

The background of the cover is a vibrant orange. A dark silhouette of a person is shown from the side, leaning forward and using a large drafting tool, possibly a T-square or a large compass, on a grid. The grid lines are thin and light-colored, creating a sense of depth and perspective. The person's arm is extended, and the tool is positioned over the grid. The overall composition is dynamic and suggests a focus on design and precision.

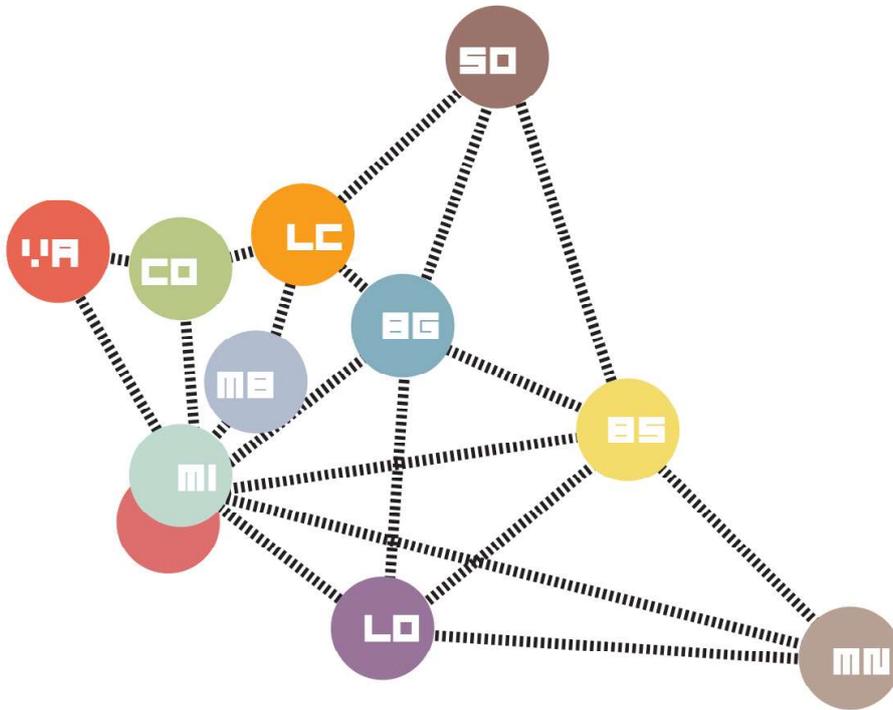
# ***Digital Takes Command***

Orizzonti di progettazione e produzione digitale  
Design horizons and digital fabrication

a cura di Giulio Barazzetta



*Rubbettino*



Area ex-Faini  
via San Nicolò 9, Lecco  
30 luglio – 31 ottobre 2015

Mostra e catalogo  
/ Exhibition and catalogue

*Cura generale / General project curated by*  
Giulio Barazzetta

*Mostra a cura di / Exhibition curated by*  
Enrico Morteo e Giulio Barazzetta

*Laboratorio di Computazione Materiale  
e Tettoniche Avanzate / Material  
Computation and Advanced Tectonics Lab*

ACTLAB - DABC, Politecnico di  
Milano - Ingrid Paoletti e Roberto  
Naboni con Maia Zheliazkova, Luca  
Breseghello, Mariela Tsopanova,  
Gabriella Rossi

*Laboratorio di progettazione  
algoritmica e fabbricazione robotica  
/ Laboratory of algorithmic design and  
manufacturing robotics*

INDEXLAB - Pierpaolo Ruttico,  
Andrea Locatelli, Antonio Premoli,  
Pasquale Lorusso, Stefano Arrighi,  
Andrea Rossi, Pietro Pizzi, Lila  
PanahiKazemi, Carlo Beltracchi,  
Stefano Colleoni, Ivan Della Bella,  
Alessio Pierdomenico, Emanuele De  
Donatis, Luca Chimisso, Marco  
Mauceri, Michele Andaloro, Luca  
Deblasio, Umberto Gioni

*Montaggio video / Video editing*  
Simone Pera e Alberto Saibene

*Fotografie della sezione  
"acqua\_montagna\_fabbrica"  
/ Photographs of the section  
"acqua\_montagna\_fabbrica"*  
Marco Introini

*Progetto espositivo / Project design*  
Giuditta Melesi

*Progetto grafico / Graphic design*  
Marco Strina

*Coordinamento organizzativo  
/ Organizational Coordination*  
Giulia Pellegrino

*Traduzioni / Translations*  
Steve Piccolo, Soget Est  
Angela Arnone, Mariela Tsopanova

*Trasporti / Transport*  
Expotrans Art

*Assicurazioni / Insurance*  
Mansutti S.p.A. Art Broker

La mostra è il frutto della  
collaborazione tra Triennale  
di Milano, Regione Lombardia,  
Ordine degli Architetti P.P.C.  
della Provincia di Lecco  
**The exhibition is a combined effort  
involving Triennale di Milano,  
Lombardy Regional Government,  
and the Order of Architects,  
Planners, Landscapers and  
Conservationists of the Province  
of Lecco**

*Con il Patrocinio di  
/ Under the Patronage of*

Comune di Lecco  
Ance Lecco  
Confindustria Lecco e Sondrio  
Ordine degli Architetti P.P.C.  
della Provincia di Lecco

*Con il contributo di / Sponsored by*

Impresa Pietro Carsana  
Permasteelisa  
Politecnico di Milano  
Fondazione Aldo e Pio Favini  
e Anna Gatta

*Con la collaborazione di  
/ With the collaboration of*

ACTLAB  
INDEXLAB

*Sponsor Tecnici / Technical Sponsor*  
ABB, Delcam, Formech, Nieder  
SAM, Lignum Leuci, Expo Trans Art  
GSE, Carmon@carbon, Italcementi

*Si ringraziano per la preziosa  
collaborazione / Thanks for the valuable  
collaboration*

Michele Tavola  
ex Assessore alla cultura, Comune di Lecco  
Roberto Santalucia  
Sindaco del Comune di Bellano  
Marco Bocciolone  
Prettore del Polo di Lecco,  
Politecnico di Milano  
Ferruccio Resta  
Direttore del dipartimento di Meccanica,  
Politecnico di Milano  
Emilio Pizzi  
Presidente della Scuola di Ingegneria Edile -  
Architettura, Politecnico di Milano  
Francesco Braghin  
M&SSLab, MECC, Politecnico di Milano  
Tiziana Poli, Andrea G. Mainini,  
Andrea Zani  
SEEDLab, Dip. ABC, Politecnico di Milano  
Saverio Spadafora  
Lab modelli, Campus Leonardo,  
Politecnico di Milano  
Parrocchia San Nicolò, Lecco

*Uno speciale ringraziamento a  
/ Special thanks to*

Marco Bonaiti Kong spa  
Livia Bonaiti Bonaiti serrature  
Marco Corti Prym Fashion Italia  
Stefano Fiocchi Fiocchi Munizioni  
Momo Frigerio Trafilerie di San Giovanni  
Alfredo Redaelli Fabbrica Velluti  
A. Redaelli spa  
Luisa Taschetti Adda Ondulati  
Sergio Toffetti, Elena Testa,  
Archivio Nazionale Cinema  
d'Impresa, Ivrea, Eredi Morassutti,  
Memoli & Benevento Architetti  
Associati, IUAV Archivio Progetti,  
Antonio Macchi Cassia, Gabriele  
Neri e Nicola Agazzi, A. Longhi Srl  
Metal Constructions, Nava geom.  
Giuseppe Costruzioni civili e  
industriali

**Triennale Xtra**

Mostre di architettura, arte e design  
nei capoluoghi lombardi/ Exhibitions  
of architecture, art and design in the  
capitals of Lombardy

*Ideazione e coordinamento scientifico  
/ Concept and scientific coordination*

Alberto Ferlenga  
Curatore Triennale Architettura

*Progetto d'identità visiva  
/ Visual identity design*

Marco Strina

*Coordinamento organizzativo  
/ Organizational coordination*

Roberta Sommariva,  
Alessandra Cadioli

*Coordinamento tecnico  
/ Technical coordination*

Marina Gerosa, Cristina Gatti

*Comunicazione / Communication*

Antonella La Seta Catamancio,  
Micol Biassoni, Marco Martello,  
Dario Zampiron, Gianluca Di Iorio

*Fundraising e sponsorship*

Olivia Ponzanelli, Giulia Panzone

*Partner istituzionale*

**CORRIERE DELLA SERA**

*Partner tecnico*

**Rubbettino**



LA TRIENNALE DI MILANO



Lombardy  
feeding  
the future, now



Regione  
Lombardia



Ordine degli architetti, pianificatori, paesaggisti  
e conservatori della provincia di Lecco

# Digital takes command

Orizzonti di progettazione e produzione digitale  
Design horizons and digital fabrication

a cura di Giulio Barazzetta

*Rubbettino*



# Computazione e materializzazione in architettura

## Computation and materialization in architecture

*Ingrid Paoletti e Roberto Naboni,*

ACTLAB - Dipartimento ABC, Politecnico di Milano

Il termine computazione, da lungo tempo impiegato nelle materie scientifiche, indica *“l’atto di processare un’informazione in modo da renderla manipolabile matematicamente”*.<sup>1</sup> Attraverso questa definizione emerge una chiara differenziazione tra il mero calcolo e l’uso consapevole di strumenti (matematici) per raggiungere degli obiettivi. Nell’ultimo decennio proprio la diffusione degli strumenti computazionali ha esteso i confini della progettazione architettonica, attraverso i due concetti chiave di processo e informazione, che hanno contribuito a un controllo profondo dei progetti complessi da parte degli architetti. Nel frattempo gli avanzamenti nella manifattura digitale hanno causato una rapida evoluzione verso nuovi scenari produttivi ad alta precisione e capacità di personalizzazione. Tecniche e metodi emergenti per il progetto e la costruzione stanno contribuendo a una rivoluzione disciplinare dovuta alla progressiva convergenza di computazione e materializzazione.<sup>2</sup>

### **Computare la complessità:**

#### **i primi approcci**

I primi segni dell’influenza computazionale in architettura risalgono agli anni ‘70 attraverso l’apporto visionario di Jan Kaplicky, proseguito negli anni ‘90 con gli studi teorici di Greg Lynn<sup>3</sup> e il lavoro del primo progettista abile nel renderla architettura costruita -

Frank Gehry - le cui forme architettoniche hanno richiesto un approccio digitale al problema della costruzione complessa. L’utilizzo di software di modellazione avanzata ha giocato sin dal principio un ruolo fondamentale nel cambiare l’idea di forma in architettura, attraverso due macro linee di investigazione, in parte parallele. La prima è quella delle geometrie curvilinee e superfici continue, espressione della matematica implicita nell’utilizzo di software NURBS e a superfici di suddivisione (SubD). Una seconda, ispirata agli studi di morfogenetica con esperimenti basati su algoritmi generativi usati in modo esplicito come veicolo per il progetto di architetture a emulazione dei comportamenti emergenti dei sistemi biologici.<sup>4</sup> I risultati di questi lavori, spesso da non intendersi come vere e proprie architetture, sono esperimenti progettuali sulla gestione di informazioni e dati complessi.

Entrambi gli approcci si sono presto scontrati con il problema della materializzazione delle forme complesse, della realizzazione tecnica e quantificazione economica. Il nodo della fedeltà della costruzione all’idea originale ha posto una questione sul ruolo dei processi computazionali all’interno del progetto. Gli architetti hanno presto compreso come la logica parametrica e di programmazione algoritmica potesse costituire non solo un dispositivo di investigazione formale, ma un

Nella pagina precedente: particolare dell'intreccio strutturale di Weaving Enclosure (ACTLAB, Politecnico di Milano)

[Previous page: close up view of the structural weaving of Weaving Enclosure \[ACTLAB, Politecnico di Milano\]](#)

ordito di regole geometriche e matematiche su cui basare il progetto.

Il primo riconosciuto caso di modellazione avanzata per la costruzione è il *Golden Fish* di Frank Gehry, a Barcellona (1992). La grande struttura urbana monumentale (56 metri di lunghezza, 40 metri di larghezza, 45 metri di altezza) è una delle più grandi sculture nel mondo per volume. Posizionata all'interno del villaggio olimpico, è costituita da un complesso reticolo strutturale sulla cui superficie è fissato un rivestimento composto da nastri in acciaio inox elettro-colorato, intrecciati fra loro. La forma complessa è stata dapprima modellata con Maya e poi discretizzata nella sua superficie esterna e struttura interna con CATIA, un software di derivazione aeronautica sviluppato da Dassault Systems in collaborazione con IBM.<sup>5</sup> Permasteelisa, azienda italiana innovativa per conoscenze e capacità produttiva, sviluppò le geometrie necessarie alla produzione del rivestimento, con un procedimento rivoluzionario all'interno dell'ambiente tridimensionale, contribuendo a materializzare i modelli di Gehry nella produzione dei componenti costruttivi. Questa prima costruzione computazionale farà da apripista per una serie di progetti di complessità crescente, tra cui la *Walt Disney Concert Hall* a Los Angeles del 2003, che segna l'evoluzione di un approccio sperimentato precedentemente nell'iconico *museo del Guggenheim* di Bilbao (1997). Nel progetto della Concert Hall il sistema di rivestimento esterno viene pre-razionalizzato tramite l'imposizione all'interno del software di modellazione dell'uso di superfici rullate. In questo

modo, il modello digitale integra informazioni chiave per la materializzazione della geometria complessa. I 6.100 pannelli di rivestimento in acciaio inox a curvatura variabile sono stati fabbricati direttamente da tracciati vettoriali estratti dal modello virtuale, e trasmessi alle macchine di fabbricazione senza l'uso di alcun disegno esecutivo. Un vincolo di produzione diventa un parametro del progetto, tracciando un primo anello verso la costituzione di una *digital chain*, catena digitale.

### **Processo, Informazione, Costruzione: lo scenario contemporaneo**

Attorno al 2000, una volta intuite le potenzialità di un approccio associativo alla questione del progetto di architettura, nasce Revit, il primo tentativo di sviluppare un software parametrico specifico per l'industria delle costruzioni. L'intento era quello di spostare l'attenzione dei progettisti dalla forma all'informazione, rendendo il progetto numericamente quantificabile e modificabile. Attraverso la creazione di modelli parametrici tridimensionali si poteva infatti progettare e documentare architetture, includendo informazioni geometriche e non geometriche in vista della costruzione.<sup>6</sup> Rispetto a CATIA le equazioni parametriche in uso risultavano tuttavia nascoste, motivo per cui il programma venne poi ridefinito come *Building Information Modelling* (BIM), ponendo enfasi sulla gestione delle informazioni. Oggigiorno, attraverso questo paradigma, il progetto di architettura è basato sullo scambio di dati che permettono di fare interagire le varie figure professionali che partecipano alla rea-

lizzazione di un edificio. In fondo, è l'etimologia latina di "computare", letteralmente "contare assieme", che suggerisce un processo collaborativo alla materializzazione del progetto. La capacità computazionale si estende oltre i limiti della complessità geometrica: progetto, costruzione e gestione dell'edificio sono descritti all'interno di un processo che unisce informazioni digitali e materiali.

Un esempio emblematico di questo approccio è costituito dalla *Beekman Tower* di Gehry a New York (2014), una torre residenziale di 76 piani, per un totale di 265 metri di altezza. Il progetto è caratterizzato da una pelle increspata realizzata in cellule in acciaio inox, supportata da telai secondari collegati all'unità di facciata continua. La complessità del progetto ha richiesto un coordinamento BIM per l'intenso scambio di informazioni e per gestire la collaborazione di operatori, macchinari di fabbricazione e dati complessi. Il sistema di facciata è stato sviluppato nelle sue superfici in Digital Project-CATIA, Excel e SolidWorks sono stati utilizzati per l'ingegnerizzazione dei componenti e l'assemblaggio, mentre un'interfaccia software specifica è stata impiegata per la simulazione dei percorsi di lavoro di una fresa CNC a 5 assi. Il progetto costituisce un'esperienza di successo di un processo progettuale *data-driven* che ha permesso di amministrare in modo efficiente competenze, budget e tempistiche di costruzione per un totale di sei anni di lavoro.<sup>7</sup>

Un ulteriore caso di realizzazione di forme complesse attraverso un processo di progettazione integrato è costituito dal *Padiglione degli Emirati Arabi Uniti per Expo 2015*, pro-

gettato da Foster and Partners, dove, in questo caso, il progetto è stato appaltato e costruito in meno di nove mesi. La messa a sistema di tutte le forniture, la verifica dei requisiti tecnici e la garanzia dei tempi di costruzione è stata ottenuta grazie all'integrazione di tutti gli applicativi informatici utilizzati per i diversi obiettivi, quali verifica strutturale, calcolo degli apporti energetici, smontaggio al termine dell'esibizione. Il rivestimento in pannelli di GRC del sinuoso percorso iniziale è stato disegnato, prodotto e costruito tramite l'integrazione di un modello sviluppato in Rhinoceros, poi implementato con software BIM per definire la consequenzialità di montaggio e smontaggio di elementi diversi tra loro, cruciale in interventi a carattere temporaneo.

Questi lavori, differenti per tipologia, sono accomunati da una forte esigenza: quella del controllo della complessità nel tempo. I software parametrici e di programmazione ormai di uso comune hanno contribuito alla diffusione della cultura del progetto integrato, grazie a strumenti che nella maggior parte dei casi non richiedono la conoscenza di linguaggi di programmazione complessi.

### **Material Design Computation: ricerche di avanguardia**

Assieme agli avanzamenti software, l'utilizzo di macchine a controllo numerico (CNC) e bracci robotici hanno aperto nuove frontiere di investigazione all'interno di quella che viene definita come materializzazione digitale. Grazie alla comunicazione bidirezionale tra informazione digitale e materiale, progetto

Operai scalatori impegnati nella costruzione del Golden Fish a Barcellona

Il sistema di rivestimento esterno in titanio e pietra calcarea del Museo Guggenheim di Bilbao

[Climbing workers in the construction of the Golden Fish in Barcelona](#)

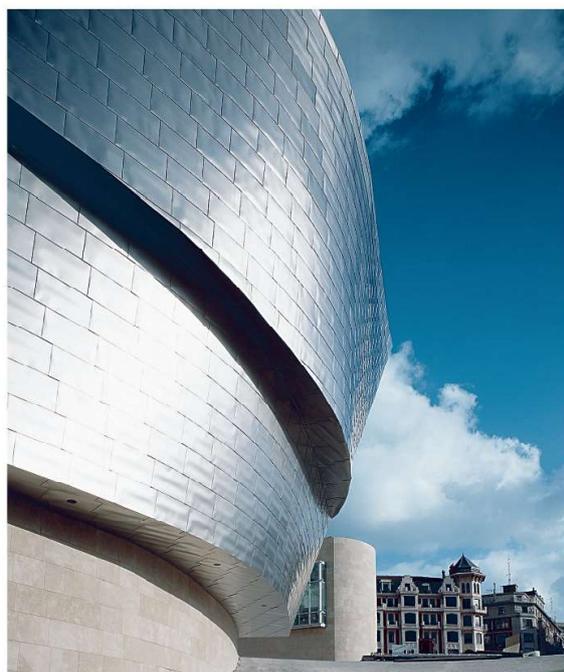
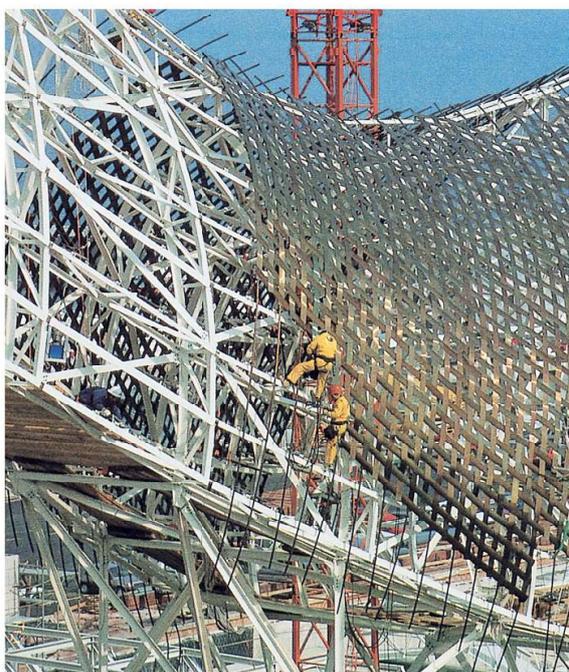
[The external cladding system made of titanium and limestone in the Guggenheim Museum in Bilbao](#)

e fabbricazione tendono sempre più a coincidere all'interno di piattaforme di programmazione trasversali e all'interno dello stesso ambiente virtuale. In questo modo, a partire dalle prime fasi di progetto, possono essere integrate le caratteristiche di un sistema materiale. Il progettista può esplorare forme sintesi di modelli fisicamente accurati e costruibili, in cui comportamento del materiale e modalità di fabbricazione diventano forze attive che partecipano alla descrizione di nuove opportunità progettuali. La distanza tra morfogenesi e materializzazione viene così annullata. L'integrazione delle caratteristiche materiali all'interno dell'ambiente di modellazione consente al progettista di esplorare largamente delle opzioni progettuali che rimangono all'interno di un campo di costruibilità ed efficienza.

Questo approccio alla progettazione e fabbricazione ha dato vita a numerose sperimentazioni a scala internazionale su sistemi tettonici innovativi, spesso negli istituti universitari dove vocazione alla ricerca e interazione tra diverse aree disciplinari sono una realtà. All'interno del Politecnico di Milano, ACTLAB (Architecture, Technology and Computation Laboratory) si occupa di ricercare, progettare e realizzare sistemi costruttivi multi-performativi attraverso processi integrati di progetto e manifattura digitale. Un concetto chiave di questa metodologia operativa è quello di *Form-Finding*, ereditato da Frei Otto e dalle avanguardie del XX secolo che fecero utilizzo di modelli fisici per sfruttare la capacità del materiale nel computare soluzioni efficienti, come avviene in natura.<sup>8</sup>

Questo approccio viene oggi implementato tramite algoritmi che permettono di studiare forme architettoniche efficienti attraverso la simulazione del comportamento fisico dei materiali. Il progetto *UnExpected Mate-Reality* (2013) nasce dall'estensione degli studi di Gaudí, Isler e Otto sulla catenaria e utilizza l'auto-organizzazione di una membrana sottoposta alla forza di gravità, sfruttando il principio per cui il materiale tende ad equilibrare gli sforzi tensionali. Il risultato è una struttura che, capovolta, lavora principalmente a compressione permettendo di coprire aree di svariati metri con una struttura leggera fatta di materiale corrugato dallo spessore di pochi millimetri. Il processo algoritmico permette di generare infinite variazioni formali e installare strutture analoghe in pochi giorni tramite il digital continuum tra ambiente di modellazione/simulazione e macchinari di taglio tangenziale a controllo numerico.

Il potenziale di computazione del materiale viene nuovamente studiato in *Weaving Enclosure* (2014), una ricerca che integra le proprietà emergenti della tecnica artigianale dell'intreccio e la sua trasposizione in architettura. Le caratteristiche del materiale intrecciato, il rattan, guidano il progetto. Algoritmi per la simulazione del comportamento fisico della curvatura elastica vengono utilizzati per prevedere l'organizzazione del rattan per la generazione di un sistema strutturale basato su flessione attiva e frizione, tipiche di un intreccio. La possibilità di esplorazione all'interno di un sistema fisicamente accurato ha permesso di sviluppare caratteristiche

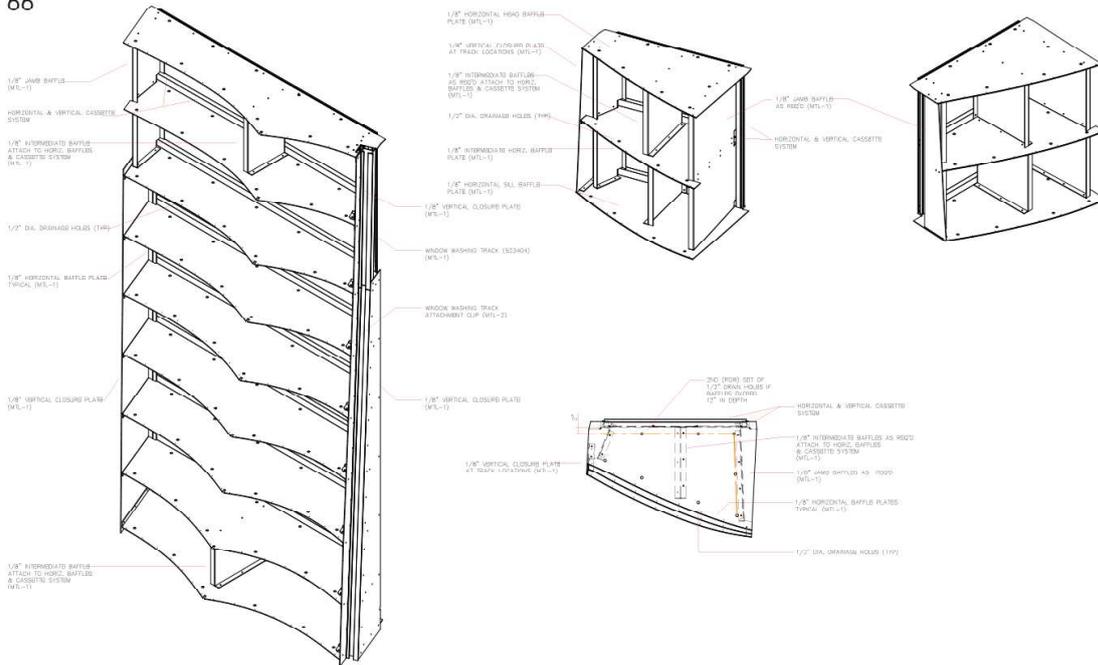


performative di filtraggio visivo e ombreggiamento. Il risultato è un sistema prototipo di partizione interna autoportante in grado di filtrare luce e organizzare funzioni, senza interrompere la comunicazione indiretta tra ambienti. Il sistema è inoltre un interessante esempio di negoziazione tra digitale e manuale, prodotto in parte da macchine a controllo numerico alimentate da un codice di fabbricazione che estende il ruolo digitale al materiale stesso. La materia informa il modello e il modello torna a informare la materia.

Una ulteriore area di investigazione di ACTLAB è quella dell'applicazione diretta della stampa tridimensionale in architettura. Con la manifattura additiva il progettista può controllare la definizione di ogni singolo voxel - l'unità materica minima che permette di unire materiale e geometria, chimica e fisica - dove prestazione e forma tendono a coincidere. Le potenzialità di questo approccio sono oggi in studio nel progetto *3D Printed Performative Prototypes* (2015), dove vengono studiate strutture e superfici con prestazione differenziali, prendendo spunto dalla natura,

in cui le risorse materiali sono limitate in numero e quantità e la differenziazione geometrica è una risorsa fondamentale alla base di ogni sistema performativo. Tramite algoritmi di ottimizzazione topologica viene studiato un involucro strutturale in cui *layout* e quantità materiche seguono le curve isostatiche degli sforzi. Il materiale viene quindi organizzato in modo locale a seconda delle condizioni formali e meccaniche specifiche, in un procedimento computazionale che ricorda il processo omeostatico che domina in modo dinamico l'organizzazione interna dei tessuti ossei.

Queste sperimentazioni permettono di immaginare e produrre sistemi tettonici innovativi dove materiale, forma e struttura si sviluppano in modo coerente. L'evoluzione dell'approccio computazionale ha aperto territori di ricerca e personalizzazione avanzata che superano la resilienza all'innovazione tipica di un settore conservativo come quello delle costruzioni. All'interno di una disciplina in forte evoluzione, le opportunità di ricerca diventano oggi una necessità.



The term ‘computation’, used for a long time in scientific sectors, indicates “processing information so that it can be manipulated mathematically.”<sup>1</sup> Through this definition a clear differentiation arises between the simple calculation and the conscious application of mathematical tools used to reach a specific goal. In the last decade the diffusion of computational tools has widened the boundaries of architectural design, through the two key concepts of process and information, which have offered to architects a deeper control of increasingly complex projects. Meanwhile, the advancement in digital fabrication has caused a rapid progress towards new manufacturing scenarios of an high precision and personalization capacity. Emerging techniques and methods in the fields of design and construction are contributing to a disciplinary revolution due to the progressive convergence of computation and materialization.<sup>2</sup>

### Computing complexity: the early approaches

The first signs of the influence of computation in architecture dates back to the early 70’s

with the visionary contribution of Jan Kaplicky, followed, in the 90’s, by the theoretical studies of Greg Lynn<sup>3</sup> and the work of the first architect able to apply computation in built architecture - Frank Gehry - whose architectural forms required a digital approach to the issue of complex construction. The use of advanced modeling software played, since the very beginning, a fundamental role in changing the idea of architectural form through two main, and partially parallel, lines of investigation. The first one focused on curvilinear geometries and continuous surfaces, as implicit mathematical expression of the use of NURBS softwares and subdivision surfaces (SubD). The second one, concentrated on morphogenetic studies with experiments based on generative algorithms and used explicitly as a means to design architecture through the emulation of the emergent behaviors of biological systems.<sup>4</sup> The results of this approach, which often cannot be considered as fully developed architectural solutions, actually represent design experiments on the management of information and complex data.

Both approaches soon clashed with the prob-

Schema di assemblaggio dei moduli  
di facciata della Beekman Tower

Assembly scheme of the facade  
modules in the Beekman Tower

lem of materialization of complex shapes, technical feasibility and economic estimation. The crucial point of the correspondence between original idea and construction questioned the role of computational processes for architectural design. Architects quickly realized how parametric logic and algorithmic programming could be not only a device for formal investigation, but also a geometric and mathematical lattice on which the project can be based.

The *Golden Fish* (1992) by Frank Gehry in Barcelona is recognized as the first example of advanced modeling techniques used in the field of construction. The urban monument (56 m long, 40 m wide, 45 m high) is one of the largest sculptures in the world. Positioned within the Olympic village, it is constituted by a complex structural framework clad with stainless steel electro-colored strips which are woven together. The complex shape was first modeled with Maya and subsequently its external and internal structure has been optimized with CATIA, a software developed by aeronautical Dassault Systems in collaboration with IBM.<sup>5</sup> Permasteelisa, an Italian company with innovative knowledge and the capacity to develop the production of the complex geometries of the cladding, implemented a revolutionary three-dimensional process, allowing the translation of Gehry's physical models to the actual production of building components. This first computational construction appeared to be the forerunner to a series of projects of increasing complexity, including the *Walt Disney Concert Hall* in Los Angeles

(2003), marking the evolution of an approach previously adopted in the iconic *Guggenheim Museum* in Bilbao (1997). The design of the external envelope of the Concert Hall was pre-rationalized by using a modelling software with and adopting ruled surfaces. In this way, the digital model integrates key information for the materialization of its complex geometry. The 6,100 stainless steel cladding panels of variable curvature were manufactured directly from vectorial paths extracted from the virtual model, and transmitted to the machines without the use of any additional shop drawing. A production constraint becomes a design parameter, drawing a first ring towards the establishment of a *digital chain*.

### **Process, Information, Construction: the contemporary scenario**

Around the 2000, once the potential of the associative approach to the question of architectural design have been understood, the software Revit was developed as the first attempt to customize a parametric software for the construction industry. The intent was to shift the focus of designers from shape to information, making the project numerically quantifiable and editable. Through the creation of three-dimensional parametric models it could then be possible to design and document architecture, including geometric and non-geometric data towards the construction.<sup>6</sup> In difference with CATIA, parametric equations were hidden, and this software typology was later redefined as *Building Information Modeling* (BIM), had

Particolare di un pannello in GRC nel padiglione degli Emirati Arabi Uniti a Expo 2015 (Foster and Partners)

Particolare della stampa tridimensionale di una colonna in cemento (ACTLAB, WASProject)

Close up view of a GRC panel in the United Arab Emirates pavilion in EXPO 2015 (Foster and Partners)

Texture of a three dimensional printed concrete column (ACTLAB, WASProject)

an emphasis on information management. Today, through this paradigm, architectural design is based on the exchange of information which allow the interaction among various professionals who can collaborate on the realization of a building. After all, it is the Latin etymology of "compute", literally "count together", which suggests a collaborative process to the materialization of the project. The computational capacity extends beyond the limits of geometric complexity: design, construction and management of a project are described within a process which combines both digital and material information. The *Beekman Tower* by Gehry in New York (2014), a residential building of 76 floors, for a total of 265 meters in height, represents an emblematic example of this approach. The project is characterized by a dimpled skin cells realized in stainless steel, supported by a secondary frame connected to the curtain wall.

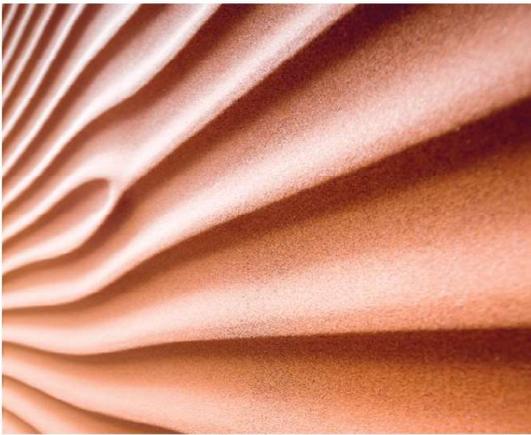
The complexity of the project required a BIM coordination due to the intensive exchange of information and due to the management of the cooperation of operators, manufacturing machinery and complex data. The surfaces describing the facade system have been developed in Digital Project-CATIA, SolidWorks and Excel were implemented in order to engineer components and assembly, while a specific software interface was employed for the simulation of the processing paths of a 5-axis CNC milling machine. The project represents a successful experience of a data-driven design process which allowed to efficiently manage com-

petences, budget and timing of construction for a total of six years of work.<sup>7</sup>

Another case of realization of complex shapes through the use of an integrated design process is the *UAE Pavilion for Expo 2015*, by Foster and Partners. In this case, the project has been contracted and built in less than nine months. The development system of all the supplies, the verification of the technical requirements and the guarantee of the construction schedule was achieved through the integration of different pieces of software used for different objectives, such as structural analysis, energy simulations, dismantling of the pavilion. The sinuous entrance path made by GRC cladding panels has been designed, manufactured and constructed with the integration of a model developed in Rhinoceros, subsequently implemented with BIM software to define the consequential assembly and disassembly of different items, which is crucial for temporary interventions. These works, different in typology, are brought together by the strong need to control complexity over time. Parametric and programming software is now widely used and contributes to the diffusion of a novel culture of integrated design, as a result of the implementation of tools which in most cases do not require the knowledge of complex programming languages.

### **Material Design Computation: experimental researches**

Along with software advancements, the use of computer numerically controlled machines (CNC) and robotic arms have opened new



frontiers of investigation within the field which has been defined as digital materialization. Thanks to the bi-directional communication between digital information and material, design and fabrication tend to increasingly coincide, sharing common programming platforms and virtual environment. In this way, starting from the early stages of the project, the characteristics of a specific material system can be integrated. The designer can explore forms which are the synthesis of physically accurate and constructible models, in which the behavior of the material and method of fabrication become active forces which contribute to the characterization of new project opportunities. In this way, the gap between morphogenesis and materialization can be canceled. The integration of material characteristics within the modeling environment allows designers to vastly explore the design options that remain within a field of constructability and efficiency.

This novel approach to design and manufacturing has resulted in numerous experiments on innovative tectonic systems, developed often in the university environment where the vocation for research and interaction between different fields is real. Within the university of Politecnico di Milano, ACT-LAB (Architecture, Technology and Com-

putation Laboratory) is involved in the research, design and realization of multi-performative construction systems through the application of integrated processes of design and digital manufacturing.

A key concept in this operative methodology is the one of *Form-Finding*, inherited by Frei Otto and other avant-garde architects of the twentieth century who made use of physical models in order to explore the material capacity to compute efficient solutions, as in natural systems.<sup>8</sup> This approach is now being implemented through algorithms which allow the study of efficient architectural forms based on the simulation of the physical behaviour of the material. The project *Unexpected Materiality* (2013) is inspired by the studies of Gaudí, Isler and Otto on the catenary curve and implements the process of formal self-organization of a membrane subjected to the force of gravity, which follows the principle of equilibration of the tensile stresses in the material. The result is a structure, which inverted, acts closely to pure compression and allows the spanning of large areas with the use of light-weight shells made of only few millimeters-thick corrugated material. The algorithmic process permits the generation of infinite formal variations and the installation of similar structures in short periods of time through

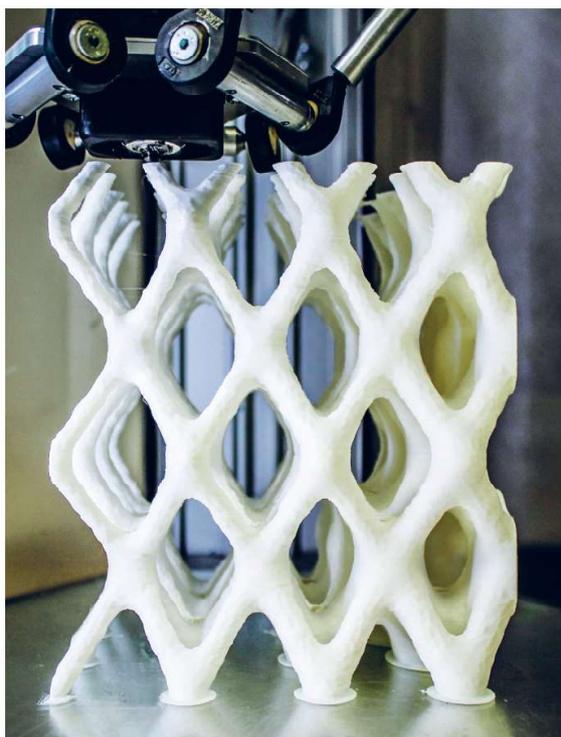


the digital continuum between the modeling/simulation environment and Computer Numerical Control (CNC) machines.

The potential of material computing is also investigated in *Weaving Enclosure* (2014), a research which integrates the emergent properties of the craft technique of weaving and its transposition in architecture. The inherent characteristics of the weaving material - rattan - guide the entire project. Algorithms for the simulation of the physical behavior of the elastic curvature have been used in order to predict the organization of the rattan for the generation of a structural system based on active bending and friction, typical of the weaving technique. The possibility to explore within a physically accurate system enabled the development of performative characteristics like visual filtering and shading. The final result is a prototype system of a self-standing internal enclosure which is able to filter the light and to organize functions, allowing the indirect communication

between environments. The system is also an interesting example of negotiation between digital and manual, produced in part by numerical control machines powered by a fabrication code which extends the digital role to the material itself. Matter informs the model and the model informs matter.

Another research developed by ACTLAB is the direct application of three-dimensional printing in architecture. With additive manufacturing the designer controls the definition of each single voxel - the minimal unit of matter which allows the immediate connection between material and geometry, and between chemistry and physics - where performance and shape tend to coincide. The potentialities of this approach are currently being explored within the project *3D Printed Performing Prototypes* (2015), where surfaces and structures with differential performances have been studied, taking an inspiration from nature, in which material resources are limited in quantity and variety, and geo-



metric differentiation plays a fundamental role for any performative system. Through the use of topology optimization algorithms, a structural skin has been studied as the quantity of the material and its layout follow the principal stress lines. In this way, the material is locally organized according to the formal conditions and the mechanic specifications through a computational process which reminds the process of homeostasis which determines in a dynamic way the internal organization of bone tissues. All these experiments allow us to imagine and create innovative tectonic systems where material, form and structure are developed in a coherent manner. The evolution of the computational approach has opened new territories of research and advanced customization which supersede the resilience to innovation typical for the conservative sector of building construction. Within a discipline currently in fast evolution, the opportunities of research become a necessity.

La struttura a catenaria nel padiglione UnExpected MateReality 2013 (ACTLAB, Politecnico di Milano)

Microstruttura differenziale per un prototipo di involucro, stampato con tecnica a deposizione fusa (ACTLAB, Politecnico di Milano)

The catenary structure of the UnExpected MateReality 2013 Pavilion (ACTLAB, Politecnico di Milano)

Differential microstructure for a skin prototype, printed with Fused Deposition Modeling technique (ACTLAB, Politecnico di Milano)

1 Wiktionary, "Computazione", <https://it.wiktionary.org/wiki/computazione> (July 05, 2015)

2 R.Naboni, I.Paoletti, Advanced Customization in Architectural Design and Construction (Dodrecht, Springer 2015)

3 Greg Lynn, Folds, Bodies and Blobs: Collected Essays (Brussels:La Lettre volleys, 1998); Greg Lynn, Animated Form (New York.: Princeton Architectural Press, 1997).

4 John Frazer, EvolutionaryArchitecture, London, Architectural Association, 1995.

5 Luca Caneparo, Digital fabrication in architecture engineering and construction (Dodrecht, Springer 2014)

6 Wikipedia, "Autodesk -Revit", [https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk\\_Revit](https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Revit) (July 05, 2015)

7 Nadine M. Post,"New York's Tallest Residential Tower Is Frank Gehry 'Demystified' ", Engineering News Record (McGraw-Hill, 2010)

8 Achim Menges, Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design, 3.

Con il Patrocinio di



Comune di Lecco

ANCE | LECCO



CONFINDUSTRIA  
LECCO E SONDRIO



Camera di Commercio  
Lecco



LECCO  
VERSO E OLTRE  
MILANO 2015

Con il contributo di



IMPRESA  
PIETRO  
CARSA NA



PERMASTEELISA  
GROUP



POLITECNICO  
DI MILANO

ALFA

Fondazione  
Aldo Pio Favini  
e Anna Gatta

Con la collaborazione di

INDEXLAB  
CREATIVITY & TECHNOLOGY

ACTLAB  
ARCHITECTURE . COMPUTATION . TECHNOLOGY

Sponsor tecnici

EXPO  
MILANO 2015  
NUTRIRE IL MONDO  
INNOVARE PER LA VITA

ABB

Official Automation and Robotics Sponsor

Delcam  
Complete CAD/CAM Solutions

Formech  
Perfectly formed

Carmon@carbon

SAM  
CARPENTERIE

nieder

GSE  
s.n.c.

Italcementi  
Italcementi Group

EXPO  
TRANS  
ART

LIGNUM LEUCI

*«... Digital Takes Command si occupa dei dispositivi per produrre il nostro ambiente, interrogandosi sullo stato delle cose di procedimenti e tecniche della trasformazione del mondo fisico, esibendo e consentendo di sperimentare tecnologie che permettono il passaggio da idee e figurazioni alla realtà materiale ... »*

*«...Digital Takes Command focuses on the devices used to produce our environment, questioning the status of procedures and techniques of transformation of the physical world, displaying and offering an experience of technologies that allow the passage from ideas and images to the material reality ... »*

*14 euro*

ISBN 978-88-498-4506-8



9 788849 845068