismo dei paralleli, la convergenza dei meridiani e la perpendicolarità dell'intersezione di paralleli e meridiani, non possono essere completamente rispettate. Inoltre non si possono definire contemporaneamente i tre "tipi" di dimensioni della sfera: longitudine, angolo ed area e, di conseguenza, "la **conservazione degli angoli**" nella trasposizione dallo spazio al piano.

Quest'ultima rivestirà un'importanza decisiva sia per la stesura delle mappe cartografiche sia per i primi trattati di costruzione delle volte cupolate.

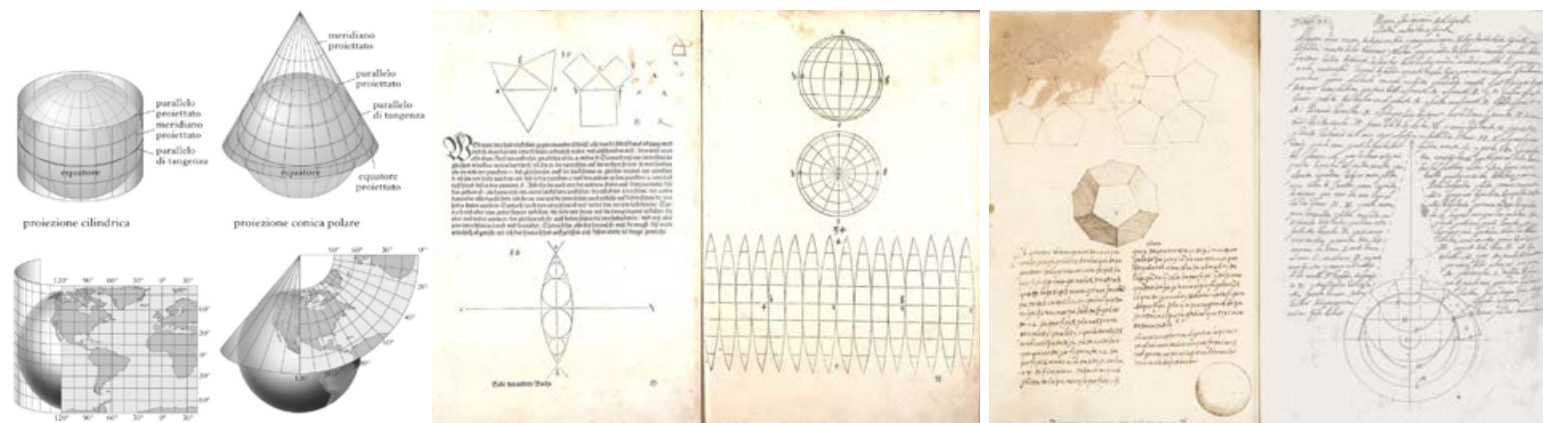
Fra i primi trattatisti che, nei primi anni del XVI secolo, si occuparono della rappresentazione della sfera vi furono, tra i più noti, Albrecht Dürer (1525) e Juan Perez de Moja (1562)<sup>1</sup>, (fig. 2) che condizionarono fortemente l'arte della costruzione e i più importanti trattati stereotomici dell'epoca<sup>2</sup> (Hernan Ruiz, Alonso de Vandelvira e Philibert De Lorme) (fig. 3), con le prime osservazioni sui sistemi proiettivi.

Restringendo il campo al mondo Iberico, fra le principali architetture che furono influenzate da questa innovazione vi fu sicuramente la Casa Lonja de Mercaderes de Sevilla (fig. 4), conosciuta anche come Archivo General de Indias, ovvero il centro amministrativo (la

Fig. 1. Principali metodi di sviluppo della sfera cilindrico e conico fonte: <http://www.treccani.it/enciclopedia/carta-geografica/>

Fig. 2 Albrecht Dürer. "Underweysung der messung". 1525, immagini 33, 34.

Fig. 3: Hernan Ruiz el joven, "Manuscritto de Arquitectura", parte 2-43, Alonso de Vandelvira, "Libro de Tracas de cortes de piedra", 61v.







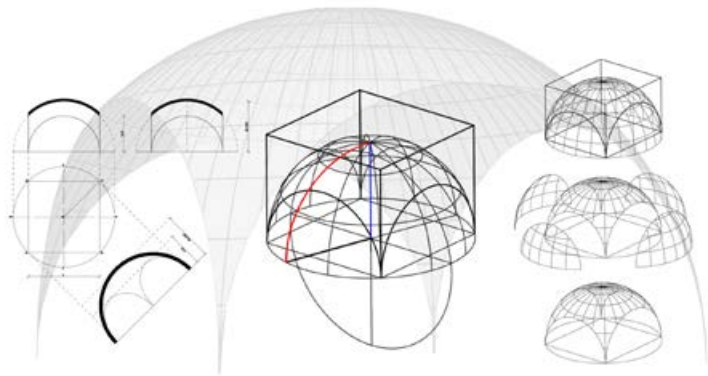
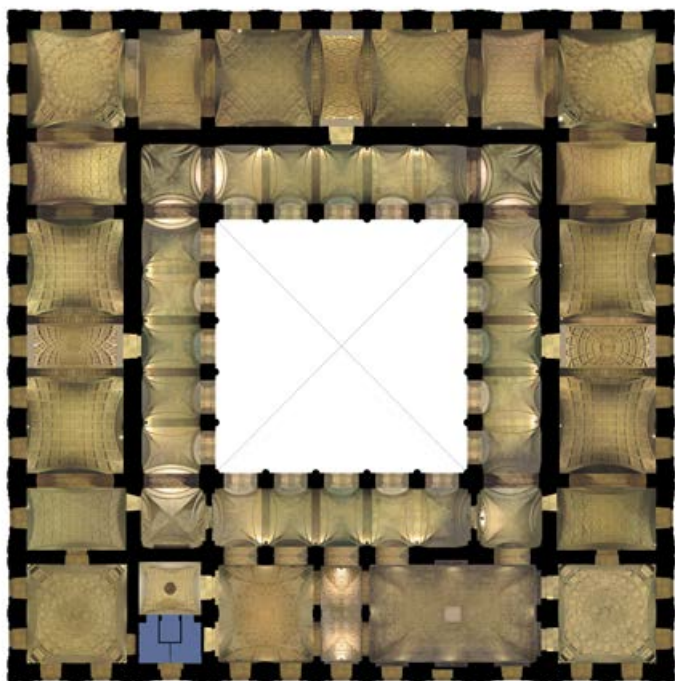
prima istituzione creata dalla corona spagnola per gestire il monopolio e governare gli affari americani e asiatiche) e di contrattazione delle principali corporazioni di mercanti e armatori.

L'edificio fu commissionato dall'Imperatore Filippo II nel 1572 a Juan de Herrera, in un perfetto stile Herreriano<sup>3</sup>. A capo delle operazioni si susseguirono diversi architetti, fra questi possiamo ricordare Juan de Minjares, Alonso de Vandelvira, Miguel de Zumarraga e Pedro Sanchez Falconete, che la completarono nel 1598.

L'archivio delle Indie presenta le coperture degli ambienti con sistemi voltati<sup>4</sup> (fig. 5) di grande interesse sia per la complessità che per l'originalità delle stesse, forse un caso unico nella storia della costruzione. Tuttavia, prima di analizzare le peculiarità di queste strutture voltate, è doveroso chiarire alcuni aspetti sull'evoluzione di questi spazi.

È utile considerare che l'edificio è di carattere civile e che all'epoca raggruppava e finanziava il più importante circolo del sapere composto da matematici e scienziati. Infatti, la Casa di Contrattazione, nonostante la sua dipendenza dal Consiglio delle Indie, divenne il **centro della cultura geografica** europea. I principali matematici e astronomi dell'epoca impartivano lezioni di carattere teorico e pratico, si studiava le teorie sui tracciati sferici del "Tratado de la Esfera" di Pedro de Apiano, i metodi di misurazione cartografica di Martin Cortes e la rappresentazione geografica attraverso l'uso dei planisferi. Fra i principali insegnanti presenti vi era Alonso de Santa Cruz (1510-1572 ca.), cosmografo di Carlo V e Filippo II, con il suo "Islario general del mundo" offerto a Carlo V nel 1540, con cui si prefigeva di descrivere non soltanto le isole ma anche le coste del mondo intero (sono noti soltanto i volumi che contengono la descrizione delle coste Europee e Americane). Quest'opera riprende lo stile dei portolani (carte nautiche che riportano informazioni utili al riconoscimento dei luoghi), tuttavia quasi tutte le carte presentano ai margini scale longitudinali e latitudinali, situazione rara per l'epoca. È comprensibile, quindi, che l'Archivio delle Indie, rappresentasse "il centro" della cultura e dell'evoluzione del pensiero scientifico, ed è molto plausibile che la presenza di questi studiosi conducesse a una revisione del precedente progetto Herreriano<sup>5</sup> secondo le nuove conoscenze e le nuove scoperte scientifiche. Queste, molto probabilmente furono una delle motivazioni per la creazione di un **nuovo metodo** di copertura voltata in pietra che superasse l'originale progetto pensato con le coperture piane lignee.

32



Il sistema voltato in pietra portava con sé una serie di problemi strutturali che furono affrontati da Miguel de Zumarraga con l'ausilio di Alonso de Vandelvira introducendo le volte a vela (porzioni di sfera), Alonso de Vandelvira le chiama "Vuelta Baida"<sup>6</sup> (fig. 6) con intradosso nervato o a cassettoni. Queste volte vennero costruite secondo degli specifici metodi di tracciamento, simili alla tecnica

Fig. 4. Foto, Archivio delle Indie.

Fig. 5. Vista ipofotografica del sistema voltato dell'Archivio delle Indie<sup>4</sup>.

Fig. 6. Rappresentazione geometrica delle volte Baidas.



Fig. 7. Dettagli costruttivi e decorativi delle volte dell'Archivio delle Indie.

“geografica” dello sviluppo conico (superfici coniche disposte nei paralleli) o cilindrico (superfici cilindriche disposte nei meridiani) dei planisferi.

Tale metodo permetteva al progettista (l'apparecchiatore/tracista) di occuparsi di queste operazioni e di poter definire empiricamente e con un buon grado di approssimazione le dimensioni dei conci, lo spessore della calotta e gli angoli di curvatura. (Fig. 7). Dal punto di vista geometrico, le volte sono impostate su pianta rettangolare o quadrata, e hanno una perfetta sezione sferica con piani di imposta alla stessa altezza. Questa circostanza, legata alla diversa grandezza di base delle volte e alla definizione formale dell'altezza del cornicione del prospetto dell'edificio, produsse sul piano di copertura la visione del estradossamento delle volte (fig. 8).

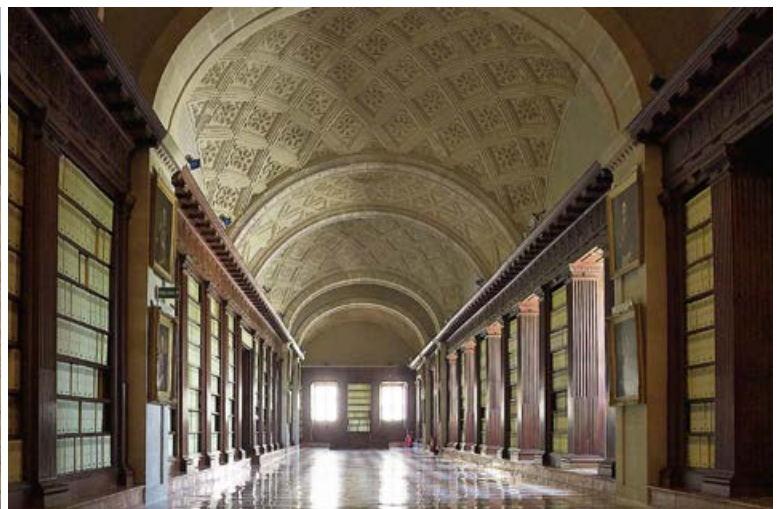
Dal punto di vista costruttivo un particolare aspetto assume il ruolo della apparecchiatura nella definizione formale della struttura voltata. Queste ultime prevedono che i conci siano a sviluppo conico (fig. 9) con due diversi punti di proiezione. Le volte a base quadrata hanno un'apparecchiatura a filari quadrati (proiezione in pianta) e l'asse del cono in direzione orizzontale (fig. 10), mentre, quelle a base rettangolare hanno un'apparecchiatura a filari circolari (proiezione in pianta) e l'asse del cono in direzione verticale (fig. 11).

Questi due metodi per apparecchiare le volte sono noti nel Trattato di Alonso de Vandelvira, come *Cappilla cuadrada por Hiladas cuadradas* (volta a pianta quadrata con filari quadrati) e *Cappilla Perlongada por hiladas redondas* (Volta a pianta rettangolare con filari circolari).

L'apparecchiatura di tipo conico, insieme alla decorazione dei conci, mostra un'altra peculiarità dell'edificio, ovvero un sistema geometrico-costruttivo molto complesso, caratterizzato dalla diversa corrispondenza tra trama costruttiva e trama decorativa (fig. 13). Ovvero, il “motivo decorativo” (sculpto in bassorilievo) non si pone in continuità con la stessa orditura dei filari, ma si sovrappone a quest'ultimo seguendo un proprio tracciato (es. un planisfero in cui, i contorni di un continente sono attraversati dal reticolo dei meridiani e paralleli). La decorazione è quindi scolpita nell'intradosso della volta, ha un tracciato di tipo geometrico (cioè a cerchi di diverso diametro, a reti di esagoni, a quadrati o a cerchi sovrapposti), e ricorda in qualche modo i tracciati dei planisferi o delle teofanie (fig.14) cosmografiche dell'epoca con i meridiani, paralleli, rotte di navigazione, costellazioni, geodetiche, curve lossodromiche? (usate per tracciare le rotte sulle mappe di navigazione) (fig. 7 e 11). La volontà di voler qualificare esteticamente gli spazi voltati attra-

Fig. 8a. Viste del piano di copertura, con l'evidente estradossamento del sistema voltato.

Fig. 8b. Vista interne delle gallerie del piano superiore (foto di José L. Filpo).





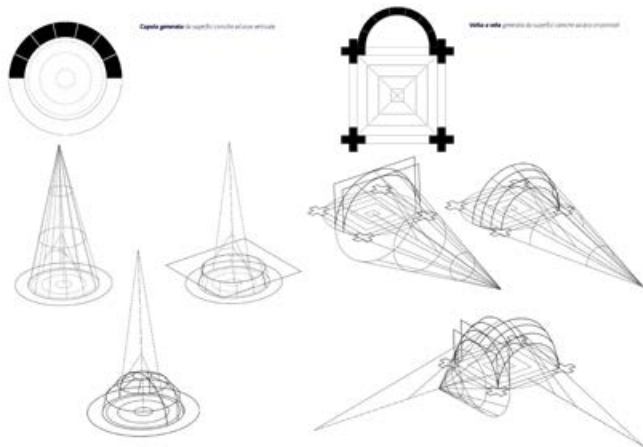


Fig. 9. Sviluppo delle superfici di un sistema voltato con il metodo conico.

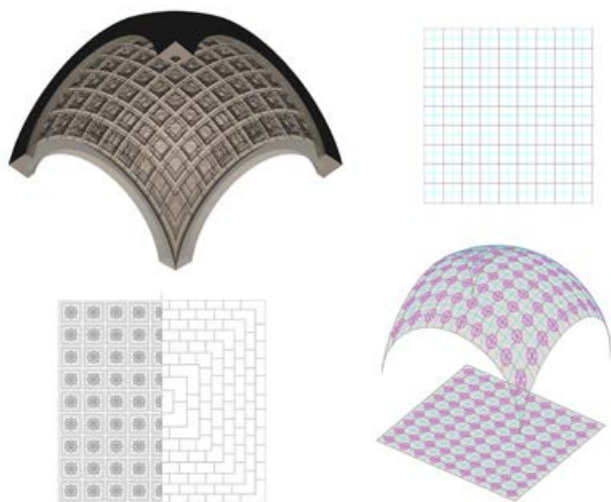


Fig. 10. Archivio delle Indie: Volta a base quadrata con filari quadrati.

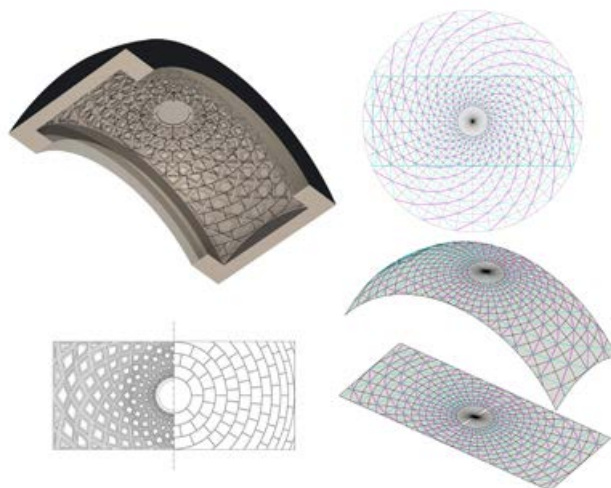


Fig. 11. Archivio delle Indie: Volta a base rettangolare con filari circolari.

verso le complesse apparecchiature e nervature è quindi direttamente legata alle nuove scoperte e la relativa evoluzione della scienza e della cultura dell'epoca.

La tecnica costruttiva di queste volte è facilmente spiegabile attraverso l'analogia della costruzione della sfera, usando il cartoncino con il noto metodo di sviluppo conico o cilindrico. La sfera (è una superficie a doppia curvatura e non può essere riportata sul piano in vera forma) viene discretizzata in un insieme di superfici (fusi) a mono curvatura (cilindro/cono).

Quindi se provassimo ad immaginare i fusi riempiti di "disegni" decorativi potremmo facilmente immaginare la sfera da essi prodotti dopo l'involuppo, totalmente decorata. Tali decorazioni vengono prima disegnate, opportunamente sul piano (direttamente sul fuso) e poi piegate ed assemblate per ricostruire la sfera (discretizzata) (fig. 15).

L'operazione di **piegatura** è una tipica operazione topologica<sup>8</sup>, in quanto la corrispondenza tra il cartoncino piegato e la superficie voltata definisce una sorta equivalenza<sup>9</sup>. La topologia pone, quindi, l'equivalenza tra una figura geometrica euclidea e la stessa figura deformata. Al riguardo, il Prof. Giuseppe Fallacara descrive un importante passaggio sul rapporto tra i processi stereotomici e i processi topologici: "*È ovvio che, tra processi topologici e processi stereotomici, intendiamo qui solo analogie concettuali, in quanto, 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 caratterizzato da discontinuità e discretizzazione della superficie (approssimazione a piani, cilindri e coni)*"<sup>10</sup>.

Va da sé che altri livelli di corrispondenza topologica nei sistemi stereotomici riguardano le già note superfici sviluppate (piane) con le corrispettive superfici spaziali.

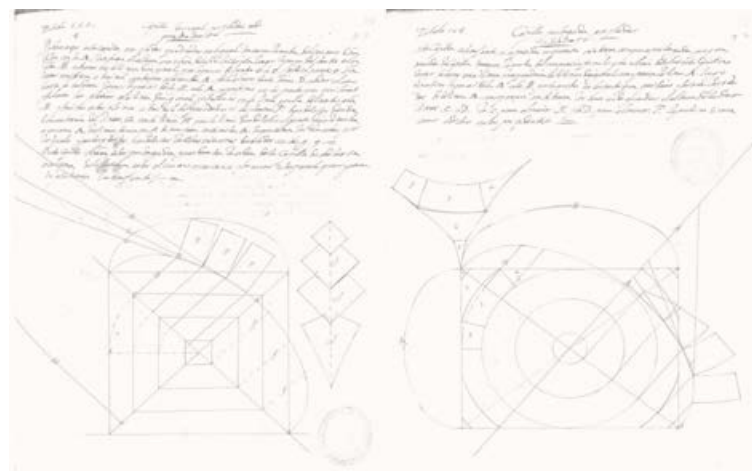


Fig. 12. Immagini del trattato "Libro de Tracas de cortes de piedra" de Cappilla cuadrada por Hiladas cuadradas 93r e Cappilla Perlongada por hiladas redondas 78r.



Lo **spazio topologico** quindi pone una sorta di equivalenza tra le forme euclidee e le forme deformate. A riguardo può essere utile per approfondire il rapporto tra stereotomia e operazioni topologiche, descrivendo un prototipo ("cuffia sferica decorata") realizzato in occasione di Verona Marmomacc nel 2013 (C. D'Amato, G. Fallacara, V. Minenna), tale prototipo è tratto dalla plantillas t 114 (*Capilla Enlazada*) del *Libro de cortes de piedra* (1591), un trattato di stereotomia scritto da Alonso de Vandelvira in cui vi è un metodo per la realizzare trame decorative prettamente geometriche su superfici sferiche tramite l'utilizzo dei metodi di proiezione e che può essere stato alla base delle volte dell'Archivio delle Indie.

Questa tecnica presuppone lo sviluppo delle superfici sferiche attraverso l'utilizzo delle proiezioni coniche per la realizzazione di un qualsiasi tipo di decorazione su intradosso perfettamente sferico (fig 14) (il pattern decorativo viene applicato allo sviluppo piano ottenuto e successivamente riportato sull'intradosso del sistema voltato) come si è visto nell'Archivio delle Indie. L'obiettivo che il prototipo proponeva era il raggiungimento di uno stesso tipo di esito formale attraverso l'aggiornamento della tecnica (fig. 16): in questo caso l'utilizzo delle tecniche proiettive è integrato dall'apporto dei moderni sistemi CAD-CAM (il tracciato viene proiettato direttamente su un quarto di sfera, e successivamente lavorato dalle macchine CNC sul concio di pietra) che semplificano il procedimento di realizzazione senza alterare l'influenza del sistema decorativo sul carattere dello spazio architettonico. Questa metodica contiene una serie di vantaggi e svantaggi rispetto all'originale metodo che si possono così riassumere: vantaggi-la velocità di elaborazione e costruzione dei singoli conci, il massimo controllo delle forme; Svantaggi-la decorazione in bassorilievo dei conci, elaborata fuori opera, è soggetta a difficoltà di montaggio e a possibili fratture nella posa degli elementi.

Un ulteriore esempio di come l'evoluzione dei metodi di analisi e di progetto, integrati dalla modellazione tridimensionale parametrico/variazionale<sup>11</sup>, abbiano influenzato il rapporto tra stereotomia e spazio topologico è mostrata nell'esempio qui riportato con un esercizio sulla sfera (fig 17). In questo caso grazie all'utilizzo di Grasshopper<sup>12</sup>, si dimostra come gli algoritmi generativi all'interno di un processo progettuale, possano garantire la gestione delle complessità geometriche legate allo studio della sfera. Nello specifico si può notare come nel caso di una semplice semi-sfera, assimilabile a una cupola, vi siano dei dati di progetto (dati di partenza) ovvero il numero dei filari, il numero dei conci per filare, lo spessore della calotta e il raggio di quest'ultima. Se volessimo quindi modificare uno solo di questi parametri come il raggio della calotta (da 10 a 15) come nel esempio, avremo istantaneamente una modifica dimensionale dei singoli elementi, ovvero i conci della calotta si ridimensioneranno (dimensione e forma) mentre il numero dei filari, il numero di conci per filari e lo spessore rimarranno invariati. Questa tecnica si avvale del processo di "propagazione delle modifiche"<sup>13</sup> che avviene in maniera istantanea attraverso sequenze logiche progressive. Il sistema parametrico ri-genera, autonomamente l'intera geo-

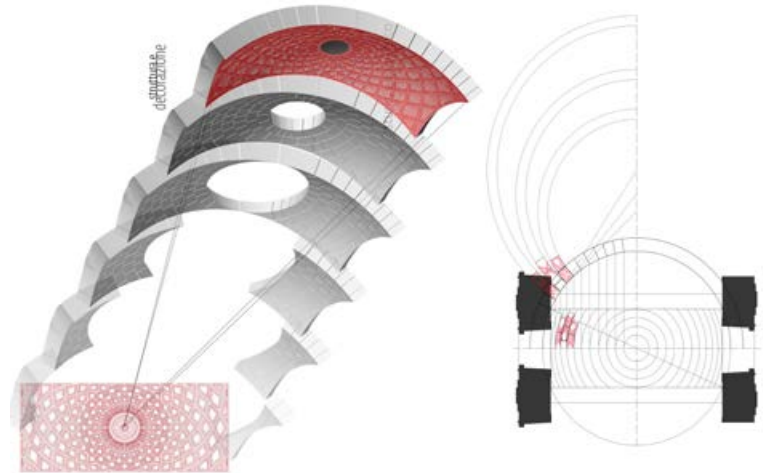


Fig. 13. Rapporto tra apparecchiatura di tipo conico e trama decorativa<sup>14</sup>.



Fig. 14. Carta di M. Walseemuller, del 1507. Libreria del Congresso di Washington.

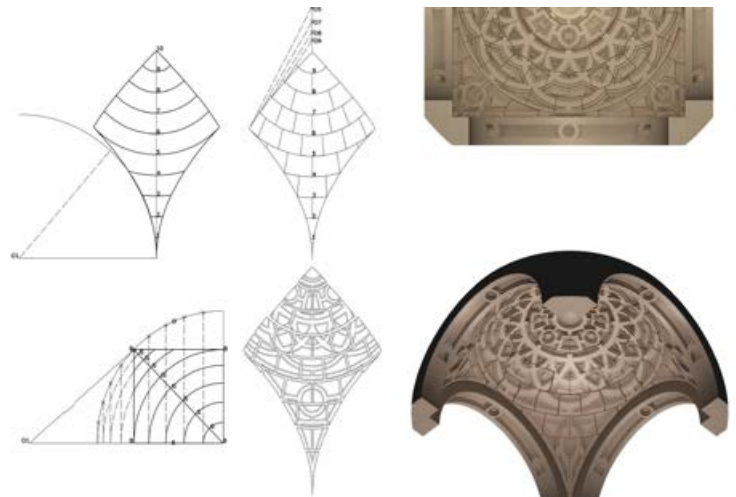


Fig. 15. Alonso de Vandelvira, Capilla Enlazada 115v.

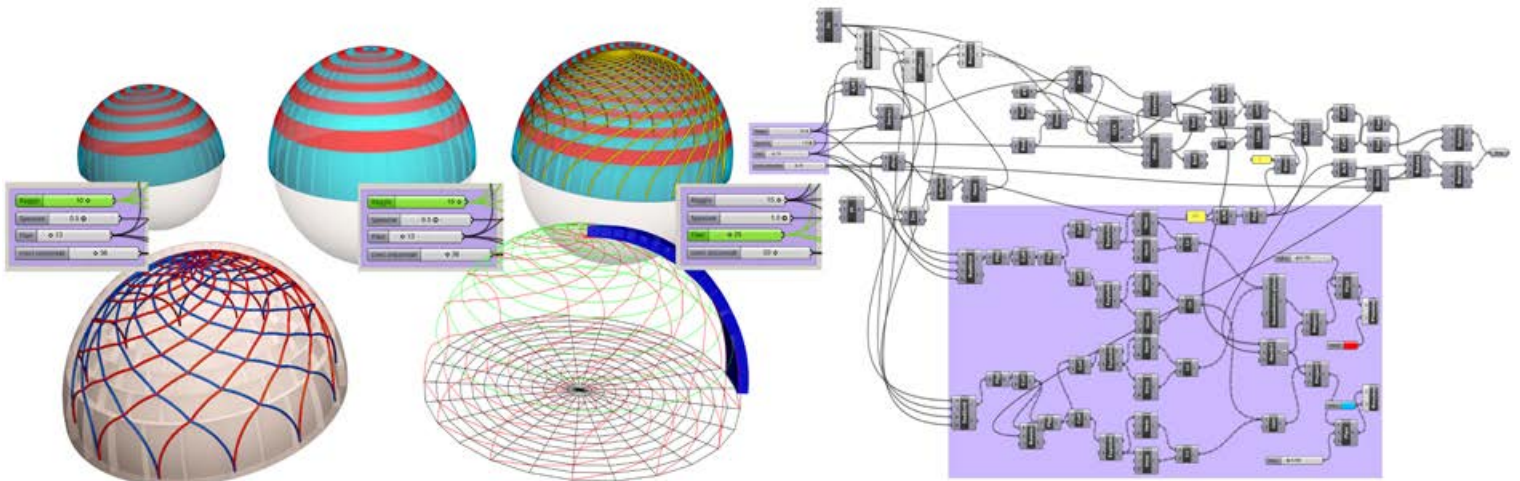


metria, ricostruendo un nuovo modello geometrico lineare, dimensionalmente corrispondente a quanto richiesto.

La successiva modifica degli altri parametri dimostra come il progetto venga ideato come un'unica struttura logica che, attraverso l'utilizzo di codici di trasformazione, punta verso una possibile soluzione che soddisfi la qualità cercata (dato di arrivo). Le possibilità che questo metodo offre sono innumerevoli, l'eventuale inserimento di ulteriori complessità geometrica (un'ulteriore decorazione) sulla superficie della calotta (fig. 17) mostra come l'interconnessione delle diverse "parti" (variabili di progetto) influenzi reciprocamente tutte le parti del sistema. Lo scopo di questi metodi è indagare nuovi modi per progettare gli elementi architettonici attraverso soluzioni che offrano maggiore libertà nella creazione della forma. Queste tecniche innovative (di quotidiano aggiornamento) insieme alla studio della tradizionale progettazione stereotomica risultano essere di fondamentale importanza per la riformulazione dei principi sottesi alla creazione di forme per una nuova architettura di pietra, in continuità con la tradizione costruttiva lapidea.

Fig. 16. Prototipo "cuffia sferica decorata" presentato a Verona, Marmomacc 2013 (C. D'Amato, G. Fallacara, V. Minenna).

Fig. 17. "Sfera" Esempio di un progetto parametrico generativo.



*Il presente saggio è in parte estratto dalla tesi di Dottorato dal titolo:*

*Forma e struttura dei sistemi voltati complessi nell'opera "vandelviresca", prolegomeni alla relazione tra la pratica della stereotomia e l'apparato decorativo del "libro de tracas de cortes de piedra" di Alonso de Vandelvira.*

*Autore: Vincenzo Minenna*

*Tutor: prof. Claudio D'Amato Guerrieri, Jose Carlos Palacios Gonzalo*

*Politecnico di Bari, Dottorato in progettazione architettonica per i paesi del mediterraneo, XXIV ciclo, discussa 8.6.2012.*

#### Note

[1] Albrecht Dürer, in *'Underweysung der messung'*, 1525, definì i primi metodi della proiezione e sviluppo cilindrico della sfera su di un piano. Juan Perez de Moja, *'Obra intitulada fragmentos mathematicos. En que se tratan cosas de geometria, y astronomia, geografia y philosophia natural, sphaera, y astrolabio, y navegacion, y relojes. Ordenada por el bachiller juan perez de moja, natural de santisteban del puerto'*. Salamanca, 1568. Vi sono interessanti osservazioni sulla sfera e il rapporto di quest'ultima con i poliedri e i "corpi regolari".

[2] In riferimento a questa ipotesi, è molto interessante l'approfondimento di Pinto Puerto (2001) *'Las esferas de piedra'*, pp. 127-154, sul rapporto che ebbero le scoperte scientifiche sulla navigazione e i nuovi metodi di tracciamento riferiti ai sistemi sferici.

[3] Lo stile herreriano è uno stile architettonico che si sviluppò in Spagna a partire dalla metà del XVI secolo, in concomitanza con la costruzione della reggia-monastero di El Escorial (foto) voluta da Filippo II. Il nome deriva dall'architetto Juan de Herrera (1530-1597), che disegnò il progetto escorialense. Lo stile herreriano è considerato come l'ultima tappa del Rinascimento spagnolo, e la sua caratteristica principale è il costante utilizzo del muro, privo di decorazioni, per dare una sensazione di grande voluminosità. I tetti degli edifici, quasi sempre di legno, sono ricoperti di ardesia e sormontati dai tipici capitelli piramidali a punta.

[4] L'Archivio presenta al primo piano due diversi apparati voltati in pietra: nelle gallerie interne si ha una serie di volte a botte lunettate con agli angoli delle volte a crociera; nelle gallerie esterne è invece presente una serie di ventuno apparati voltati a pianta quadrata o rettangolare.

[5] Juan de Herrera prevedeva per questo edificio l'uso di strutture in pietra e mattoni al piano terra, mentre per il primo piano aveva ideato una struttura muraria in pietra con copertura lignea, in base alla tradizione costruttiva dei palazzi italiani dell'epoca e come conseguenza della logica strutturale in questo tipo di edifici. Il tipo stabilito consisteva nel coprire la pianta del piano terra con delle volte in pietra di grande semplicità e dal comportamento statico primitivo; infatti, le spinte di queste volte erano bilanciate dal peso del piano superiore, a loro volta coperto da una struttura lignea che non produceva spinte. La soluzione adottata da Herrera, per la copertura degli spazi, era l'unica che si potesse adottare nell'architettura civile rinascimentale, perché in essa era prevista la facciata piana che configurava la strada e la città, e pertanto questi edifici non potevano integrare nella facciata elementi edificatori atti a risolvere il problema strutturale delle spinte di un sistema voltato. Le costruzioni religiose, potevano coprire grandi spazi di considerevole altezza con volte in pietra, grazie all'ausilio di navate laterali, di archi rampanti e di pinnacoli, che permettevano di concentrare e trasmettere al terreno le forti spinte prodotte dalle volte.

[6] Si deduce, quindi, che questo tipo d'intervento farà dell'Archivio delle Indie probabilmente il primo edificio civile in occidente voltato in pietra su tutti i livelli. Un impianto simile si ritrova presso Monastero di San Jeronimo a Siviglia ad opera di Miguel de Zumarraga.

[7] La lossodromia, così definita dal matematico olandese Willebrod Snells, è una specie di spirale (logaritmica) su una superficie sferica; è una curva spaziale. Il cerchio intersezione di tale piano con la superficie divide la Terra in due emisferi e viene chiamato "cerchio massimo". L'equatore è il solo cerchio massimo completo del reticolo geografico. Ogni meridiano è la metà di un cerchio massimo. Nell'ipotesi di Terra sferica tutti i meridiani hanno la stessa lunghezza e misurano metà dell'equatore. La lossodromia, dal greco  $\lambda\omicron\sigma\delta\rho\mu\acute{\epsilon}\omega$  che significa "che corre obliquo", è una linea che taglia tutti i meridiani con lo stesso angolo. Tutti i meridiani hanno una lossodromia a  $0^\circ$  (nord) o  $180^\circ$  (sud), a seconda della direzione del moto. L'equatore e tutti gli altri paralleli hanno una lossodromia a  $90^\circ$  (est) o  $270^\circ$  (ovest). Tutte le altre lossodromie tagliano i meridiani con un medesimo angolo che si ricava da una curva conosciuta col nome di "curva lossodromica". Procedendo lungo questa curva ci muoveremmo a spirale attorno alla Terra.

[8] Nella storia il termine topologia (stato dei luoghi, dal greco τόπος, τόπος, "luogo", e λόγος, λόγος, "studio") e il relativo "Spazio Topologico" nascono presumibilmente soltanto nel XVIII secolo, per merito di Eulero che, nel 1736 pubblicò un articolo sulle soluzioni per il ponte di Königberg.

[9] G. Fallacara, *'Verso una progettazione stereotomica'*, Roma, (2007). Pag 84-90. *"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 rettangolo di partenza. Si realizza quindi una corrispondenza biunivoca tra una superficie piana ed una spaziale. Una trasformazione topologica, o 'omeoformismo', 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)".*

[10] G. Fallacara, *'Verso una progettazione stereotomica'*, Roma, (2007). Pag 84-90.

[11] V. Perna, <http://valerioperna.blogspot.it/>, Luglio 2014. *"Tuttavia il concetto di 'parametrico' e le sue applicazioni in architettura risultano essere ad oggi poco definite, relegando questa definizione più all'azione pratica legata all'utilizzo di determinati software che consentono la creazione di forme assai complesse, piuttosto che ad una chiara definizione del sistema di relazioni che intercorrono tra i vari 'parametri' durante il processo ideativo-progettuale. Il termine 'progettazione parametrica', infatti, sta ad indicare una progettazione basata sull'adozione di 'parametri'. Secondo i dizionari ufficiali, la parola 'parametro' si riferisce ad un dato che modifica una situazione, ma poiché tutti i progetti di edifici sono influenzati da condizioni esterne, questa definizione non riesce a dare una risposta esaustiva circa l'importanza dei 'parametri' all'interno della progettazione architettonica. Esiste anche una definizione matematica del termine che riconduce la parola 'parametro' ad una scala di valori. Questo significato venne introdotto da J. L. Lagrange nel 1774 per indicare delle equazioni differenziali che usassero delle variabili addizionali; tutto ciò venne poi implementato nella geometria analitica per l'elaborazione di curve complesse".*

[12] Grasshopper® è un editor grafico algoritmico strettamente integrato con gli strumenti di modellazione di Rhino 3-D

[13] G. Fallacara *'Verso una progettazione stereotomica'*, Roma, 2007. Capitolo VI. Pag 96. *"La variabilità dimensionale del disegno costituisce la principale caratteristica dei sistemi CAD per il disegno parametrico: l'utente può modificare il valore di parametri dimensionali (quali raggi, angoli, distanze) causando la corrispondente variazione dell'entità geometrica tridimensionale cui il parametro è riferito, inducendo inoltre la propagazione di variazioni alle entità geometriche connesse direttamente o indirettamente all'entità modificata".*

[14] Immagini rielaborate dalla Tesi di Laurea *Siviglia-Salento*, Politecnico di Bari, Facoltà di Architettura A.A. 2009-10 Relatori: C.D' Amato, G. Fallacara, Tutor V. Minenna.





Exhibition *Stereotomic Design*, Marmomacc 2014.

**STRUCTURAL STONE DESIGN**  
 STUDIO PALLADINO STUDIO STRONZANI  
 AGENZIA ATILIO DE LA PARRA DANIELE - ROMERO

**EVOLUZIONE | DALLA MANO AL ROBOT**

# STEREOTOMIC DESIGN EXHIBITION. EVOLUTION: FROM THE HAND TO THE ROBOT

\*Micaela Colella

\* Architect - Graduated from the Faculty of Architecture, Polytechnic of Bari.

*"Talking about stereotomic design means to assume a theoretical/practical background paradigm which is appropriate to the creation of architectures that are conceived by using vaulted architectural systems or elements that resist thanks to their own structure and composed by discrete units that don't need mortar. A paradigm like that is attributable to the traditional building methods, specifically with stone and timber, for which, the idea of bounding parts represents the particularity of architectural character and expressiveness. Today, stereotomy is unfortunately missing both constructive practice and educational teaching, turning out to be as a partial and isolated research in history of construction field."*  
(G. Fallacara, *Verso una progettazione Stereotomica*, 2007).

The exhibition, edited by Prof. Arch. Giuseppe Fallacara within Marmomacc 2014, entitled "Evolution: from the hand to the robot", reveals without hesitations the intention to prove that stereotomy art, considered for a long time a dry branch of Descriptive Geometry is, instead, a branch of knowledge with still working principles, able to adapt and evolve, simultaneously with the constant upgrade of planning instruments, cutting technologies and stone assembling. This was achieved by researcher's work, research centres and companies active in this field, which ask themselves about how one can to keep alive the relationship between stereotomy and executive world.

In this sense, the concept of the exhibition relates ideally to the lithic "Adam's Creation", that is, regarding to the stone cutting technologies: from the hand to the robot, indeed.

The exhibition is opened by a project that is realized through classical stone processing techniques by stone cutters, during the "Stage de stéréotomie 2014", when students have had the opportunity to try their hands with this fascinating handmade work, building a full scale prototype. The partnership between the "ICAR Department of Polytechnic of Bari" and the "Atelier de la Pierre d'Angle in Brignoles, Picardie", allows those important educational experiences, meant as studying instruments and morphological-structural consideration, that leads to a deeper knowledge about stone material in new constructive languages.

The "robotic" part, on the other hand, is the result of a series of experiences, geographically distant, but intellectually similar, between Giuseppe Fallacara and two talented researchers, Brandon Clifford (MIT) and Jelle Ferringa (TU Delft), which have been active for a long time in the update of stereotomic techniques, which are represented by the most important planning contributions they have developed in the last few years. These experiments have inspired the creation of "Parabolithic", a Carrara white marble structure (which has a building footprint of 4x6 m and a maximum height of 2,80 m),

39





Exhibition *Stereotomic Design*, Marmomacc 2014.

sail-shaped according to the hyperbolic paraboloid geometry, in collaboration with MGI Sicilmarmi and T&D Robotics.

The thread that binds the similarity between human and robotic hand is also analyzed in its biomechanical implications, where the articulation mechanisms between different parts that make up the human skeleton, become the starting point for new experiments. This is the case of "Osteomorphic Wall", a research by Prof. Yuri Estrin with colleagues at Monash University and the University of Western Australia, which accidentally is related to the previous experiments about "Obelisco Alexandros" (G. Fallacara, C. D'Amato Guerrieri – Venice, Xth Biennale of Architecture, 2006) and, before that, at the "Truchet Vault" patent. In all of these topics the shape of the coupling, which has a biological derivation, is essential for the assembling and the construction's static integrity.

Beyond the graphic component, the exhibition involves the construction of a lithic cube, built with maxi-ashlars made of

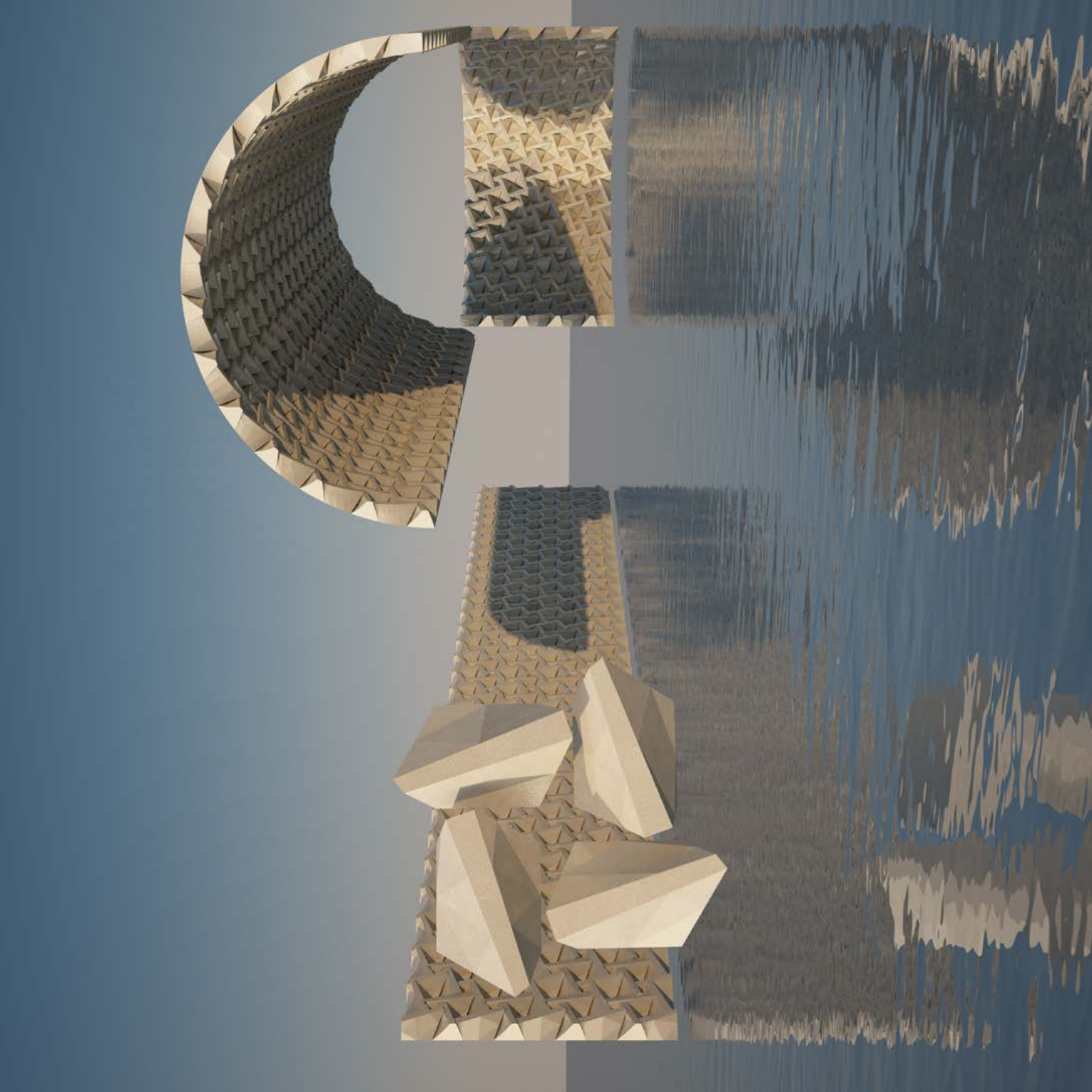
"leccese" stone, in which are carved human faces in negative, that encourage the spectator to look inside the stone and discover the specific application. Inside the box, through the sculpture's eye holes, one can observe a sequence of images and video clips in anaglyph 3D vision.

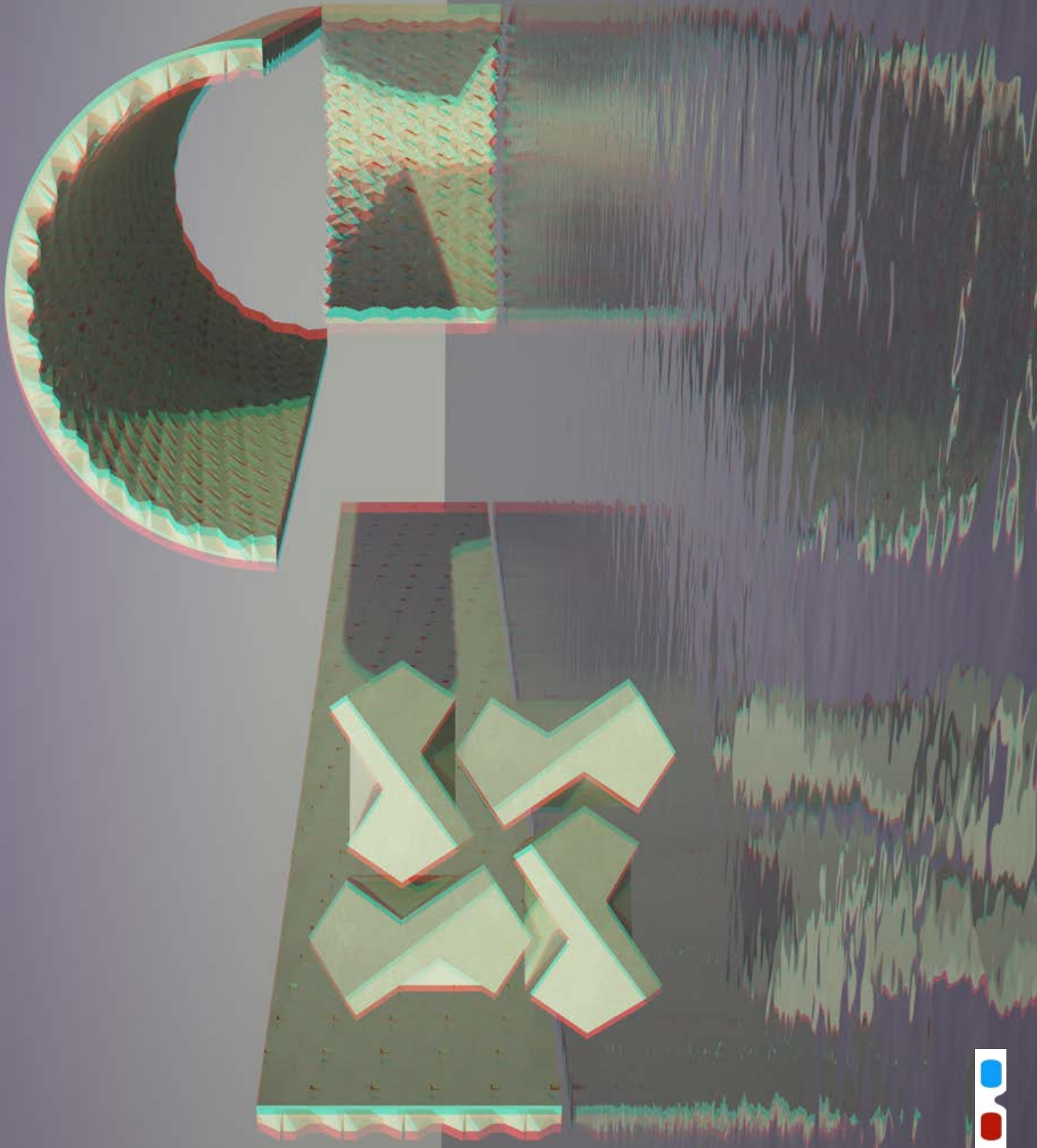
The reference is to the tabernacle-world representation by Cosma Indicopleuste, presented by Umberto Eco in "Baudoilino", composed by a huge barrel vault standing on top of a parallelepiped, in which a starry sky is imaged, known as "Stereoma" or "Firmament".

The images projected on the screens describe exactly stereotomic complex vaulted spaces, which refers to the Firmament starry vault, justifying the terminological affinity between "Stereotomy" and "Stereoma". Vaults images, which are made by parametric modellers, flow, while a soundtrack comes from inside.

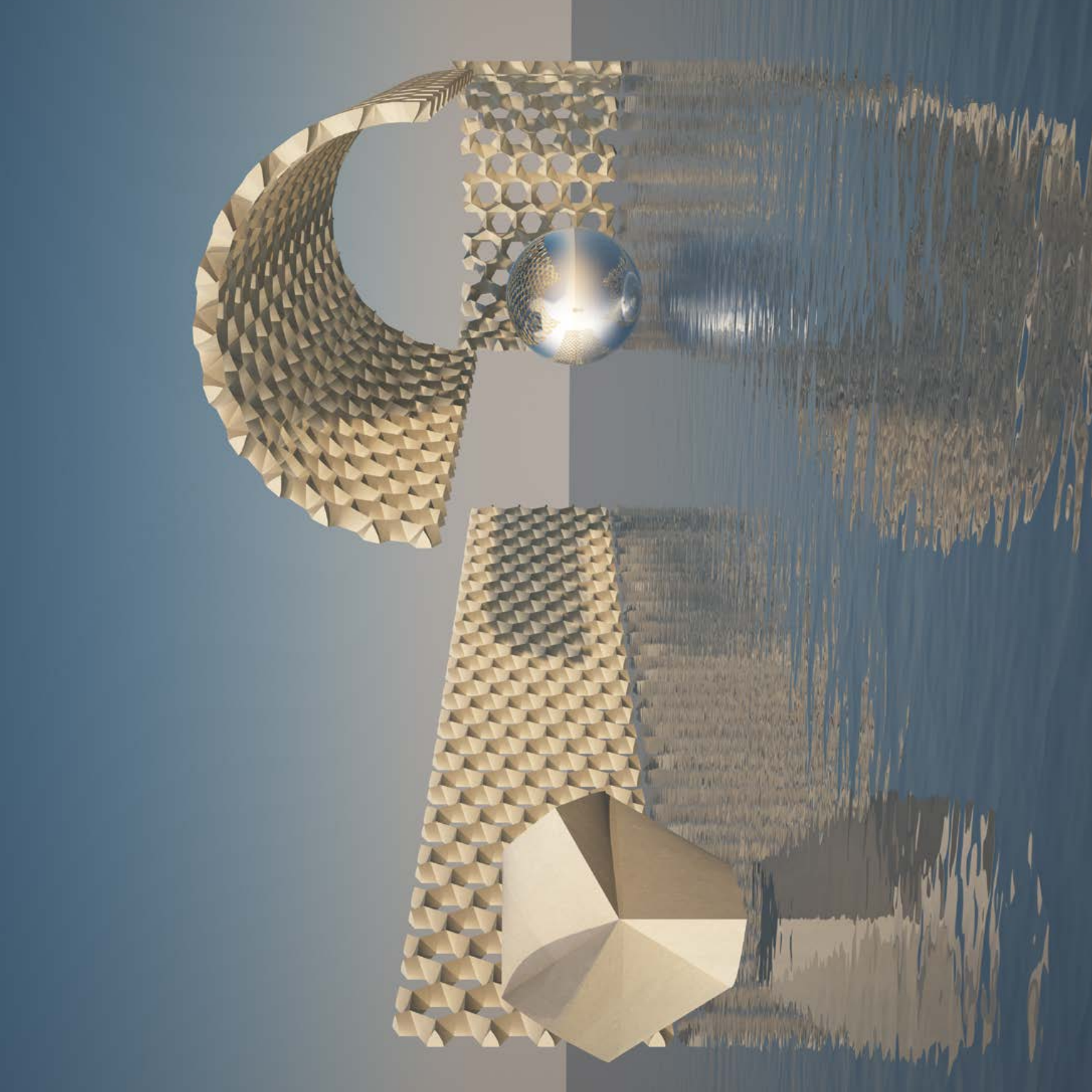


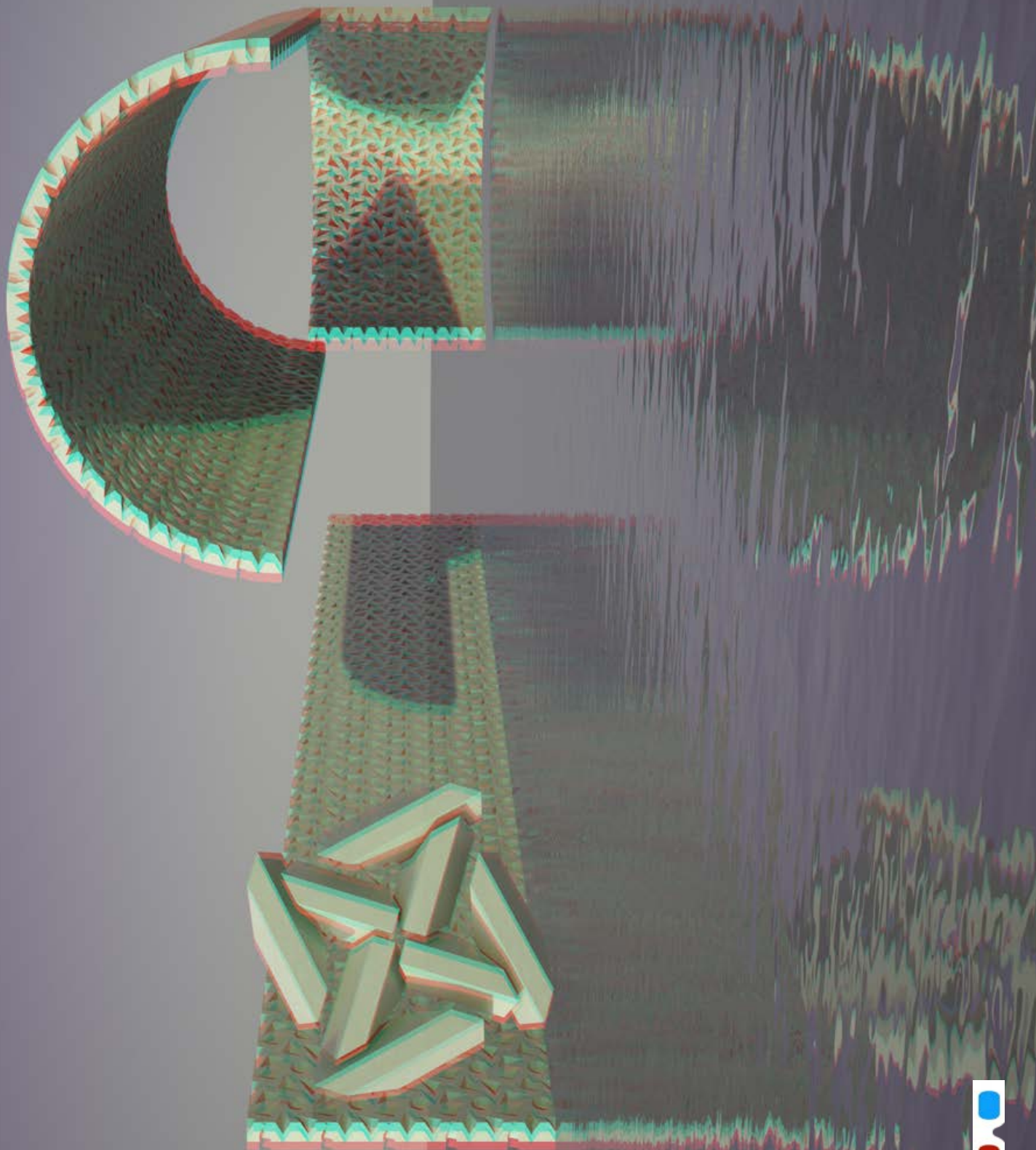




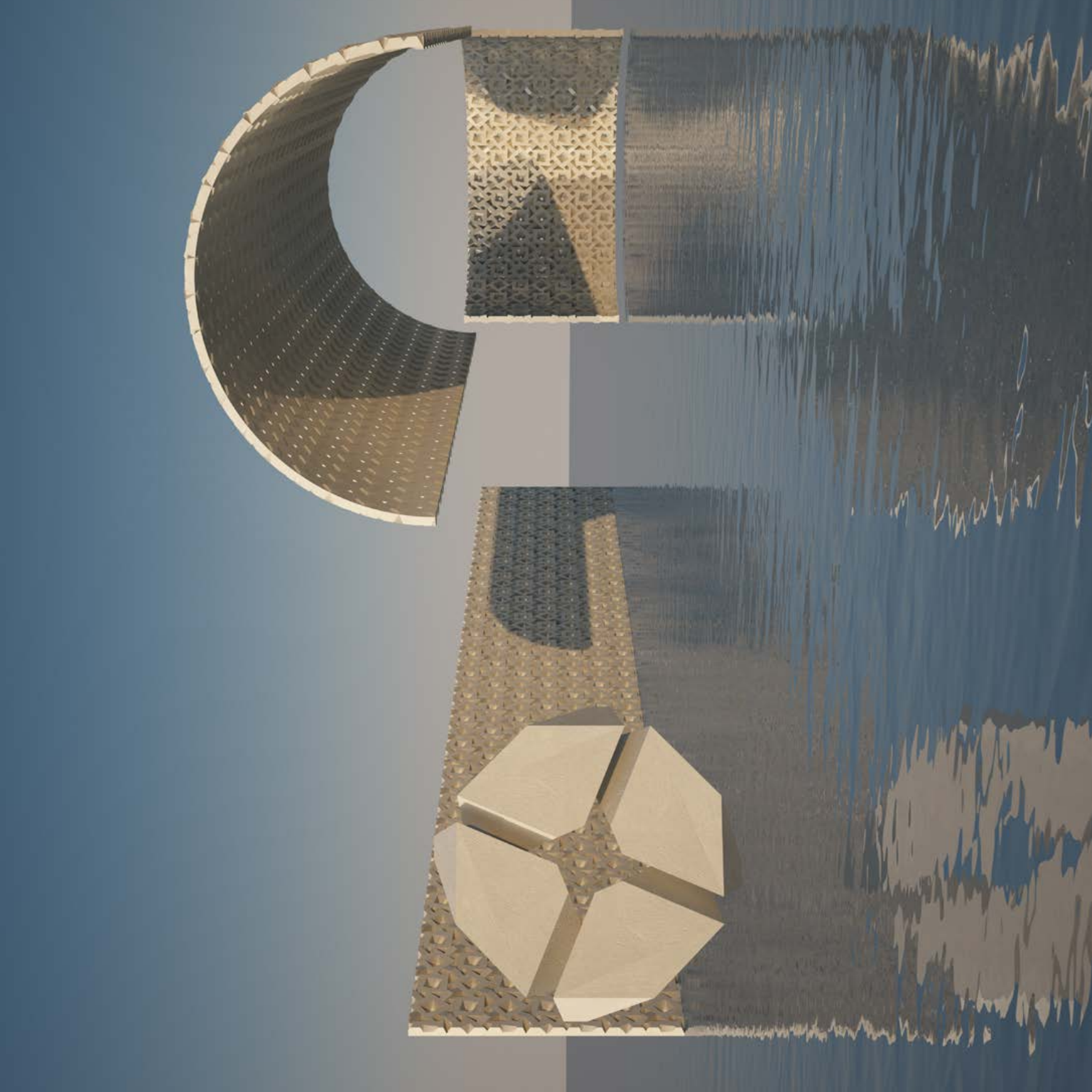






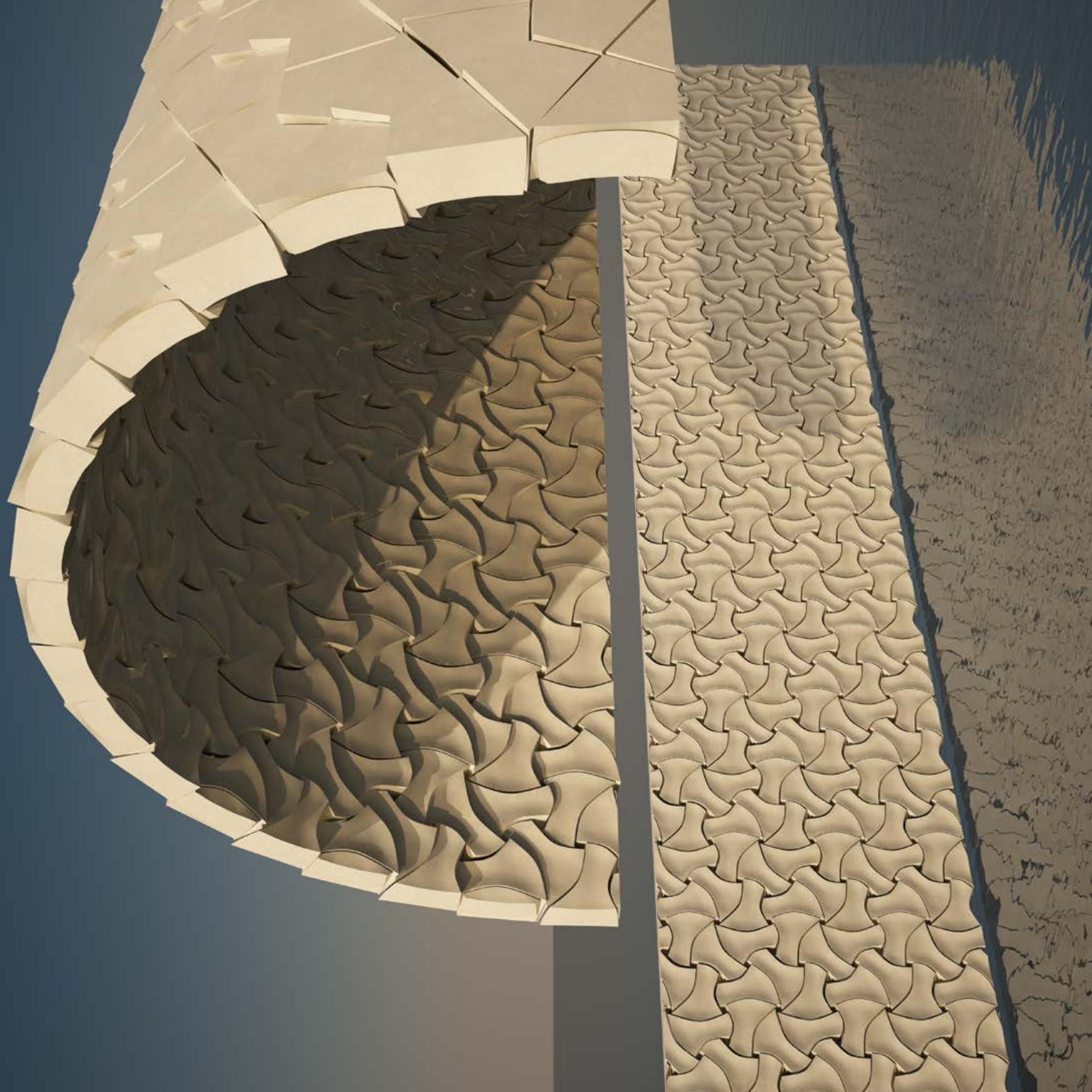




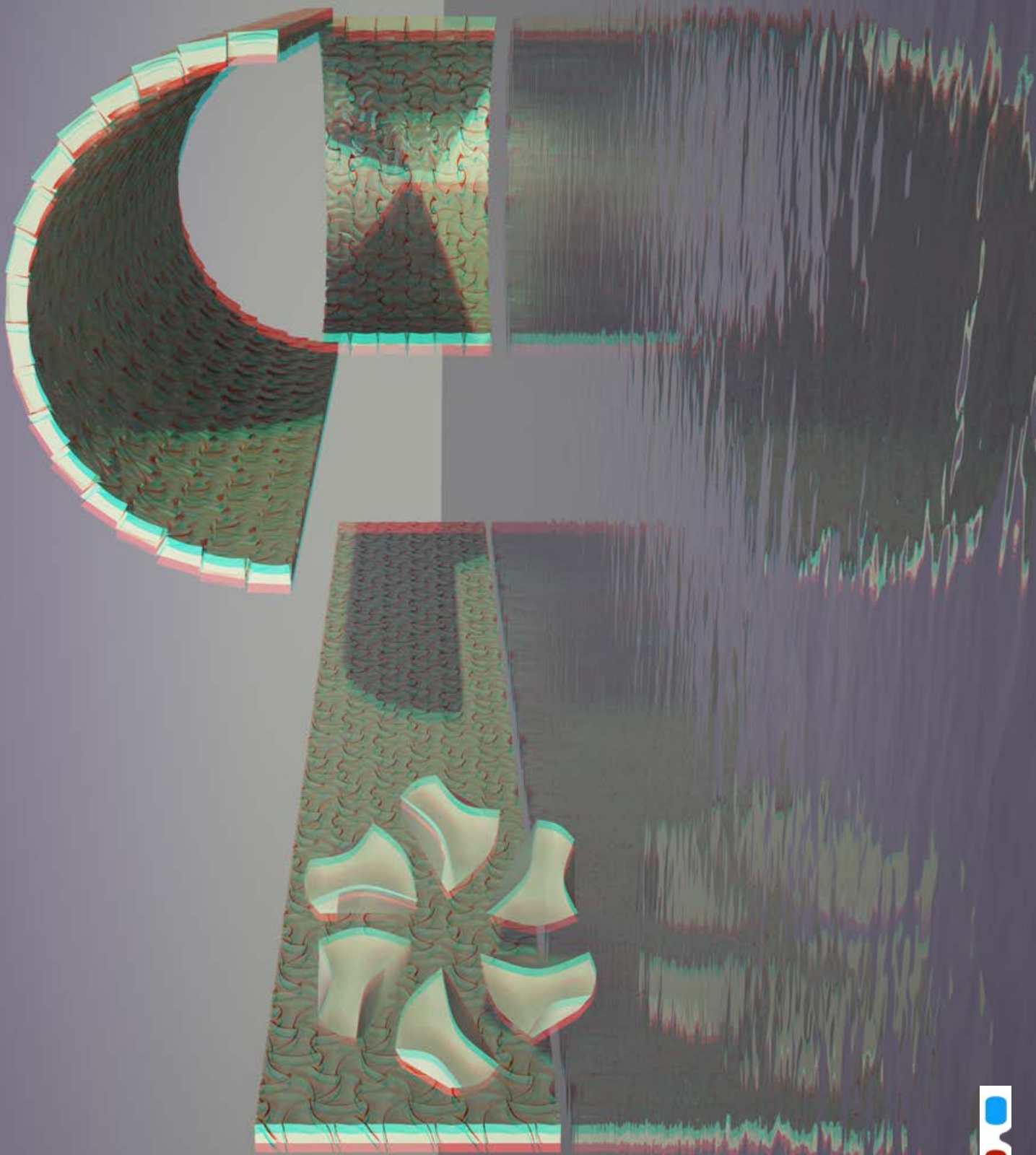




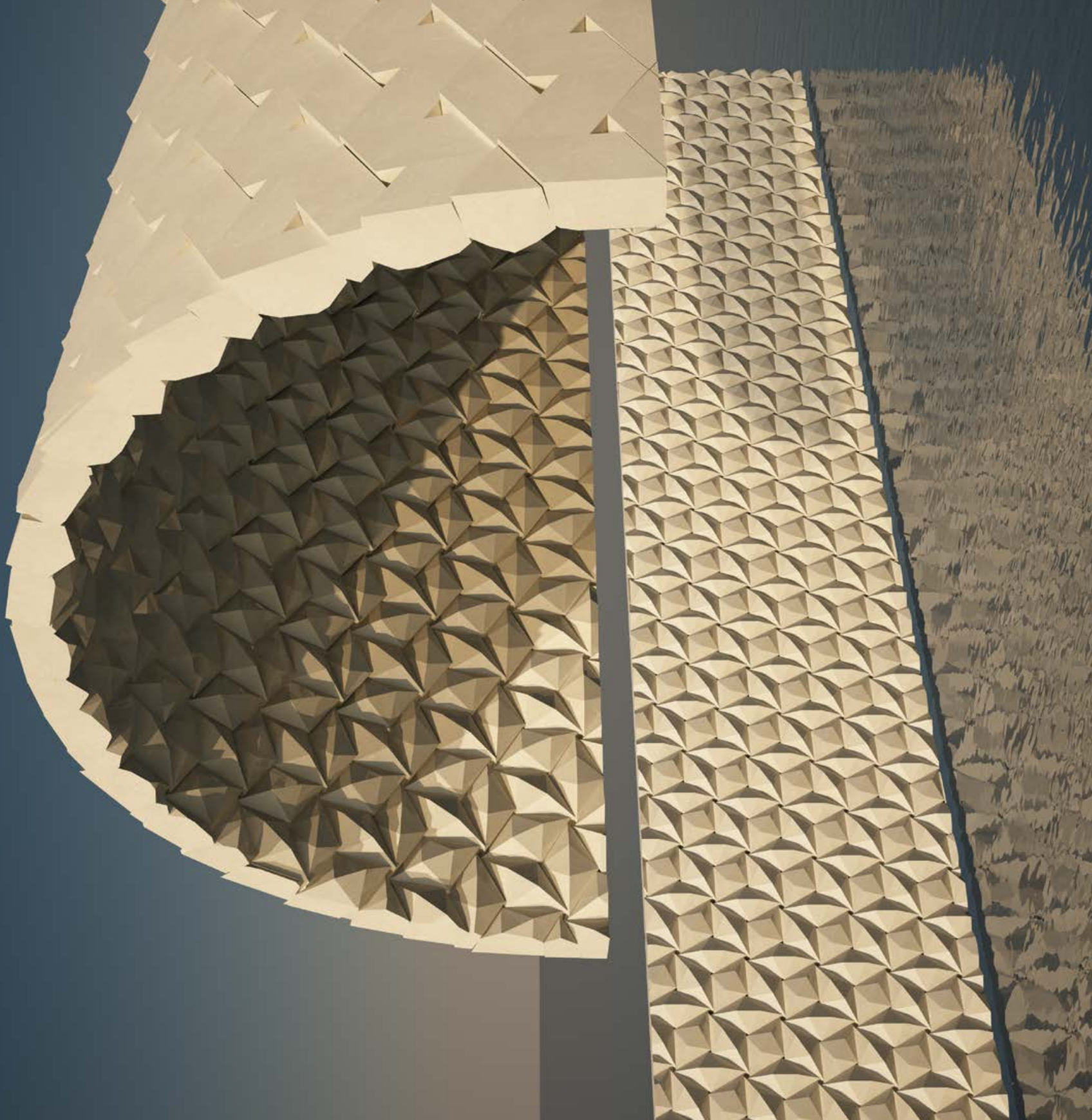


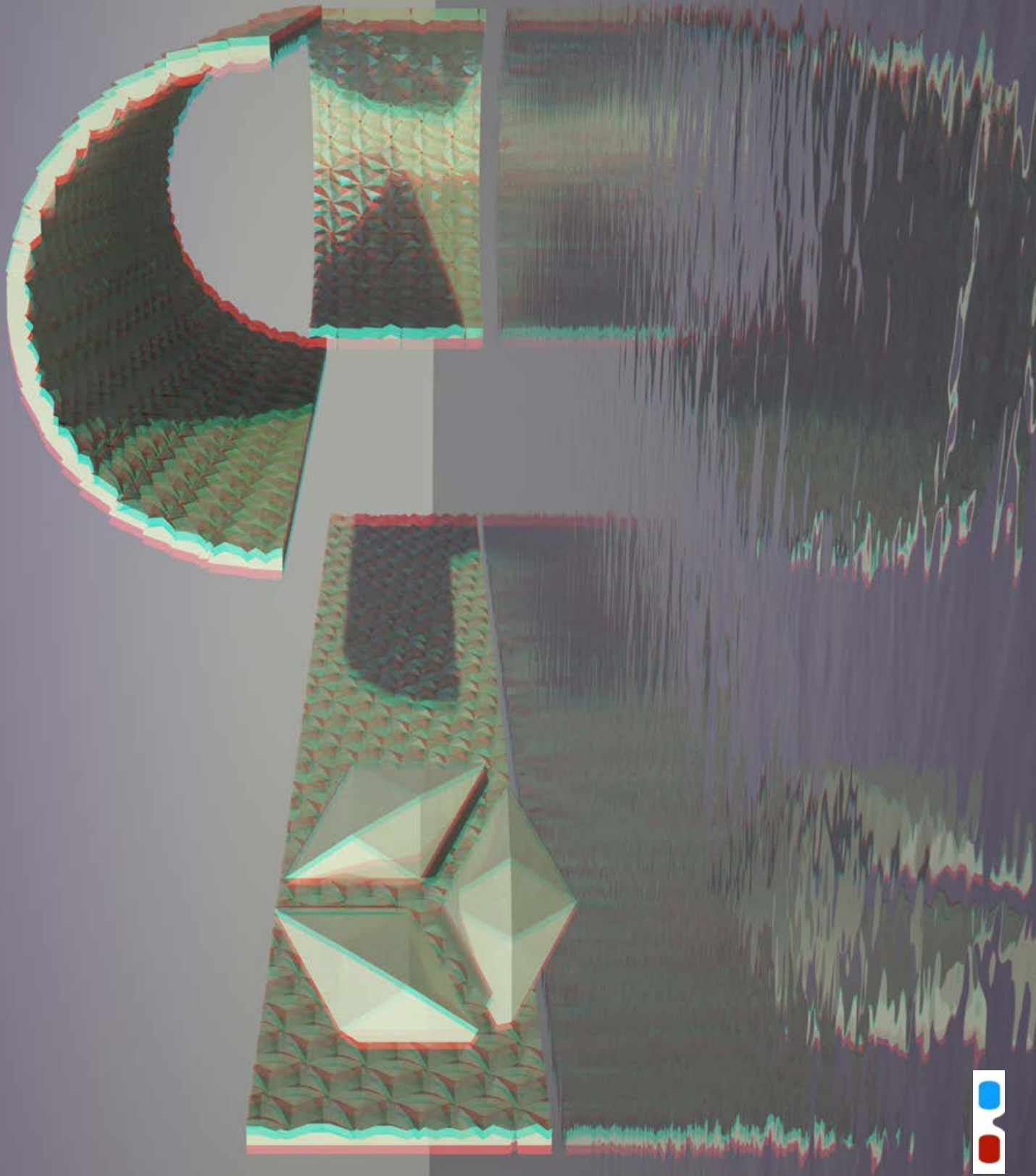
















G. Fallacara, Reinforced crossed arches, stage "Stereotomie, les pratiques anciennes et nouvelles 2014", Saint Maximin 2014.



# BUILDING THE STEREOTOMIC DESIGN

\*Maurizio Barberio

\* Architect - Graduated from the Faculty of Architecture, Polytechnic of Bari.

During the stage "*Stereotomie, les pratiques anciennes et nouvelles 2014*" was built in full scale, one building span that will contain the new "*Atelier de taille des pierres*" in the Carrières of Saint Maximin (Oise - Picardie - FR), consisting of four crossed arches on a square plan. Compared to the diaphragm arch disposed in parallel planes of the company's headquarters SNBR<sup>1</sup>, of which represents the natural evolution, the new trial is grounded on three basic ideas:

1. Soar the diaphragm arch to its limit;
2. Prestressing arches through an innovative system designed specifically for the project;
3. Create an independent and solid span, made up by four base crossed arches and a wooden cover<sup>2</sup>.

The triangle-shaped geometry that controls the diaphragm arch, an ideal lithical implementation of northern France common wooden roofs, allows the inside placing of straight steel cables conveniently tightened thanks to a pulleys system that are placed in the keystone. This innovative system redirects the cables themselves down and connect them at the intermediate floor slab, which puts them in tension due to the gravity force, pre-compressing the stone ashlar. The studied expedient allows to solve the cables stress loss over time of prestressed structures, which in this way self-adjust in time. As explained by the designers themselves, "*the idea is to develop an independent and stable span composed of four supporting arches and an inner shingle made up of wooden boards, that are arranged in a conical geometry to the four corners of the base square. This span is the basic cell to replicate and multiply for any extensions regarding the building on the one hand, and for new architectural compositions on the other hand*".

During the stage ashlar were handmade, according to the "tailleurs de pierre" rules, but nothing forbids to achieve the same goals with the modern technological means, which the stone industry has at its disposal. Another important prototype feature is represented by the ashlar joints, not straight, but shaped in such a way that makes the clamping between them much more performing, offering the possibility to push the material to the limit of its constructive possibilities. This type of joint, that reminds the human bone arti-

culations, is not unusual in the history of stereotomy, having several antecedents in Armenians or Muslims building. The ancient intuition got a new life thanks to Giuseppe Fallacara who, with Claudio D'Amato, brought to the public attention this type of joints with the "*Obelisco Alexandros*", during the 10th Biennale of Architecture in Venice. Between the blocks, shaped according to the curved surfaces, was interjected a neoprene layer, with the goal to delete the inevitable small irregularities of the contact faces. During the dismantling of the structure an unexpected behavior happened: the maxi-blocks weight had created a "suction effect" between blocks, removing the air between blocks and the neoprene layer; after all the structure had acquired a sort of unforeseen monolithicity that caused severe problems to the crane that was supposed to disassemble the structure. The observation of this phenomenon prompted research by designers, who want to replicate the phenomenon intentionally but scientifically controlled. The need to study ashlar with innovative aggregation forms, in order to go beyond vulnerable materials limits, is a topic that motivated Prof. Yuri Estrin and his colleagues in Melbourne and Perth (Australia). With his team of materials scientists, starting from the previous question, he arrived at the "Osteomorphic Block" definition, as an ashlar-model with joints that call to mind the human skeleton's one, which are optimized for modular structure construction. As mentioned in the Introduction to this book, it was a big astonishment learning that the outcome of this researches is very similar to other past and modern experiments. Actually, however, reaching similar solutions starting from the same issue establishes the goodness of the work. Wave Block, Estrin group's patent, which is an outcome of research on osteomorphic design, was built of "leccese" stone by Fallacara in partnership with Pi.Mar using recompose stone thanks to the collaboration with the company Tarricone Prefabbricati. To change, compose and improve materials or the architectural elements' performance is the main concern of this research.

The interaction topic between steel and stone also allows the stone to become so light as it were about to take wing. This is the case of the sculpture "Parabolithic: Vela", a research and a collaboration project between DICAR Department of Bari Polytechnic School and two leading companies of stone industry: MGI Sicilmarmi and T&D Robotics. The sculpture is

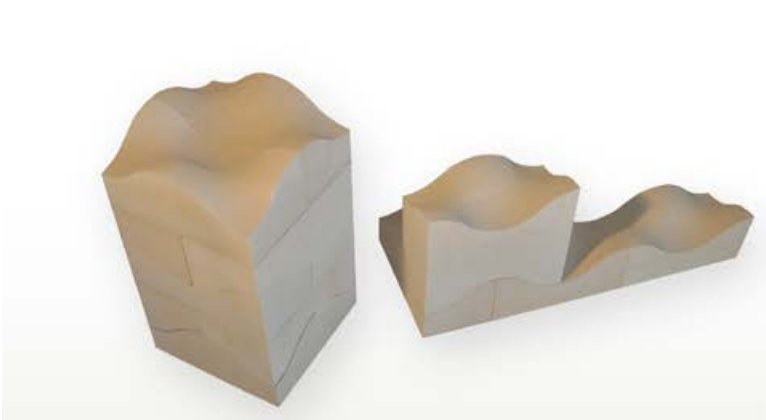
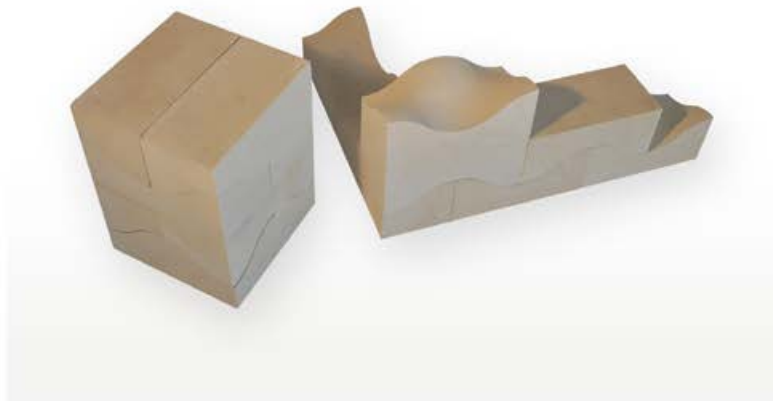
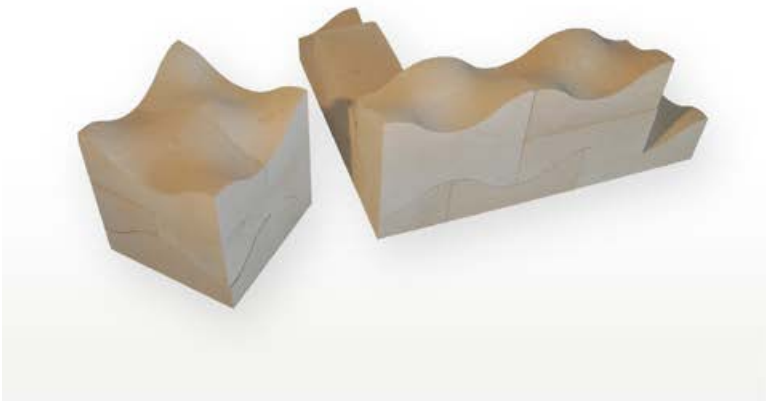
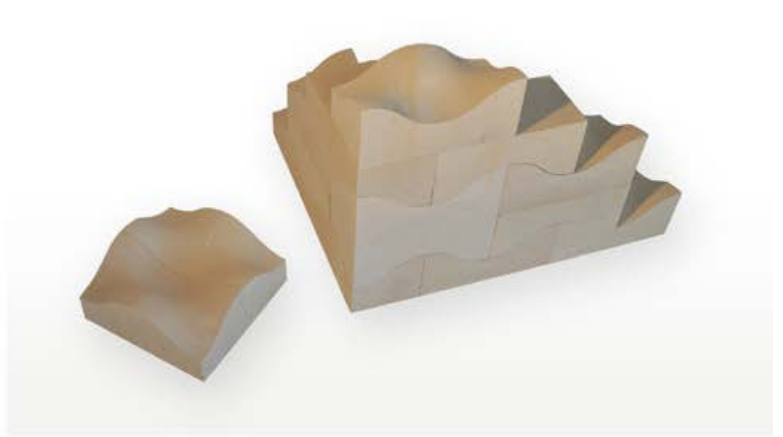


Y. Estrin et al., Wave blocks and joint membranes, artificial stone, Tarricone prefabbricati, Corato (Ba) feat. G. Fallacara, 2014.

#### References

- [1] M. Stigliano. *Riflessioni su cinque temi fondamentali nella progettazione architettonica*. In Fallacara G., Stigliano M. (2014). *New Fundamentals of Natural Architecture*. Roma: Aracne Editrice, pp. 34-35. ISBN: 978-88-548-7087-1
- [2] M. Stigliano. *Riflessioni su cinque temi fondamentali nella progettazione architettonica*. In Fallacara G., Stigliano M. (2014). *New Fundamentals of Natural Architecture*. Roma: Aracne Editrice, pp. 35-36. ISBN: 978-88-548-7087-1

a part of a series of completely innovative experiments that researchers and architects such as Brandon Clifford (MIT), Jelle Feringa (TU Delft) and Giuseppe Fallacara have developed at the same time in different locations and that have been able to cross several times thanks to their affinities. In particular, their prototypes (made of stone or not) have investigated the huge opportunities provided by the robotic diamond wire cutting machines, in condition to hand over complex geometries (double curving - ruled surfaces) to the stone block, making the cut directly in three-dimensional space. Before the construction of "Vela", the antecedent was provided by Feringa and T&D Robotics co-operation, who investigated the technology described above, cutting complex ruled surfaces with double curvature on Carrara marble blocks. The stand "Stereotomic Design. Evolution: from the hand to the robot" located at Marmomacc 2014, represents a summary of these studies which are still in progress. Parabolithic, as the name suggests, is essentially a lithic hyperbolic paraboloid and is designed in two variations: one is more massive (Raystone) made by lithic perforated blocks compressed by steel cables that are placed at the contact points between one block and the other, and another variation (Vela), shaped by white Carrara marble triangles and then hooked up to a steel cables network with the task to discretize the paraboloid surface itself. The hyperbolic paraboloid topic has its antecedents in many works carried out since the twenties of the twentieth century regarding the reinforced concrete membranes like the amazing Felix Candela's works, with his innumerable shell structures that are a few inches thick and very strong Eduardo Catalano's shells used for several houses, like his home in Raleigh. These trials attempted to get to the bottom of one's material potentiality, in this case the reinforced concrete, which since the 20th century had been employed in the frame system design. This is a fascinating analogy because, nowadays it is rare to find stone materials used outside the cladding context or as simple bearing walls. In this sense, the possibility of overcoming the historical limits of the stone (its fragility) derives from the skill to be supported by materials that have radically different characteristics, like steel. This bond, already investigated by great designers such as Peter Rice, succeed to create extraordinary architectural and structural experimentations, in which the stone loses its heaviness to hover in the sky with lightness, in a perfect balance between traction and compression forces.



Y. Estrin (with A. Dyskin, E. Pasternak, Khor Han Chuan, G. Simon, A. Molotnikov and L. Goldin), Wave blocks wall, leccese stone, Pimar, Cursi (Le) feat. G. Fallacara, 2014.





G. Fallacara, *Parabolithic - Raystone*, 2014.



G. Fallacara, *Parabolithic - Vela*. Made by MGI Sicilmarmi and T&D Robotics, Massa Carrara, 2014.





Detail of S. Cirillo e Metodio's Dome, Pl. Mar, 2012.



# NEW STEREOTOMIC PROTOTYPES: PI.MAR FOR RESEARCH

*Giuseppe Fallacara*

In this section of the book will be presented some prototypes of lithic elements developed with Pi.Mar from 2010. These prototypes were made within a broader research program entitled Structural lithic morphology.

The lithic prototypes come to life under the influence of research and innovation aimed to expand the "adjacent possible" of stone, according to what Steven Johnson argues in "Where Good Ideas Come From: The Natural History of Innovation". That is identify new possibilities and potentiality of stone even with the risk to exceed in the morphological/structural boldness, absorbing the lessons of constructive-technological areas, including external contributions not strictly related to the logic of stone. Johnson identifies seven creativity "models", through which is possible to search for innovation. Some of them can be identified within the designer intellectual work: slow intuition, which it is preserved and stored in mind for a long time before it takes shape with the lightning of the immediate intuition; serendipity, that is a neologism indicating the feeling you get when you discover something unsought and unexpected while you're looking for another.

Serendipity is not only a feeling, but it also indicates the typical element of scientific research, when important discoveries were made while looking for other things; the term exaptation were formulated for the first time in 1971 by evolutionary biologists Stephen Jay Gould and Elizabeth Vrba: an organism develops an optimized trait for a specific use, but then that trait is redirected to a completely different function. A classic example are birds feathers which initially appeared on dinosaurs to regulate body temperature and were later transformed into flying instruments: a tool created by the evolutionary needs for a given purpose reveals unexpected utility for another purpose. A pen or feather adapted to warm up, is "exaptated" for the flight.

According to Johnson, intuitions arise in time in a slow manner and materialize rapidly thanks to the composition of the last tile to close the mosaic, giving the complete vision of the scene.

The last tile comes like a thunderbolt! The innovative environments are those that encourage their residents to explore the adjacent possible, making available a wider and more versatile sample of spare parts - mechanical or conceptual - and promoting new ways to recombine them. Many new solutions, many brilliant ideas are there, at your fingertips. The

matter is to use the available resources in a different manner, in order to create new combinations.

Most of the times innovative ideas don't arise from the strokes of genius, but from a good bricolage.

This adjacent possible concept is interesting and very functional for innovative routes.

Although we are accustomed to think of innovation as a leap ahead in time and space or sudden swerving due to the inventor genius, we must agree that the history of cultural, artistic and scientific progress is comparable to the "story of a door leading to another door, exploring the palace one room at a time". Researching, designing, making, building you may encounter errors or serendipity phenomena both fundamental for scientific research: from mistakes and "casual discoveries" are born the best innovative ideas of our society.

According to the principle of exaptation one can use technologies created for a specific field of application in new sectors totally different: for example fiber-reinforced composite used for static consolidations, can become "hinges" to build and install a lithic arch in no more than 10 minutes!

We propose here some significant prototypes through which we hope to be able to provide a small contribution to this path, trying to define a concrete road that could mark the evolution of the speculation/design union. Each of them, starting from a traditional logic, tries to rejoin with the evolutionary path from which they originate.

Some of the prototypes here described have been presented at the Verona Marmomacc 2013, within the "Structural Stone" exhibition, entirely dedicated to morphological and constructive updating of load-bearing lithic architecture. Each of them can be seen as the materialization of the close relationship, typical of lithic construction, which binds the genesis of form with its structural performance, also achieving the logic of mixed stone and steel structures within the wider research on reinforced stone.

## CIRILLO E METODIO'S DOME, 2012

Design: Claudio D'Amato, Giuseppe Fallcara,  
Graziella Fittipaldi, Francesco Scricco  
Assembling: G. Leopizzi 1750, Parabita (Le).

The prototype reconstructs a vault portion of the church of Saints Cyril and Methodius, destined to be built in Rome near the Via Appia. That portion reproduces the perforated inner wall, which conceptually proposes the Cyrillic alphabet, which was the liturgical and literary language developed and designed by the Saints for the diffusion of Christianity in the East. The lithic fabric arises from the floor and continues without interruption towards the roof. A minimum number of voussoirs have been defined to compose the vaulted articulation in order to rationalize the geometric complexity through the logic of construction.









**ALVEARE – HIVE/2010:  
A.M.A. APULIA MARBLE AWARD 2013**

Design: Giuseppe Fallacara, Marco Stigliano, Vincenzo Minenna

Alveare 2010 is a complex decorated and perforated stone barrel vault that was assembled using a limited number of serial ashlar cut using a CAD-CAM and numerically controlled machine system. The specific conformation of the curved surface can also be used for modular wall systems and self-supporting dividing walls. The serial ashlar is wedge-shaped and the constructive curve, like the whole construction, is parametric and can easily respond to a wide

range of construction and aesthetic requirements. The connection between ashlars is guaranteed by the natural compression between stone blocks in the barrel vault and in walls by using a specific mortar with wooden plugs. After assembly, the notion of solidity is rendered by the exemplary interweaving of the blocks in the whole system.







### DECORATED DOME PENDENTIVE, 2013

Design Claudio D'Amato, Giuseppe Fallacara,  
Vincenzo Minenna

The prototype of the “decorated dome pendentive” was born from the idea to create a decorative texture on a spherical surface, in which the formal aspect appears disconnected by the construction matter. The “technique” is inspired from the work of Andrée and Alonso de Vandelvira, among the first to introduce in their treatise (*Libro de traças de Cortes de Piedra*, 1591) a method (*Capilla Enlazada*, t 114) for the creation of purely geometric decorative textures on spherical surfaces through the aid of projective methods. This technique requires the development of the spherical surfaces through the approximation of the conical projections with the aim to realize any kind of decoration on spherical intradoses, defining the decorative pattern on the obtained development and applying it on the intrados. The target of the prototype is the achievement of the same type of formal outcome through the technique update: in this case the use of projective geometry is integrated by the contribution of modern CAD-CAM systems, which simplify production methods without affecting the influence of the decorative system on the architectural space.





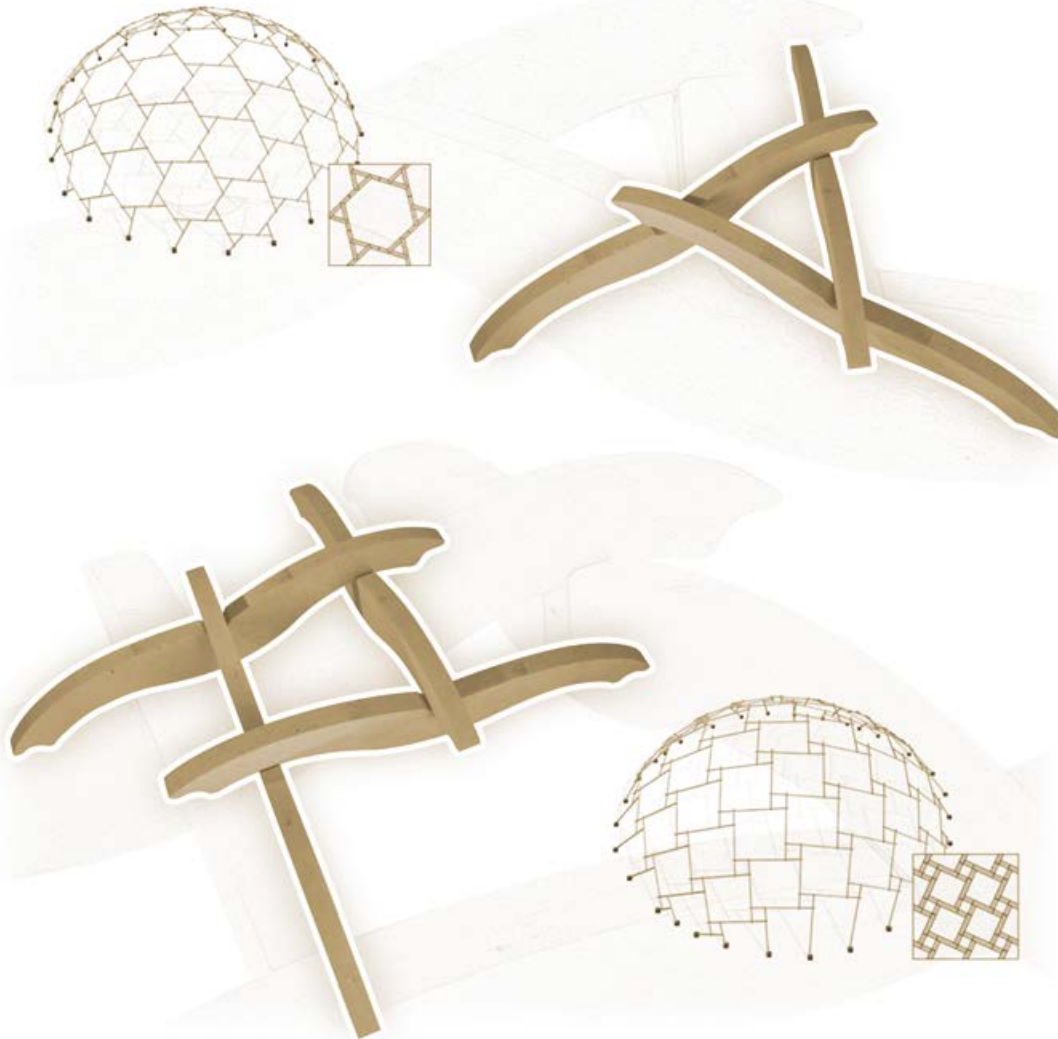


## HOMAGE TO LEONARDO DA VINCI: STAGE OF HISTORY OF STEREOTOMY 2014

Design: G. Fallacara, V. Minenna, A. Pisanello.

The prototype "Homage to Leonardo da Vinci" is the result of the stereotomic design competition within the course of the History of Stereotomy 2014 taught by Prof. Giuseppe Fallacara. The contest winner, student Aldo Pisanello, has seen his idea come to life, according to the executable project which has been developed by the course teachers and Pi.Mar srl technicians. The project is inspired by a vaulted structure, in lithic take, the famous Leonardo's wooden bridge project, which is included in the sheet 71 of the Codex Atlanticus. Leonardo's bridge is a self-loading reciprocal frame, in other words the structure supports itself thanks to its own weight, with no need for nails, glue, strings, etc. In the

history of the reciprocal structures, little space was dedicated to stone, with the exception of a few flat ceiling few patents, due to the material's lack of strength or its poor resistance to bending and shearing, the opposite of wood or iron. Our trial tried to "investigate" the stone limits in these kind of applications, working with single plates edgewise arranged and coupled beams through the bonding of two plates using epoxy resin and glass fibers. In this second case, we have created fiber-reinforced "lamellar" stone beams that could be assembled according to the wonderful typical configurations of reciprocal structures.





## **WAVE BLOCKWALL, 2014**

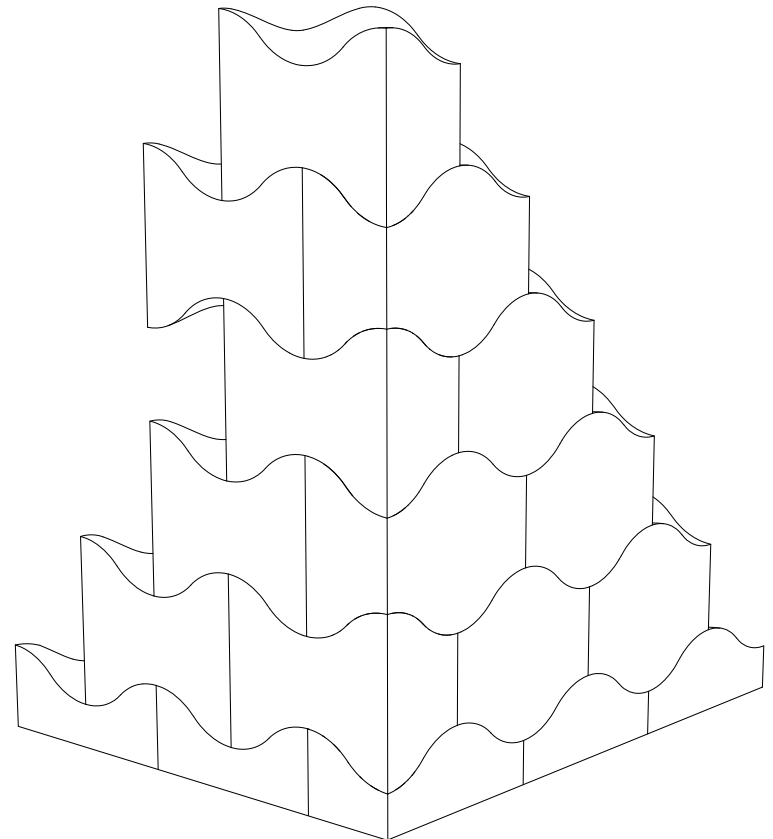
Design: Yuri Estrin, G. Fallacara, V. Minenna.

"Wave block wall" is an application of the patent by Yuri Estrin and his research team (A. Dyskin, E. Pasternak, Khor Han Chuan, G. Simon, A. Molotnikov and L. Goldin). This prototype is based on the principle of topological interlocking and analyze the properties of the mortarless structures whose design is based on this principle. We concentrate on structures built of osteomorphic blocks – the blocks possessing specially engineered contact surfaces allowing assembling various 2D and 3D structures. These structures are easy to build and can be made demountable. They are flexible, resistant to macroscopic fractures and tolerant to missing blocks. The blocks are kept in place without keys or connectors that are the weakest elements of the conventional

interlocking structures. The overall structural integrity of these structures depends on the force imposed by peripheral constraint. The peripheral constraint can be provided in various ways: by an external frame or features of site topography, internal prestressed cables/tendons, or self-weight and is a necessary auxiliary element of the structure. The constraining force also determines the degree of delamination developing between the blocks due to bending and thus controls the overall flexibility of the structure thus becoming a new design parameter.



Detail Armenian church: interlocking ashlars.











# Solar Natural House

## Giuseppe Fallacara, Marco Stigliano



Testo in italiano pubblicato in *Architettura di Pietra Journal* 23.06.2014

### Project details

- Technical directors: Claudio D'Amato Guerrieri, Giuseppe Fallacara
- Architectural design: Giuseppe Fallacara, Marco Stigliano
- Energy analysis and environmental comfort: Francesco Errede
- Construction site: Formedil Bari
- Realization time: 2011-2013
- Partner and sponsorship, website: <http://solarnaturalhouse.formedilbari.it/>

The project Solar Natural House (SNH), designed by DICAR department of the Polytechnic of Bari from 2011 to 2013, is the industrial and commercial version of the Astonysine project, a stone and wood house completely energy self-sufficient, in fact in 2012, it was one of the protagonist during the prestigious Solar Decathlon Europe Award in Madrid.

The eco-friendly house prototype started to be developed thanks to the collaboration between the school of Architecture of the Polytechnic of Bari, l'École Nationale Supérieure d'Architecture Paris-Malaquais, the University of Ferrara and l'École des Ponts ParisTech. The prototype has then been developed at the school-construction site of Formedil Bari.

Solar Decathlon Europe is an international contest that involves several universities; this contest encourages the research for the development of energy self-sufficient living prototypes powered by solar energy. The aim of the contestants is to design and build homes that use few natural resources and produce minimal waste of products during their life cycle. Big attention is given to the reduction of energy consumption and how to obtain all the required energy from the sun.

The prototype is designed between Bari and Paris, according to the rules of the competition, and has been designed in two different options coming from the same project in order to demonstrate the technological versatility of the house. In the meanwhile that the event took place in Madrid (where it was assembled the prototype designed in Paris), the second option for a commercial model has been built in Bari, which represents a "Mediterranean" variant of environmental sustainability. In fact, in the Mediterranean areas, in addition to the winter heating requirement, it is important to achieve a good thermal comfort even during the chilly season; in this way it is possible to consider the "Mediterranean" one as an "interactive" model with the outside environment, through cyclical processes of thermal accumulation and discharge.

The Polytechnic of Bari tested its know-how in the environmental sustainability field in order to create a building suitable to its climatic, economic and social context.

The SNH project is an open-air laboratory for the construction of energy-efficient building models. An essential element of this initiative is the ongoing relationship between researchers and industrial technicians, that allows testing new materials and innovative technology solutions. In this way there is an ideal environment for a fruitful exchange of knowledge and cooperation between university research centers and industrial companies and also for the realization of advanced tools for the improvement of technical and energy performances, not only a marketing operation.

The prototype has been built at the Formedil Bari headquarter, the training school for the construction industry, where, for more than a year, there have been training stages for the experimental realization of the building. The SNH project is part of a consolidated training course that Faculty of Architecture of Bari and Bari Formedil started more than four years ago with the stage "Santi Quattro Coronati". The purpose of these initiatives is to merge the experience of the project design with its realization, viewing the construction site as a magic meeting place for different professionals: architects, building managers and construction workers.

The goals of the Solar Natural House project are:

- A home designed through bioclimatic parameters and passive characteristics;
- Use of natural material, biocompatible, 100% recyclable, typical product of Apulian culture, and traditional building techniques of Mediterranean area: solid wall structure with natural characteristics for a high environmental efficiency, good mechanical properties, ductility, ease of processing; wooden roof, a homogeneous material perfectly stable, mechanical defects free with good strength and high load capacity;
- Eco-friendly and eco-sustainability of the building through the use of materials whose production and installation does not require high-energy consumption or waste of resources. This gives an added value to the building, tied to a high environmental quality, better performance and a significant cost reduction;



- Use of new energy efficient technologies, such as photovoltaic systems, in order to obtain the required energy for the housing needs, allowing their technologic integration with the building architecture, greater efficiency, lower consumption and lower prices;
- Search for new inspirations, materials and technologies for the building design, including temperature control, ventilation, heating/cooling systems and possible prefabrication problems for lower production costs;
- Importance of logistics strategies along the project development for a proper industrialization and marketability of the prototype in accordance with environment, safety and health of workers.

The Solar Natural House is a project born by the relationship between tradition and innovation. In the Mediterranean area, architecture has always been a collective art, linked to the values of the inheritance of knowledge, where the relationship with the tradition is such a starting point and the first step to innovate the knowledge and transfer it to the next generation for a social community development. Some basic data of Mediterranean way of work are simply reapplied: control of natural lighting, orientation, doors and windows location, natural ventilation, shading, insulation and thermal mass.

The project focuses on natural materials, components and products reusable or recyclable, chosen considering the amount of energy required for their production, the total amount of primary energy, the contribution given to warming by all the included materials, and last but not least the production, transportation and installation processes. Particular attention has been given to the sustainability of renewables materials, materials like wood (structural system and internal cladding) and stone (external cladding). The entire house structure, starting from the walls up to the roof, is made of timber coming from sustainably managed forests. The wood helps to reduce greenhouse gas emissions compared to non-renewable materials such as steel and concrete.

The prototype SNH has a squared plan (10 x 10 square meters), with a maximum height of 6 meters and with the presence of a front courtyard of about 25 square meters on the south side, which is also the house entrance. Inside, the house includes a large living area, equipped in order to obtain more space when necessary (fig. 03): this is allowed thanks to a sliding "box" containing the bedroom, which can move back or forth according to the occupant's needs at a given moment.

A service block is placed on the north side; it is made of a prefabricated wooden structure, and includes kitchen, bathroom and stairs to access a small loft on the first level. This loft, about 2,60 meters wide, has two other beds and a small study area.

The load-bearing wall structure is made of panels of cross-laminated timber, called X-Lam, the use of this technology allows a quick installation (about 2 days) and low cost.

The exterior walls are covered with slabs of local stone with a thickness of 3 cm, anchored to the wooden panels with a sub-structure of wood and steel. The stone mass is used as a thermal mass (fig. 04).

Interjected between the wooden panels and the stone ones, there is a double layer of thermo-acoustic reflective insulating material. Unlike traditional insulation, based on the principle of conductivity or thermal resistance (ability to retain heat during its passage), the reflective insulation is based on the reflecting power and on the principle of submissiveness. According to this principle, every material absorbs, transmits and emits the energy from which is invested thanks to the characteristics it is composed: the aluminum used in this insulation is characterized by a very low emissivity (0.04), so the most energy invested (96%) is reflected. In order to realize this process it is necessary that the reflective insulation, or low emissivity, is contained in a cavity, and it must be bordered with two air gaps sealed with a thickness of approximately 30 mm.

To increase the performance of the interior cladding further it is placed a layer of eco-friendly insulation (5 cm) made by recycled PET bottles; thanks to its composition, a 100% recyclable eco-friendly material, the environmental impact is reduced, the 50% of CO<sub>2</sub> emissions are saved, and it is certified by the Environmental Product Declaration (EPD).

The wall such composed has a U-Value of 0.15 W / m<sup>2</sup>K. Finally, the patio on the south side works as a shading element against heat and direct solar radiation. The building roof shape is obtained geometrically as a grooved surface with double curvature shape, realized with straight beams of laminated wood, which constitute the main and also the secondary structure. On these timbers are fixed the various roof layers constituted by 15 cm of thermal insulator obtained by recycling polyester bottles and 5 cm of air gap used for ventilation. On the outermost layer is located the sheath for photovoltaic energy production: the photovoltaic system used is really innovative, it is an integrated thin-film amorphous silicon with triple junction that, absorbing the green, red and blue spectrum fractionated components of sunlight,



produces energy even at low exposure levels, without direct radiation or in diffuse light conditions.

The house designed in this way produces more energy than it consumes, thanks to the passive strategies adopted and using active technologies and systems with high-energy efficiency. The photovoltaic installation Stand Alone, an independent system from the power grid, allows energetic self-sufficiency of the house in any condition.

For many years, public opinion feels uncomfortable facing

the quick territory transformation, urban spaces and domestic spaces with which we do not identify, and day by day grows the need for a constructive ethic, careful not to use more resources than nature can produce. The eco-friendliness and eco-sustainability of the SNH, thanks to the use of materials whose production and installation does not require high consumption of energy and resources adds value to the building, tied to a high quality environment, better performance and significantly decreased of construction cost.





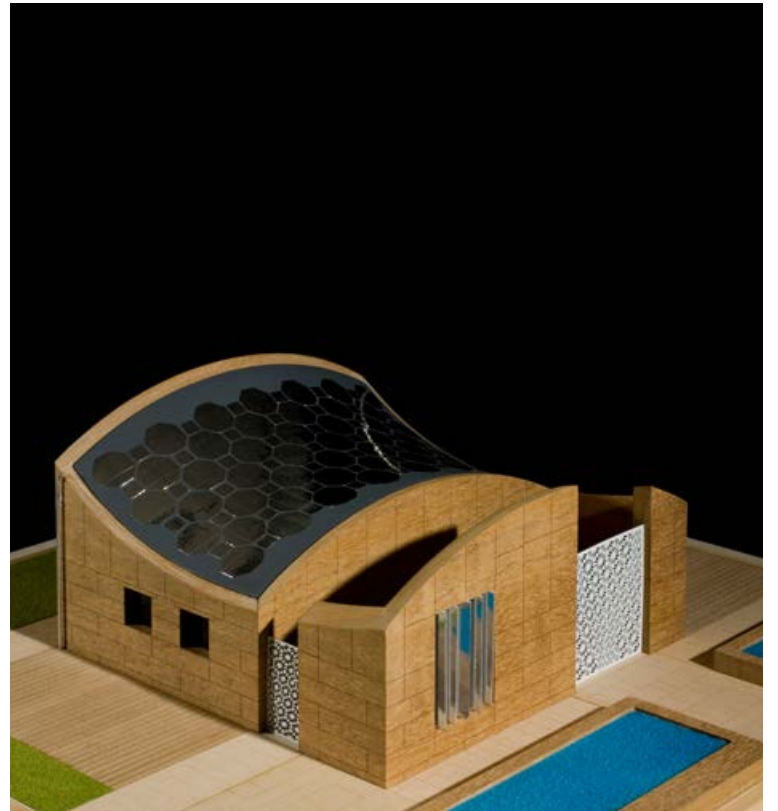








76



# SNH ENERGY: ENERGY ANALYSIS AND ENVIRONMENTAL COMFORT

\**Francesco Errede*

\* Architect - Graduated from the Faculty of Architecture, Polytechnic of Bari.

In order to investigate the building energy performance and the occupants internal comfort has been used the thermodynamic software IES Virtual Environment, this software allows calculating the following values:

- Thermo-hygrometric comfort
- Interior lighting
- Solar radiation
- Production of electricity by the photovoltaic system
- Total energy consumption

Thermo-hygrometric comfort is the sum of several factors such as relative humidity, CO<sub>2</sub> concentration and especially the internal temperature, which is a very important factor in order to evaluate the quality of the internal environment. These factors have been analyzed along the year simulating various scenarios that involve or not the use of heating and natural ventilation. The results were positive, as shown in detail in the following graph (fig. 1) the highest temperature in the absence of heating reached 12.1° C in winter and a peak of 31.5° C in the summer, with an average temperature of 20.9° C. These data are positive as the tests show that the effectiveness of natural ventilation can reduce the average summer temperature of about 1° C, as well as the temperature peak can be limited within 30°, without the use of any system of artificial cooling.

The following graph (fig. 2) shows the occupant comfort in relation to the temperature. It reveals that in this scenario, the heating system is essential for about two-three months (from December to February), while in summer the temperature is acceptable except for sporadic hours during which only natural ventilation is not sufficient to cool the rooms due the high external temperature.

The CO<sub>2</sub> concentration is optimal during the whole year, as well as the relative humidity, which has peaks only in some summer days with an outer relative humidity close to 100%.

- The interior lighting is an essential element for the occupants' comfort during daylight hours. The following graphs show the lighting in all rooms in three different periods of the year (December, March and June) during three different times of day (8 am, 12 am and 4 pm) (fig. 3-4-5).

Due to the nature of the building, the orientation and the shape of the windows, the global values are good and the

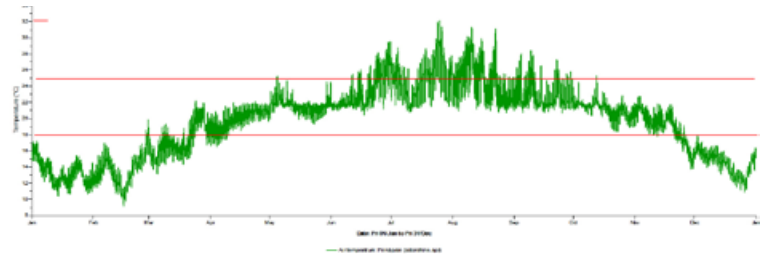


Fig. 1

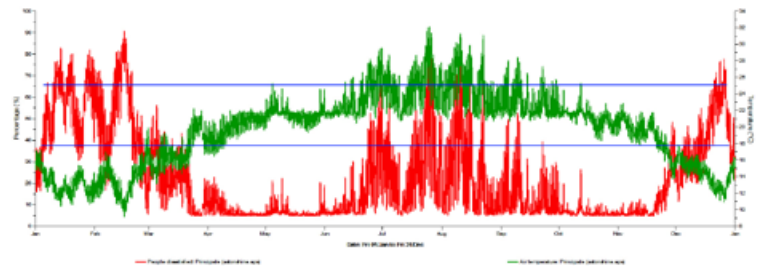


Fig. 2

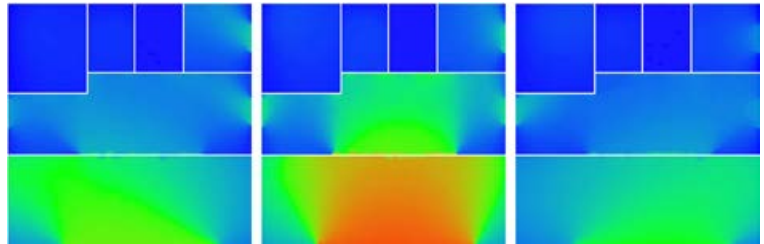


Fig. 3

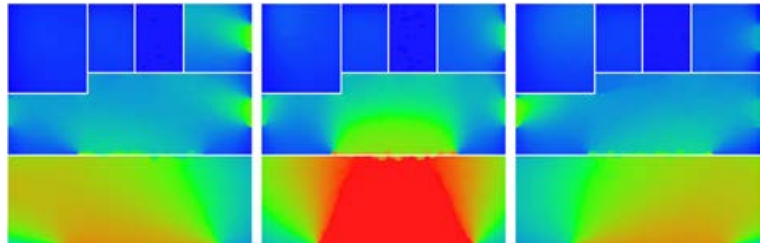


Fig. 4

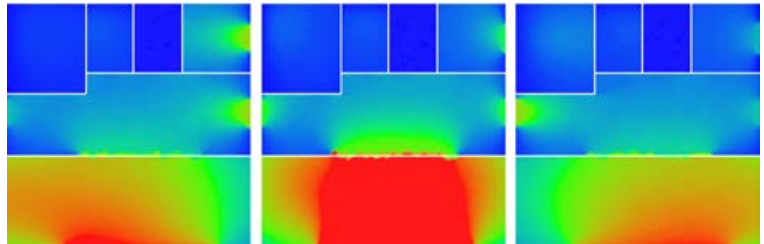
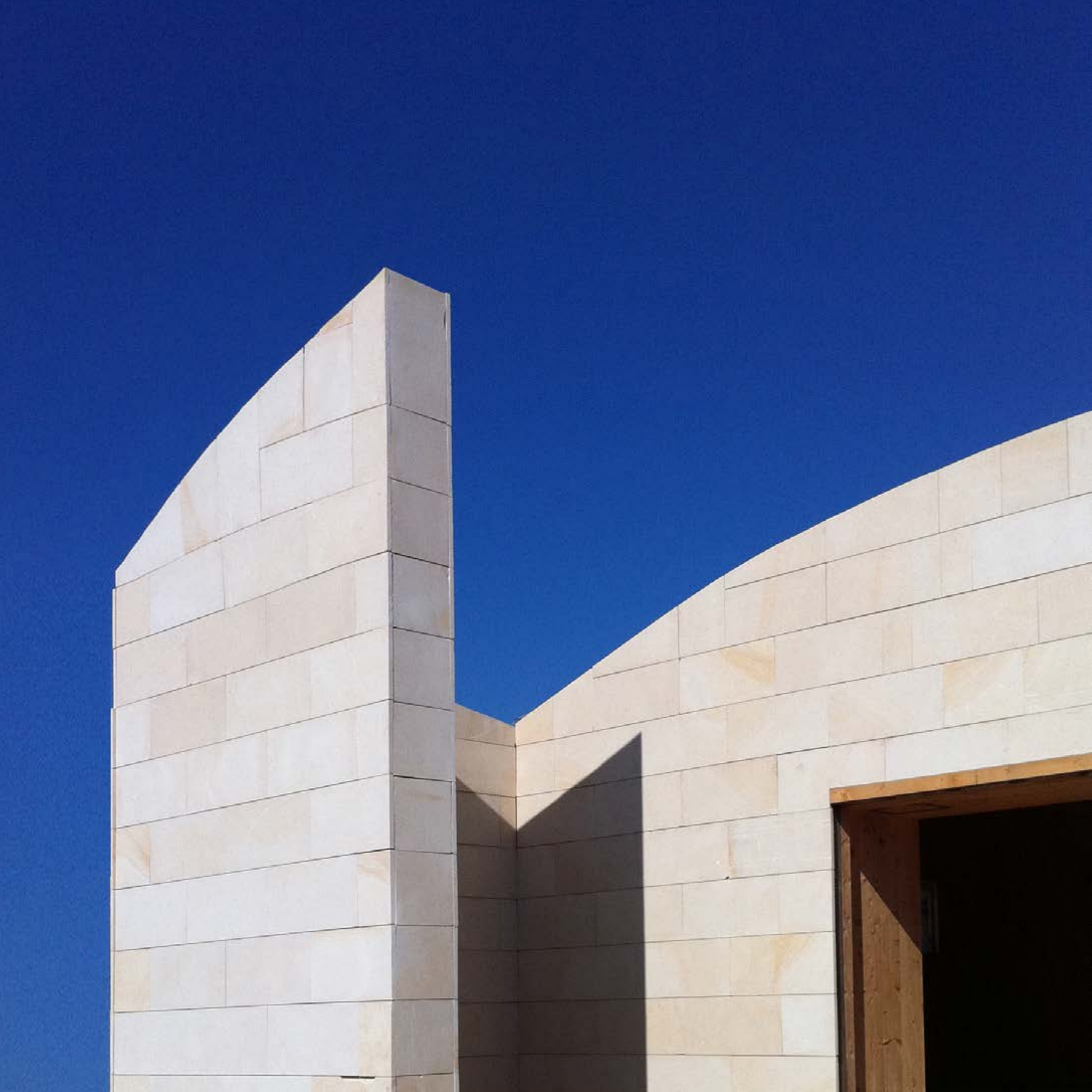


Fig. 5





first consequence is a reduction of energy consumption associated with the reduction of artificial light use. Especially in summer, the luminance values are limited within standard range (<2000 LUX) thanks to the height of the window located on the south side (avoiding glare). The results obtained during spring period are optimal; the only improvement could be made to the outside retaining wall of south-east and south-west sides, in order to improve the winter lighting, as the values are slightly below the optimal range, especially in the morning and afternoon.

- Another very important parameter, which affects not only the lighting, but also the solar gain and the internal temperature, is solar radiation. Analyzing the direct radiation (fig. 6) and diffuse radiation (fig. 7) it is possible to say that the shape of the building cannot limit completely the peaks of direct radiation in the summer months, but it reduces, within certain limits the solar gain and then the overheating during summer period. On the contrary, the diffuse radiation has a more linear performance, without peaks of significant size, allowing an excellent visual comfort throughout the year.

- The roof of the building, molded like a saddle has been designed to accommodate a photovoltaic system. The appraisal of the production of the installation is extremely important to regulate the real building consumption.

The following graph illustrates the electricity production generated by the photovoltaic system along the year. (fig. 8) The graph clearly shows a huge energy production during the summer (peak 4 KW), which corresponds to an average winter production of about a quarter of the summer (1 KW). The total annual production of the photovoltaic installation is estimated above 4 MWh.

- Summing the data obtained with the estimated house energy requirement, it is possible to calculate the real building consumption.

The total annual demand is estimated at 3.4 MWh; 1.5 MWh for heating, 1 MWh per annum for household electrical appliances, 0.7 MWh for artificial lighting and 0.2 MWh for other consumption. The trend of the annual requirement is showed in the following chart. (fig. 9)

At last, the difference between needs (3.4 MWh) and the energy produced and actually used (1.8 MWh) shows that the house estimated annual consumption is approximately 1.6 MWh equal to 19.5 kWh / m<sup>2</sup>.

The following graph (fig. 10) demonstrates that there is a need to use approximately 1.6 MWh of energy per year from

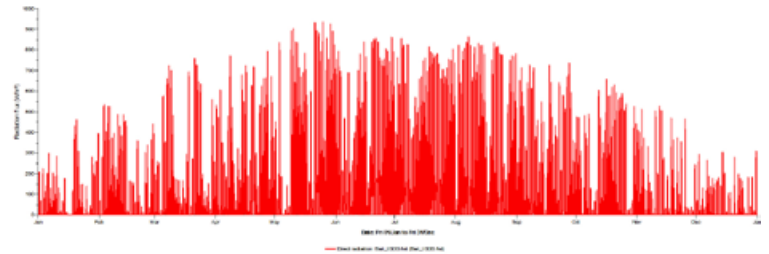


Fig. 6

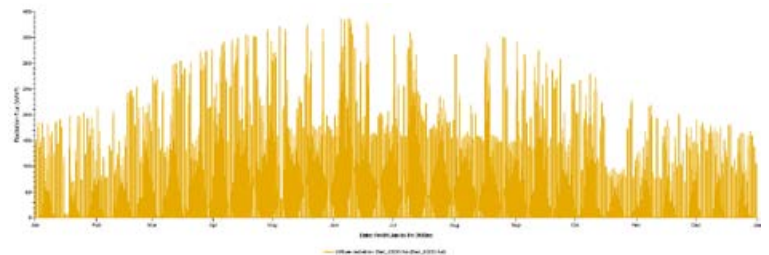


Fig. 7

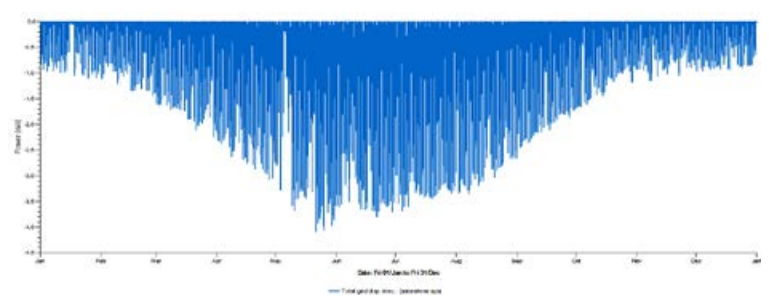


Fig. 8

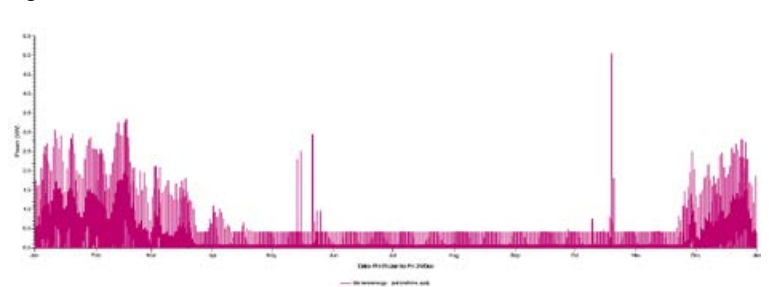


Fig. 9

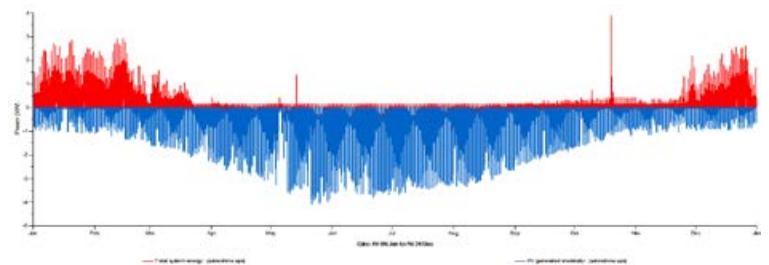


Fig. 10



the grid, despite the energy produced is greater than the total annual requirement. In detail, during the winter demand exceeds production, requiring the use of energy from the power grid. On the contrary, during summer the electricity produced is not used completely as the demand is limited, then it will generate a surplus of energy more than 2 MWh per year of electricity that can be fed back into the power grid.

Images references:

Tesi di Laurea Astonyshine/Casa solare,  
Politecnico di Bari CdL in Architettura A.A. 2011-2012

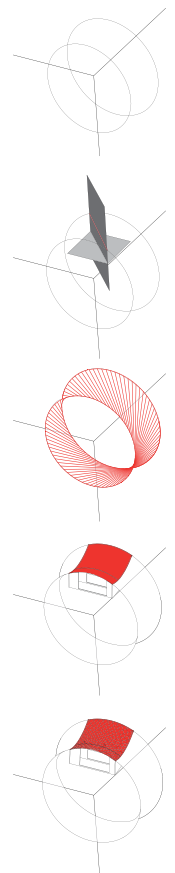
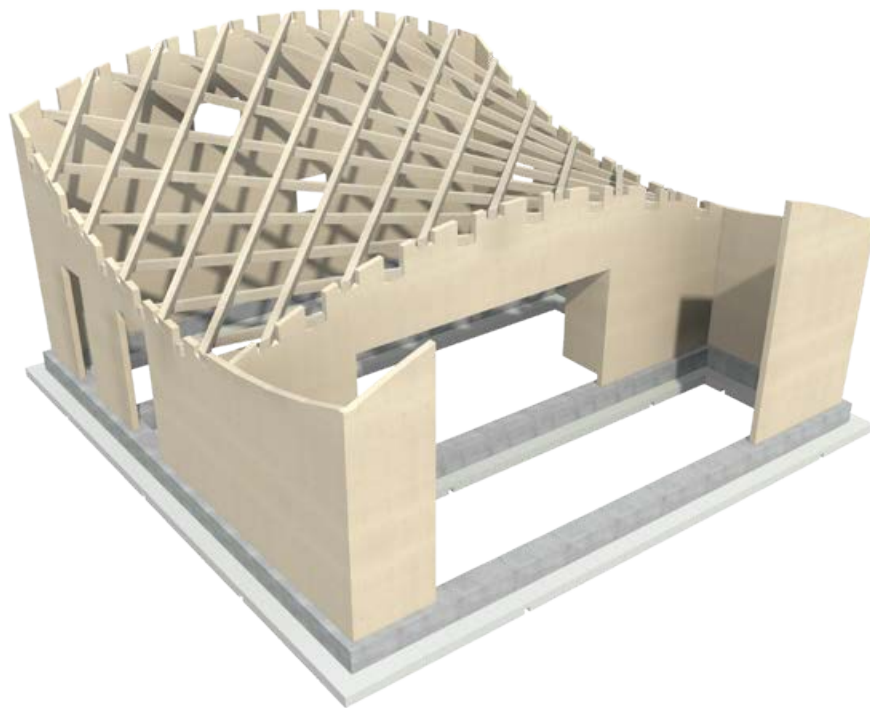
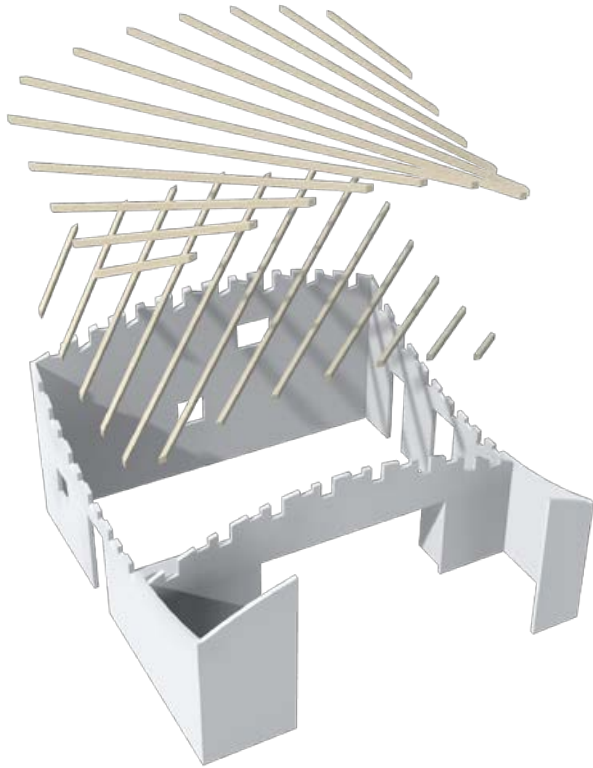
Collegio dei Docenti:

Relatori: proff. C. D'Amato, G. Fallacara

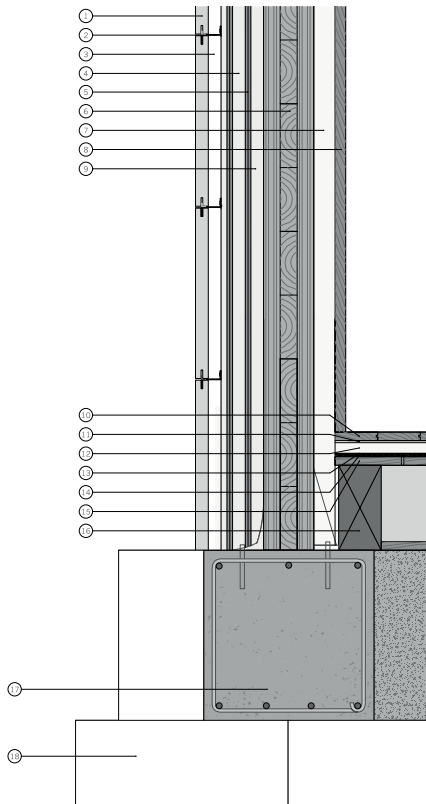
Tutor: Arch. M. Stigliano

Docenti: proff. V. Ardito, F. Ruggiero

Laureandi: A. Mangione, C. Giorgio, F. Capurso, I. Marcario, M. Bruno, M. Costante



# Leccese Limestone Pi.Mar Datasheet



**SEZIONE VERTICALE**  
Scala 1:10

**MURATURA**

1. rivestimento in pietra (3 cm)
2. profilati in metallo
3. camera d'aria (4,4 cm)
4. camera d'aria (3 cm)
5. isolante (1,3 cm)
6. pannelli x-lam (11,8 cm)
7. isolante (5 cm)
8. rivestimento in legno (2,5 cm)
9. murali in legno (10 cm)

**SOLAIO**

10. parquet
11. lastra di zinco
12. pavimento radiante
13. freno a vapore
14. isolante (pannello isopius 1,3 cm)
15. tavolato (2 cm)
16. travi (10 x 20 cm)
17. cordolo in cemento armato (40 x 40 cm)
18. fondazione fuori terra in tufo (20 x 50 cm)

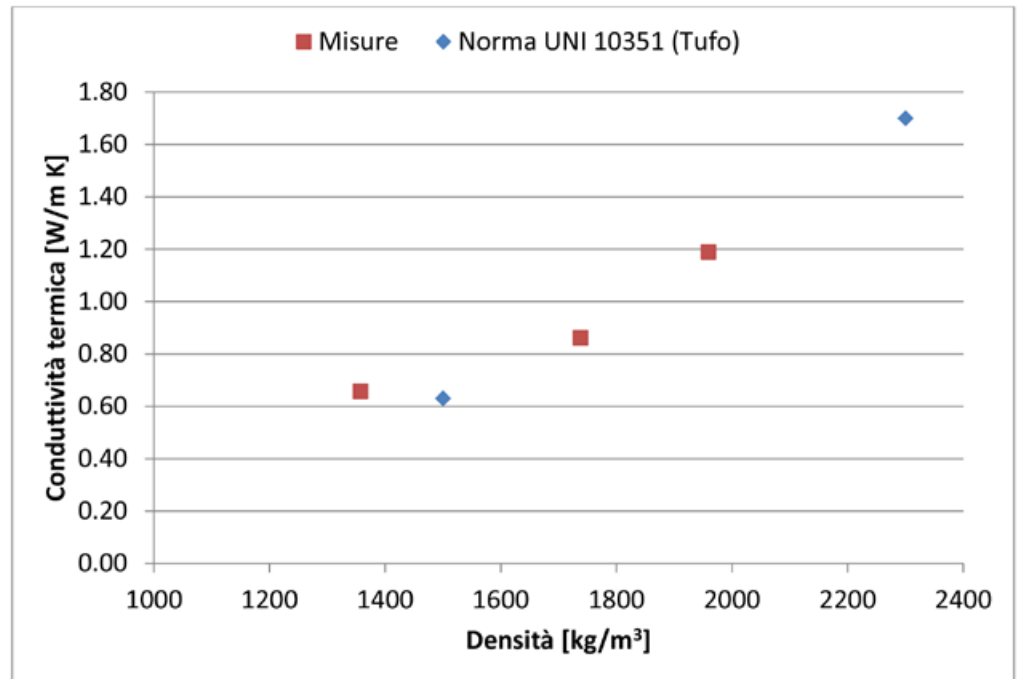
Provino 1



Provino 2



Provino 3



81

**Misure**

	Densità	Conduttività
Provino 1	1738	0.86
Provino 2	1959	1.19
Provino 3	1357	0.66

**Norma UNI 10351  
(Tufo)**

1500	0.63
2300	1.70



# Pi.Mar Certificates

US-D-095-04-01  
**SGS** U.S. Testing Company Inc. Report No.: 154708-2

Pinar Limestone, DE

**TEST RESULTS:**

**ASTM C 170 – Compressive Strength**

Specimen	Width (in.)	Length (in.)	Ultimate Load (lbs)	Compressive Strength (Psi)
1	1.992	1.992	9140	2329
2	2.037	2.039	12813	2926
3	2.054	2.014	11008	2727
4	2.031	2.051	9877	2372
5	2.053	2.046	10068	2396
Average	-	-	-	2890 Psi
Average	-	-	-	17.98 MPa

Requirements:  
 ASTM C568-96, Standard Specification for Low Density Limestone Dimension Stone  
 Compressive Strength: 1800 Psi, min.

\*\*\*\*\*  
 End of Report  
 Page 2 of 2

Member of the SGS Group Société Générale de Surveillance

US-D-095-04-01  
**SGS** U.S. Testing Company Inc. Report No.: 154708-1

Pinar Limestone, DE

**TEST RESULTS:**

**ASTM C 99 – Modulus of Rupture**

Specimen	Width, in.	Thickness, in.	Ultimate Load, lbs.	Modulus of Rupture, psi
1	4.060	2.208	955	435
2	4.030	2.291	850	422
3	4.027	2.212	1004	460
4	4.024	2.316	1039	506
5	4.031	2.382	958	447
Average (English)	4.034	2.310	-	460 Psi
Average (metric)	-	-	-	3.17 MPa

Requirements:  
 ASTM C 568-96, Standard Specification for Low Density Limestone Dimension Stone  
 Modulus of Rupture (MIN): 400 Psi for Low Density Limestone Dimension Stone

\*\*\*\*\*  
 End of Report  
 Page 2 of 2

Member of the SGS Group Société Générale de Surveillance

**DNV BUSINESS ASSURANCE**  
**MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATE**

Certificate No. / Certificate No. **CERT-8886-201-IG-BRI-SINCR7**  
 Si attesta che / This is to certify that

**PIETRA MARROCCO PLMAR, S.r.l.**  
 S.S. 16 (Lecce - Maglie) - 73020 Melpignano (LE) - Italy

Il conforme ai requisiti della norma per i sistemi di gestione:  
 has been found to conform to the management system standard:

**UNI EN ISO 9001:2008 (ISO 9001:2008)**

Questa Certificazione è valida per il seguente campo applicativo:  
 This Certificate is valid for the following product or service range:

**Produzione di manufatti decorativi in pietra calcarea di origine locale tipo Lecce e Carpi**  
 (Settore EA : 15)  
 Manufacture of decorative limestone products from Lecce and Carpi typical local stone  
 (Sector EA : 15)

Data Prima Dimensional Certification Date: **2011-03-09**  
 Il Certificato è valido fino al: / This Certificate is valid until: **2015-07-22**

L'audit è stato eseguito sotto la supervisione di: / The audit has been performed under the supervision of: **Zeno Beltrami**

**Accredia**  
 Organismo di Certificazione  
 Accredited by the Italian Ministry of Economic Affairs

**Zeno Beltrami**  
 Management Representative

La validità del presente Certificato è subordinata al rispetto delle condizioni contenute nel Certificato di Certificazione.  
 The validity of this certificate is conditional on compliance with the conditions contained in the Certificate of Certification.

82

US-D-095-04-01  
**SGS** U.S. Testing Company Inc. Report No.: 154708-3

1341 North 138<sup>th</sup> Road Avenue • Tulsa, OK 74118 • Tel. 918-437-8333 • Fax 918-437-8427

Pinar Limestone, DE

**TEST REPORT No.: 154708-3 Date: April 27, 2001**

**SUBJECT:** ASTM C 880, Flexural Strength of Dimension Stone.

**REFERENCE:** Letter.

**SAMPLE ID:** Samples identified as "Pinar Limestone" was received from the client on 4/17/01. The samples were received in good condition.

**PROCEDURE:** The material was tested for Flexural Strength in accordance with ASTM C 880-96. No revisions to this report will be allowed 90 days after the report date.

**RESULTS:** See test data and results on the following page.

**TEST DATE:** 4/27/01.

**CONCLUSION:** The material tested does meet the requirements by ASTM C 568-96 for Flexural Strength of Low Density Limestone Dimension Stone.

**SIGNED FOR AND ON BEHALF OF**  
**SGS U.S. TESTING COMPANY INC.**  
 Dale E. Hiltner  
 Tulsa Branch Director

\*\*\*\*\*  
 End of Report  
 Page 2 of 2

Member of the SGS Group Société Générale de Surveillance

US-D-095-04-01  
**SGS** U.S. Testing Company Inc. Report No.: 154708-3

Pinar Limestone, DE

**TEST RESULTS:**

**ASTM C 880 – Flexural Strength**

Specimen	Width (in.)	Thickness (in.)	Ultimate Load (lbs)	Flexural Strength (Psi)
1	3.992	1.309	340	449
2	3.950	1.296	290	433
3	4.032	1.261	331	473
4	4.031	1.289	369	496
5	4.019	1.278	316	433
Average	-	-	-	457 Psi
Average	-	-	-	3.15 MPa

Requirements:  
 ASTM C568-96 Low Density Limestone Dimensional Stone.  
 Flexural Strength (MIN): not applicable

\*\*\*\*\*  
 End of Report  
 Page 2 of 2

Member of the SGS Group Société Générale de Surveillance

**PIMAR**  
 ITALIAN LIMESTONE PISTIA DI LECCE

CE

Ufficio e produzione:  
 P.I. 16 Lecce Maglie - via  
 Melpignano Strada 10  
 73020 Melpignano (LE) - Italy

Tel. (+39) 0832 46 32 36  
 (+39) 0832 42 05 50 (+39) 30  
 Fax (+39) 0832 42 05 30  
 www.pimar.it  
 cert@pimar.com

CE	Norme di riferimento:	UNI EN 1468
	Prodotto	Lastre da rivestimento
	Descrizione	Pietra Lecce - Ostronina - Ingep - Melpignano (S.S.) - Pagina (ITALIA)
	Alfabetto	Dimensionamento secondo norme
Pinar 07 - 08 10 Lecce/Maglie - Melpignano (S.S.)		
Caratteristiche	Valori dichiarati	Metodo di prova
Reazione al fuoco	Classe A1	Metodo prova (Decreto 3686/02) e procedure specifiche
Resistenza a flessione con piani di articolazione essenti e non essenti	Valore minimo atteso (MPa) Valore medio (MPa)	3,1 4,3
	Deviazione standard (MPa)	0,8
Carico di rottura del filo di sostegno con piani di articolazione essenti e non essenti	Carico minimo medio (N) Carico medio flessionale (N/m)	1000 14,8
	Distanza flessionale massima (mm)	30,7
Assorbimento d'acqua a pressione atmosferica	Assorbimento medio volumetrico (%)	16,46
	Valore minimo (g/cm <sup>3</sup> ) Valore massimo (g/cm <sup>3</sup> )	1,990 1,996
Assorbimento d'acqua per capillarità con piani di articolazione essenti e non essenti	Coefficiente medio capillare (%)	234,3
	Valore medio (MPa)	3,8
	Deviazione standard (MPa)	0,6
	Variazione media (%)	-16,89
	Velocità di innesco (%)	0,0
	Impedenza media elastica dinamica (%)	0,2-0,3
	Valore resistenza a carichi statici	32
	Fattore resistenza a carichi statici	21
	Conduttività termica a (20°C)	0,9
	Capacità termica specifica C <sub>p</sub> (20°C)	1000
		UNI EN 12172
		UNI EN 12171 + UNI EN 13372
		UNI EN 14388
		UNI EN 12124
		UNI EN 12124



## PADIGLIONE 1 - VERONAFIERE

### 1. LIVING STONE

- 1A. Manuel Aires Mateus and Grassi Pietre
- 1B. Eduardo Souto De Moura and Pibamarmi
- 1C. Benedetta Tagliabue - EMBT and Decormarmi
- 1D. Mias Arquitectes and Travertino Sant'Andrea
- 1E. Spazio Giardino

### 2. DESIGN E TECNOLOGIA

### 3. AT HOME

### 4. PREMIOTESI DI LAUREA

### 5. RENZO PIANO E MALTA

### 6. STEREOTOMIC DESIGN

### 7. VERTICALITÀ LITICHE

### 7B. INSTALLAZIONE VERTICALITÀ LITICHE

### 8. WINE & RELAX

### 9. LUXURY & RELAX

### 10. ART DESIGN

### 11. WORKSHOP STONE ACADEMY

### 12. ARENA\_SANTAMARGHERITA

