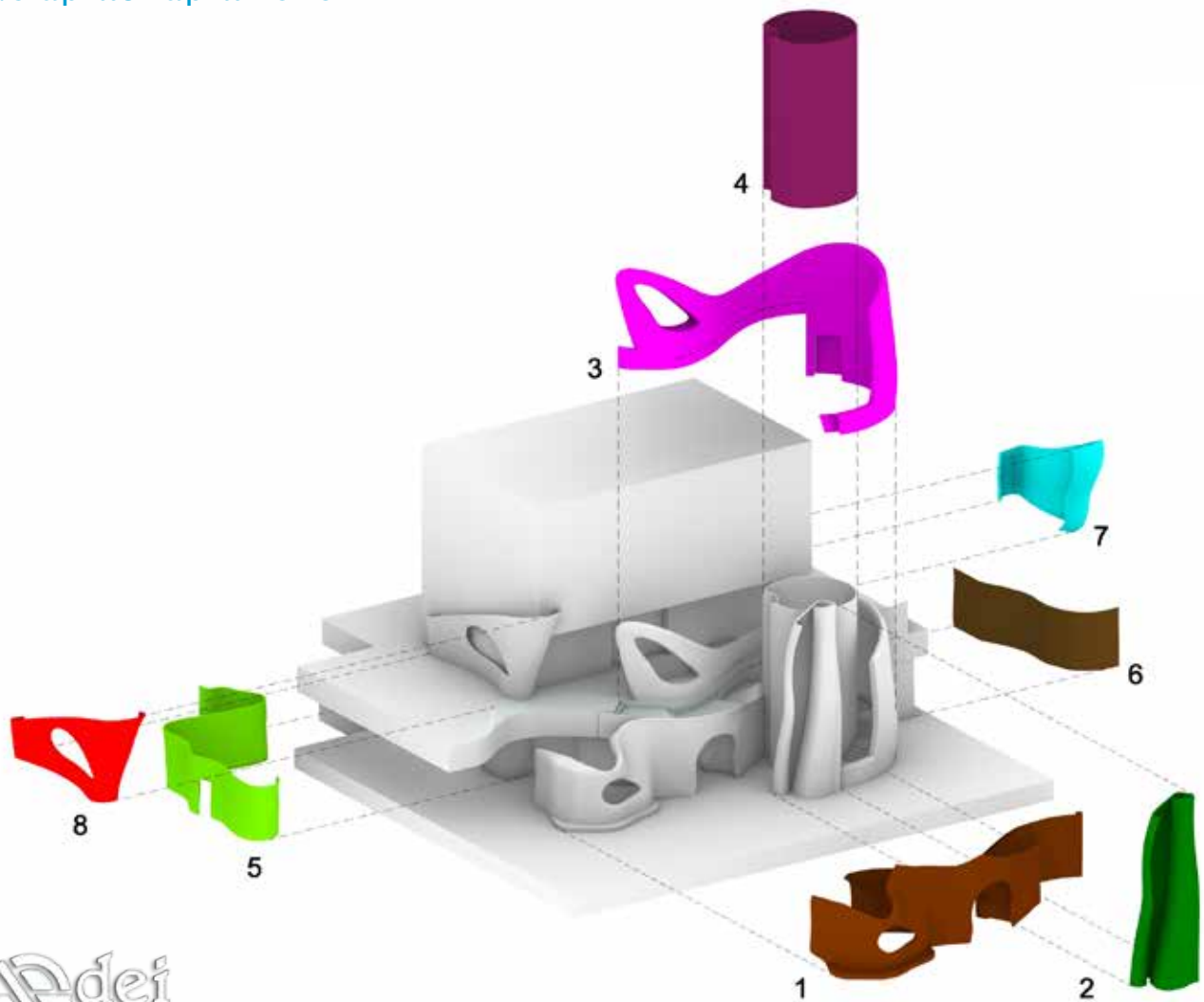


Building Information Modeling, Data & Semantics

n.6 aprile/ april 2020





INDICE/INDEX

EDITORIALE

EDITORIAL

Tommaso Empler, Francesco Ruperto 4

BIM E H-BIM. LA RAPPRESENTAZIONE DEL MODELLO TRA SPERIMENTAZIONE E FORMAZIONE

Francesca Fatta 8

CONTINUAVANO A CHIAMARLO BIM. RIFLESSIONI TRATTE DALL'ESPERIENZA SU PROGETTI
E REALIZZAZIONI DI INVOLUCRI ARCHITETTONICI SU MISURA**STILL TALKING ABOUT BIM. REFLECTIONS DRAWN FROM EXPERIENCES WORKING ON BESPOKE
FACADES PROJECTS**

Christian Florian 14

LIVELLO DI FORMAZIONE BIM: UN POSSIBILE APPROCCIO

BIM LEVEL OF EDUCATION: A POSSIBLE APPROACH

Arianna Fonsati, Matteo del Giudice, Loris Zanor 29

PROCESSI DI VALIDAZIONE PER PROGETTI BIM DI GRANDI DIMENSIONI. IL CASO DELL' EDIFICIO
DE CASTILLIA 23**VALIDATION PROCESSES FOR LARGE BIM PROJECTS. THE CASE OF THE DE CASTILLIA 23 BUILDING**

Massimiliano Lo Turco, Andrea Tomalini 41

UN PROTOCOLLO DI MODELLAZIONE URBANA MEDIANTE ABACHI E MODULI TECNOLOGICI.
DAL RILIEVO DIGITALE AL SISTEMA INFORMATIVO 3D PER IL CENTRO STORICO DI BETLEMME.**AN URBAN MODELING PROTOCOL THROUGH CATALOGUES AND TECHNOLOGICAL MODULES.
FROM DIGITAL SURVEY TO THE 3D INFORMATION SYSTEM FOR THE HISTORIC CENTER OF BETHLEHEM.**

Sandro Parrinello, Raffaella De Marco, Francesca Galasso 52

LA REALTÀ VIRTUALE PER L'AUTISMO: NUOVE CONFIGURAZIONI VISIVE PER L'INCLUSIONE E LA
COMUNICAZIONE DEL PATRIMONIO.**VIRTUAL REALITY FOR AUTISM: A NEW PROPOSAL OF VISUAL FRAMEWORKS FOR COMMUNICATION
OF THE HERITAGE AND INCLUSION**

Anna Lisa Pecora 70

LE FACCIATE DI TIPO EVOLUTO: METODOLOGIE PARAMETRICHE PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA

FUTURE FAÇADES: PARAMETRIC METHODOLOGIES FOR THE EXECUTIVE DESIGN

Paola Vescovi 89

MASSIVE WOOD DESIGN – DALLA FORMA COMPLESSA A UNA COSTRUZIONE EFFICIENTE

MASSIVE WOOD DESIGN – FROM COMPLEX SHAPE TO EFFICIENT CONSTRUCTION

Michele Calvano, Matteo Flavio Mancini 102

DAL DOCUMENTO AL MODELLO: APPROCCI INNOVATIVI PER LA GESTIONE DIGITALE DELLA MANUTENZIONE

FROM SHEETS TO MODELS: INNOVATIVE APPROACHES FOR THE FACILITY AND MAINTENANCE MANAGEMENT

Damiano Di Ciaccio, Francesco Livio Rossini, Edoardo Maroder 117

Curatore del numero Editor in Chief

Tommaso Empler, *Sapienza
Università di Roma, Roma,
Italy*

Francesco Ruperto, *Sapienza
Università di Roma, Roma,
Italy*

Direzione Scientifica Associated Editors

Cecilia Bolognesi, *Politecnico
di Milano, Milano, Italy*

Tommaso Empler, *Sapienza
Università di Roma, Roma,
Italy*

Massimiliano Lo Turco,
*Politecnico di Torino, Torino,
Italy*

Laura Inzerillo, *Università
degli Studi di Palermo, Palermo,
Italy*

Sandro Parrinello, *Università
degli Studi di Pavia, Pavia, Italy*

Francesco Ruperto, *Sapienza
Università di Roma, Roma,
Italy*

Cettina Santagati, *Università
degli Studi di Catania, Catania,
Italy*

Graziano Mario Valenti,
*Sapienza Università di Roma,
Roma, Italy*

Comitato Scientifico Scientific Committee

Pietro Baraton, *Provveditore
Interregionale per le OO.PP.
Lombardia ed E.Romagna*

Angelo Ciribini, *Presidente
ISTEA, Università di Brescia,
Brescia, Italy*

Bruno Daniotti, *Project
Manager InnovAnce, Politecnico
di Milano, Milano, Italy*

Alberto Pavan, *Coordinatore
norma UNI 11337, Responsabile
Scientifico InnovAnce, Politecnico
di Milano, Milano, Italy*

Gregorio Cangialosi, *BIM
Manager and BIM Strategist,
Studio CABE, Torino, Italy*

Emmanuel di Giacomo, *EMEA
BIM & AEC Ecosystem Business,
France*

Graziano Lento, *Anafyo Sagl,
Ticino, Switzerland*

Paolo Galli, *Implementation
Consultant BIM, Milano, Italy*

Diego Minato, *BIM Manager &
Technical Consultant | BIM
Strategist, Treviso, Italy*

Orges Lesha, *BIM Manager, SA
Architects, Sdn Bhd, Kuala
Lumpur, Malaysia*

Chiara Rizzarda, *Deputy BIM
Manager at Antonio Citterio
Patricia Viel, Milano, Italy*

Yoseph Bausola Pagliero, *VPL
and BIM expert, Roma/ Torino,
Italy*

Armando Casella, *Bimfactory,
Brescia, Italy*

Filippo Daniele, *Setin Roma, Italy*

Yusuf Arayici, *Hasan Kalyoncu
University, Gaziantep, Turkey*

Maarten Bassier, *University of
Leuven, Leuven, Belgium*

Stefano Bertocci, *Università
degli Studi di Firenze, Firenze,
Italy*

Carlo Bianchini, *Sapienza
Università di Roma, Roma, Italy*

Maurizio Bocconcino,
*Politecnico di Torino, Torino,
Italy*

Frédéric Bosché, *Heriot-Watt
University, Edinburgh, United
Kingdom*

Stefano Brusaporci, *Università
degli Studi dell'Aquila, L'Aquila,
Italy*

Clark Cory, *Purdue University,
Indianapolis, USA*

Livio De Luca, *MAP/CNRS,
Marseilles, France*

Antonella Di Luggo, *Università
degli Studi di Napoli Federico II,
Napoli, Italy*

Stephen Fai, *Carleton
University, Ottawa, Canada*

Pablo Lorenzo Eiroa, *Cooper
Union, New York, USA*

Andrea Giordano, *Università
degli Studi di Padova, Padova,
Italy*

Antonio Gómez-Blanco
Pontes, *Universidad de Granada,
Granada, Spain*

Sorin Hermon, *Cyprus Institute,
Nicosia, Cyprus*

Arto Kiviniemi, *University of
Liverpool, Liverpool, United
Kingdom*

Giovanna Massari, *Università
degli Studi di Trento, Trento, Italy*

Maurice Murphy, *Dublin
Institute of Technology, Dublin,
Ireland*

Anna Osello, *Politecnico di
Torino, Torino, Italy*

Livio Sacchi, *Università degli
Studi "G. d'Annunzio", Chieti-
Pescara, Italy*

Andrew Sanders, *Penn
University, Philadelphia, USA*

Alberto Sdegno, *Università
degli Studi di Trieste, Trieste,
Italy*

Jose Pedro Sousa, *Universidade
do Porto, Porto, Portugal*

Massimo Stefani, *Harpanceas*

La valutazione dei contributi pubblicati è avvenuta con la modalità del double blind review.

Papers are published under double blind review mode.

Editore

Direttore responsabile: Giuseppe Rufo

Progetto grafico: Ottavia Menzio, Alexandra Fusinetti. Copyright DEI Tipografia del Genio Civile, numero 1/2017 *Direzione, Redazione e Pubblicità* tel. 06/4416371 *Ufficio Abbonamenti* tel. 06/44163767 - 06/4416371 Fax 06/4403307 *Periodico semestrale:* Abbonamento annuo (2 numeri) 30,00 €: c/cp n. 65047003 intestato a: DEI Srl Tipografia del Genio Civile, via Cavour 179/A 00184 Roma *Bonifico bancario:* IT 91 0 03127 050110 0000 0019585 Unipol Banca. La Redazione è grata a tutti coloro che vorranno collaborare. I manoscritti, anche se non pubblicati, non si restituiscono. Le opinioni espresse dagli Autori non impegnano la rivista. Eventuali errori o imprecisioni non comportano responsabilità della Casa Editrice e della Direzione che ha posto comunemente la massima cura nella revisione dei testi e nella realizzazione dell'opera.

www.dienne.org



Massive wood design – Dalla forma complessa a una costruzione efficiente

Massive wood design – From complex shape to efficient construction

Michele Calvano¹, Matteo Flavio Mancini²

¹Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale,

²Università degli Studi di Roma Tre – Dipartimento di Architettura

e-mail: michele.calvano@ispc.cnr.it ; matteoflavio.mancini@uniroma3.it

□ Abstract

Il rapporto tra forma complessa ed efficienza realizzativa è sempre più importante alla luce del notevole sviluppo delle tecniche di fabbricazione digitale. La modellazione algoritmica ha assunto un ruolo centrale poiché riesce a soddisfare tanto le necessità estetiche quanto quelle produttive.

□ Key Words

Ottimizzazione forma, fabbricazione digitale, NURBS, algoritmi costruttivi, VPL

□ Il complesso, il complicato e la simplicity

(Matteo Flavio Mancini)

L'architettura contemporanea fa ormai abitualmente uso degli strumenti di rappresentazione digitale per prefigurare il progetto di forme organiche e di tecniche di fabbricazione digitale per la loro realizzazione.

La crescente disponibilità di risorse di calcolo e la sempre maggiore flessibilità dei *software* di modellazione tridimensionale hanno spinto la ricerca architettonica verso forme di complessità sempre crescente. Questa tendenza deve però sempre prediligere la complessità alla complicatezza e, proprio per attuare questa intenzione, in diversi campi disciplinari si sta affermando un approccio metodologico che persegue la *simplicity*, cioè la teoria che propone una nuova relazione di complementarità tra *complexity* (complessità) e *simplicity* (semplicità). Tale 'semplice complessità' si esprime in architettura ogni qualvolta un progetto apparentemente complesso è il risultato di una strategia progettuale e realizzativa semplice [1].

In questo senso lo studio della forma e la sua ottimizzazione prendono spesso il nome di *architectural geometry* o

□ Abstract

The relationship between complex form and manufacturing efficiency is increasingly important in light of the remarkable development of digital manufacturing techniques. Algorithmic modelling has assumed a central role as it is able to satisfy both aesthetic and production needs.

□ Key Words

Shape optimization, digital fabrication, NURBS, constructional algorithms, VPL

□ The complex, the complicated and the simplicity

(Matteo Flavio Mancini)

Contemporary architecture nowadays usually makes use of digital representation tools to prefigure the design of organic forms and digital manufacturing techniques for their realization.

The increasing availability of computing resources and the increasing flexibility of three-dimensional modeling software has pushed architectural research towards forms of increasing complexity.

This tendency, however, must always prefer complexity to complication and, precisely in order to implement this intention, a methodological approach that pursues simplicity, i.e. the theory that proposes a new relationship of complementarity between complexity and simplicity, is emerging in various disciplinary fields. This 'simple complexity' is expressed in architecture whenever an apparently complex project is the result of a simple design and construction strategy [1].

In this sense the study of form and its optimization are often called architectural geometry or smartgeometry and are seen as a direct evolution of descriptive geometry, intended as a design and control shape tool [2, 3].

smart geometry e sono viste come evoluzione diretta della geometria descrittiva, intesa come strumento di progetto e controllo della forma [2, 3].

Questo contributo intende presentare metodologicamente quanto realizzato in un'esperienza di fabbricazione digitale che ha visto un processo di ottimizzazione delle forme indirizzato alla loro produzione attraverso macchine a controllo numerico (CNC). L'attuazione di questo processo ha richiesto la 'traduzione' del progetto attraverso diversi *medium*: modelli tridimensionali, disegni bidimensionali e listati di dati, questi ultimi necessari al controllo della produzione [4].

Il ruolo di esperto in ottimizzazione e ingegnerizzazione della forma si trova a metà strada tra il progettista e il produttore/realizzatore, a lui spetta infatti il compito di tradurre la forma progettata in una forma realizzabile, rispettando i valori estetici della prima e le specifiche tecniche della seconda. Il compito descritto è stato prefigurato all'interno dei *software* di modellazione, che hanno determinato un ambito chiaro in cui si è risolto il nostro ruolo all'interno della sperimentazione. Nello specifico con il disegno digitale sono state affrontate le fasi di ottimizzazione topologica della forma progettata e quella di simulazione dei tasselli di legno massello. Questi hanno dovuto rispettare le specifiche geometriche fornite dal produttore che si è invece occupato direttamente della progettazione del materiale e della sua lavorazione.

□ Un nuovo paradigma per la fabbricazione dei modelli

(Michele Calvano)

In architettura l'era dei modelli digitali caratterizzati da superfici complesse, ha posto il problema della costruzione degli stessi. Dal punto di vista geometrico, l'azione del costruire è stata sin dal passato risolta proponendo la giustapposizione di parti con cui costruire ripari; l'uomo infatti, una volta uscito dalle caverne ha sentito la necessità di antropizzare spazi giustapponendo elementi per la conformazione di ambiti funzionali protetti capaci di materializzare il confine tra il dentro e il fuori. Le parti dovevano essere trasportate e montate, motivo per cui hanno assunto delle dimensioni e delle forme che ne hanno garantito nel tempo la movimentazione e lo stoccaggio. Nelle abitazioni tradizionali il pavimento è un piano orizzontale composto da mattonelle che, nel giustapporsi, creano una "edge to edge tassellation". La parete è invece un piano verticale composto da blocchi che tassellano in maniera "non-edge to edge" la dimensione verticale (fig. 1). In termini generali la tassellazione dello spazio n -dimensionale euclideo K_d , può essere definita da due visioni equivalenti. Da una parte abbiamo una suddivisione di K_d in regioni n -dimensionali non sovrapposte; dall'altra abbiamo un insieme di regioni n -dimensionali che coprono K_d senza lacune o sovrapposizioni. Immaginiamo di suddividere l'ele-

This contribution aims to present methodologically what has been achieved in a digital manufacturing experience that has seen a process of shape optimization aimed at their production through numerical control machines (CNC). The implementation of this process required the 'translation' of the project through different mediums: three-dimensional models, two-dimensional drawings and data lists, the latter necessary for production control [4].

The role of expert in shape optimizing and engineering is located halfway between the designer and the manufacturer/maker. He is responsible for translating the designed shape into a feasible shape, respecting the aesthetic values of the first and the technical specifications of the second. The task described has been prefigured within the modelling software, which has determined a clear scope for our role within the experimentation. In particular, the phases of topological optimization of the designed shape and the simulation of the solid wood dowels have been dealt through the digital drawing. These had to comply with the geometrical specifications provided by the manufacturer, who was instead directly involved in the design of the material and its manufacturing.

□ A new paradigm for model fabrication

(Michele Calvano)

In architecture, the era of digital models characterized by complex surfaces has posed the problem of their construction. From the geometrical point of view, the action of building has been solved since the past by proposing the juxtaposition of parts to build shelters; man, in fact, once out of the caves felt the need to anthropize spaces by combining elements for the conformation of protected functional areas able to create the boundary between inside and outside. The parts had to be transported and assembled, which is why they took on dimensions and shapes that ensured their handling and storage over time. In traditional houses, the floor is a horizontal plane composed of tiles that, in the juxtaposition, create an "edge to edge tassellation". The wall, on the other hand, is a vertical plane composed of blocks that tessellate the vertical dimension in a "non-edge to edge" way (fig. 1). In general terms the tessellation of the Euclidean n -dimensional space K_d , can be defined by two equivalent visions. On the one hand we have a subdivision of K_d into non-overlapping n -dimensional regions; on the other hand we have a set of n -dimensional regions covering K_d without gaps or overlaps. Let's imagine to subdivide the technical element (the floor for example) in parts that allow its construction, elementary pieces that can be stored and transported; in the opposite way we think, for the constitution of the same element, to the aggregation of repeated modules. The simple architectural elements respond to an aggregative logic of repeated modules one by one or repeated by groups (structured or semi-structured tessellation) [5], differently from architectural elements with a complex shape for which it is not possible to combine equal modules for the whole continuity of the shape. In this case the tessellation logics are defined as unstructured because they propose all different tessel-

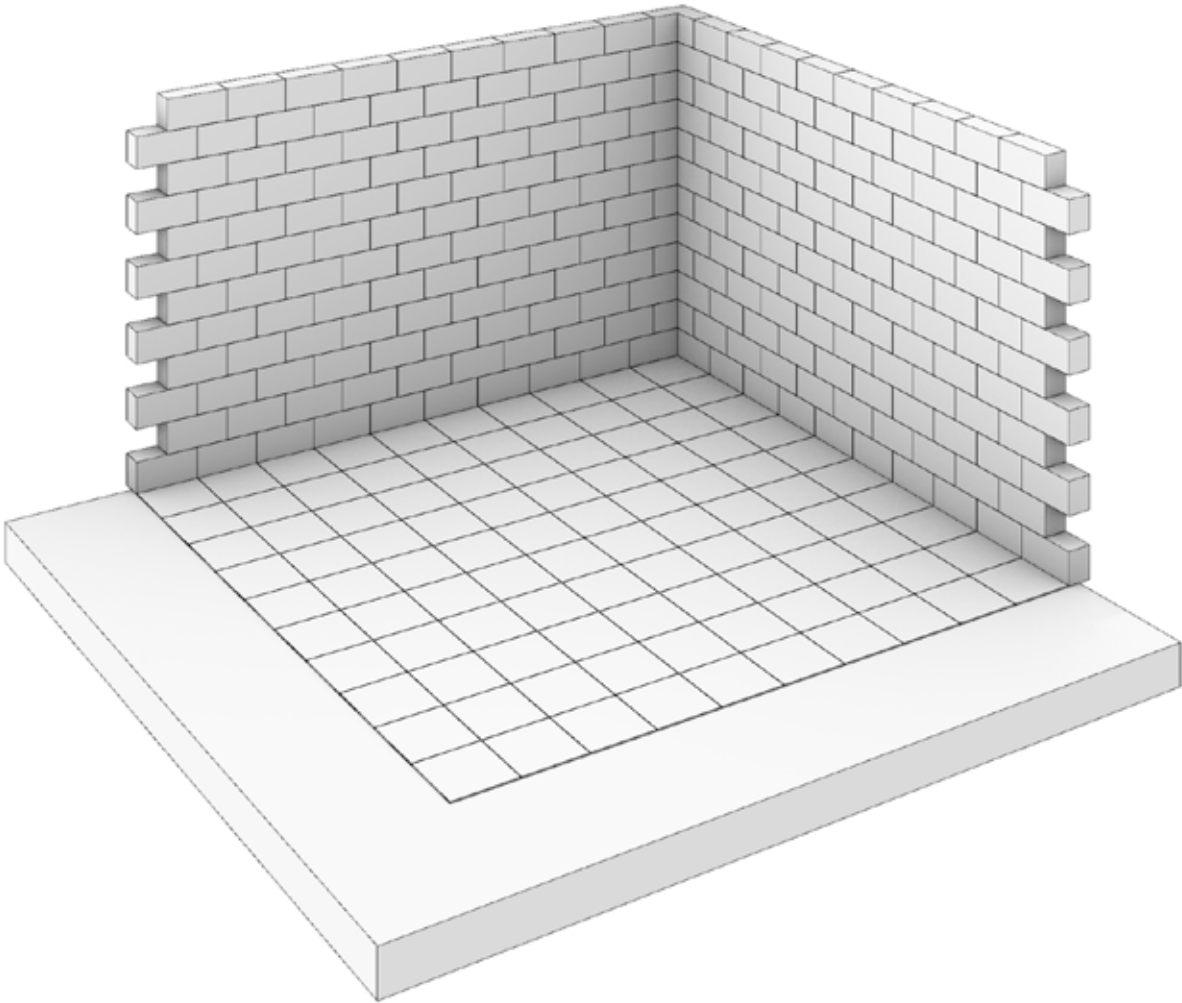


Fig.1 Esempio di tassellazione strutturata "Edge to Edge" per il pavimento e "non Edge to Edge" per le pareti.

Fig.1 An example of structured tessellation "Edge to Edge" for the floor and "not Edge to Edge" for the walls.

mento tecnico (il pavimento ad esempio) in parti che ne garantiscano la costruzione, pezzi elementari impilabili e trasportabili; in maniera opposta pensiamo, per la costituzione dello stesso elemento, all'aggregazione di moduli ripetuti. Gli elementi architettonici semplici rispondono ad una logica aggregativa di moduli ripetuti o ripetuti per gruppi (tassellazione strutturata o semistrutturata) [5], a differenza di elementi architettonici dalla forma complessa per cui non è possibile accostare moduli uguali per l'intera continuità della forma. In questo caso le logiche di tassellazione si definiscono non strutturate poiché propongono tasselli tutti diversi che costituiscono una struttura spaziale di elementi in aderenza tra loro (fig. 2).

Nella contemporaneità, a differenza del passato, non è possibile pensare ad una logica aggregativa per la costruzione della forma, ma al contrario dal macro (la forma) si deve arrivare al micro (il tassello) con delle logiche di parcellizzazione della forma derivanti da qualità caratterizzanti ed opportunamente selezionate, come ad esempio la curvatura locale della superficie da tassellare.

lations that constitute a spatial structure of different elements in adherence to each other (fig. 2).

In the contemporary world, unlike in the past, it is not possible to think of an aggregative logic for the construction of the shape, but on the opposite, from the macro (the shape) one must arrive at the micro (the tile) with the logic of parcelling out the shape deriving from characteristic and suitably selected qualities, such as the local curvature of the surface to be tessellated.

The adoption of complex shapes for the conformation of architectural models changes the paradigm of building construction. From the aggregation of standardized elements for the construction of ordinary shapes, we move to the combination of customized elements for the construction of complex shapes; from industrial production we move to Digital Manufacturing, meaning the workflow with which to manage the project and production. In this process, digital data guides directly the numerically controlled machines that construct the pieces of shape. The data we talk about, comes from CAD (computer-aided design) software, these are then transferred to CAM (computer-aided manufacturing) applications that drive the machines for the production of the parts that make

L'adozione di forme complesse per la conformazione di modelli architettonici cambia il paradigma di costruzione degli edifici. Dall'aggregazione di elementi standardizzati per la costruzione di forme ordinarie, si passa alla giustapposizione di elementi customizzati per la costruzione di forme complesse; dalla produzione industriale si passa alla Fabbricazione Digitale, intendendo il flusso di lavoro con cui gestire il progetto e la produzione. In questo processo i dati digitali guidano direttamente le macchine a controllo numerico che costruiscono i tasselli della forma. I dati di cui si parla provengono il più delle volte da software CAD (*computer-aided design*), questi sono poi trasferiti ad applicazioni CAM (*computer-aided manufacturing*) che a loro volta guidano le macchine per la produzione delle parti che costituiscono l'intero artefatto; le macchine utilizzate in questi processi sono generalmente di natura additiva o sottrattiva. I *software* di rappresentazione digitale sono in grado di simulare bene il passaggio dal continuo al discreto (operazione di tassellazione).

In figura 3 vediamo una superficie NURBS a doppia curvatura, oggetto che può essere costruito principalmente mediante due azioni di discretizzazione:

- la divisione dell'intero in parti più piccole che seguono la forma;
- la discretizzazione dell'intero in elementi più piccoli di forma semplificata.

La riduzione in parti è propedeutica alla formatura di porzioni di superficie con macchine che aggiungono, sottraggono o deformano un materiale (termoformatura, stampa 3D, fresatura), elementi che una volta costruiti vengono giustapposti per restituire fisicamente la forma prefigurata nello spazio digitale. Le sperimentazioni applicate al caso studio sono state orientate alla risoluzione del primo metodo, dove il tassello era ricavato dal taglio di pannelli semilavorati. Questi sono stati costruiti direttamente in azienda mediante assemblaggio di tavole di *american black walnut* (noce massello) rettificate e piallate per formare pannelli spessi 43 mm e della dimensione di 1200 x 1350 mm. Le misure del pannello erano dettate dalla necessità di movimentazione, stoccaggio e posizionamento sulla macchina CNC del materiale.

□ Analisi qualitative e ottimizzazione della forma a Doha

(Matteo Flavio Mancini)

L'esperienza specifica su cui si basa la metodologia descritta è stata la realizzazione dell'allestimento con pareti in legno massello della hall al 28° piano di un albergo a Doha¹ (fig. 4).

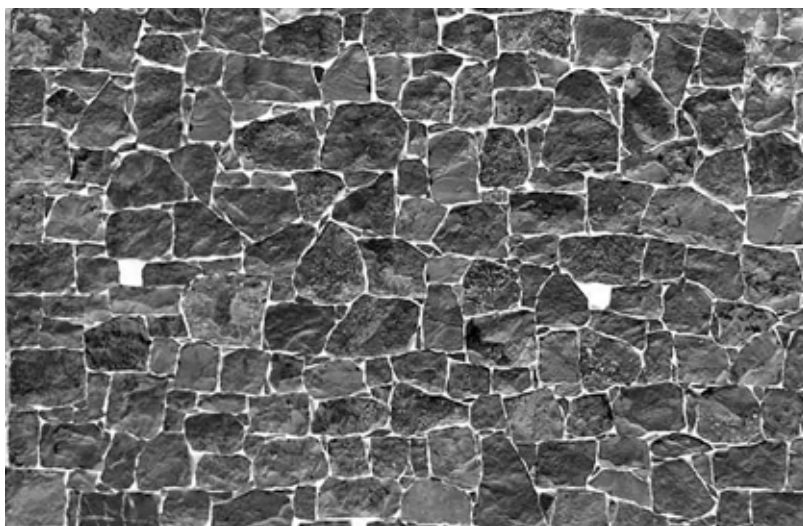


Fig.2 Esempio di tassellazione non strutturata, aggregazione tipica delle antiche murature a secco.

Fig.2 An example of unstructured tessellation, typical aggregation of ancient dry-stone masonry.

up the entire artifact; the machines used in these processes are generally additive or subtractive ones. Digital representation software is able to well simulate the transition from continuous to discrete (tessellation operation).

In figure 3 we see a double curvature NURBS surface, an object that can be made constructible mainly through two discretization actions:

- *the division of the whole into smaller parts that follow the shape;*
- *the discretization of the whole into smaller elements of simplified shape.*

The reduction in parts is preparatory to the shaping of surface portions with machines that add, subtract or deform a material (thermoforming, 3D printing, milling), elements that once built are combined to physically return the prefigured shape in the digital space. The experimentations applied to the case study were focused on the resolution of the first method. The experiments applied to the case study were resolution-oriented in the first method, where the dowel was obtained by cutting semi-finished panels. These were built directly in the company by assembling American black walnut boards ground and planed to form panels 43 mm thick and 1200 x 1350 mm in size. The dimensions of the panel were required for the handling, storage and positioning of the material on the CNC machine.

□ Qualitative analysis and shape optimization in Doha

(Matteo Flavio Mancini)

The specific experience on which the described methodology is based, has been the realization of the solid wood walls of the hall at the 28th floor of a hotel in Doha¹. (fig. 4).

1_ Il progetto è curato dall'arch. Jacques Garcia. <http://studiojacquesgarcia.com/>

1_ Architect Jacques Garcia directed the project. <http://studiojacquesgarcia.com/>

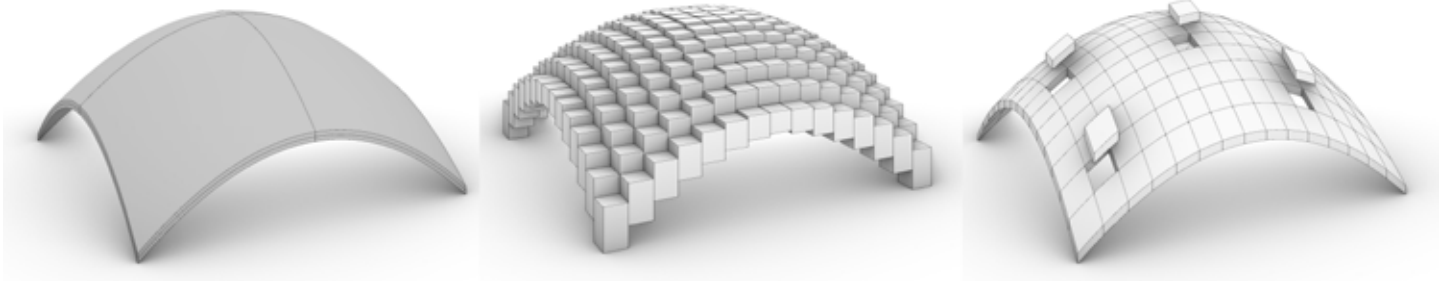


Fig.3 Tassellazioni possibili per superfici a doppia curvatura: per aggregazione di elementi semplificati; per suddivisione dell'entità complessa.

Fig.3 Possible tessellations for double curved surfaces: by aggregation of simplified elements; by subdivision of the complex entity.



Fig.4 Luogo di intervento: Mezzanino dello SkyView di Doha (foto: Devoto Design).

Fig.4 Location: Mezzanine of the SkyView in Doha (photo: Devoto Design).

Il flusso di lavoro si è basato sull'idea che il progetto e la sua produzione fossero organizzati su unità corrispondenti alle singole pareti. La forma progettata delle pareti presentava una notevole varietà morfologica: pareti a doppia curvatura, di altezza pari a un interpiano e pelle singola (pareti 5, 6, 7, 8 nella fig. 5); torri cilindriche o a sezione variabile,

The workflow was based on the idea that the project and its production were organized on units corresponding to the individual walls. The designed shape of the walls presented a remarkable morphological variety: double curved walls, with a height equal to an inter-storey and single skin (walls 5, 6, 7, 8 in fig. 5); cylindrical or variable section towers, with free height (walls 2 and 4 in fig. 5);

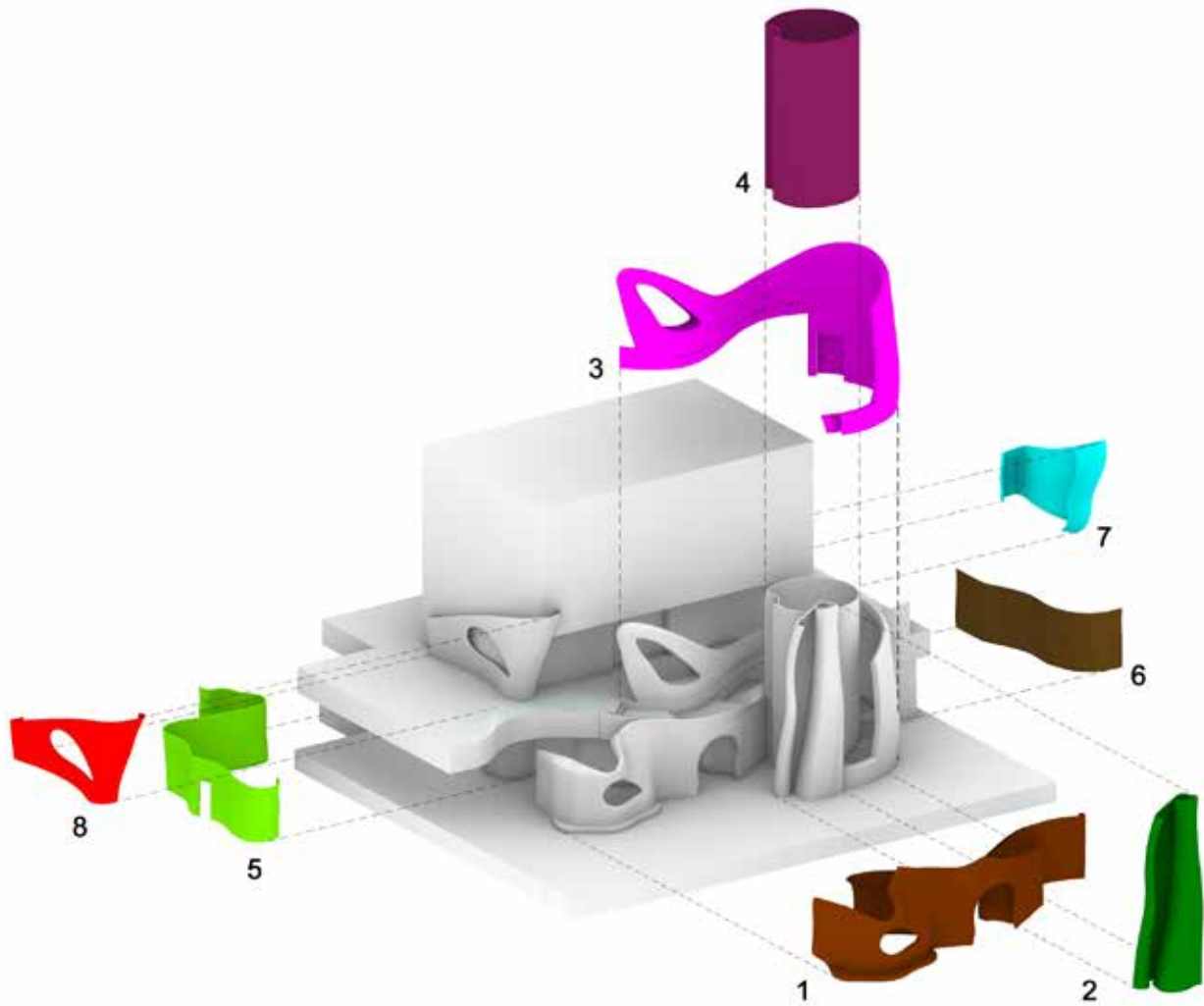


Fig.5 Le pareti del progetto a doppia curvatura caratterizzate da diverse proprietà tecniche e formali.

Fig.5 The double curved walls of the project are characterized by different technical and formal properties.

di altezza libera (pareti 2 e 4 nella fig. 5); e infine superfici a doppia curvatura, di altezza libera, forate da aperture o attraversamenti a doppia pelle (pareti 1 e 3 nella fig. 5).

Dal punto di vista geometrico tutte le pareti, tranne la torre cilindrica, erano caratterizzate da porzioni di superfici a doppia curvatura in cui da progetto la continuità tra le diverse superfici - esterne, interne e raccordi - deve essere di curvatura (G2). La modellazione matematica (NURBS) è stata adottata per la sua capacità di gestire ottimamente questo tipo di forme.

Il passaggio da forma progettata a forma realizzabile in un processo di fabbricazione digitale richiede innanzitutto la verifica delle proprietà topologiche della forma stessa, ovvero dei suoi modelli digitali. Questo passaggio è fondamentale per garantire una traduzione fluida e priva di errori tra modelli tridimensionali, disegni bidimensionali e listati di dati.

I modelli di ciascuna parete sono stati analizzati e corretti

and finally double curved surfaces with a double skin, free height, perforated by openings or crossings (walls 1 and 3 in fig. 5).

From a geometrical point of view all the walls, except the cylindrical tower, were characterized by portions of surfaces with double curvature in which the continuity between the different surfaces - external, internal and connecting - must be of curvature (G2). Mathematical modeling (NURBS) was adopted for its ability to optimally manage this type of shape.

The conversion from a designed shape to a feasible shape in a digital manufacturing process requires first of all the verification of the topological properties of the shape itself, i.e. its digital models. This transition is essential to ensure a smooth and error-free translation between three-dimensional models, two-dimensional drawings and data lists.

The models of each wall have been analyzed and corrected or remodeled, through reverse modeling operations, depending on the topological quality detected for each wall.

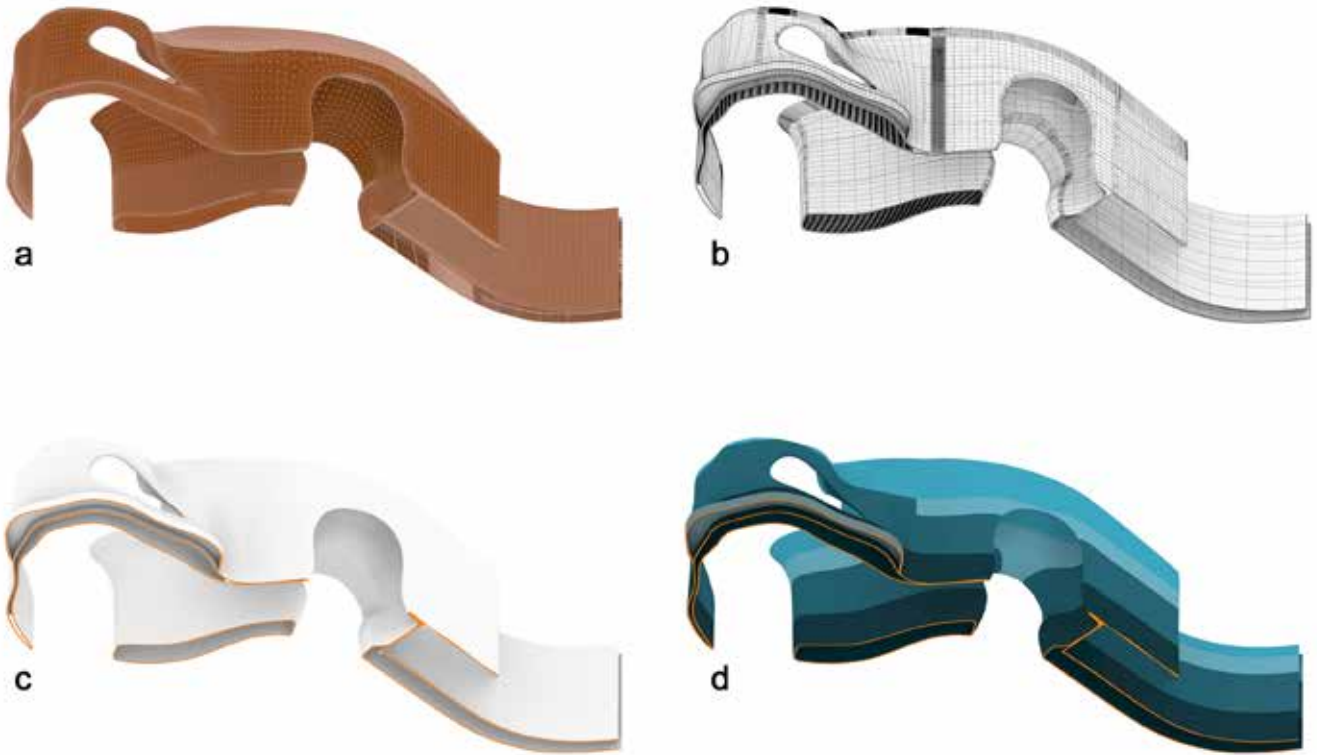


Fig.6 Modelli derivanti dalla procedura di ottimizzazione propedeutica all'intervento di tassellazione.

Fig.6 The models deriving by the optimization procedure, preparatory to the tessellation procedure.

o rimodellati, attraverso operazioni di *reverse modeling*, a seconda della qualità topologica riscontrata per ogni parete.

Ogni modello ricevuto dal progettista (a nella fig. 6) è stato analizzato alla ricerca di problemi topologici come bordi aperti o *non-manifold*. Eventuali errori di questo tipo sono stati corretti per non inficiare i passaggi successivi. Di seguito è stata controllata la corrispondenza tra le specifiche geometriche indicate come irrinunciabili (la continuità di curvatura ad esempio) per valutare la necessità di interventi di *reverse modeling* parziali o totali.

Sempre in questa fase è stato verificato il rispetto delle specifiche tecniche fornite dal produttore, ad esempio lo spessore delle pareti. A questo punto della lavorazione il modello è topologicamente corretto ma può essere sottoposto ad ulteriori operazioni di ottimizzazione per ottenere una struttura parametrica, ovvero una densità e un orientamento dei parametri (u,v) ottimale per descrivere in modo efficiente le proprietà geometriche delle superfici (b in fig. 6).

Terminata la fase di ottimizzazione dei modelli, il cui scopo era quello di conservare o implementare i valori estetici delle forme progettate e di assicurare le proprietà geometriche macroscopiche (come lo spessore delle pareti) delle forme realizzabili, il lavoro si è concentrato sulla prima fase di ingegnerizzazione delle forme. È stato questo il mo-

Each model received by the designer (a in fig. 6) was analyzed in search of topological problems such as open or non-manifold edges. Any such errors were corrected in order not to affect the following steps. The correspondence between the geometrical specifications indicated as essential (curvature continuity for example) was checked to evaluate the need for partial or total reverse modeling interventions.

It was also at this stage that compliance with the manufacturer's technical specifications, such as wall thickness, was verified. At this stage the model is topologically correct but can be subjected to further optimization operations to obtain a parametric structure, i.e. a density and orientation of the parameters (u,v), optimal to efficiently describe the geometric properties of the surfaces (b in fig. 6).

Once the model optimization phase was finished, whose aim was to preserve or implement the aesthetic values of the designed shapes and to ensure the macroscopic geometric properties (such as wall thickness) of the feasible shapes, the work focused on the first phase of shape engineering. This was the moment to insert the architectural details such as doors, fixtures, railing housings, flashings and guides necessary for assembly on site (c in fig. 6, in orange, on the ground, the Corian guide to begin assembly of the wooden dowels) and, finally, to organize the production. On this occasion it was decided to operate by superimposed sectors that took into account the height of the strips of blocks and their quantity (d in fig. 6). At this point the

mento di inserire i dettagli architettonici come porte, infissi, alloggiamenti per parapetti, scossaline e guide necessarie al montaggio in cantiere (c in fig. 6, in arancione, a terra, la guida in corian da cui iniziare il montaggio dei tasselli lignei) e, infine, di organizzare la produzione. In questa occasione si era scelto di operare per settori sovrapposti che tenessero conto dell'altezza delle fasce dei listelli e della loro quantità (d in fig. 6). A questo punto i modelli erano stati preparati per essere discretizzati algebricamente in base alle specifiche di dettaglio fornite dal produttore.

□ Algoritmi per la discretizzazione delle forme complesse

(Michele Calvano)

Nell'affrontare una così grande mole di lavoro il disegno digitale esplicito (DDE) risulta essere una modalità operativa efficiente [6]; questo per una serie di valori che lo caratterizzano. Il primo tra tutti è la possibilità di tracciare procedure sul "canvas", spazio operativo in cui comporre i codici. Le procedure automatizzate sono caratterizzate da input, operazioni algoritmiche ed output. Gli input sono entità alfanumeriche ma anche geometrie, costanti o variabili che alimentano le successive procedure per restituire i dati risultanti dal processo ideato e automatizzato. L'automatismo del processo porta all'ideazione di uno strumento che si adatta agli input diversificati nel rispetto della logica programmata; le soluzioni fornite rispondono ai vincoli imposti durante la scrittura del processo ideativo programmato.

Il caso studio presentato, nella sua complessa articolazione prevede delle invarianti che hanno permesso di "disegnare" l'algoritmo. Nella definizione di un codice "costruttivo" il punto di partenza è l'individuazione dell'output; determinato l'obiettivo si procede a ritroso rispettando le condizioni imposte dalle invarianti. Anche il DDE, come tutti i metodi di prefigurazione del progetto, prevede una fase di sketching, ovvero il tempo creativo utile a rendere efficiente l'algoritmo attraverso la scrittura di codici di prova sempre più pertinenti al problema da risolvere. In questa fase le ipotesi algoritmiche vanno prefigurate, anche attraverso schemi grafici che visualizzano i possibili modelli: una collezione di disegni che anticipano la responsabilità delle procedure "schizzate". La preventiva rappresentazione di configurazioni consente di individuare, nelle forme disegnate, le varianti e i vincoli da tenere in considerazione; i vincoli si materializzano nella definizione come processi costruttivi; le varianti come parametri mutevoli che permetteranno di cambiare i modelli all'interno della stessa famiglia costruttiva; per famiglia intendiamo le infinite di immagini 3D frutto della stessa procedura algoritmica.

2_ Per codice costruttivo intendiamo l'automatizzazione di processi descrivibili anche attraverso costruzioni analogiche, ma che in ambito digitale amplificano gli effetti risolutivi.

models were prepared to be algorithmically discretized according to the detailed specifications provided by the manufacturer.

□ Algorithms for the discretization of complex shapes

(Michele Calvano)

In this field, explicit digital drawing (DDE) is an efficient operative mode [6] for a number of its values. The first of all is the possibility to trace procedures on the "canvas", an operative space where to compose codes. Automated procedures are characterized by input, algorithmic operations and output. The inputs are alphanumeric entities but also geometries, constants or variables that feed the subsequent procedures to return the data resulting from the designed and automated process. The automatism of the process leads to the ideation of a tool that adapts to diversified inputs in respect of the logic programmed; the provided solutions respond to the constraints imposed during the writing of the creative process programmed.

The case study presented, in its complex articulation, foresees invariants that allow to "draw" the algorithm. In the definition of a "constructive²" code, the starting point is the identification of the output; once the objective is defined, we proceed backwards respecting the conditions imposed by the invariants. Like all methods for prefiguring the project, also the DDE foresees a sketching phase, that is the creative time necessary to make the algorithm efficient through the writing of test codes more and more relevant to the problem to solve. In this phase the algorithmic hypotheses must be prefigured, also through graphic schemes that visualize the possible models: a collection of drawings that anticipate the responsiveness of the "sketched" procedures.

The representation of different configurations allows to identify, in the drawn shapes, the variants and constraints to be taken into account; the constraints affect construction processes; the variants become the changing parameters that will allow to change the models within the same construction family; by family we mean the infinity of 3D images resulting from the same algorithmic procedure.

As previously defined, the theme had as main input a model composed of mathematical surfaces (boundary representation); the starting point was a sequence of complex surfaces at an architectural scale (fig. 5).

The role of Visual Programming Language (VPL) in Digital Manufacturing processes can be found both in the generation and management of complex shapes created in CAD environment, but also in the compilation of CAM files to drive the numerical control machines involved in the parts manufacturing. In this case, the procedure conceived has foreseen a resolutive role of the VPL only in CAD environment, leaving to the company³ involved in the

2_ By construction code we mean the automatization of processes that can also be described through analogical constructions, but that in the digital field amplify the resolving effects.

3_ The company involved was Devoto Design srl (www.devotodesign.it), a company based in the province of Latina, active in the design and con-

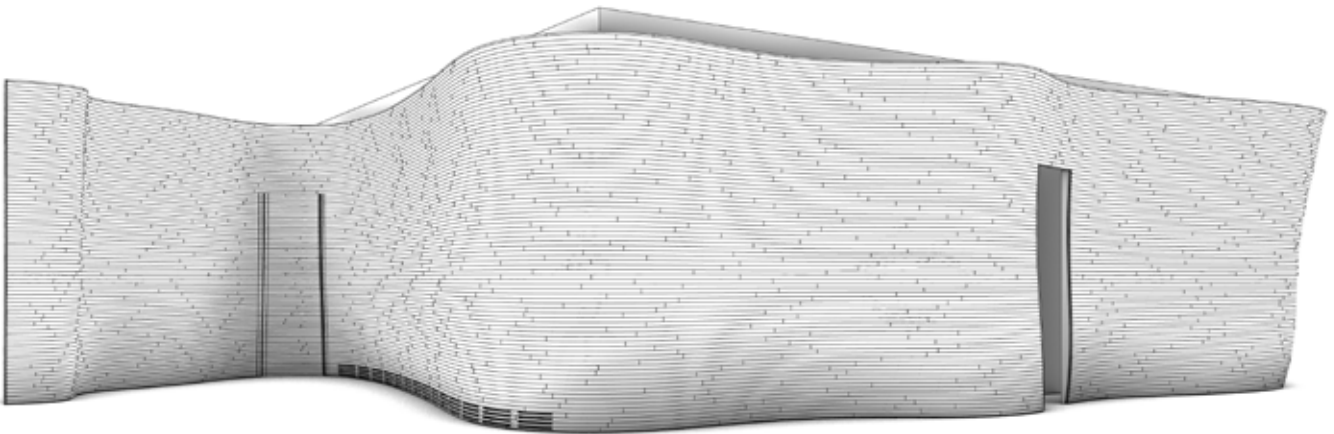


Fig.7 Parete numero 5 della figura 5. Modello derivante dalla procedura di tassellazione.

Fig.7 The wall number 5 in figure 5. Model deriving from the tessellation procedure.

Come definito in precedenza, il tema prevedeva come input principale un modello composto da superfici matematiche (boundary representation). La modellazione NURBS ha quindi proposto come base iniziale una sequenza di superfici complesse a scala architettonica (fig. 5).

Il ruolo del Visual Programming Language (VPL) nei processi di Fabbricazione Digitale trova spazio sia nella generazione e gestione di forme complesse generate in ambiente CAD, ma anche nella compilazione dei file CAM per governare le macchine a controllo numerico impegnate nella lavorazione delle parti. In questo caso la procedura ideata ha previsto un ruolo risolutivo del VPL solo in ambiente CAD, lasciando all'azienda³ coinvolta nel processo costruttivo il compito di risolvere tutti gli aspetti CAM rivolti alla fresa CNC.

Si parte dagli obiettivi, per cui dall'output principale che si voleva ottenere: un modello 3D composto da polisuperfici NURBS chiuse, le cui caratteristiche geometriche rispettino i vincoli estetici e di fabbricazione necessari alla realizzazione dell'opera (fig. 7).

La tassellazione, secondo quanto già definito nel paragrafo 2 si componeva di costole lignee la cui altezza era dettata dallo spessore dei pannelli utilizzati per la produzione delle parti. La lunghezza delle parti era invece condizionata dalla curvatura delle porzioni di superficie tassellate unita alla necessità di utilizzare il minor numero di pannelli pos-

manufacturing process the task of solving all CAM aspects addressed to the CNC milling machine.

We start from the objectives, therefore the main output we wanted to obtain: a 3D model composed of NURBS closed polysurfaces, whose geometrical characteristics respect the aesthetic and manufacturing constraints necessary for the realization of the work (fig. 7).

The tessellation, as already defined in paragraph 2, consisted of wooden ribs whose height was determined by the thickness of the panels used to produce the parts. The length of the parts, on the other hand, was conditioned by the curvature of the portions of the tessellated surface combined with the need to use as few panels as possible, avoiding the waste of material during the nesting operation. The aesthetic aspect was delegated to the chosen wood essence and the need to avoid sudden changes its grain.

Regarding the relationship between curvature and nesting, the mentioned constraints suggested a shorter length of the parts in correspondence with the surface areas of greater curvature. The direct consequence of this choice is getting elements with reduced concavity, allowing the maximum matching of the parts during the nesting phase (fig. 8).

The length of the parts has the need to facilitate the storage, transport and handling of the wooden parts inside the site as an additional constraint. All these conditions have informed the procedure in a path consisting of four main operations:

- 1. creation of horizontal cuts with constant thickness;*
- 2. discretization of horizontal section curves in relation to their curvature;*

³ L'azienda coinvolta è stata la Devoto Design srl (www.devotodesign.it), azienda con sede in provincia di Latina, attiva nella progettazione e nella costruzione di interni su misura negli ambiti Hospitality, Food, Retail, Collective Spaces, Offices and luxury. L'azienda è dotata di una fresa a cinque assi di grandi dimensioni.

struction of custom-made interiors in the Hospitality, Food, Retail, Collective Spaces, Offices and Luxury sectors. The company is equipped with a large-sized five-axis milling machine.

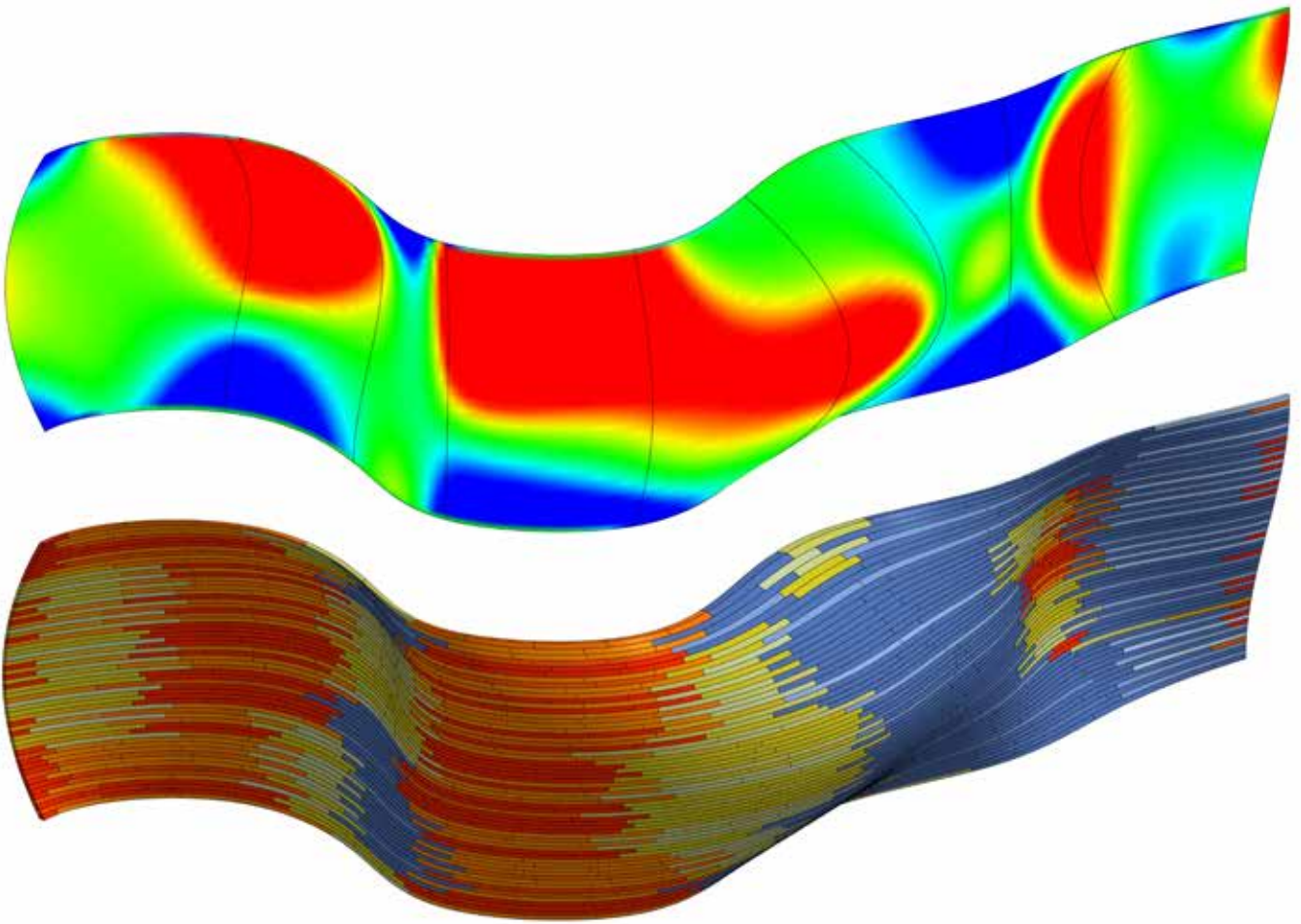


Fig. 8 Relazione tra curvatura gaussiana della superficie e lunghezza dei tasselli. Ad un alto valore di curvatura, positivo o negativo, corrispondono elementi più corti (colori caldi nel modello in basso).

Fig. 8 The relationship between Gaussian curvature of the surface and length of the blocks. A high curvature value, positive or negative, corresponds to shorter elements (warm colours in the model below).

sibili, evitando lo spreco di materiale durante l'operazione di nesting. Il lato propriamente estetico era invece delegato all'essenza di legno scelta e alla necessità di evitare improvvise variazioni di venatura.

Per quanto riguarda il rapporto tra curvatura e nesting, i vincoli menzionati suggerivano una lunghezza minore delle parti in corrispondenza delle zone di superficie a maggiore curvatura. La conseguenza diretta di questa scelta è l'ottenimento di elementi a concavità ridotta, permettendone il massimo accostamento delle parti in fase di nesting (fig. 8).

La lunghezza delle parti ha come ulteriore vincolo la necessità di agevolare lo stoccaggio, il trasporto e la movimentazione delle parti lignee all'interno del cantiere. Tutte condizioni che hanno informato la procedura in un percorso costituito di quattro operazioni principali:

- creazione dei tagli orizzontali a spessore costante;

3. randomisation of vertical cuts position;
4. representation of the pieces through closed polylines.

The point one was solved by "slicing" the model of the wall with a series of horizontal planes 43 mm distant from each other, equal to the thickness of the panels to be pantographed with the CNC milling machine; in this way a stack of length dimension developed polysurfaces was produced. The second point was solved by extracting the longest edge of each polysurface: a 3rd degree curve with a free shape [7]. The monodimensional entity allows to focus the curvature problem to the flat dimension, allowing the discretization of the shape in a polyline using some simple rules of tessellation of the monodimensional parametric space. The conformation of the polyline has been governed by deciding the maximum arrow between the portion of curve - underlying chord and the maximum and minimum length of the polyline segments; the polyline vertices still belong to the selected edge of the polysurface,

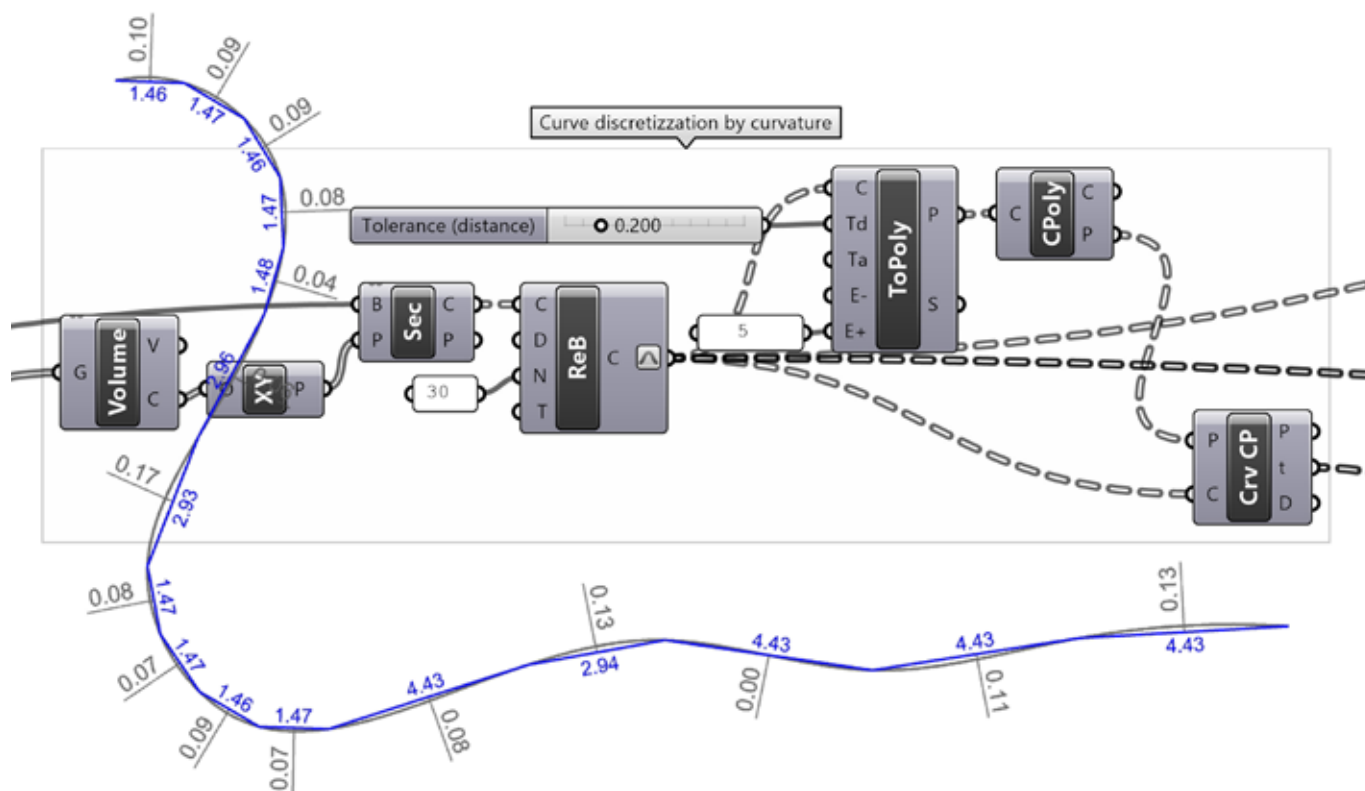


Fig. 9 Porzione di algoritmo scritto in VPL che relaziona la curvatura alla lunghezza dei tasselli lignei che costituiscono la parete analizzata. La curva mostrata in figura è il risultato del processo di tassellazione in cui la freccia e la dimensione dei segmenti rimangono nei limiti stabiliti dall'algoritmo.

Fig. 9 The portion of algorithm written in VPL which relates the curvature to the length of the wooden blocks that make up the analyzed wall. The curve shown in the figure is the result of the tessellation process in which the arrow and the size of the segments remain within the limits defined by the algorithm.

- discretizzazione delle curve di sezione orizzontale in relazione alla curvatura;
- randomizzazione della posizione dei tagli verticali;
- rappresentazione dei tasselli con polilinee chiuse.

Il punto uno è stato risolto “affettando” il modello della parete con una serie di piani orizzontali distanti tra loro 43 mm, pari allo spessore dei pannelli da pantografare con la fresa CNC; si è prodotta così una pila di polisuperfici sviluppate nella dimensione della lunghezza. Il secondo punto è stato risolto estraendo lo spigolo più lungo di ogni polisuperficie, quindi una curva di 3° grado dalla forma libera [7]. L'entità monodimensionale consente di focalizzare il problema della curvatura alla dimensione piana, permettendo la discretizzazione della forma in una polilinea utilizzando alcune semplici regole di tassellazione dello spazio parametrico monodimensionale. La conformazione della polilinea è stata governata decidendo la freccia massima tra porzione di curva, la corda sottesa e la lunghezza massima e minima dei segmenti di polilinea; i vertici della polilinea appartengono ancora allo spigolo selezionato della polisuperficie, per cui diventano l'origine di piani taglianti perpendicolari alle curve nei punti individuati. Ci rendiamo conto che le regole geometriche stabilite hanno un riscontro diretto con quelle

so they become the origin of cutting planes perpendicular to the curves at the identified points. We realize that the geometrical rules established have a direct correspondence with the manufacturing needs: the size of the maximum arrow and that of the underlying chord allows to create a ratio between the length of the parts and the curvature of the analyzed wall (fig. 9), while the maximum and minimum length of the segments alone, relates the algorithm to the handling and storage possibilities of the parts.

The point three has the objective of slightly moving the cutting planes along their respective curves, with different shifts; this condition avoids the alignment of the vertical joints. At this point the cutting planes break the stack of polysurfaces by identifying solid ribs with the desired characteristics and without aligned vertical joints. The generated polysurfaces are not solid extrusion, but the side faces, those generated by the cut, are ruled surfaces by the generators that move freely in space. The generating lines of the side surfaces orient the axis of the spindle that clamps the rotating tool that cuts and shapes the pieces. The straight lines rest on the edge curves of the upper and lower flat face of each individual piece; the last phase of the algorithm makes it possible to extract from the solid ribs the curves useful to the machine for cutting wooden panels (fig. 10).

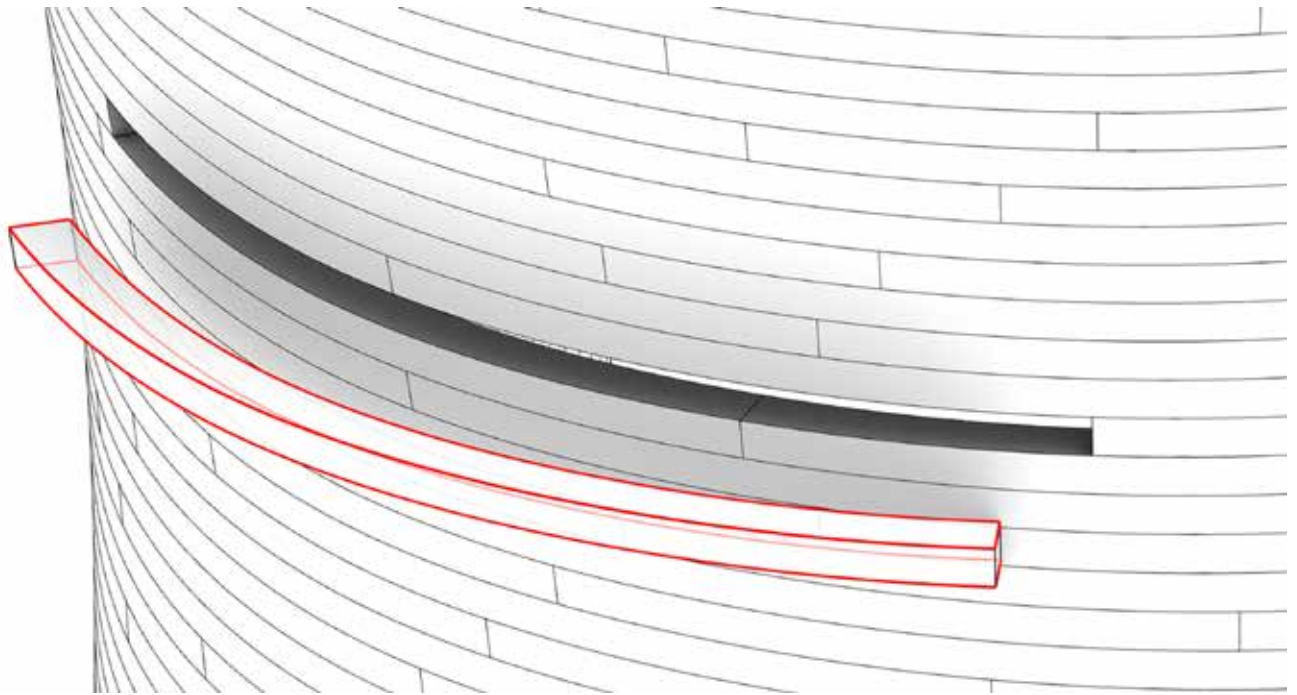


Fig. 10 La curva della faccia inferiore e della faccia superiore costituiscono il percorso di taglio della punta della fresa CNC utilizzata.

Fig. 10 The curve of the lower and the upper faces form the tip cutting path of the CNC milling cutter used.

che sono le necessità di fabbricazione: la dimensione della freccia massima e della corda sottesa consente di creare un rapporto tra lunghezza delle parti e la curvatura della parete analizzata (fig. 9), mentre la sola lunghezza massima e minima dei segmenti, relaziona l'algoritmo alle possibilità di movimentazione e stoccaggio dei pezzi.

Il punto tre ha l'obiettivo di muovere leggermente i piani taglienti lungo le rispettive curve, con spostamenti dal valore diversificato; condizione che consente di evitare che le i giunti verticali si allineino tra loro. A questo punto i piani taglienti spezzano la pila di polisuperfici individuando costoloni solidi dalle caratteristiche desiderate senza giunti verticali allineati. Le polisuperfici generate non sono solidi d'estrusione, ma le facce laterali, quelle generate dal taglio, sono superfici rigate dalle generatrici che si muovono liberamente nello spazio. Le rette generatrici delle superfici laterali orientano l'asse del mandrino che serra l'utensile rotante che taglia e conforma i pezzi. Le rette poggiano sulle curve di bordo della faccia superiore piana e della faccia inferiore piana di ogni singolo pezzo; l'ultima fase dell'algoritmo consente di estrarre dalle costole solide le curve utili alla macchina per il taglio dei pannelli in legno (fig. 10).

□ Prefiguration and production control

(Matteo Flavio Mancini)

The essential curves to guide the movement of the CNC machine - a 5-axis milling cutter, whose tip is able to move along the X, Y directions and, although with a limited excursion, also along the Z direction and able to rotate around the X and Y axes - have finally been arranged on the XY horizontal plane organized in rows and columns.

Each pair of closed plane curves has been identified with a unique progressive code in the wall-ribbe-part-sector-input format and a series of two or three holes, depending on the length of the block, for fixing to the cutter's working plane. The alphanumeric code is engraved on the block during milling, always facing outwards from the wall to facilitate reading by the operator on site (fig. 11, 12).

The univocal attribution of the code to the individual piece has also made it possible to monitor production in the factory, storage, transport and subsequent assembly by means of automatic production by the algorithm of spreadsheets containing the list of pieces in each sector of the wall (tab. 1).

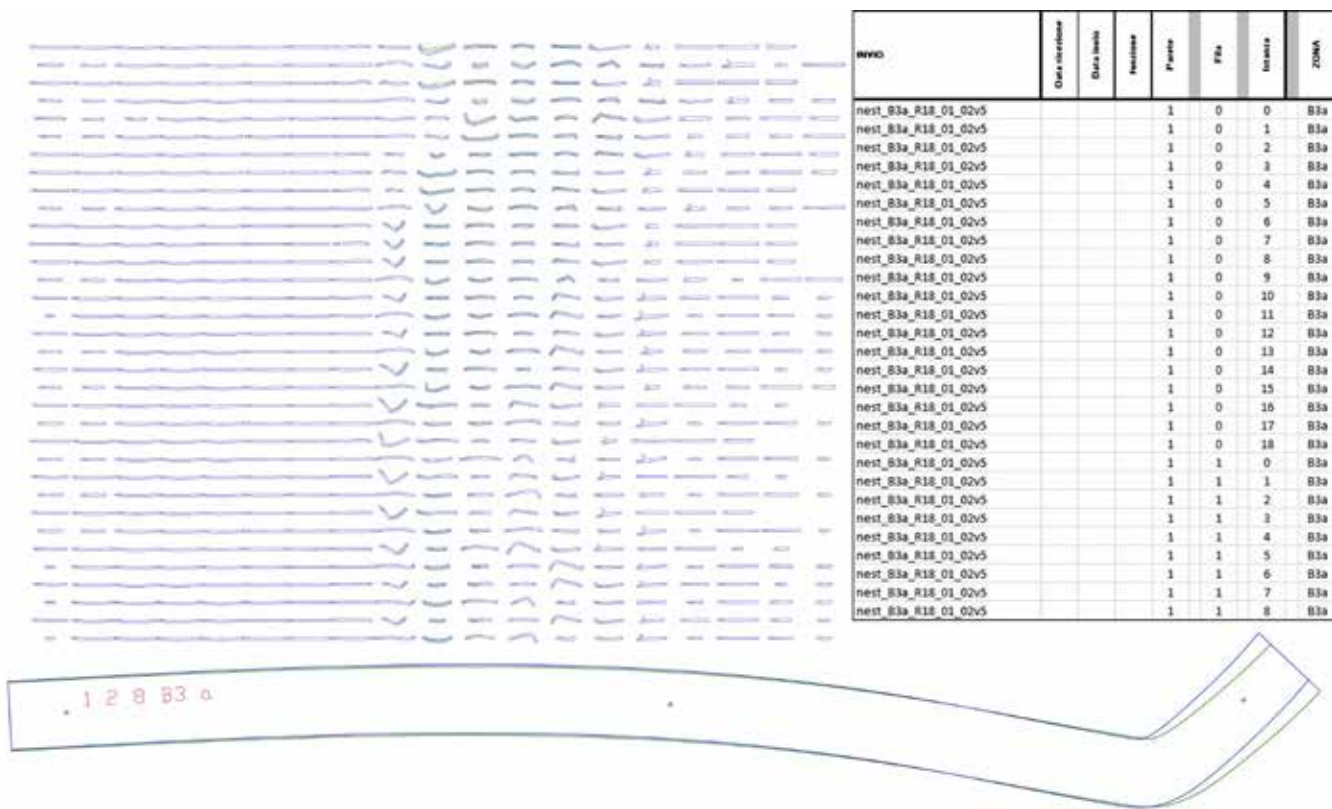


Fig. 11 Prima operazione di nesting delle curve di percorso estratte dai pezzi (a sinistra); catalogazione delle parti (a destra); vista superiore delle curve di percorso per il taglio, in cui sono evidenti sia il codice di riconoscimento che i fori di fissaggio.

Fig. 11 The first nesting operation of the path curves extracted from the blocks (on the left); parts cataloguing (on the right); an upper view of the path curves for cutting, where both the ID code and the fixing holes are evident.

Prefigurazione e controllo della produzione

(Matteo Flavio Mancini)

Le curve essenziali per guidare il movimento della macchina CNC - una fresa a 5 assi, la cui punta è in grado di muoversi lungo le direzioni X, Y e, sebbene con una escursione limitata, anche lungo la direzione Z e in grado di ruotare intorno agli assi X e Y - sono state infine disposte sul piano orizzontale XY organizzate in righe e colonne.

A ciascuna coppia di linee piane chiuse è stato assegnato con un codice univoco progressivo nel formato parete-rigaprezzo-settore-invio e una serie di due o tre fori, in relazione alla lunghezza del pezzo, per il fissaggio al piano di lavoro della fresa. Il codice alfanumerico viene inciso sul pezzo in fase di fresatura sempre rivolto verso l'esterno della parete per favorire la lettura da parte dell'operatore in cantiere (fig. 11, 12).

L'attribuzione univoca del codice al singolo pezzo ha inoltre reso possibile il monitoraggio della produzione in fabbrica, dello stoccaggio, del trasporto e del successivo montaggio attraverso la produzione automatica da parte dell' algoritmo di fogli di calcolo contenenti l'elenco dei pezzi di ogni settore delle pareti (tab. 1).

Conclusions

(Michele Calvano)

Algorithms-Aided Design (AAD) in drawing and design allows the foreshadowing and engineering of complex design ideas. The complex forms generated in the first digital period of architectural design, initially lacking in an immediate constructive response, now find an almost instantaneous materialization. The rapid conversion from idea to construction of the form does not limit the design phase made up of analysis and experimentation. This condition is guaranteed by the algorithmic modelling that links together the procedures for building forms and realizing them. The algorithmic design, in determining itself through the VPL, leaves its trace between constraints and variables; the latter give, to the conceived solutions, the character of mutability and choice. A responsive process that is interrupted only once the final image of the model is reached, among the infinite generated by the common typological algorithm. The explicitation of the processes on the two-dimensional graphic field allows the easy modification of the trace, proposing non-linear variations, ramifications and simplifications aimed at maximum computational and realization efficiency; only at this point the procedure becomes a tool for solving complex problems: in the examined case, the construction of architectural scale models characterized by double curvature.



Fig. 12 Montaggio in cantiere dei tasselli lignei per la costruzione delle pareti (foto: Devoto Design).

Fig. 12 The assembly on site of the wooden blocks for the construction of the walls (photo: Devoto Design).

□ Conclusioni

(Michele Calvano)

L'*Algorithms-Aided Design* (AAD) nel disegno e nella progettazione permette la prefigurazione e l'ingegnerizzazione di idee progettuali complesse. Le forme complesse generate nel primo periodo digitale del progetto d'architettura, inizialmente orfane di un immediato riscontro costruttivo, trovano ora una quasi istantanea materializzazione. La veloce sublimazione da idea a costruzione della forma non limita la fase progettuale fatta di analisi e sperimentazioni. Tale condizione è garantita dalla modellazione algoritmica che cuce insieme le procedure con cui si costruiscono le forme e con cui le stesse si realizzano. Il progetto algoritmico, nel determinarsi attraverso il VPL lascia la propria traccia tra vincoli e variabili; queste ultime danno alle soluzioni ideate il carattere di mutevolezza, di scelta. Un processo responsivo che si interrompe solo una volta raggiunta l'immagine finale del modello tra le infinite generate dal comune algoritmo tipologico. L'esplicitazione dei processi sul campo grafico bidimensionale permette la facile modifica della traccia proponendo variazioni non lineari, ramificazioni e semplificazioni rivolte alla massima efficienza computazionale e

All this using a new programming language that, being a language, can be written and read, acquiring a further narrative dimension. This last property gives explicit procedures a creative value: identical objectives can be achieved through different approaches, which are manifested leaving graphic traces of the different experiments. The narrative logic of the choice is the real innovation of the proposed procedure because it focuses on the essence of digital innovation: the possibility of elaborating information flows, even of heterogeneous nature, in order to develop new formal and constructive concepts.