

dottoranda
ROSSELLA SIANI
tutor
prof. arch. DORA FRANCESE
cotutor
prof. arch. PHILIPPE MARIN

IL PROCESSO BIOMIMETICO SISTEMICO NEL PROGETTO TECNOLOGICO DI ARCHITETTURA

STRUMENTI METODOLOGICI, INFORMATICI E MECCANICI

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II – DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

DOTTORATO DI RICERCA IN
TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA E RILIEVO E RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA E DELL'AMBIENTE
XXVII CICLO

Università degli Studi di Napoli Federico II

Dottorato di Ricerca

in **Tecnologia dell'Architettura e Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente**
ciclo XXVII

Coordinatore del Dottorato di Ricerca

Mario Losasso

Coordinatore dell'indirizzo in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente

Riccardo Florio

Collegio dei docenti

Paola Ascione

Erminia Attaianese

Laura Bellia

Mariangela Bellomo

Jean François Cabestan

Massimiliano Campi

Mara Capone

Raffaele Catuogno

Umberto Caturano

Alessandro Claudi de St. Mihiel

Claudio Claudi de St. Mihiel

Alberto Coppola

Valeria D'Ambrosio

Antonella di Luggo

Antonella Falotico

Riccardo Florio

Dora Francese

Mario Losasso

Francesco Maglioccola

Alessandra Pagliano

Antonio Passaro

Sergio Pone

Marina Rigillo

Sergio Russo Ermolli

Tutor

Dora Francese

Co-tutor

Philippe Marin

INDICE

| | |
|---|------------|
| Introduzione | 5 |
| Capitolo 1 – Approcci progettuali collegati alla biologia..... | 8 |
| 1.1 Architettura organica pre-informativa | 8 |
| 1.1.1 <i>Gli esordi, non solo architettura</i> | 8 |
| 1.1.2 <i>Lo sviluppo del concetto di organico nella storia dell'Architettura</i> | 9 |
| 1.1.3 <i>Principali contributi pratici e teorici all'architettura organica</i> | 10 |
| 1.2 Architettura organica post-informativa | 19 |
| 1.2.1 <i>Studi e applicazioni dell'approccio complesso: dalla città alla cibernetica</i> | 20 |
| 1.2.2 <i>Informatica, complessità e architettura</i> | 22 |
| 1.2.3 <i>Esempi di architettura organica post-informativa</i> | 23 |
| 1.3 Eco-sistema | 25 |
| 1.4 Biomimetica | 26 |
| 1.4.1 <i>Origini e Definizioni</i> | 26 |
| 1.4.2 <i>Differenze tra la biomimetica e altri bio-approcci</i> | 28 |
| 1.4.3 <i>Campi di applicazione</i> | 29 |
| 1.4.4 <i>Metodi</i> | 31 |
| 1.4.5 <i>Uno strumento di divulgazione del sapere scientifico</i> | 31 |
| 1.5 Il metodo progettuale biomimetico di J. M. Benyus | 33 |
| 1.5.1 <i>Le fasi progettuali della Biomimetica</i> | 33 |
| 1.5.2 <i>Gli strumenti</i> | 34 |
| 1.5.3 <i>I percorsi progettuali: dalla biologia al progetto, dall'esigenza alla biologia.</i> | 37 |
| Capitolo 2 - Esempi biomimetici per l'architettura | 39 |
| 2.1 Materiali | 40 |
| 2.2 Prodotti | 41 |
| 2.3 Sistemi strutturali..... | 45 |
| 2.4 Relazioni | 51 |
| Capitolo 3 - La definizione di un processo progettuale biomimetico sistemico | 57 |
| 3.1 Una convergenza verso la complessità | 57 |
| 3.2 Punti di forza e limiti della visione biomimetica della Benyus in architettura | 58 |
| 3.3 Approccio lineare, approccio sistemico | 59 |
| 3.4 Gli strumenti per un processo progettuale biomimetico sistemico..... | 60 |
| 3.5 La genesi di un processo progettuale biomimetico sistemico | 61 |
| 3.6 Le fasi del processo progettuale biomimetico sistemico: fase generativa e fase attualizzata... .. | 62 |
| Capitolo 4 - Gli strumenti delle fasi del processo progettuale biomimetico sistemico | 64 |
| 4.1 Le ragioni di un processo progettuale sistemico in due fasi | 64 |
| 4.2 Dall'osservazione alla comprensione della complessità | 71 |
| 4.2.1 <i>Pattern e Morfogenesi</i> | 72 |
| 4.2.2 <i>Intelligenza degli swarm</i> | 75 |
| 4.2.3 <i>Sistemi emergenti</i> | 81 |
| 4.2.4 <i>Complessità organizzata</i> | 82 |
| 4.2.5 <i>Sistemica</i> | 82 |
| 4.2.6 <i>Cibernetica</i> | 83 |
| 4.3 Gli approcci..... | 84 |
| 4.3.1 <i>Approccio Geometrico e Approccio Algebrico</i> | 85 |
| 4.3.2 <i>Approccio Top down e Approccio Bottom up</i> | 88 |
| 4.4 Gli strumenti informatici | 89 |
| 4.4.1 <i>Strumenti generativi</i> | 89 |
| 4.4.2 <i>Nuove competenze progettuali</i> | 91 |
| 4.5 Gli algoritmi | 95 |
| 4.5.1 <i>Definizione</i> | 95 |
| 4.5.2 <i>Alcuni algoritmi utili alla progettazione architettonica</i> | 96 |
| 4.6 Le macchine a controllo numerico | 98 |
| 4.7 La fabbricazione digitale..... | 103 |
| Capitolo 5 - Il significato del processo progettuale nelle due fasi | 106 |
| 5.1 La fase progettuale generativa: molteplicità..... | 106 |
| 5.2 La fase progettuale attualizzata: singolarità | 108 |

| | |
|---|------------|
| 5.3 La necessità di un sistema aperto nel processo progettuale..... | 109 |
| 5.4 Il ruolo del progettista | 110 |
| Capitolo 6 - Output sperimentali per la verifica del processo | 113 |
| 6.1 Introduzione | 113 |
| 6.2 Un esempio di ottimizzazione delle prestazioni: un'over-cladding per il controllo dell'ombreggiamento in facciata..... | 113 |
| 6.3 Un esempio di controllo indiretto della realizzazione del progetto: una proposta per trasportare un muro di adobe dal virtuale al reale | 123 |
| 6.4 Prospettive future di ricerca..... | 129 |
| Capitolo 7 - Feedback sul processo progettuale biomimetico sistemico..... | 131 |
| 7.1 Le caratteristiche dell'approccio biomimetico sistemico in un'ottica ecologica | 131 |
| 7.2 La singolarità del progetto come alternativa alla produzione standardizzata | 137 |
| 7.2.1 <i>Le potenzialità di un sistema di produzione personalizzata basato sulla fabbricazione digitale.....</i> | <i>137</i> |
| 7.2.2 <i>Considerazioni sulla produzione di massa</i> | <i>138</i> |
| 7.3 I mezzi di sperimentazione e divulgazione della fabbricazione digitale. | 140 |
| 7.3.1 <i>Makers e Fab Lab.....</i> | <i>140</i> |
| 7.3.2 <i>Logiche di connessione per un nuovo modello di produzione.....</i> | <i>141</i> |
| Bibliografia | 143 |

Introduzione

La nascita del concetto di ecosistema dimostra una sensibilizzazione della nostra società ad un'idea della realtà fisica più complessa di quella di ambiente.

L'uomo e le sue opere cominciano ad essere interpretate come parte di un sistema aperto, così anche l'opera architettonica è vista come un oggetto capace di scambi continui con il contesto ambientale oltre che culturale.

Nella tecnologia dell'architettura il modello esigenziale-prestazionale affronta il progetto con logiche multi-esigenziali, restituendo l'idea di un progetto come insieme di una molteplicità di condizioni.

La definizione di classi di esigenza, requisiti e prestazioni dimostra la necessità di incorporare nel progetto tanti aspetti, che siano essi rivolti al benessere e alla sicurezza dell'uomo oppure alla salvaguardia dell'ambiente.

La diffusione di strumenti di valutazione sempre più accurati e sensibili ai fattori che influiscono sulla sostenibilità ambientale (eco-sostenibilità) oltre che sulla salubrità (biocompatibilità), dimostra la maturità raggiunta dalla nostra società in termini di una visione eco-sistemica.

Tuttavia, i mezzi comunemente usati, sia per la fase di progettazione, che per quella di verifica e analisi, si basano su logiche lineari, poco adatte a comprendere la complessità che hanno come obiettivo.

La fase di analisi, anche con il supporto dei *software*, avviene solo dopo la composizione architettonica, così si può apportare una correzione in funzione della verifica, ma non si ha un controllo diretto delle prestazioni.

L'obiettivo di questa tesi è rivolto alla ricerca di un approccio più diretto tra le caratteristiche prestazionali e il risultato.

L'indagine parte dalla comprensione dell'efficacia delle soluzioni biologiche, in termini di prestazioni, ma anche in funzione di un equilibrio eco-sistemico.

L'imitazione del modello biologico può avvenire per mezzo della forma funzionale, ma anche del processo. Ed è proprio al processo biologico che si dedica maggiore attenzione, ritenendolo indispensabile per una corretta definizione degli equilibri eco-sistemici.

La disciplina che prende a modello l'esempio della vita è la biomimetica. Si tratta di una disciplina piuttosto recente; tuttavia, anche prima della sua definizione, è possibile trovare vari esempi di architetture ispirate alle logiche naturali.

I primi studi riguardano gli esempi dal passato nei confronti di questo modello di ispirazione per la progettazione architettonica. La ricerca evince uno sviluppo, non solo delle soluzioni tecniche ispirate alla biologica, ma soprattutto la maturazione di concetti come organico, sistemico, complesso, che cominciano ad emergere in diverse discipline, dalla biologia, alla sociologia, all'urbanistica, fino all'informatica. Ed è proprio con l'informatica, che si passa dalla teoria alla pratica e la complessità passa da un argomento speculativo e di analisi, ad un elemento di composizione.

E' possibile elaborare progetti complessi in architettura grazie al supporto di *software* parametrici, che tengono in considerazione diversi dati da calcolare.

Comincia a manifestarsi una progettazione informatizzata sempre più vicina alle forme organiche, ma non ancora del tutto cosciente delle logiche organiche.

A questa comprensione si giunge con un percorso approfondito che passa dalle teorie filosofiche alle scoperte biologiche.

Lo studio degli strumenti metodologici, informatici e meccanici porta alla definizione di un modello progettuale basato su logiche sistemiche.

I concetti filosofici, alla base del percorso svolto, hanno un ruolo fondamentale nella definizione delle fasi del progetto biomimetico sistemico che si propone.

I *software* di progettazione parametrica, che si stanno diffondendo anche in architettura, già presuppongono due fasi progettuali, manca tuttavia la comprensione del loro significato, in termini generativi. Genotipo e Fenotipo sono i concetti biologici, ripresi dalla filosofia, che ricadono nel modello progettuale proposto e che bisogna necessariamente comprendere per un uso consapevole delle potenzialità di questi nuovi strumenti per la progettazione.

Assieme a questi due termini, altri concetti si presentano per una comprensione sempre più compiuta delle logiche generative sistemiche.

I *pattern*, l'intelligenza degli *swarm*, i sistemi emergenti, la complessità organizzata: sono tutti fenomeni che con le loro manifestazioni e le logiche che li determinano, contribuiscono alla comprensione dei meccanismi della vita e di sistemi complessi in genere.

Abbiamo a disposizione diverse teorie per la comprensione della complessità e uno strumento valido per l'elaborazione della complessità stessa.

Il processo in esame consente una progettazione basata sulle relazioni, piuttosto che sulle forme. Questo comporta una conseguenza importante in termini prestazionali. Tutti i parametri che possono esser definiti in termini numerici possono entrare a far parte della progettazione in modo preciso ed esatto. I dati statici, termodinamici, estetici, distributivi, e così via, intervengono nel progetto come dati prestabiliti e non risultanti.

Questo semplice capovolgimento, consente un controllo diretto delle prestazioni, piuttosto che una verifica, come avviene nei metodi tradizionali.

Il processo proposto si ferma alla fase progettuale, tuttavia, in funzione delle sue caratteristiche, si è ritenuto opportuno indagare i metodi di fabbricazione, che non possono essere ignorati in fase progettuale.

I due output sperimentali proposti hanno il ruolo di verifica del modello proposto e affrontano le diverse fasi del processo.

Per realizzare i prodotti derivanti da questo metodo progettuale è necessario conoscere gli strumenti meccanici della fabbricazione digitale, in modo da impostare il progetto in funzione dei limiti materici e dimensionali delle macchine.

La caratteristica più innovativa dei prodotti così ottenuti è la singolarità, in contrapposizione della standardizzazione dei prodotti industriali.

Questo carattere apre la strada a diverse considerazioni su come un processo progettuale sistemico possa interferire con le logiche industriali consolidate.

La metafora biologica, che resta sempre sullo sfondo, anche quando le teorie sfociano nelle discipline fisiche o matematiche, è il motivo ricorrente di tutta la tesi.

Le ultime riflessioni affrontano alcuni temi che riguardano l'architettura in termini generali, come la sostenibilità, la crescita, la resilienza interpretati in funzione di una visione sistemica direttamente ispirata alla vita.

La complessità trattata nel lavoro di ricerca ha influenzato l'organizzazione stessa del testo.

La struttura della tesi prevede, infatti, connessioni non lineari tra le sue parti.

In particolare la definizione del nuovo processo progettuale proposto, descritta nel terzo capitolo, raggiunge una piena comprensibilità solo con la lettura dei concetti affrontati in seguito.

Il significato di un progetto singolare (progetto attualizzato) che deriva da una molteplicità (progetto generativo) è prima anticipato, poi argomentato in funzione dei concetti di riferimento, infine spiegato compiutamente e dimostrato con gli output sperimentali.

Capitolo 1 – Approcci progettuali collegati alla biologia

1.1 Architettura organica pre-informatica

1.1.1 Gli esordi, non solo architettura

La pratica di trarre ispirazione dagli organismi viventi per innovare la tecnologia è antica. Se pensiamo che molto dell'apprendimento umano nasca per imitazione, si comprende come, appena le capacità intellettive umane sono giunte ad una adeguata maturazione, i primi modelli di ispirazione del fare umano si siano basati sul mondo naturale, che aveva, millenni fa, una relazione molto più stretta con la quotidianità dei nostri antenati.

Tuttavia questo rapporto antico non è una costante, non è un processo lineare che parte da esempi semplici per svilupparsi con il tempo in più maturi progetti, ma è episodico e discontinuo, presenta picchi di ingegnosità in tutte le epoche.

Un esempio antico, ma niente affatto primitivo è il caso di una popolazione cinese che già tre millenni fa aveva scoperto una tecnologia in grado di riprodurre un filamento che imitava la seta.¹

Ancora, nella Cina rurale di otto secoli fa, la popolazione del villaggio di Hongcun, progettava i villaggi a forma di vacca, creando una rete idraulica ispirata al sistema digestivo del ruminante.²

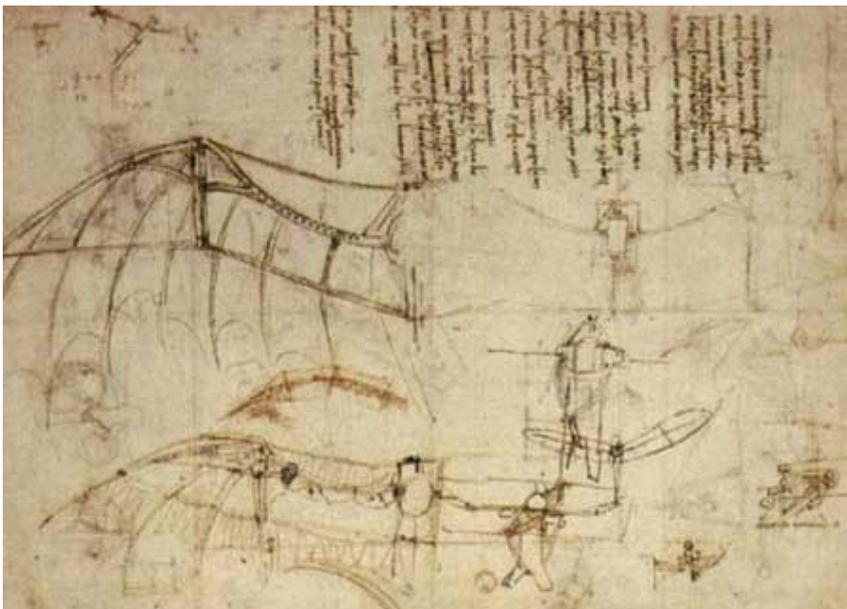


Figura 1 - Schizzi e studi preparatori per una macchina volante (Leonardo Da Vinci).

Le macchine volanti di Leonardo Da Vinci sono il frutto di un approfondito studio sul volo degli uccelli.³

Questo probabilmente è il primo esempio documentato del percorso di ricerca che precede un'opera basata sull'imitazione di organismi biologici. Leonardo parte da un'intuizione: per la progettazione di una macchina volante non c'è

modello migliore di quello proposto da organismi capaci di volare. Lo studio di ricerca attento e meticoloso lo porta alle interessanti osservazioni sui meccanismi che consentono il volo.

Una diretta ricaduta sullo sviluppo della società occidentale l'ha avuta invece la scoperta dell'entomologo francese Réne-Antoine Réamur, che intorno al 1719, propose la polpa di legno, la cellulosa, come alternativa al cotone e al lino nella produzione della carta, dopo aver osservato come le vespe utilizzano questo materiale⁴.

¹ Vincent, J. F. V., *Stealing ideas from Nature*, Springer, Wien 2011

² Guillot, A., Meyer, J.A. *La biunique: Quand la science imite la nature*, Dumod, Paris 2008, p. 229

³ Mazzoleni, I., *Architecture Follows Nature. Biomimetic Principles for Innovative Design*, 1° ed. CRC Press, Boca Raton London New York 2013

⁴ Pawlyn, M., *Biomimicry in Architecture* ed. RIBA, London 2011 pp 5

Nel campo dell'ingegneria navale, possiamo citare l'esempio di Sir George Cayley, che nel 1809 studiò la forma del corpo del delfino per sviluppare una forma dello scafo della nave con un minore coefficiente di resistenza,⁵ assistiamo così ai primi passi della fluido-dinamica, che tanta parte avrà nella ricerca di forme ottimizzate per i progetti di veicoli e velivoli, ma anche di architetture sottoposte alle forze motorie dei fluidi.

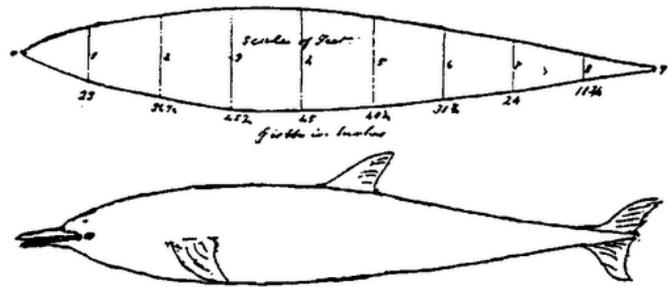


Figura 2 - Schizzi di studio del corpo di un delfino per la progettazione di uno scafo navale a ridotto coefficiente di resistenza (George Cayley).

1.1.2 Lo sviluppo del concetto di organico nella storia dell'Architettura

Nella cultura architettonica occidentale *“a partire da Aristotele e Vitruvio, dalla trattatistica del Rinascimento fino al dibattito settecentesco sul rapporto tra natura e artificio, ... fino ai nostri giorni, la storia della teoria architettonica si intreccia in modi complessi e sempre diversi con le scienze naturali.”*⁶

Secondo i casi, il riferimento al mondo organico è uno spunto poetico oppure un contributo scientifico costruttivo.

L'architetto romano Vitruvio comparava la composizione architettonica dei templi con le proporzioni del corpo umano. *“L'immagine del corpo nella teoria antica ed in quella umanistica veniva impiegata come modello astratto – matematico e funzionale – e non aveva implicazioni plastiche formali.”*⁷

Rudolph Wittkower si è occupato dell'influenza della tradizione neo-pitagorica e neo-platonica nel sistema rinascimentale delle proporzioni architettoniche.⁸ In tale concezione la chiave per comprendere la bellezza e l'armonia delle forme naturali sono i principi matematici, che regolano anche la bellezza artistica. Il tentativo della trattatistica rinascimentale è dunque quello di codificare tale armonia in sistemi matematici e numerici.⁹ Questa interpretazione matematica delle regole organiche ebbe un prosieguo anche nell'800, quando l'impiego diffuso della *“sezione aurea”* dimostrò come questo espediente di corrispondenza matematica tra le parti fosse considerata la chiave di ogni morfologia sia in natura che nel mondo dell'arte.

Le scienze della natura e la teoria architettonica nel mondo antico e rinascimentale hanno relazioni per lo più metaforiche. Di rapporto propriamente detto tra architettura e biologia si può parlare solo a partire dall'inizio del XIX secolo, quando la biologia si costituisce come scienza che ha per specifico oggetto il vivente.

Il concetto stesso di organismo, così come oggi lo conosciamo, è una conquista degli ultimi secoli.

Ancora nel '600 e per quasi tutto il '700 l'organismo vivente è concepito come un'associazione di parti che concorrono a costituirlo nel suo insieme, alla stregua di una

⁵ *ibid.*

⁶ La Rocca, F., *Tecniche della Natura in architettura*, Maggioli Editore, Rimini 1997, p. 11

⁷ cfr. Rykwert, J., *Necessità dell'artificio*, ed. Liguori, Napoli 1988 p.193

⁸ cfr. Wittkower, R., *Architectural Principles in the age of Humanism*, London 1962

⁹ La Rocca, Francesca, *Tecniche della Natura in architettura*, Maggioli Editore, Rimini 1997 p. 11

serie di pezzi meccanici che concorrono a costituire una macchina. Lo studio degli organismi è perciò basato sull'osservazione e la classificazione della loro struttura visibile.

Non è ancora sorta nella storia della biologia di quest'epoca la nozione moderna di organizzazione, anche se spesso nel '700 gli esseri viventi sono definiti "corpi organizzati".

Come osserva François Jacob, nel '700 *"l'organizzazione rappresenta ancora soltanto un grado particolarmente elevato di complessità delle strutture visibili, una combinazione particolarmente intricata degli elementi costitutivi di un corpo."*¹⁰ La mancanza della nozione di organizzazione implica che *"l'ordine visibile e l'ordine recondito appartengano ancora a due diversi campi della realtà: non esiste ancora, fra loro, alcun punto di contatto. La storia naturale del XVIII secolo si limita a disegnare un affresco, un quadro a due dimensioni, un reticolo nel quale può inserirsi il mondo vivente"*.¹¹

A partire dal XX secolo si comincia a costituire una vera e propria teoria dell'organizzazione, per cui il funzionamento della struttura visibile di un organismo vivente viene governato da funzioni invisibili: *"si stabiliscono allora relazioni di nuovo tipo tra ciò che appare in superficie e ciò che si cela in profondità, fra l'organo e la funzione, fra il visibile e l'invisibile."*¹²

Il significato di organizzazione diviene gradualmente centrale nelle scienze naturali, che intanto definiscono una disciplina, la biologia, come specifico settore di studio degli esseri viventi. Nel XXI secolo, come conseguenza di un percorso sempre più profondo di comprensione del reale, viene definito il concetto di sistema, prossimo a quello di organico, ovvero come l'insieme delle parti, ma soprattutto delle relazioni tra le parti. Il concetto di sistema, nato in ambito biologico, diviene un fondamento teorico interdisciplinare.

1.1.3 Principali contributi pratici e teorici all'architettura organica

L'architettura di Antoni Gaudì viene definita "vitalista" e manifesta molti aspetti organici.

Ad esempio, nel caso della Sagrada Família la struttura supera i principi della statica gotica proprio attraverso l'osservazione dei sistemi naturali. Gaudì osserva come la trasmissione delle spinte oblique della volta ai controsoffitti verticali comporta dei rischi considerevoli, che solo un sovraccarico supplementare in questi punti può superare. Ispirandosi, quindi al principio secondo cui avviene la ramificazione nel mondo vegetale, inclina i pilastri in direzione della spinta esercitata dalla volta.

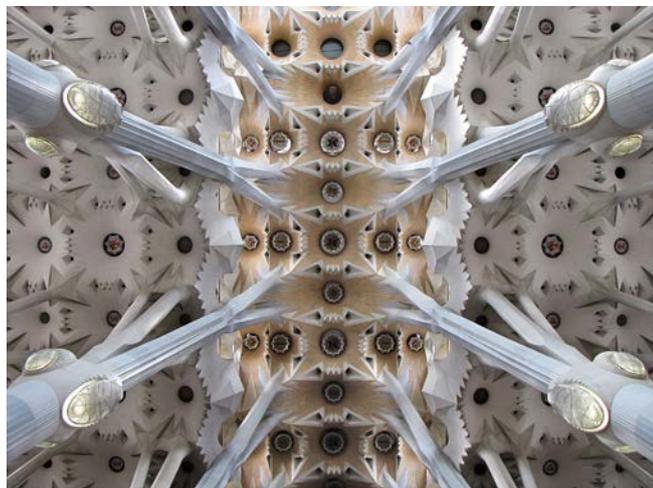


Figura 3 - Le colonne con ramificazione ad albero della Sagrada Família (Antoni Gaudì).

Gaudì parte dai principi della "curva funicolare" del matematico ed ingegnere Poleni, poi ne inverte il funzionamento per ottenere un modello molto favorevole per la costruzione della volta. Trattare la struttura in maniera vitalista significa, per l'architetto catalano, concepirla come espressione delle forze che agiscono al suo interno. Il contributo di Gaudì in termini di

¹⁰ Jacob, François, *La logica del vivente*, ed. Einaudi, Torino 1971

¹¹ *ibid.*

¹² *ibid.*

ispirazione organica non si limita agli aspetti strutturali. Alcuni elementi dei sistemi di raffrescamento imitano la forma delle branchie dei pesci. Strutture organiche, funzionali o estetiche, si presentano copiose in tutte le sue opere.



Figura 4 - Sistema di raffrescamento che imita le branchie dei pesci utilizzato nella Casa Batllò (Antoni Gaudì).



Figura 5 - La struttura della Sagrada Família pensata come una serie di catenarie.

Joseph Paxton, architetto e botanico inglese, divenne celebre per la progettazione del Crystal Palace, uno degli esempi più illustri di architettura in ferro, realizzato a Londra nel 1851 per ospitare la prima Esposizione Universale. Questa, che poi divenne la sua opera più nota, sintetizza le due passioni di Paxton, l'architettura e la botanica. Non molti sanno che la struttura del Crystal Palace è ispirata alla foglia della *Victoria Amazonica*.¹³ A dispetto della sua apparente fragilità, questa ninfea possiede enormi foglie abbastanza resistenti da sostenere il peso di una persona. Ogni foglia presenta una serie di costole radiali irrigidite da sottili nervature incrociate, Paxton pensò di sfruttare tale sistema strutturale per i grandi archi di chiusura dei prospetti principali del Crystal Palace, utilizzando come costole radiali e nervature elementi portanti in ferro e in analogia al riempimento della foglia i pannelli di vetro, ottenendo così una struttura molto leggera ma al contempo incredibilmente resistente.

Konrad Wachsmann individua nel Crystal Palace il riferimento fondamentale dell'architettura organica: *“La grossa serra collocata su un parco londinese era tutta vetrata e trasparente e oltre a costituire il primo esempio di prefabbricazione industriale è stato anche il primo edificio moderno ad essere ispirato dalle forme della natura”*¹⁴.

¹³ La Rocca, Francesca, *Tecniche della Natura in architettura*, Maggioli Editore, Rimini 1997, ISBN 88 387 1090 2

¹⁴ Wachsmann, K., *Una svolta nelle costruzioni*, Il Saggiatore, Milano 1960

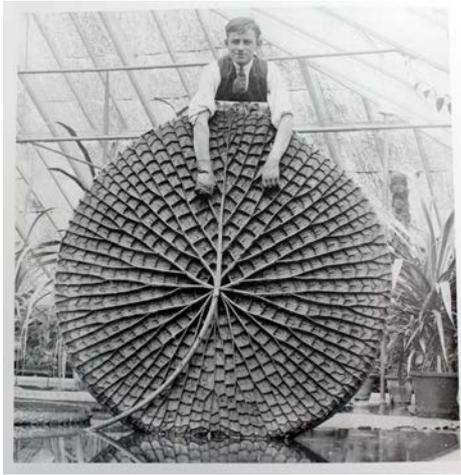


Figura 6 - La struttura della foglia della ninfea Victoria Amazonica.

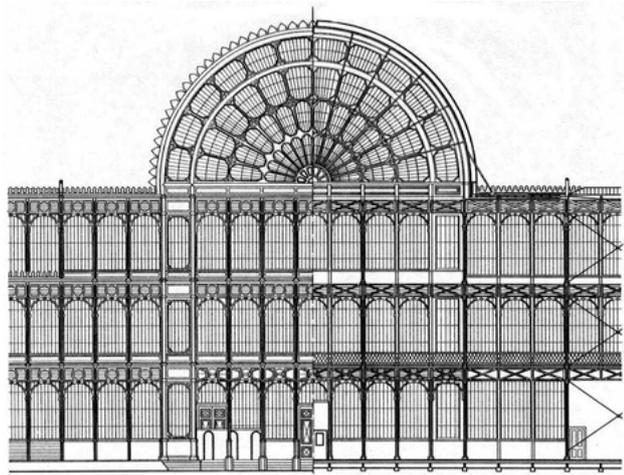


Figura 7 - Disegno tecnico del prospetto del Crystal Palace. Nel grande arco in copertura è possibile apprezzare le analogie con la struttura della Victoria Amazonica.

La metafora organica ispira un movimento: il funzionalismo americano ottocentesco di Horatio Greenough e di Louis Sullivan. Secondo Greenough il funzionalismo ha evidenti radici biologiche: l'adattamento della forma alla funzione è il principio operante in natura da riprodurre nella progettazione. Parlando delle forme degli organismi viventi Greenough si chiede come sia possibile non rimanere colpiti dagli scheletri degli animali o dalle loro pelli, come non restare affascinati dalla grande quantità di animali, uccelli, pesci, insetti, non solo per la loro varietà, ma anche per la loro bellezza. Non c'è un solo esempio in natura in cui l'organizzazione naturale non si manifesta con delle variazioni, dello stesso elemento troviamo varianti allungate o accorciate, aumentate o diminuite, a seconda dei bisogni del genere e della specie, modellati dalle necessità adattive.¹⁵

Il lavoro di Greenough si spinge a descrivere la caratteristica dell'ordine degli esseri viventi e scrive *"...la consistenza e l'armonia delle parti giustapposte, la subordinazione dei dettagli alle masse, e delle masse al tutto"* e questo concetto sarà spesso usato per definire un sistema.

"La legge dell'adattamento è una legge fondamentale della natura in tutte le strutture",¹⁶ se così si esprime Greenough per descrivere il *feedback* tra organismo e ambiente, Eidlitz, uno dei suoi più diretti allievi approfondisce l'argomento dichiarando che *"...in*

Natura le forme sono il prodotto dell'ambiente. L'ambiente determina la funzione, e le forme sono il risultato della funzione", e come in natura anche in architettura le forme vanno adattate all'ambiente *"...finché le funzioni risultanti (da questo ambiente) siano completamente espresse nell'organismo (architettonico)"*.¹⁷



Figura 8 - Decorazione del Carson Pirie Scott Building (Louis Sullivan). Intrecci di vitigni e foglie combinati con forme geometriche.

¹⁵ Greenough, H., *Form and Function: Remarks on Art, Design and Architecture*, H. A. Small, University of California Press, Berkeley and Los Angeles 1957, pp. 57-58. Il libro è una versione riveduta del Memorial of Horatio Greenough, H.T. Tuckermann, 1853, New York, che a sua volta è basato su 'Horace Bender' (Pseud. Di Greenough), *The Travels, Observation, and Experience of a Yankee Stonecutter*, New York 1852

¹⁶ *ivi*, p. 59

¹⁷ Eidlitz, L., *The Nature and Function of Art, More Especially of Architecture*, London 1881, p. 358

La bellezza che si ritrova in natura si riscontra per Greenough anche nei prodotti tecnici semplici. La tecnica, non soltanto la natura, è un riferimento per il progettista, in quanto in tutti e due gli ambiti vige la legge di necessità. C'è in questa posizione di critica dell'ecllettismo ottocentesco: il famoso motto del funzionalismo secondo cui "la forma segue la funzione" (Sullivan) aveva certamente anche un valore di condanna della grossolana architettura commerciale del suo tempo.¹⁸

Quando Greenough scrive che i principi dell'architettura possono essere appresi dallo studio degli scheletri delle pelli di animali e insetti, adopera una metafora molto appropriata alla tecnologia delle intelaiature in acciaio usate dagli architetti di Chicago tra 1880 e 1890, con la separazione della "pelle" dell'edificio dalle sue "ossa".

In seguito, sullo stesso tema, Auguste Perret afferma che *"l'ossatura sta all'edificio come lo scheletro sta all'animale. Come lo scheletro dell'animale ritmato, equilibrato, simmetrico, contiene e sostiene gli organi più vari e più variamente situati, così la struttura dell'edificio deve essere composta, ritmata, equilibrata e anche simmetrica"*¹⁹.

Louis Sullivan approfondisce i temi cari a Greenough: *"...che si tratti del volo di un'aquila, di meli in fiore, delle nuvole, di un cigno, in natura la forma segue sempre la funzione. Non c'è cambiamento di forma senza cambiamento di funzione."*²⁰

La biologia ha rappresentato un riferimento fondamentale per la teoria del funzionalismo: il razionalismo ricercò in essa quella legittimazione scientifica che diverrà sempre più essenziale per l'architettura nel corso del XX secolo.

Secondo Steadman, a partire dalla fine del XIX secolo, nasce una serie di analogie tra la biologia e le arti applicate, con particolare riferimento all'architettura.²¹

Il primo tipo di analogia riguarda la classificazione: metodi e sistemi classificatori tratti dalle scienze naturali sono applicati per spiegare la storia dell'architettura, l'evoluzione degli stili, le forme architettoniche.

L'analogia anatomica paragona, invece, la struttura dell'organismo vivente alle strutture portanti. La teoria darwiniana o evolutiva spiega il design di oggetti di utilità pratica e di costruzioni come il risultato del susseguirsi di ripetute repliche (corrispondenti all'ereditarietà), nel corso delle quali si verificherebbero ad ogni stadio piccoli cambiamenti ("variazioni") che sarebbero poi "selezionati" con l'uso dell'oggetto.

Nell'analogia ecologica entra in gioco più propriamente il rapporto sistema-ambiente: l'organismo naturale è studiato in base alle relazioni che instaura con il suo intorno. In questo caso l'oggetto di attenzione è l'adattarsi dei sistemi naturali al loro ambiente, allo scopo di istituire un paragone col conformarsi dell'edificio o della città alla specifica situazione ambientale. Questa è sicuramente l'interpretazione più vicina alla contemporanea concezione sistemica e processuale dell'architettura.

Nel 1917 D'Arcy Thompson pubblica i suoi studi sulle relazioni che intercorrono tra le definizioni matematiche, le leggi fisiche e alcuni dei più semplici fenomeni esteriori

¹⁸ Joedicke, J., *De la genese du fonctionalisme*, in *L'architecture d'aujourd'hui* n.153, 1971

¹⁹ Perret, A., *Contributo ad una teoria dell'architettura* cit. in La Rocca, Francesca, *Tecniche della Natura in architettura*, Maggioli Editore, Rimini 1997, p. 16

²⁰ Sullivan, L., cit. in La Rocca, Francesca, *Tecniche della Natura in architettura*, Maggioli Editore, Rimini 1997 p.

16

²¹ Steadman, P., *L'evoluzione del design*, ed. Liguori, Napoli, 1988

dell'accrescimento organico, della struttura e della forma, considerando come ipotesi che il complesso dell'organismo sia un insieme meccanico e materiale.²²

In *On Growth and Form* sono raccolti gli studi su alcune morfologie organiche; si dimostra, ad esempio, l'analogia tra l'osso del metacarpo dell'ala di un avvoltoio e la trave composta di Warren; troviamo la similitudine tra le linee di tensione della testa di un femore umano e quella di una gru inventata in quei tempi; c'è una comparazione tra l'anatomia dei quadrupedi e la struttura dei ponti, con l'evidenza della qualità strutturale di alcuni scheletri preistorici.

La forma, per il biologo scozzese, è il risultato delle forze fisiche che hanno agito durante la crescita, come la forza di gravità che modella la struttura dei vertebrati e la forza di tensione superficiale che origina le configurazioni dei microorganismi e delle cellule. Quindi la forma è il risultato di forze intrinseche inerenti ad ogni particolare sistema e delle forze estrinseche relative all'ambiente circostante.

La natura crea le sue forme in base a criteri di economia e di minima energia.

La conchiglia assume quella forma perché obbedisce alle leggi relative alle forze ascensionali e alla pressione dell'acqua.

La forma della foglia non può che essere tendenzialmente piatta e larga perché essa ha bisogno di immagazzinare la maggior quantità possibile di radiazione solare.

L'opera di D'Arcy Thompson influenzerà più di una generazione di progettisti.

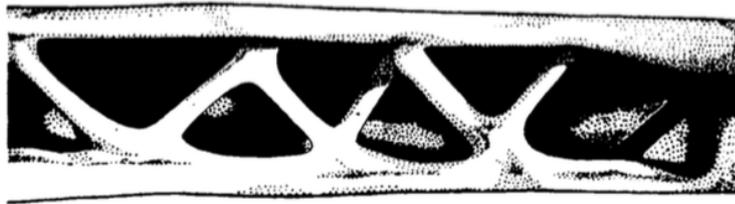


Figura 9 - Analogia tra l'osso metacarpale dell'ala di un avvoltoio e la trave composta di Warren (tratto da T. D'Arcy, *On Growth and Form*, fig. 101, pag. 236.

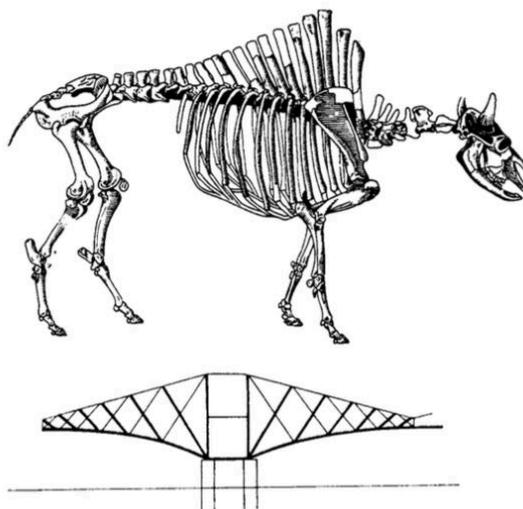


Figura 10 - Analogia tra lo scheletro di un bisonte fossile e due mensole armate del Fourth Bridge (tratto da T. D'Arcy, *On Growth and Form*, fig. 104 pag. 243 e fig. 106 pag. 245.

²² D'Arcy Thompson, W., *On Growth and Form*, ed. Cambridge University , Cambridge 1917

Frank Lloyd Wright, nella sua famosa casa sulla cascata, manifesta la necessità di un'architettura integrata con il contesto, ovvero, capace di instaurare una serie di relazioni profonde con gli elementi prossimi, caratteristica tipica dei sistemi naturali. Questa sensibilità, propria del grande architetto, negli ultimi anni della sua carriera si abbina a forme architettoniche sinuose e con espliciti riferimenti al modello organico.

Come sue ultime opere ci ha lasciato il Guggenheim Museum di New York, l'edificio amministrativo di S.C. Johnson & Son Inc. con le colonne a forma di grandi funghi, il Price Tower, che imita la struttura di un albero.

Wright scrive: *"L'uso del termine organico in architettura corrisponde a un concetto di vita intrinseca di intrinseca costruzione naturale: ambedue i concetti considerati in una struttura comune in quanto nativi"*.²³



Figura 11 - L'ispirazione di Wright per il Price Tower fu la forma di un albero . Egli stesso spiegò come il suo primo e unico grattacielo è stato "...l'albero che è fuggito dal bosco affollato..." , ossia la città di New York.



Figura 12 - Le colonne ispirate alla forma di un fungo del Johnson Building.

Un interessante esempio di sistema strutturale ispirato alle leggi naturali è il lavoro più noto di Richard Buckminster Fuller: le cupole geodetiche. La loro costruzione si basa sia sull'osservazione della forma dei radiolari che sull'estensione di alcuni principi base dei solidi semplici, come il tetraedro, l'ottaedro e solidi con numero di facce maggiore che possono considerarsi approssimazione della sfera. Le strutture così concepite sono molto leggere e stabili. La cupola geodetica è stata brevettata nel 1954, ed è una parte fondamentale del processo creativo di Fuller teso all'esplorazione della natura per inventare nuove soluzioni di progettazione.

²³ Wright, F. L., *La città vivente*, Einaudi, Torino 1991, pag.139

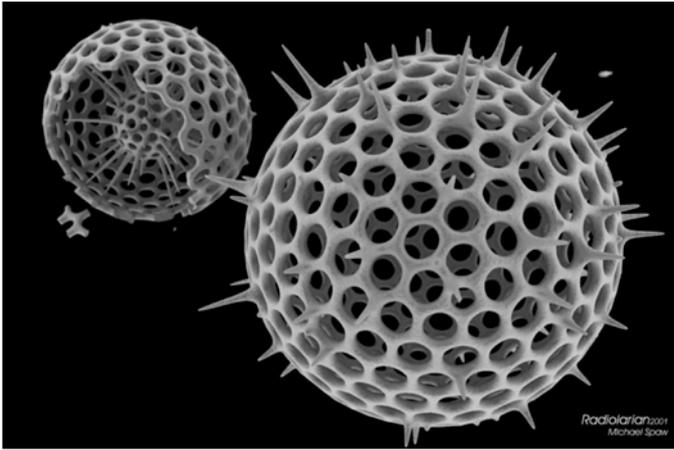


Figura 13 - I Radiolari sono protozoi caratterizzati da uno scheletro siliceo che contiene il corpo molle in una capsula centrale



Figura 14 - Padiglione degli Usa all'Expo di Montreal del 1967 (Richard Buckminster Fuller)

Per uno spirito contemplatore la natura riserva una miriade di spunti alla creazione, ma al contempo nell'atto della creazione e della costruzione, si rivelano i vincoli imposti dalle leggi fisiche che limitano la creatività dell'artista. Pier Luigi Nervi ha saputo, nel corso della sua vita di costruttore, superare questi vincoli in maniera brillante quanto determinata. Lo ha fatto con la sperimentazione e la ricerca (le sue coperture ne sono un esempio).

Per Nervi l'architettura non è concepibile soltanto come estetica, ma è pura funzionalità e staticità. Si ricordano sue opere più emblematiche: il Palazzetto dello Sport di Roma, la cartiera Burgo a Mantova, il grattacielo di Australia Square a Sydney, l'Aula delle Udienze Pontificie in Vaticano.

Il contributo di Nervi è molto interessante, non si limita all'imitazione di una forma, ma ha una rigorosa funzionalità statica. E' proprio a partire dalle potenzialità strutturali di alcune forme che nascono le sue opere.

Pier Luigi Nervi fonda le sue strutture sull'osservazione del comportamento statico degli oggetti in natura. Partendo dall'analisi di calici di fiori, foglie lanceolate, gusci d'uova, canne, conchiglie, gusci d'insetto, Nervi trasla le leggi della natura nelle sue strutture.²⁴

*"Avvicinarsi alle misteriose leggi della natura con modestia, cercando di interpretarle obbedendo ad esse è l'unico modo per portare la loro maestosa eternità al servizio dei nostri limitati e contingentati obiettivi... La ricerca di Nervi si spinge verso il raggiungimento della forma naturale, dove specialmente nelle grandi costruzioni, la perfetta aderenza alle più naturali e spontanee leggi statiche diviene un elemento fondamentale nella definizione estetica dell'edificio."*²⁵

L'imitazione della natura, o per meglio definirla l'interpretazione della corretta disposizione delle forze naturali, si concretizza nel progetto per il Lanificio Gatti a Roma (1951- 53). La corretta interpretazione delle leggi fisiche genera nel solaio una percezione armonica della forma e una spiccata valenza espressiva.

L'ubbidienza alle leggi della natura non implica al contempo una rigidità nell'impostazione delle nervature. All'interno di un sistema preordinato, Nervi si assicura la più ampia libertà formale nella definizione delle nervature. Libertà che si permetterà di approfondire nelle successive occasioni professionali secondo un collaudato principio di variazione sul tema.

²⁴ Nervi, Pier Luigi, *Costruire correttamente: caratteristiche e potenzialità delle strutture cementizie armate*, Hoepli, Milano 1955

²⁵ A. Trentin, T. Trombetti, *Pier Luigi Nervi, Aula delle Udienze Pontificie*, in "D'Ar-chitettura", n. 36, agosto 2008, p. 116



Figura 15 - Il solaio nervato del Lanificio Gatti a Roma (P.L. Nervi)



Figura 16 - Dettaglio della copertura del Palazzetto dello Sport a Roma. (P.L. Nervi)

La composizione delle membrane di Frei Otto nasce da esigenze strutturali. Le leggi statiche sono il parametro con cui le forme sono modellate.

La sua opera più conosciuta è lo Stadio Olimpico di Monaco, qui Otto, ispirandosi alla tessitura propria delle ali di una libellula, elabora una struttura molto innovativa per l'epoca, composta da grandi tettoie sostenute da cavi di acciaio.

Le ali della libellula hanno uno spessore di soli tre millesimi di millimetro. Nonostante siano così sottile, tuttavia, sono molto resistenti in quanto composte da un massimo di 1.000 sezioni. Grazie a questa struttura compartimentale le ali non si strappano, e sono in grado di supportare la pressione che si forma durante il volo. Il tetto dello stadio olimpico di Monaco è stata progettato seguendo lo stesso principio.



Figura 17 - Analogia tra la copertura dello Stadio Olimpico di Monaco (Frei Otto) e le ali di una libellula

Un esempio tecnico-scientifico poco noto risale alla metà del XX secolo, quando Robert Le Ricolais, professore all'università della Pennsylvania, sviluppò un nuovo modello strutturale imitando le strutture biologiche individuate dal biologo tedesco Haeckel nel secolo precedente²⁶: un interessante apporto alla ricerca strutturale ingegneristica.

Il movimento giapponese Metabolist Group (Kiyonori Kikutate, Fumihiko Maki, Masato Otaka, Kiyoshi Awazu, Kisho Kurokawa), attivo negli anni sessanta del '900, contesta il meccanicismo funzionalista in favore di sistemi più indeterminati e complessi, capaci di inglobare, come i sistemi viventi, la dimensione temporale.

²⁶ Guillot, A., Meyer, J.-., *La biunique: Quand la science imite la nature*, Dumod, Paris 2008, p.15

Lo stesso termine “Metabolist” allude al funzionamento di un organismo biologico e ai suoi ritmi temporali.²⁷ I loro interessi spaziano dall’architettura all’urbanistica, ma il modello di riferimento che propongono è adeguato a entrambe le discipline progettuali.

La metafora meccanica, che domina nei tempi del pieno fervore industriale, è sostituita dai Metabolisti con una metafora organica: separazione funzionale, geometria rigida, permanenza sono caratteri non adatti a descrivere la realtà. Le teorie proposte dai Metabolisti toccano i principi del Buddismo, inserendo l’atto progettuale all’interno di un più ampio orizzonte.

“Negli ultimi anni la consapevolezza che le limitazioni alle risorse naturali del mondo, la società umana e l’ambiente costituiscono un unico grande sistema di vita è diventata molto diffusa. Ma per il Buddismo questa non è una novità: si tratta di un principio fondamentale del concetto di samsara . Il riconoscimento da parte del gruppo metabolista nel suo libro del 1960 che la società fa parte di un più grande ciclo di vita coincide con questa dottrina. Il principio che l’architettura dovrebbe cambiare con il tempo, il principio di sostituibilità e intercambiabilità, e il principio del ciclo metabolico, così come la convinzione che l’architettura, le città e l’umanità stessa sono effimere, sono tutti concetti in accordo con le dottrine del samsara e laksana –alaksanatas.”²⁸

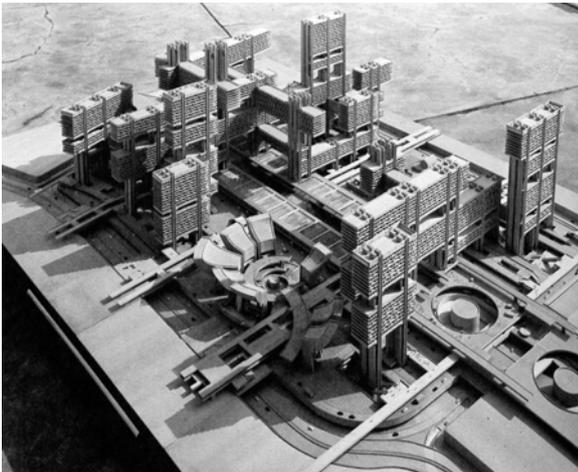


Figura 18 - Sviluppo urbanistico di Tsukiji (Kenzo Tange)



Figura 19 - Habitat 67, Montreal (Moshe Safdie)

E’ essenziale per i Metabolisti l’introduzione di una variabile trascurata, se non azzerata, dall’architettura del funzionalismo: la variabile tempo, che è poi la dimensione fondamentale dei sistemi biologici.

Uno dei principi base è espresso da Kiyonori Kikutake, Fumihiko Maki, Masato Otaka, Kiyoshi Awazu e Kisho Kurokawa nella loro prima dichiarazione del 1960:

“Noi consideriamo la società umana come un processo vitale, un continuo sviluppo dall’atomo alla nebulosa. Il motivo per cui usiamo la parola metabolismo biologico è perché crediamo che il design e la tecnologia dovrebbero denotare la vitalità umana. Noi non crediamo che il metabolismo indichi solo l’accettazione del processo naturale e storico, ma stiamo cercando di incoraggiare uno sviluppo metabolico attivo della nostra società attraverso le nostre proposte.”²⁹

²⁷ La Rocca, F., *Tecniche della Natura in architettura*, Maggioli Editore, Rimini 1997, ISBN 88 387 1090 2

²⁸ Kurokawa, K., *Metabolism in Architecture*, ed. Studio Vista, London 1977, p. 35

²⁹ Kikutake, K., Maki F., Otaka M., Awazu K., Kurokawa K., *Metabolism 1960 – A proposal for a New Humanism*, cit. in Kurokawa op. cit p. 27

Questo passo contiene due momenti fondamentali del pensiero metabolista, in primo luogo la società deve essere vista come parte di una entità naturale continua che include il regno animale e vegetale, e in secondo luogo, la tecnologia va interpretata come un'estensione dell'umanità. Questa posizione è notevole, perché in netto contrasto con la concezione occidentale della modernizzazione che spesso invece esprime un conflitto tra l'uomo, la natura e la tecnologia.

Considerando l'architettura, la città e la società umana nel suo complesso come un organismo facente parte di altri sistemi, inseriti in una sfera naturale e totalmente coinvolti in essa, come entità che scambiano materia ed energia con l'ambiente circostante – e non come macchine il cui unico scopo è quello di funzionare – si passa facilmente con le teorie metaboliste a inquadrare le problematiche urbane e architettoniche come problematiche ecologiche globali.

Un elemento presente in alcuni dei loro progetti è il principio di avere delle parti stabili e delle parti soggette a cambiamenti e sostituzioni potenziali, in accordo con l'adattabilità nel tempo propria degli organismi viventi.

In sintesi il Metabolismo, scrive Hanno-Walter Kruft, *“integra la tradizione buddista con l'individualismo europeo e propugna l'esigenza di un'architettura in cui l'uomo, la macchina e lo spazio si congiungono in un corpo organico.”*³⁰

Il contributo dei Metabolisti è essenzialmente teorico. Le esperienze progettuali proposte non raggiungono la profondità dei concetti.

A proposito del progetto del piano di Tokyo ad opera di Kenzo Tange, esplicitamente ispirato ai principi Metabolisti, Bruno Zevi osserva: *“Tange parla di un ordine spaziale finalmente fluido, aperto, democratico, ma quello che ci presenta è così sistematico e rigido da non poter essere attuato in una società libera”*.³¹

Un passo successivo al loro iniziale contributo lo compie Kurokawa, avvicinandosi ai temi della complessità comuni alle filosofie di Gilles Deleuze, Felix Guattari ed Edgar Morin.

1.2 Architettura organica post-informatica

La composizione di forme organiche in architettura si avvale oggi di nuovi strumenti di progettazione, tra cui gli strumenti informatici.

Le forme complesse che derivano dai programmi informatici stanno diventando protagoniste di una parte dell'architettura contemporanea di cui ancora non sono chiari i significati e gli intenti.

Le sperimentazioni tuttavia si moltiplicano.

La complessità che l'informatica è in grado di comporre è anche alla base del suo funzionamento e la definizione delle stesse logiche che la compongono parte da lontano e passa per lo sviluppo e la comprensione dei concetti di complessità da parte di diverse discipline molto diverse tra loro.

Alla fine di un processo di maturazione di concetti, teorie studi che hanno in comune le logiche complesse si giunge alle prime sperimentazioni con macchinari precursori dei computer. In un rapido percorso multidisciplinare, si toccano le principali tappe dello sviluppo del concetto di complessità, che passano dalla necessità pratica di approcci complessi, all'evidenza scientifica, fino alla definizione dell'informatica, come strumento capace di elaborare la complessità.

³⁰ Kruft, H.-W., *Storia delle teorie architettoniche. Dall'Ottocento a oggi*, Laterza, Bari 1987, p. 258

³¹ Zevi, B., *Costruiranno la capitale sulle palafitte. Piano regolatore per Tokyo*, in *l'Espresso* n.4 pp.31-32

1.2.1 Studi e applicazioni dell'approccio complesso: dalla città alla cibernetica

Per un lungo periodo le discipline umane e sociali sono state considerate non scientifiche, in quanto incapaci di liberarsi della struttura complessa del loro oggetto di studi ed elevarsi così alla dignità delle scienze fisiche, comprensive di leggi esatte, non soggette ai dubbi dei sistemi caotici. Attualmente una crisi della spiegazione semplice sta investendo le scienze fisiche e biologiche, *“di conseguenza”*, osserva Edgard Morin, *“quelli che sembrano essere i residui non scientifici delle scienze umane – l'incertezza, il disordine, la contraddizione, la pluralità, la complicazione, ecc. – fanno oggi parte della problematica di fondo della conoscenza scientifica”*.³²

La comprensione delle strutture organiche, sistemiche, diventa una delle sfide per varie discipline moderne. C'è come una convergenza di interessi verso un unico approccio, quello complesso.

A metà del '900 una definizione di complessità si sta delineando e, per motivi storico politici, uno tra i primi campi di possibile applicazione, è quello dell'urbanistica. Siamo nel dopoguerra, grandi cambiamenti stanno investendo gli assetti urbani. La ricostruzione post-bellica, i grandi flussi migratori di popolazione, l'accrescimento di agglomerati urbani fino alla formazione delle metropoli, lo sviluppo di attività terziarie: sono tutti i fenomeni che caratterizzano l'evoluzione della città dal dopoguerra in poi. Gli approcci dall'alto, comunemente usati per la compilazione dei piani urbanistici, spesso risultano inefficaci, sia alla comprensione dei fenomeni che alla loro gestione, ecco perché proprio in questo campo, le teorie della complessità cominciano a prendere una piega concreta. Abbiamo visto come i Metabolisti si siano interessati alla città come organismo, apportando un contributo teorico interessante, senza, tuttavia riuscire a definire delle sperimentazioni efficaci. Manca una reale comprensione dei meccanismi complessi che governano gli organismi.

Warren Weaver propone una prima definizione di complessità ordinata. Weaver fa una panoramica dello sviluppo della società occidentale e identifica diverse fasi della nostra evoluzione culturale sul modo in cui impostiamo un problema, e più precisamente sul numero di variabili dei problemi e sui loro collegamenti. Gli scritti sulla complessità ordinata di Weaver (cfr. par. 4.2.4) contagiano Jene Jacobs che propone un approccio complesso per la comprensione e la gestione della città. La Jacobs interviene con un'energica campagna per bloccare un piano di sviluppo urbano di New York promosso da Robert Moses, che prevedeva la costruzione di una super autostrada nel cuore di SoHo, uno dei quartieri della metropoli. E' l'ottobre del 1961 e il quartiere in questione è caoticamente abitato da artisti, scrittori, immigrati Portoricani, e dalla classe operaia di Italo-Americani. La Jacobs comprende che il modo per migliorare la viabilità della città e garantire la dinamica della vita urbana non è quello di intervenire con una grande demolizione delle aree problematiche, ma piuttosto di osservare le strade della città che funzionano bene e imparare da queste. Questa intuizione diventa un libro, *“The Death and Life of the Great American Cities”*. Nonostante un apparente disordine, la città storicamente consolidata funziona bene, c'è un meraviglioso ordine che mantiene le strade sicure, fruibili e libere. E' un ordine complesso, comprensivo di movimenti e cambiamenti, è un fenomeno vivo, non è arte, ma può essere inteso come l'arte della formazione della città, la Jacobs paragona questo sistema ad una danza in cui i partecipanti non si muovono sincronizzati sugli stessi movimenti e allo stesso ritmo, piuttosto si tratta di un intricato balletto in cui ogni ballerino ha una sua parte distinta

³² Morin, E., *Le vie della complessità* in Bocchi, G., Ceruti, M., *La sfida della complessità*, ed. Feltrinelli, Milano, 1985

che miracolosamente si unisce a tutte le altre creando un ordine complessivo.³³ In questa visione, la città non è semplicemente la somma delle sue parti, ma piuttosto si avvicina ad un organismo vivente, capace di cambiamenti di adattamento. Le considerazioni sui comportamenti complessi della città da parte della Jacobs sono frutto di intuizioni e si muovono in ambito sociologico, non hanno ancora un carattere scientifico consolidato, tuttavia la complessità sta interessando diversi campi.

Nello stesso periodo storico si registrano interessanti scoperte nell'ambito biologico.

Nel 1956 all'università di Harvard, l'entomologo Edward O. Wilson porta convincenti prove sulla comunicazione delle formiche, che avviene attraverso il riconoscimento di pattern di feromoni (ormoni a cui le formiche sono sensibili) da parte dei singoli individui della colonia.

All'università di Bruxelles negli anni 50 Ilya Prigogine sta avanzando nella comprensione dei sistemi termodinamici in non-equilibrio, ambienti in cui le leggi dell'entropia sono temporaneamente sospese, e ordini di livello superiore possono emergere spontaneamente dal caos sottostante.

Nel 1949 Norbert Wiener, attingendo da diverse discipline, scrive il manifesto della cibernetica. Il termine deriva dal greco *kybernetes* e significa timoniere, come metafora di una scienza che lo stesso Wiener definì *“del controllo e della comunicazione nell'animale e nella macchina.”*

La cibernetica (cfr. par.4.2.6) descrive il potere dei processi autoregolatori basati sui *feedback* e interviene su molti campi del sapere, proprio perché questi processi di retroazione sono applicabile a molte discipline.

Alla base della cibernetica c'è un nuovo concetto di informazione, non collegato al contenuto, ma ai meccanismi con cui si svolge.

Da queste embrionali elaborazioni nascono i primi concetti di una nuova disciplina, l'informatica, basata appunto sull'informazione dei dati.

Tra i contributi più significativi alla nascita dell'informatica c'è la macchina di Turing, che prende il nome dal suo ideatore, Alan Turing. Alla base del lavoro del giovane matematico britannico c'è una comprensione profonda dei meccanismi generativi organici, infatti, uno dei suoi contributi scientifici, anche se poco noto, riguarda la formazione dei *pattern*, la morfogenesi. I funzionamenti informatici sono governati dalla stessa logica complessa che guida i sistemi organici.

*“Von Neumann, l'altra figura chiave nello sviluppo dell'informatica, dichiara esplicitamente di creare una teoria che vorrebbe contenere sia le biologie naturali che quelle artificiali, partendo dalla premessa che la base della vita è l'informazione”.*³⁴

Al laboratorio Lincoln del MIT, un ricercatore venticinquenne di nome Oliver Selfridge sta sperimentando un modo per insegnare ai computer ad imparare. C'è una grande differenza tra un computer che riceve passivamente le informazioni che gli si sottopone e un computer che impara attivamente da solo. Nasce la prima generazione di computer chiamata ENIAC, capace di varie performance di calcolo. La chiave del lavoro di Selfridge è nei collegamenti semplici di molteplici elementi di base. All'aumentare dei collegamenti si raggiungono grandi numeri che portano a risultati statisticamente corretti. Queste sono le stesse logiche che governano i sistemi complessi. Successivamente gli interessi di Selfridge si muovono verso le discipline dell'intelligenza artificiale (AI).³⁵

³³ Johnson, S. *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities*. Scribner, pp. 50, 51, New York 2001

³⁴ Frazer, J., *An Evolutionary Architecture*, Architectural Association, London 1995, p.13

³⁵ Johnson, S., *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities*. Scribner, pp. 50, 51, New York 2001

L'informatica è il campo in cui le logiche della complessità sono più facilmente impiegabili. Tuttavia, per motivi commerciali, si assiste alla diffusione di strumenti informatici di massa che hanno un potenziale di complessità ridotto. Il successo commerciale dell'IBM dirige l'attenzione dell'informatica verso prodotti accessibili al grande pubblico, quindi si sviluppano le potenzialità di accessibilità al prodotto, la così detta interfaccia *user-friendly* dei *software*, piuttosto che le capacità di complessità del prodotto. Ma è solo una questione di tempo. Oggi, che i prodotti informatici sono accessibili ad un grande numero di utenti, le potenzialità della complessità nel campo informatico si stanno manifestando. Le scale dei fenomeni complessi sono diverse. Nella piccola scala, i *software* sono capaci di elaborare le informazioni con meccanismi dal basso, tipici dei sistemi complessi. Nella grande scala, il collegamento di milioni di computer in tutto in mondo tramite internet ha realizzato una struttura con molteplici potenzialità di complessità. Alcuni sistemi complessi si sono già espressi e li utilizziamo quotidianamente.

1.2.2 Informatica, complessità e architettura

L'informatica è uno strumento complesso capace di riprodurre sistemi complessi.

L'architettura non è l'unica disciplina ad avvantaggiarsi di queste capacità.

Nonostante le potenzialità insite nelle logiche informatiche, i primi software destinati alla progettazione architettonica si limitano a riprodurre sullo schermo del computer un tecnografo potenziato, si tratta dei ben noti *software CAD (Computer Aided Design)*.

Negli ultimi decenni c'è stato un fiorire di strumenti informatici di supporto al progetto, dalla rappresentazione all'analisi, compresi tutti i software capaci di semplificare i calcoli, che siano essi strutturali o di computo metrico.

Tuttavia, il vero valore di questi strumenti non si esprime con il controllo del progetto, ma con il controllo della progettazione. Può sembrare un gioco di parole, ma corrisponde a due modalità distinte di uso degli strumenti informatici e a due diverse tipologie di software.

Nel primo caso, l'architetto realizza il progetto, poi lo analizza, lo verifica, lo modifica sulle basi delle analisi ottenute e di nuovo lo analizza, e così via. I motivi che spingono il progettista a posizionare, ad esempio, una finestra in un punto piuttosto che in un altro, le dimensioni di questa, ma anche l'orientamento, sono tutti dati che l'architetto ipotizza, sulle basi della sua, conoscenza, competenza, esperienza, poi verifica. Si parte dal progetto per arrivare ai dati corretti. Resta il fatto che in questo modo si ha solo un supporto al progetto.

Il supporto alla progettazione si verifica quando, al contrario, si parte dai dati per arrivare attraverso l'ausilio dei software, al progetto. La disciplina che si occupa di questo è definita con diversi termini, *Computational Design, Parametric Design, Numerique*.

Ognuno di questi termini descrive caratteristiche fondamentali della disciplina.

Design propriamente significa progettare, e fin qui abbiamo solo identificato l'ambito d'intervento.

Computational si riferisce ai calcoli effettuati dal computer, e i calcoli alla base di questo metodo sono così articolati, che il computer non è solo uno strumento di aiuto, capace di migliorare, velocizzare e semplificare, ma è l'unico in grado di percorrere questo metodo progettuale.

Parametric chiarisce che questa modalità di progettazione avviene con dei parametri, si tratta di parametri numerici, che è possibile variare per ottenere una diversa configurazione del progetto. I numeri in questione possono corrispondere a dati dimensionali, strutturali, termici e così via. Questo è possibile perché in tale metodo il lavoro del progettista si esprime nell'elaborazione delle relazioni algebriche che intercorrono tra le parti e non nella

composizione delle forme geometriche. Si tratta di un approccio innovativo, complesso, non ancora accessibile al grande numero di architetti, e quindi poco compreso e spesso adoperato in modo improprio o incompleto.

Anche chi utilizza i software parametrici con disinvoltura può commettere degli errori incorrendo in banalizzazioni e superficialità. Un impiego scorretto di questi strumenti può generare nell'opinione pubblica un equivoco, scoraggiando così i progettisti nell'approfondimento di questo campo.

Uno degli equivoci più comuni è che questi strumenti servano esclusivamente a generare forme organiche con valenze prevalentemente estetiche. Non è così, tuttavia è in questo modo che a volte viene adoperato questo metodo, con l'ovvio risultato di apparire come un generatore di ornamenti, un applicazione marginale della progettazione, un gioco frivolo, basato sull'obiettivo affascinante ma superficiale di modellare forme sinuose.

Affiancare strumenti teorici a quelli informatici può essere il primo passo verso una più profonda comprensione e una più efficace elaborazione dei progetti parametrici.

1.2.3 Esempi di architettura organica post-informatica

L'architettura si sta confrontando con gli strumenti del *Computational Design*.

Le prime sperimentazioni di queste discipline nascenti sono importanti per avere un indizio delle potenzialità di una nuova disciplina.

Per una continuità con l'architettura organica tradizionale, definiamo questa come architettura organica post-informatica, tuttavia questa viene spesso definita parametrica, in riferimento ai software di modellazione con cui viene elaborata.

Seguono alcuni esempi emblematici.

Il lavoro di Zaha Hadid mostra nel tempo una sempre maggiore tendenza alla composizione di forme complesse dichiaratamente elaborate con processi computazionali.

La complessità delle sue architetture va di pari passo con le possibilità di modellazione dei software informatici, tanto che una cronologia dei suoi lavori potrebbe fornirci il grado di influenza raggiunta dagli strumenti computazionali nel tempo.

Tra le sue ultime opere, il Performing Art Complex, progettato per un'isola di Dubai ha un evidente forma organica.

Il centro, non ancora realizzato, ospiterà una sala musica, una sala concerti, un teatro, e uno spazio di performance sperimentali.

L'ispirazione formale è rimandata alla sinuosità delle dune del deserto, che rappresentano il segno più forte del contesto non antropizzato, ma sono evidenti richiami organici al mondo vegetale.

Curve sinuose si articolano a partire da terra per formare le coperture, mentre le vetrate sono incastonate in una struttura ramificata simile alle venature delle foglie.

La suggestione morfologica dell'opera, però, non è accompagnata da indicazioni sulle scelte compiute.

L'approccio organico, in questo esempio, è incentrato sul linguaggio formale, non si evincono ragioni statiche, termodinamiche o prestazionali in



Figura 20 - Vista dall'alto del Performing Art Complex a Dubai (Zaha Hadid)

genere, che giustificano le scelte progettuali. Non si può escludere che una tale composizione apporti dei vantaggi in termini statici, ma questo non è espressamente indicato, quindi non sembra essere l'obiettivo del progetto.

L'opera dell'architetto britannica è sempre stata volta ad una ricerca di linguaggio, più che a uno studio prestazionale. In un'architettura organica intesa come processo organico, la forma, che pure spesso sarà sinuosa e simile a quelle naturali, è la conseguenza di una necessità prestazionale.

Un'architettura sistemica ha come priorità l'impostazione delle relazioni che generano il sistema. In questi termini, possiamo dire che il centro Performing Art Complex ha un linguaggio organico di grande suggestione, ma non è un'architettura sistemica, intesa come insieme di relazioni interconnesse con l'ambiente circostante.



Figura 21 - Vista renderizzata del prospetto laterale del Performing Art Complex a Dubai (Zaha Hadid).

Gli strumenti computazionali utilizzati per l'elaborazione di quelle forme sinuose lavorano con un processo complesso che richiede precisi parametri per la definizione delle forme.

E' possibile che tali parametri siano stati scelti in funzione di una visualizzazione compositiva dell'oggetto finale, dando precedenza al risultato formale, più che allo studio di possibili implicazioni tecniche prestazionali. Il progetto ha il merito di mostrare le ultime potenzialità degli strumenti di modellazione computazionale in termini estetico-spaziali, ma ha il limite di aver trascurato le possibilità prestazionali che il processo progettuale può raggiungere.

Lo studio newyorkese di architettura di Reiser e Umemoto ha presentato un progetto per l'Aeroporto di Shenzhen, nella provincia cinese di Guandong, che prevede una rete ondulata di lucernari. Non si è aggiudicato l'appalto dell'aeroporto, ma il progetto del 2007, qui mostrato in una versione digitale, è interessante nel nostro discorso sulle potenzialità degli strumenti informatici. Lo studio ha utilizzato un software parametrico per calcolare gli angoli che avrebbero dovuto garantire un passaggio di luce naturale indiretta, tale da non alzare allo stesso tempo i conti del sistema di aria condizionata. Le complesse relazioni basate su calcoli matematici articolati sono alla base dell'uso dei software utilizzati. E' un esempio di come si può impiegare il potenziale informatico in un discorso prestazionale sistemico, ovvero in relazione con parametri esogeni ed endogeni, oltre che estetico. I lucernari aperti sulla superficie complessa hanno un aspetto compositivo organico, ma la loro forma deriva da necessità funzionali e non da scelte estetiche. L'architettura, pur avendo un aspetto organico, è nel processo che esprime i suoi caratteri sistemici, nonostante che siano pochi i parametri in gioco.



Figura 22 - Vista renderizzata dell'interno della proposta progettuale per l'aeroporto di Shenzhen (studio Reiser-Umemoto) con il particolare del lucernario ondulato che ottimizza il rapporto tra l'ingresso di luce naturale e quello di calore.

1.3 Eco-sistema

Il termine organismo ha avuto una maturazione profonda nella storia degli ultimi secoli, alla base della sua definizione attuale c'è l'interrelazione tra le parti che lo compongono e non più soltanto la somma delle parti stesse. Questa tipologia di relazione è alla base dei sistemi complessi e la complessità è un altro termine che si è affacciato nello sviluppo della nostra società da alcuni decenni.

Si è verificato, e si sta verificando un crescente bisogno di considerare quelle relazioni che collegano gli elementi come parte fondamentale della comprensione sia delle singole parti che del tutto, eppure di queste relazioni non si supposeva neanche l'esistenza qualche secolo fa.

Si tratta di un progresso nello sviluppo della nostra civiltà.

In modo più o meno consapevole, le logiche della complessità stanno influenzando vari campi di ricerca, modificando la modalità di studio e di interpretazione di un determinato soggetto. E' per questo motivo che il termine ambiente, sia esso naturale o antropizzato, è sempre più spesso sostituito dal termine ecosistema. Il soggetto è sempre la quantità di elementi che ci circondano, ma, mentre con ambiente intendiamo un insieme di entità distinte e riunite in uno spazio, con ecosistema consideriamo anche le relazioni che intercorrono tra questi elementi. Il termine eco-sistema è l'unione del prefisso eco-, da ecologico, e della parola sistema.

Se il termine "ecologico" fu coniato dal biologo tedesco Ernst Haeckel nel 1868 per segnalare le relazioni tra gli organismi vegetali e i rispettivi ambienti, la parola "ecosistema" (abbreviazione di "sistema ecologico") fu introdotta nel 1935 dall'ecologo inglese George Tansley.

L'ecosistema è un sistema complesso in cui tutti gli elementi sono strettamente connessi tra loro, l'alterazione o la semplice modifica di uno di essi comporta inevitabilmente un cambiamento nelle relazioni tra le componenti e conseguentemente un mutamento del sistema medesimo. Quello ecologico è perciò un sistema in cui gli elementi viventi (biotici) e non viventi (abiotici) sono strettamente interdipendenti mediante cicli di retroazione

(*feedback*) positivi o negativi. Ogni sistema è costituito da tre elementi essenziali: i componenti che ne fanno parte, le relazioni tra essi e il limite che lo separa dagli altri sistemi. In questo senso perciò possiamo considerare la Terra come un complesso ecosistema in cui gli elementi biotici e quelli abiotici sono inscindibilmente legati tra loro attraverso cicli di retroazione.³⁶

Le attività antropiche sono parte di questo complesso sistema e con esso instaurano delle profonde relazioni. Un'errata impostazione di queste relazioni, può portare a grandi squilibri dell'intero ecosistema. Le logiche lineari su cui si è basato il progresso della società occidentale, accelerato dalla rivoluzione industriale, non tengono conto delle conseguenze sui processi antropici, causando squilibri nell'ecosistema. Negli ultimi decenni il sistema terra sta accusando diversi sintomi di questo squilibrio: l'inquinamento, l'effetto serra, la depauperazione dei suoli, la desertificazione, lo scioglimento dei ghiacciai.

L'architettura, come altre discipline di grande impatto ambientale, sta affrontando tanti cambiamenti dettati dalla nuova coscienza ecologica.

Una sensibilità eco-sistemica, piuttosto che ambientali, sembra un approccio valido.

La definizione di un processo progettuale che imita le logiche sistemiche della natura sembra un percorso valido verso un'architettura più ecologica e sostenibile.

1.4 Biomimetica

La vita è la condizione dell'esistente che ha dimostrato la maggiore creatività espressiva delle potenzialità dei fenomeni complessi.

La biologia osserva, raccoglie, cataloga, classifica da decenni i fenomeni della vita.

Poter usufruire delle conoscenze biologiche per riprodurre le soluzioni e i processi naturali nella progettazione architettonica apre un ampio scenario all'immaginazione e alla sperimentazione.

La disciplina che parte dai dati biologici per l'elaborazione di progetti si chiama biomimetica.

1.4.1 Origini e Definizioni

Nonostante l'attitudine umana a osservare e imitare le soluzioni della natura (o più precisamente della vita) sia antica, l'idea di farne una disciplina data pochi decenni.

I nomi che definiscono tale settore sono diversi: "Biomimetica", "Biomimesis", "Biognosis", "Bionica"³⁷ e "Biomimicry".³⁸

La parola "bionica" è stata coniata da Jack Steele della US Air Force nel 1960 che la definì come *"scienza dei sistemi il cui funzionamento è basato su quello dei sistemi naturali o che abbiano analogie con questo"*³⁹.

Gli ingegneri dell'US Air Force svolsero degli studi sulla struttura dell'occhio delle api. Il loro interesse era mosso dalla possibilità di usare in campo aeronautico il sistema di orientamento delle api, che sfrutta la luce polarizzata.⁴⁰

Vincent, invece, definisce questo termine e gli altri con un unico significato, ovvero come *"il risultato tecnologico dell'atto di prendere in prestito o rubare idee dalla natura"*.⁴¹

³⁶ <http://www.parodos.it/storia/argomenti/ecosistema.htm>

³⁷ Vincent, J. F. V., *Stealing ideas from Nature*, Springer, Wien 2001

³⁸ Benyus, J. M., *Biomimicry. Innovation Inspired by Nature*. 2° ed Morrow, New York 2002

³⁹ cit. in Di Bartolo, C., *Creatività e progetto*, in Modo n.73

⁴⁰ La Rocca, Francesca, *Tecniche della Natura in architettura*, Maggioli Editore, Rimini 1997, p. 11

⁴¹ Vincent, J. F. V., *Stealing ideas from Nature*

In architettura oggi si preferisce usare i termini biomimetica o *biomimicry*, mentre la bionica sta acquisendo negli ultimi tempi una connotazione esclusivamente medica, tuttavia questa differenziazione è recente, in principio avevano gli stessi obiettivi e campi d'azione.

Nel 1997 Janine M. Benyus pubblica il libro intitolato *"Biomimicry; innovation inspired by nature"*, in cui definisce tale disciplina come "l'emulazione cosciente del genio della vita". L'etimologia di *Biomimicry* deriva dal greco: *bios* (vita) e *mimesis* (imitazione).⁴²

Julian Vincent, professore di Biomimetica, descrive la disciplina come *"l'astrazione dei buoni progetti dalla natura"*⁴³.

Nel libro *"Biomimicry in Architecture"*, Michael Pawlyn parla della biomimetica come la *"disciplina che imita le basi funzionali delle forme, dei processi e dei sistemi biologici per produrre soluzioni sostenibili"*.⁴⁴

Confrontando le definizioni scopriamo delle differenze, nonostante il concetto sia molto simile.

Vincent parla di *"idee dalla natura"* il concetto di *"naturale"* è presente anche in Steel, mentre la Benyus nella definizione si limita alla *"vita"*, e ancora di *"vita"* parla Pawlyn.

Il concetto di natura è più ampio, e comprende *"il sistema totale degli esseri viventi, animali e vegetali, e delle cose inanimate che presentano un ordine, realizzano dei tipi e si formano secondo leggi."*⁴⁵

La vita fa parte della natura, ma dalla vita è escluso il regno minerale e tutti gli elementi inanimati. La vita è *"la condizione degli organismi dotati di una forma specifica, di una costituzione chimica determinata, capaci di mantenersi in una situazione di equilibrio dinamico, cioè di avere un ambiente interno costante nonostante gli scambi con l'ambiente esterno (omeostasi) e di riprodurre queste proprietà in altri organismi simili."*⁴⁶

Se ci limitiamo a parlare della vita, escludendo la materia inanimata, possiamo datarne l'origine, almeno in riferimento al nostro pianeta, e questa risale a 3,8 miliardi di anni fa.

In questo tempo, dai primi organismi unicellulari si è giunti per continui processi evolutivi alla complessità degli organismi presenti oggi sulla terra, tra tutti il cervello umano, oggi il più sofisticato prodotto dell'evoluzione, il primo organismo che tenta di decifrare i suoi stessi meccanismi funzionali.

La caratteristica più interessante è che la vita, a differenza della materia inanimata, non solo subisce dei cambiamenti con il tempo, ma delle evoluzioni e delle innovazioni; inoltre è in grado di auto-organizzarsi, auto-generarsi e partecipa di una serie di fenomeni, come i processi bottom-up e i sistemi emergenti, che analizzeremo e approfondiremo nei capitoli successivi.

Tuttavia il confine tra natura e vita è labile, la stessa Benyus intitola il suo libro *"Biomimicry; innovation inspired by nature"*.

Siccome molte teorie su questa disciplina non limitano la fonte di ispirazione alla vita, ma in modo generale parlano di natura, anche in questa tesi ricorrerà la parola natura in senso generale, mentre nei contesti specifici si chiarirà come il concetto di *"vita"* sia quello preferenziale.

Per comprendere meglio perché a volte si commette questa leggerezza terminologica, si deve comprendere che gli organismi viventi rispettano le leggi della fisica, proprio come

⁴² Benyus, J. M., *Biomimicry. Innovation Inspired by Nature*, 2° ed Morrow, New York 2002

⁴³ Pawlyn M., *Biomimicry in Architecture*, ed. RIBA, London 2011 pp 2

⁴⁴ *ibid.*

⁴⁵ <http://www.treccani.it/enciclopedia/natura/>

⁴⁶ <http://www.treccani.it/enciclopedia/tag/vita/>

accade agli elementi inanimati. Questo comporta che spesso si scoprono soluzioni simili se non identiche sia nel mondo vegetale o animale che nel mondo minerale.

Si propone un semplice esempio: la forma dell'esagono.

Nel mondo animato troviamo questa forma nella costruzione degli alveari delle api, e nel mondo inanimato la troviamo nella composizione delle bolle di sapone e in alcune formazioni rocciose vulcaniche generate da lava in ebollizione (ovvero lava escandescente a forma di bolle). La ricorrenza dell'esagono è dovuta al fatto che è una forma ottimizzata, ovvero quella che a parità di resistenza necessita di minore quantità di materiale. E' quindi per questo motivo che la ritroviamo in entrambi i mondi, con la differenza, però, che mentre con le bolle di sapone il processo di generazione è dettato dalle forze che agiscono sulla materia, e il processo e il risultato non varia in milioni di anni, nella organismi viventi l'adozione dell'esagono è una conquista, il risultato di un processo che sperimenta tante soluzioni e privilegia le migliori.

Una delle caratteristiche più affascinanti del modello biologico è il metodo per giungere alla soluzione. I primi organismi viventi sono comparsi sul nostro pianeta 3.8 miliardi di anni fa. Le prime forme viventi erano semplici batteri. Un lentissimo percorso di cambiamenti ha dato forma a tutti gli organismi oggi esistenti e anche a quelli estinti.

I meccanismi dell'evoluzione sono complessi, comprendono diversi aspetti. L'unicità di ogni individuo è uno degli espedienti più ingegnosi di questo meccanismo, perché ogni esemplare è di fatto un esperimento. In un ecosistema in continuo mutamento l'unica possibilità di sopravvivenza è nel cambiamento.

In ogni generazione può manifestarsi un particolare carattere (magari una mutazione) che, tra tentativi, errori e fortunate coincidenze può diventare fondamentale alla sopravvivenza in un ambiente mutato e quindi diffondersi nelle generazioni seguenti.

Questo metodo è molto lento, ma oltre a conseguire prestazioni eccellenti e collaudate in uno specifico aspetto, garantisce una grande varietà di esempi.

Oggi la biosfera comprende una grandissima biodiversità, da cui si può trarre gli insegnamenti più utili.

Ad esempio dalla vita possiamo imitare soluzioni ampiamente sperimentate, e soprattutto abbiamo la possibilità di studiare ed emulare il metodo che ha condotto a quelle soluzioni. Queste sono le caratteristiche che fanno della vita una maestra preziosa.

Le strategie biologiche che possiamo imitare si manifestano a varie scale, ci sono esempi di materiali ispirati a strutture nanometriche, ma è possibile ispirare progetti architettonici alla resilienza di macro-organismi come le praterie o la macchia mediterranea.

Ci sono soluzioni più adeguate ad una sperimentazione in campo chimico-fisico, altre in ambito tecnologico.

Le imitazioni possono interessare gli organismi viventi in sé, ma anche i loro comportamenti di gruppo o ancora si può trarre ispirazione dalle costruzioni che gli animali erigono a rifugio o tana, come imitazione indiretta della biologia.

Queste strategie biologiche sono state modellate e perfezionate nei millenni e raggiungono elevati livelli prestazionali.

1.4.2 Differenze tra la biomimetica e altri bio-approcci

Un equivoco in cui si può facilmente incorrere parlando di essere viventi e architettura è quello di pensare che nella biomimetica si impieghino esseri viventi, come accade per quel ramo dell'architettura sostenibile, in cui l'impiego del verde, quindi di alberi, arbusti e piante è parte integrante dell'architettura.

La biomimetica invece non impiega esseri viventi, si limita ad imitarli; non impone l'uso esclusivo di materiali naturali, anzi, a volte i risultati sono molto artificiali, proprio perché riproducono meccanismi della vita, non materiali prodotti dagli esseri viventi. *“La biomimetica ci introduce in un'era basata non su cosa possiamo estrarre dalla natura, ma su cosa possiamo imparare da essa. Spostare l'attenzione dall'imparare a proposito della natura all'imparare dalla natura richiede un nuovo metodo di indagine, un nuovo set di lenti, e soprattutto una nuova umiltà.”*⁴⁷

Il semplice impiego di materiali naturali, come il legno, la canapa, o anche la lana, è sicuramente un atteggiamento virtuoso ed ecologico da perpetuare, ma non è biomimetica.

Ci sono progetti di grande interesse che utilizzano i batteri per la purificazione dell'acqua, ma neppure questo esempio rappresenta un esempio di biomimetica.

Piuttosto che coltivare o allevare organismi impiegati in uno scopo utile, la biomimetica si ispira ad un'idea, un progetto, un processo, ad esempio si può imitare una reazione chimica, un principio dell'ecosistema. Copiare un'idea è come fare il disegno di un oggetto, l'immagine originale rimane inalterata.

1.4.3 Campi di applicazione

Al contrario di quanto si possa immaginare, la biomimetica non si occupa della progettazione di forme, l'imitazione degli organismi biologici può infatti essere intesa in vari modi di cui quello formale è solo un caso. I campi di applicazione, quindi, non riguardano solo discipline come l'architettura e il design che fanno di oggetti concreti gli obiettivi della propria disciplina. Ci sono casi di biomimetica applicati all'agricoltura, come all'economia o all'ottimizzazione del traffico veicolare.

Tuttavia, uno dei campi che presenta il maggiore numero di progetti biomimetici è quello dei materiali. Molte innovazioni di materiali oggi elaborati o in via di sperimentazione traggono i principi ispiratori dalla biologia, dalla biochimica o biofisica molecolare. La scala più fertile di applicazione sembra quella molecolare o nanometrica, per la realizzazione di materiali avanzati. Le stesse nanotecnologie nascono, già come principio, dall'osservazione del mondo naturale: l'abitudine di osservare i sistemi biologici al microscopio si è tramutata in breve nell'abitudine di simulare i meccanismi biologici anche in strutture artificiali.

Quello delle nanotecnologie vanta un campo di applicazioni molto vasto, proprio perché questa disciplina non si occupa di una specifica funzione, ma di una scala di possibili applicazioni. Allo stesso modo, i prodotti nanometrici biomimetici possono interessare vari settori.⁴⁸

⁴⁷ Benyus M. Janine, *The Biomimicry Institute and Biomimicry Guild*, 2011

⁴⁸ Alcune ricerche sulla diffusione della biomimetica nei testi scientifici e nelle conferenze internazionali mostrano picchi di interesse sempre più ampi a partire dalla metà degli anni '90. Le riviste scientifiche in cui sono maggiormente presenti articoli sulla biomimetica sono la "Biomaterials", la "Acta Biomaterialia", e troviamo anche il "Biomedical Material", confermando la tendenza della biomimetica ad interessare il campo dell'innovazione di materiale.

La ROBIO, invece, è una conferenza internazionale, che si occupa esclusivamente di robotica e di biomimetica, e come si evince dal grafico è quella che vanta il numero più alto di interventi sul tema, seguita da una media crescente di interventi in altre conferenze non esclusive di biomimetica, che oltre di robotica, campo che comunque domina, si occupano anche di ingegneria medica o di linguistica. Altri studi (vedi grafico seguente) mostrano invece la percentuale possibile di innovazioni biomimetiche in vari campi. Se il settore chimico sembra quello più interessato, per l'architettura, assieme all'ingegneria, si prevede un incremento del 10%. E' probabile che siano proprio i materiali per l'architettura e l'ingegneria quelli più esposti all'innovazione biomimetica.

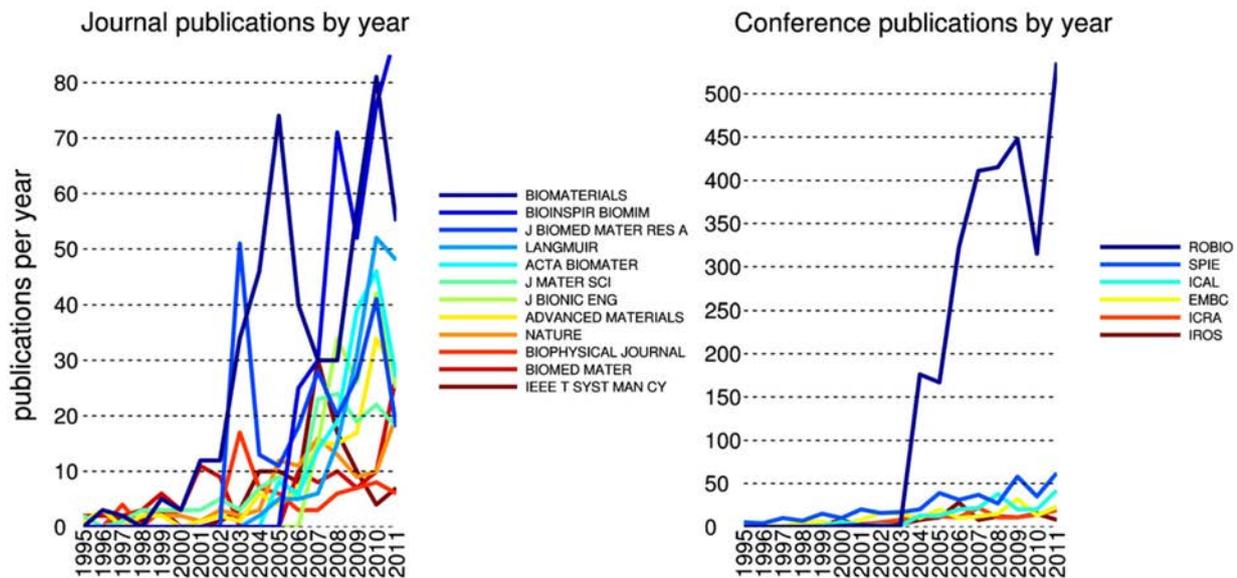


Figura 23 - Grafico che illustra il numero di pubblicazioni su riviste e in atti di convegno di articoli riguardanti la biomimetica (tratto da N. F. Lepora, P. Verschure e T. J. Prescott, *The state of the art in Biomimetics*)⁴⁹

Biomimicry's Estimated Market Impact, 2025 Percent of industry sales

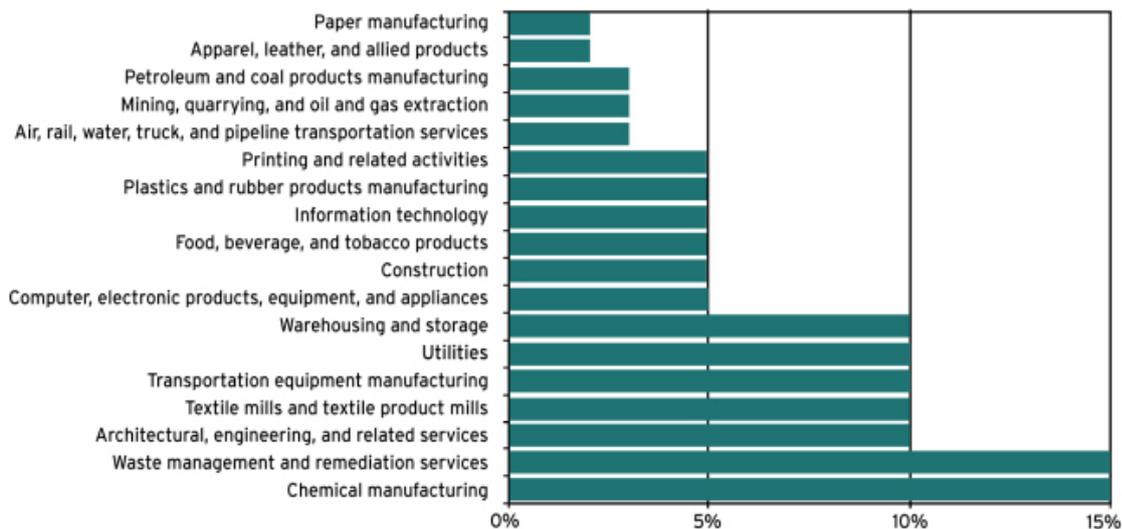


Figura 24 - Impatto sul mercato stimato per il 2025 dei prodotti biomimetici /tratto da Fermanian Business & Economics Institute, *The GGlobal Biomimicry Efforts: An Economic Game Changer*, Point Loma Nazarene University

Se la progettazione di materiali avanzati trae numerosi spunti dall'approccio biomimetico, risulta ancora poco sperimentata un processo progettuale innovativo ispirato alla biologia in ambito architettonico.

La progettazione architettonica offre degli esempi biomimetici, ma sono ancora poco maturi e consapevoli, tuttavia è il campo in cui una disciplina progettuale come l'architettura può trarre i vantaggi più ampi.

⁴⁹ Le abbreviazioni nella tabella sono chiarite nel seguente elenco:

ROBIO: Robotics and Biomimetics

SPIE: International Society of Optics and Photonics

ICAL: International Conference of Applied Linguistics

EMBC: International Conference on Robotics and Automation

IROS: International Conference on Intelligent Robots and Systems

Infatti, tutti i prodotti e i materiali avanzati disponibili oggi per l'architettura sono una raccolta di opzioni che l'architetto assembla nel progetto architettonico. Siano essi di origine biomimetica o meno, sembra poco rilevante nel lavoro del progettista, che sceglie un prodotto o un materiale per le prestazioni o per altri motivi progettuali.

Quello offerto dalla biomimetica fin qui sembra un campionario sempre più vasto di supporto al lavoro progettuale, ma non è un vero strumento progettuale.

Tuttavia tutte le strategie biologiche oggetto di imitazione sono frutto di un modello progettuale raffinato e complesso, di cui la scienza moderna conosce molti aspetti.

1.4.4 Metodi

Gli articoli e i convegni sulla biomimetica mostrano principalmente i risultati dei lavori riguardanti innovazioni di materiale o di prodotto.

La metodologia progettuale sembra trascurata o semplificata in questi brevi passaggi: strategia naturale di riferimento, sperimentazione scientifica, prodotto biomimetico.

La scelta di una strategia efficace può giungere solo dopo una profonda conoscenza del mondo biologico a cui si arriva dopo decenni di lavoro di studio, catalogazione, approfondimento. Oggi possiamo trarre delle conclusioni verificate sul mondo naturale grazie agli studi svolti da quando è stata istituita la biologia come disciplina. Non a caso, il maggior numero di risultati si hanno nei campi dell'ingegneria dei materiali o della chimica, dove i ricercatori sono formati su metodi scientifici di osservazione e rielaborazione dei meccanismi chimici o biologici.

Un architetto non ha gli stessi strumenti di conoscenza del mondo biologico e non si occupa di imitazioni di processi biochimici, quindi sono necessari strumenti specifici per il suo lavoro.

1.4.5 Uno strumento di divulgazione del sapere scientifico

La biologia vanta una vastissima quantità di ricerche, raggruppate in ambiti specialistici.

L'approfondimento continuo e costante per giungere alla conoscenza di un particolare aspetto biologico è così specifico che può risultare difficile ad un biologo non specializzato in quel campo, incomprensibile per qualsiasi altro professionista, compreso un architetto o un ingegnere che volesse ispirarsi a quel meccanismo per trarne l'ispirazione di un progetto.

Fortunatamente non sempre le strategie naturali più interessanti sono nascoste in sotto-ambiti poco accessibili, a volte, conoscenze di base di un organismo biologico mostrano efficaci soluzioni traducibili nel settore progettuale.

Anche una semplice forma può contenere il segreto di una specifica prestazione. Le proporzioni del becco del Martin Pescatore, ad esempio, sono state prese a modello nella costruzione della testa del treno giapponese a lievitazione magnetica, lo *shinkansen*, così il treno può viaggiare a 500 km orari senza emettere suoni fastidiosi, che a quella velocità possono essere molto alti, così come il martin pescatore riesce a prendere di sorpresa le sue prede attraversando prima l'aria e poi l'acqua a grande velocità, ma silenzio. Il segreto di questa prestazione è nelle proporzioni del becco. L'evoluzione e l'adattamento hanno fatto un egregio lavoro di ottimizzazione di forma e prestazioni che l'uomo ha prima studiato e poi emulato.



Figura 25 - La progettazione del treno giapponese Shinkansen prende ispirazione dalla forma del becco del Martin Pescatore

La cosa affascinante della biologia è che nulla accade per caso, ma è il risultato di un processo. Restando sul discorso delle forme, che sono il campo in cui un architetto può sentirsi a suo agio, la modellazione di una forma in natura è il risultato dall'azione di diverse forze. Un esempio può chiarire alcuni meccanismi nella generazione delle forme.

Si parte dal presupposto che in natura non sono ammessi sprechi, che il materiale costa, perché deriva dai nutrienti che un vegetale o un animale riesce a recuperare dall'ambiente. Poter fare meglio o di più con lo stesso quantitativo di risorse può essere il punto in più che determina la sopravvivenza di un organismo a discapito di un altro.

La lotta alla sopravvivenza è un altro principio base dell'equilibrio eco-sistemico.

L'ottimizzazione di una specifica prestazione è una delle strategie più impiegate degli organismi. In questo caso, siccome il materiale è prezioso, la natura punta da millenni nell'ottimizzazione di forme che adoperano il minor quantitativo possibile di materiale.

Proviamo a fare un esperimento di questo tipo.

Nella figura 26, tratta dal libro Michael Pawlyn, c'è uno schema⁵⁰ che sintetizza come a parità di prestazioni di resistenza è possibile utilizzare varie quantità di materiale a seconda della forma, fino ad arrivare al 2% di materiale necessario della struttura reticolare rispetto al parallelepipedo pieno iniziale.

Anche da pochi esempi sulla forma, si può capire quanti spunti si possono trarre per la progettazione.

La biologia e le scienze naturali in genere studiano da qualche secolo il mondo animale e vegetale in maniera

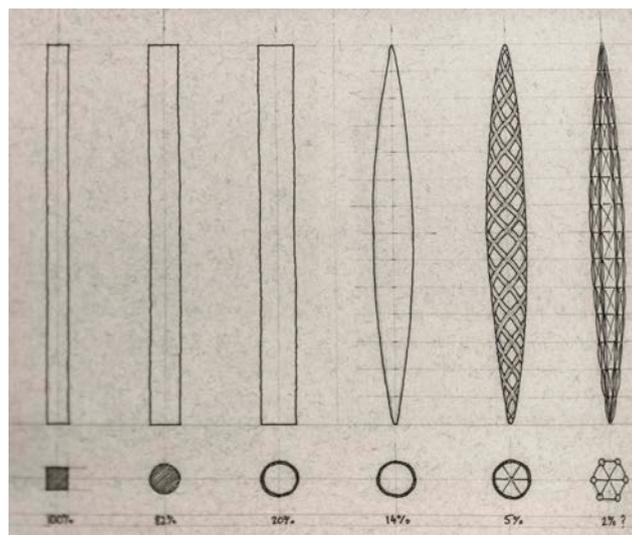


Figura 26 - Schizzi che mostrano come, con differenti livelli di gerarchia, un elemento strutturale possa essere ridefinito per usare sempre meno materiale a parità di resistenza (tratto da Michael Pawlyn, *Biomimicry in Architecture*, Riba Publishing, London 2011).

⁵⁰ Pawlyn, M., *Biomimicry in Architecture*, Riba Publishing, London 2011

dettagliata e scrupolosa, aggiungendo anno dopo anno nuove interessanti scoperte sui meccanismi biologici, chimici, o anche comportamentali che governano il regno della vita. E' importante che questa grande quantità di dati, che la biologia e le scienze naturali raccolgono da secoli sul mondo animale e vegetale, sia disponibile ai progettisti.

Da qualche anno è disponibile uno strumento di divulgazione del sapere biologico.

Il Biomimicry Institute, fondato da J. M. Benyus, ha creato un database accessibile gratuitamente su internet e a disposizione di chi voglia consultarlo: www.asknature.org. Al suo interno è possibile trovare esempi di strategie naturali già impiegate efficacemente in progetti o anche strategie non ancora impiegate, ma ritenute interessanti per l'ambito progettuale.

La divulgazione di queste informazioni rappresenta il primo passo verso lo sviluppo della biomimetica come disciplina progettuale.

Tuttavia, oltre ai dati fondamentali, da cui partire per elaborare il progetto, uno strumento irrinunciabile è un metodo efficace per l'imitazione del processo biomimetico.

1.5 Il metodo progettuale biomimetico di J. M. Benyus

Di tutti i contributi nel campo della biomimetica, il tentativo più compiuto per la definizione di un metodo di progettazione lo si deve a Janine M. Benyus. La biologa statunitense da anni si dedica a questa disciplina con grande entusiasmo, e grazie alla fondazione del Biomimicry Institute 3.8 è riuscita a coinvolgere diversi ricercatori. Il lavoro del suo team è principalmente dedicato alla divulgazione dei principi biomimetici. Uno degli strumenti più efficaci è il già citato database (www.asknature.org) di informazioni scientifiche ad uso dei progettisti, a cui si affiancano diversi strumenti di comprensione del mondo biologico.

Ricordiamo la definizione di biomimicry come "l'emulazione cosciente del genio della vita".

Per la Benyus la vita è modello, misura e mentore.⁵¹

La biologa immagina un'ampia diffusione della *biomimicry* come contributo, sia pratico che filosofico, a molti dei paradigmi della progettazione ecocompatibile ideato negli ultimi 30 anni, tra cui cita il Capitalismo naturale, la filosofia della produzione ciclica dalla culla alla culla, il design ecologico e la progettazione sostenibile degli edifici.⁵²

La necessità di imitare la natura non solo nella forma, ma anche nella funzione, nel processo e nell'ecosistema è un caposaldo della sua teoria.

1.5.1 Le fasi progettuali della Biomimetica

L'esclusiva imitazione della forma è poco più di un esercizio formale. L'imitazione di forma e funzione è alla base della maggior parte dei progetti definiti biomimetici.

La Benyus vede questa pratica come la prima fase del suo metodo.

Perché si possa raggiungere un'emulazione più efficace, lei propone altre due fasi. La seconda comprende l'imitazione del processo che fa giungere a quelle forme funzionali, la terza fase, prevede l'imitazione delle logiche dell'ecosistema, ovvero un sistema aperto ricco di collegamenti con gli elementi del contesto.

⁵¹ Benyus, J. M., *Biomimicry. Innovation Inspired by Nature*. 2° ed Morrow, New York 2002

⁵² Benyus, J. M., *Biomimicry Primer*, <http://biomimicry.net/about/biomimicry/a-biomimicry-primer/>

1.5.2 Gli strumenti

Gli strumenti che il metodo Benyus mette a disposizione per raggiungere l'obiettivo sono diversi.

Il primo e più importante è la conoscenza. Grazie al sito asknature.org è possibile usufruire di una grande quantità di dati biologici di partenza e di un buon numero di casi studio, che posso fungere da esempi.

La tassonomia biologica schematizzata nella tabella di figura 27 dimostra la complessità di soluzioni proposte dalla natura.

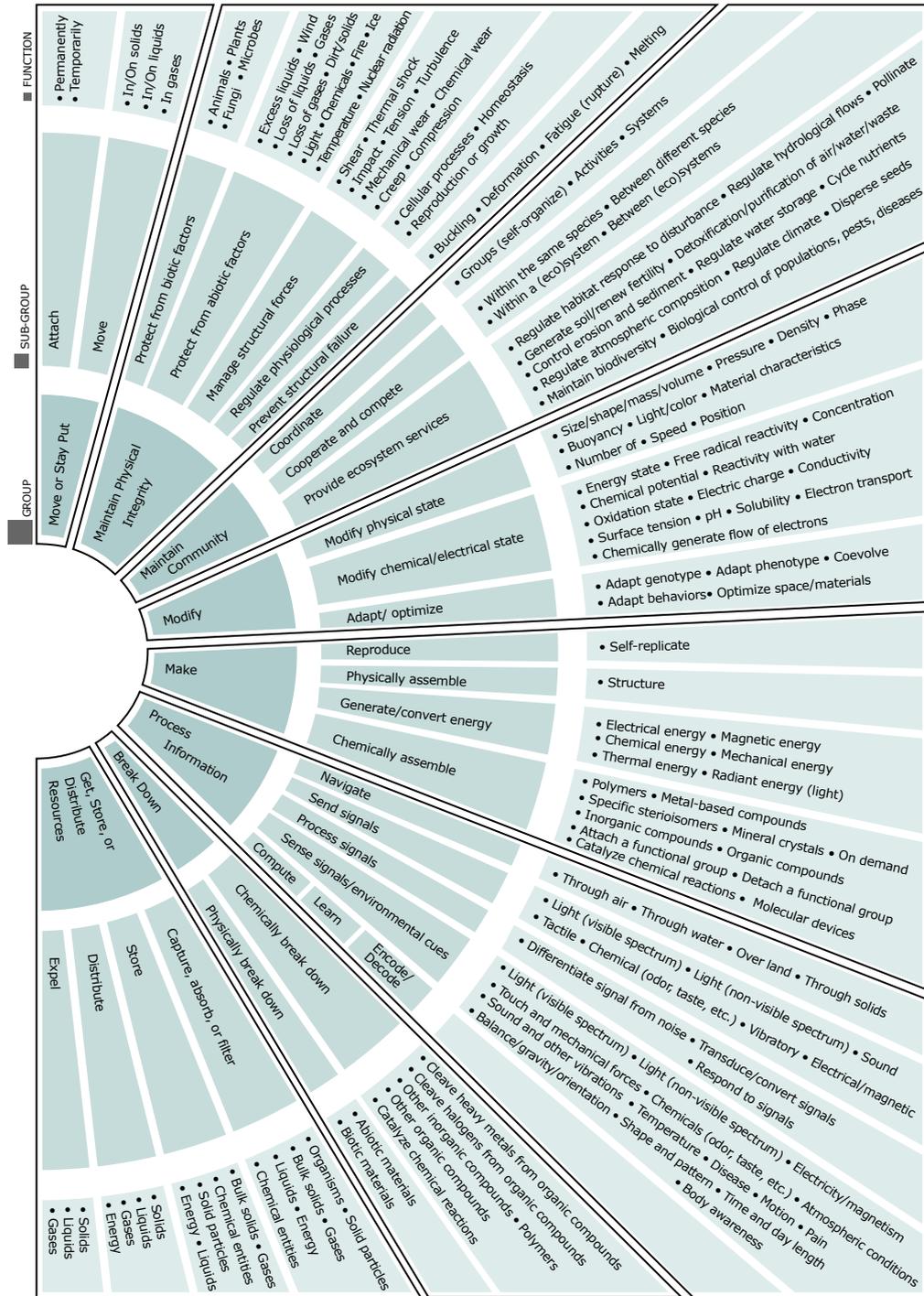
La profonda saggezza del mondo biologico è riassunta in alcuni principi della vita.

Si tratta di una serie di considerazioni sul mondo biologico, a cui un buon progetto dovrebbe assolvere.

- 1. Evolvere per sopravvivere.** Incorporare e incarnare continuamente informazioni per garantire una prestazione duratura.
 - *Replicare le strategie che funzionano:* ripetere gli approcci di successo.
 - *Integrare l'inaspettato:* incorporare gli errori in modi che possono portare a nuove forme e funzioni.
 - *Rimpasto delle informazioni:* scambiare e modificare le informazioni per creare nuove opzioni.
- 2. Usare risorse (materiale ed energia) efficienti:** approfittare abilmente e prudentemente di risorse e opportunità locali.
 - *Utilizzare un design multi-funzionale:* soddisfare molteplici esigenze con una soluzione elegante.
 - *Utilizzare i processi a basso consumo energetico:* ridurre al minimo il consumo di energia limitando al necessario le temperature, le pressioni, e / o il tempo per le reazioni.
 - *Riciclare tutti i materiali:* conservare tutti i materiali in un circuito chiuso.
 - *Adattare la Forma alla Funzione:* progettare la forma o il modello in base alle esigenze.
- 3. Adattarsi alle condizioni mutevoli:** rispondere opportunamente a contesti dinamici
 - *Mantenere l'integrità attraverso l'auto-rinnovamento:* persistere aggiungendo costantemente energia e materia per migliorare il sistema.
 - *Incorporare la resilienza attraverso la varietà, la ridondanza, e il decentramento:* mantenere una funzione di disturbo incorporando una varietà di forme duplicate, processi o sistemi che non si trovano esclusivamente insieme.
 - *Incorporare la diversità:* includere molteplici forme, processi o sistemi per soddisfare un bisogno funzionale.
- 4. Integrare lo sviluppo con la crescita:** investire in modo ottimale in strategie che promuovono sia lo sviluppo e la crescita.
 - *Combinare moduli e componenti nidificati:* installare più unità all'interno di ogni altra, progressivamente, dal semplice al complesso.
 - *Costruire dal basso verso l'alto:* assemblare i componenti di un'unità alla volta.
 - *Auto-organizzarsi:* creare le condizioni per consentire ai componenti di interagire in concerto a muoversi verso un sistema arricchito.

- 5. Essere reattivo e in sintonia localmente:** Adattare e integrare con l'ambiente circostante.
- *Utilizzare materiali ed energia facilmente reperibili:* Costruire con materiali abbondanti e accessibili, sfruttando l'energia liberamente disponibile.
 - *Coltivare relazioni cooperative:* trovare il valore nell'efficacia delle interazioni.
 - *Sfruttare processi ciclici:* approfittate di fenomeni che si ripetono.
 - *Utilizzare risposte cicliche:* Impegnarsi in informazioni di flussi ciclici per modificare una reazione appropriata.
- 6. Utilizzare una chimica dolce:** Utilizzare la chimica che supporta i processi vitali.
- *Costruire selettivamente con un piccolo sottoinsieme di elementi:* assemblare relativamente pochi elementi in modi eleganti.
 - *Abbattere i prodotti in costituenti benigni:* utilizzare la chimica i cui i risultati di decomposizione sono sottoprodotti non nocivi.
 - *Fare chimica in acqua:* utilizzare l'acqua come solvente.

BIOMIMICRY TAXONOMY



Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License.
Version 4.0 (c) 2008-2010 The Biomimicry Institute

Figura 27 - Tabella che sintetizza la tassonomia elaborata da Janine Benyus per la disciplina biomimetica

1.5.3 I percorsi progettuali: dalla biologia al progetto, dall'esigenza alla biologia.

Per aiutare il progettista il metodo Benyus prevede due percorsi, ciascuno con delle tappe di riferimento. Le possibilità di ispirazione sono due: dalla biologia al progetto e dall'esigenza alla biologia.

Le tappe percorse sono simili, cambia il punto di partenza.

Nel primo caso, dalla biologia al progetto, si ha:

1. SCOPERTA. Modelli naturali
2. ESTRATTO. Principi di progettazione
3. BRAINSTORM. Potenziali applicazioni
4. EMULAZIONE. Strategie della Natura
5. VALUTAZIONE. Rispetto ai principi della vita⁵³

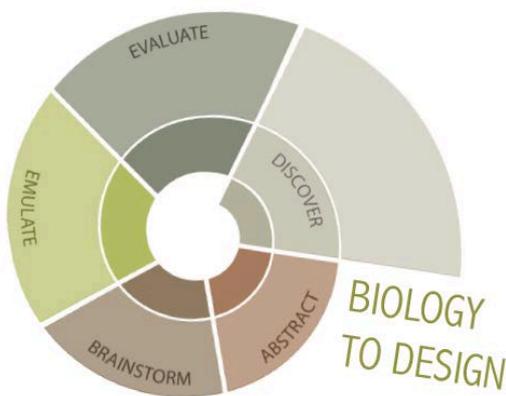


Figura 28 - Metodo progettuale biomimetico: dalla biologia al progetto (J.M. Benyus).

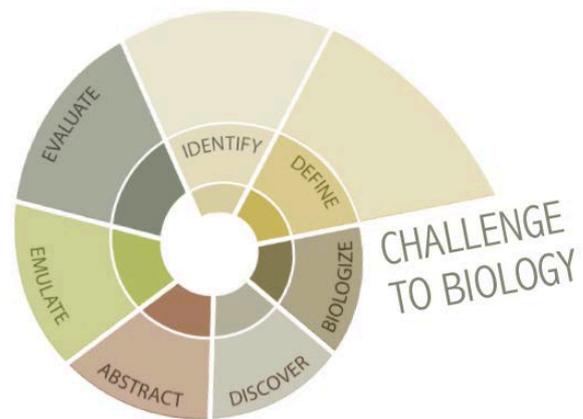


Figura 29 - Metodo progettuale biomimetico: dall'esigenza alla biologia (J. M. Benyus).

Nel caso invece si abbia già chiaro un obiettivo e si vuole trovare una soluzione biologica adeguata, di parte dall'esigenza:

1. IDENTIFICAZIONE. Funzione
2. DEFINIZIONE. Contesto
3. BIOLOGIZZAZIONE. Sfida
4. SCOPERTA. Modelli naturali
5. ESTRATTO. Principi di progettazione
6. EMULAZIONE. Strategie della Natura
7. VALUTAZIONE. Rispetto ai principi della vita⁵⁴

⁵³ DISCOVER. Natural Models

ABSTRACT. Design Principles

BRAINSTORM. Potential Applications

EMULATE. Nature's Strategies

EVALUATE. Against Life's Principles

⁵⁴ IDENTIFY. Function

DEFINE. Context

BIOLOGIZE. Challenge

DISCOVER. Natural Models

ABSTRACT. Design Principles

EMULATE. Nature's Strategies

EVALUATE. Against Life's Principles

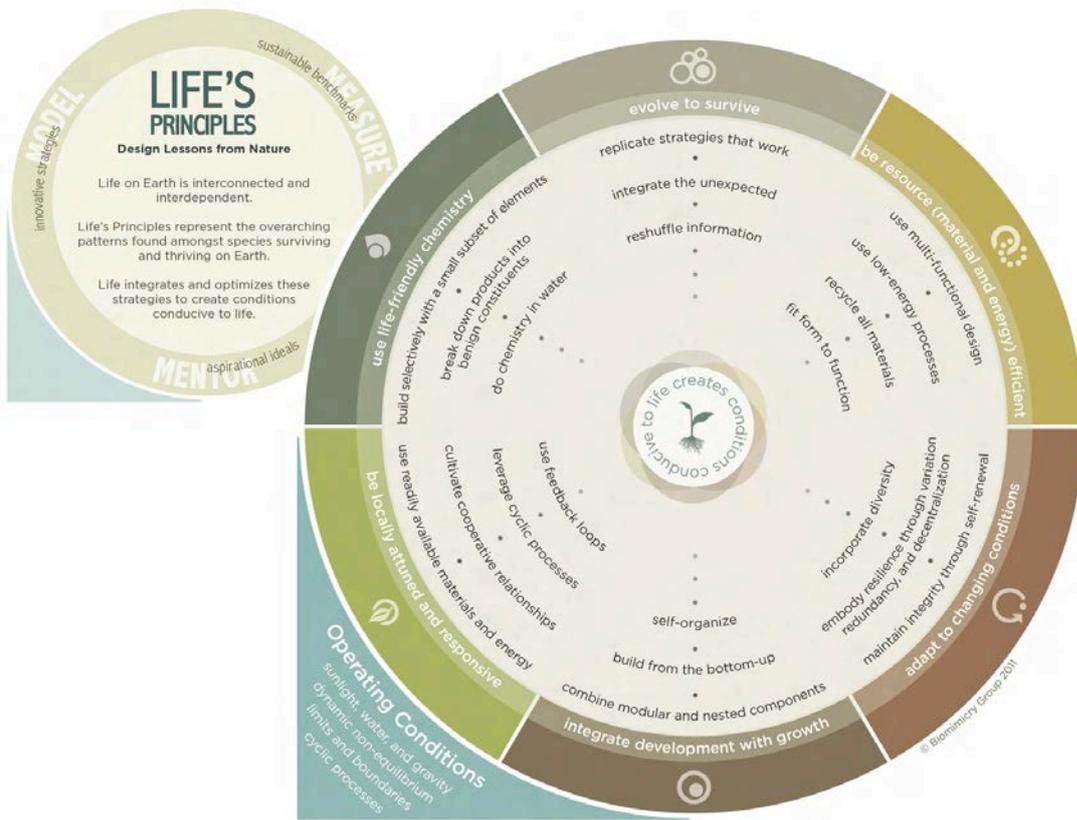


Figura 30 - I Principi della vita secondo Janine M. Benyus

Capitolo 2 - Esempi biomimetici per l'architettura

La biomimetica esprime il suo potenziale in diversi ambiti progettuali, che vanno dalla creazione di materiali innovativi, all'elaborazione di relazioni prestazionali con l'ambiente.

Il contributo per l'architettura ha diverse possibilità.

I materiali e prodotti innovativi forniscono nuovi elementi per la composizione architettonica.

Anche senza intervenire sui processi progettuali e quindi mantenendo un approccio classico alla composizione, i materiali avanzati e i prodotti derivanti da uno sviluppo biomimetico, rappresentano una possibilità in più per la qualità architettonica.

Materiali e prodotti sono per l'architetto un campionario importante da cui attingere, ma non intervengono sui processi progettuali.

Un contributo attivo alla progettazione lo offrono le tecniche biomimetiche, che il progettista può impiegare per risolvere le questioni compositive in modo innovativo.

L'impegno cosciente di specifici sistemi strutturali propri del mondo naturale, come le reti, le cellule, le ramificazioni possono contribuire ad arricchire l'architettura in termini di processo progettuale. Anche sistemi strutturali come le cellule, che in architettura corrispondono, tra le altre cose, alla composizione dei muri di mattoni, se studiate in riferimento alle espressioni naturali, possono avere nuove interpretazioni.

I sistemi strutturali sono da tempo quelli in cui il modello naturale ha apportato maggiori contributi. Buona parte dell'architettura organica esprime i suoi esempi più emblematici nel campo strutturale, pensiamo alle coperture di Nervi, o alle tensostrutture di Otto.

C'è quindi una preponderanza ad impiegare i modelli naturali da un punto di vista statico strutturale, ma è importante comprendere che ci sono altri campi di applicazione, come quello termodinamico, funzionale, estetico, e così via. La biologia offre modelli complessi, che assolvono a tante esigenze.

In alcuni casi proposti sono impiegati strumenti computazionali per l'elaborazione delle composizioni. Le potenzialità degli strumenti informatici cominciano ad esprimersi nella progettazione biomimetica, amplificando le capacità di imitazione. Il modello biologico spesso viene interpretato con funzioni matematiche, che possono essere riprodotte con i calcolatori.

Anche se sottintesa e non pienamente espressa, la capacità degli strumenti informatici diventa sempre più utile e indispensabile, più ci si avvicina ai fattori di complessità del modello biologico di riferimento.

Gli esempi proposti non offrono una visione esaustiva di tutti i prodotti o i sistemi ispirati alla biologica, ma piuttosto tentano di dare un significato ai vari approcci, così da avere una visione ampia dei percorsi affrontati dalla ricerca in quest'ambito.

I progetti più rilevanti, in riferimento alla visione sistemica che si propone in questa tesi, sono quelli riferibili ad una progettazione basata sulle relazioni. Le sperimentazioni già realizzate in questo ambito aiutano a comprendere le potenzialità di questo approccio, che se pure oggi si basa su poche relazioni, è il primo passo verso un'architettura capace di connessioni sempre più equilibrate con l'ambiente e quindi basata su principi eco-sistemici.

2.1 Materiali

Il TecEco Eco-Cement è un cemento capace di assorbire CO₂, questa peculiarità è data dal magnesio che in questo materiale sostituisce il calcio, proprio come accade nel guscio di un particolare tipo di lumaca di mare. La struttura microscopica porosa del cemento permette all'anidride carbonica di attraversare il materiale e reagire con l'idrossido di magnesio per formare carbonato di magnesio, un minerale che conferisce robustezza e rigidità. Nel formare carbonato di magnesio, la CO₂ è intrappolata efficacemente come minerale solido all'interno del calcestruzzo.

La capacità di auto-ripararsi è comune a molti elementi costitutivi degli organismi viventi, si pensi alle ossa dei vertebrati, alle conchiglie, all'esoscheletro degli insetti. Studiando i processi che portano gli organismi naturali a riparare alcuni dei tessuti che li compongono si è giunti all'ideazione di un calcestruzzo capace di ricostituire le microlesioni interne. Il processo che consente l'auto-risanamento del calcestruzzo consiste nell'incorporare l'adesivo di riparazione nelle fibre cave del materiale, prima di essere sottoposto a danni. Pertanto, quando si verifica una fessurazione, questo materiale di riparazione viene rilasciato dall'interno delle fibre, quindi penetra nelle fessure della struttura del calcestruzzo. Le screpolature e i danni, associati alla bassa capacità di deformazione a trazione del calcestruzzo, stimolano il rilascio del materiale di riparazione. Ciò è importante perché in questo modo, il materiale si comporta in maniera estensibile.



Figura 31 - Esempio del funzionamento del cemento autoriparante.

Inoltre la riparazione di crepe e danni, che avviene in modo immediato, automatico e senza intervento manuale, assicura che il deterioramento del calcestruzzo sia rallentato. Questa tecnica agisce meglio quando l'adesivo di riparazione è flessibile, così che continui a essere rilasciato ad ogni rottura o crepa.

Dallo stesso principio nasce una membrana auto-riparante capace di rimediare agli strappi avvenuti in superficie, imitando quello che accade per la pelle.

Nelle foglie del fiore di loto la ruvidità superficiale, presente in diversi ordini di grandezza e livelli sovrapposti, crea una rete con angoli di contatto differenti che allontana velocemente l'acqua dopo averla raccolta in punti precisi. Quest'ultima, scivolando sulla foglia, trascina con sé la sporcizia che vi si era accumulata.

Da questa tecnologia è nato un tessuto idrorepellente antimacchia su cui il liquido versato si trasforma in piccole goccioline (GreenShield).

Le applicazioni di questa proprietà per l'edilizia si hanno in alcuni tipi di vernici che proteggono le superfici esterne degli edifici dalla polvere e dalla sporcizia portati dalle piogge e dal vento, tra cui Lotusan, nata dagli studi del Botanico Barthlott.



Figura 32 - Il tessuto idrorepellente GreenShield

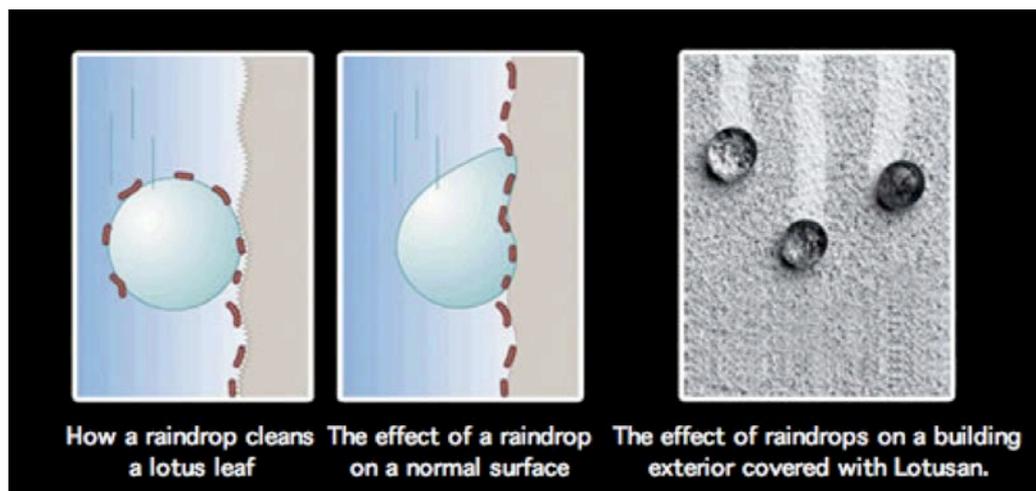


Figura 33 - Funzionamento della vernice idrorepellente Lotusan.

2.2 Prodotti

Ornilux è un vetro isolante realizzato da Arnold Glas, una società con sede in Germania. Il vetro è stato progettato per ridurre le cause di collisioni degli uccelli sul vetro. Per realizzarlo si utilizza uno speciale rivestimento che riflette i raggi ultravioletti (UV) e che appare quasi trasparente agli occhi umani, ma è chiaramente visibile agli uccelli, perché questi percepiscono uno spettro UV più ampio rispetto all'uomo.



Figura 34 - A sinistra come appare il vetro Ornilux all'occhio umano e a destra come invece viene visto dagli uccelli.

L'ispirazione per l'uso di modelli UV-riflettenti viene dalla conoscenza di alcune specie di ragni che incorporano fili di seta UV-riflettenti per le loro ragnatele. La ragione di ciò risiede nel fatto che le "decorazioni" UV-riflettenti attraggono gli insetti e allo stesso tempo dissuadono gli animali più grandi, compresi gli uccelli. Questo è a vantaggio del ragno, perché se un uccello volasse attraverso la tela, il ragno perderebbe temporaneamente la sua capacità di catturare le prede.



Figura 35 - L'ispirazione per l'uso di modelli UV-riflettenti del vetro Orniliux deriva dalle tele intessute da alcune specie di ragni.

Una società con sede a Brooklyn, la SMIT (Sustainably Minded Interactive Technology), ha creato un prodotto chiamato Solar Ivy. Imitando l'aspetto e la funzione dell'edera, questo prodotto è composto di foglie che ricavano energia dal sole e dal vento e si adatta facilmente a diversi profili di facciate, in modo da non occupare superficie utile. Il sistema Solar Ivy ha un design modulare che consente diverse personalizzazioni, tra cui il colore delle foglie, la spaziatura, l'orientamento e il tipo di fotovoltaico impiegato.

Solar Ivy è anche adattabile a diversi tipi di edifici e climi. Nel prodotto è incorporato un sistema di monitoraggio energetico, che consente la messa a punto e il controllo della tecnologia da parte degli utenti. Il sistema garantisce la produzione di energia da fonti rinnovabili e allo stesso tempo fornisce ombra alle facciate degli edifici.

L'efficacia della strategia adottata dalla pianta di edere consiste nella sua caratteristica compositiva: crescendo verticalmente e utilizzando una struttura di supporto, l'edera riceve luce diretta del sole senza dover competere con altre piante. La SMIT con il sistema Solar Ivy sta lavorando per avvantaggiarsi di questo campo di nicchia.

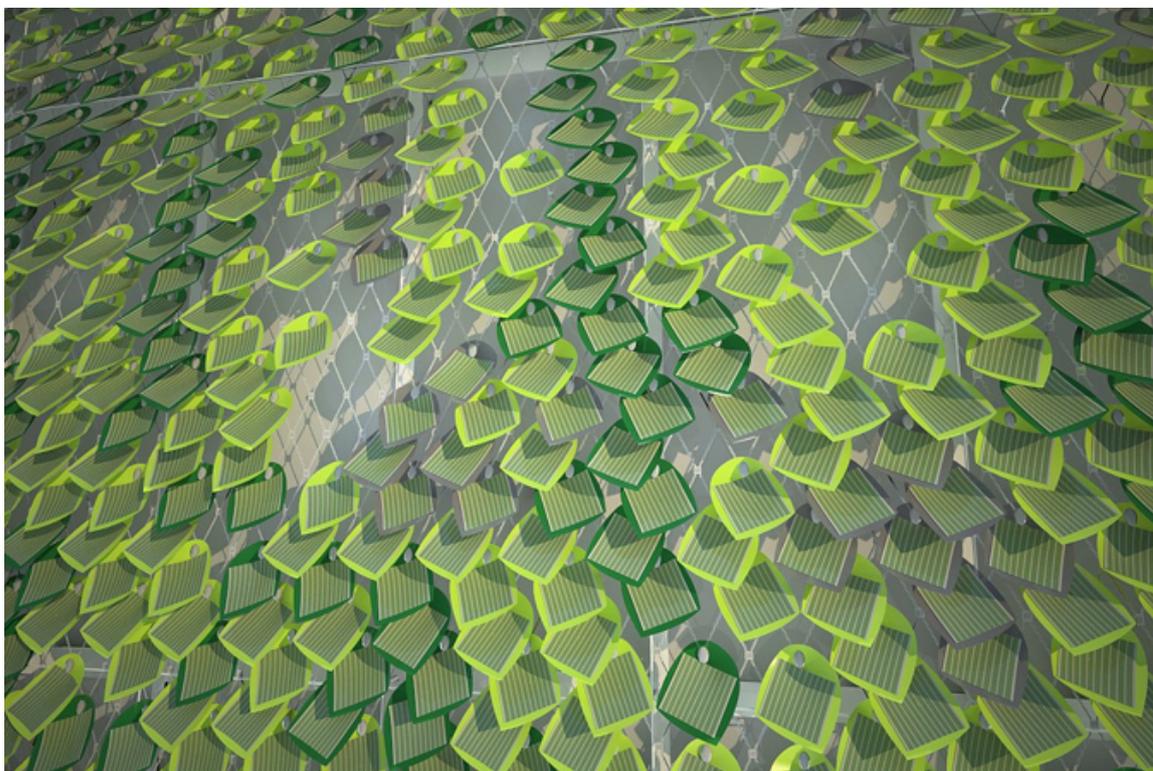


Figura 36 - Solar Ivy

Lo studio HOK ha lavorato ad un progetto per la futura città di Atlanta, proponendo una sorta di pelle per questi edifici, una parete composta da una sorta di mega-cellule che si comportano come foglie, assorbendo CO_2 , acqua ed energia solare, per produrre ossigeno e raccogliere l'acqua per la rete idrica cittadina. Questo prodotto tenta di imitare non uno ma più aspetti svolti dalle foglie e da altri componenti degli alberi. La raccolta dell'acqua, ad esempio, è propria delle radici delle piante, ma in questo caso risulta pienamente efficace per la parete di facciata. La fotosintesi svolta dal prodotto dello studio HOK in realtà ha una logica funzionale diversa, perché non è l'anidride carbonica che trasformata in zucchero fornisce l'energia, piuttosto si sommano due processi, uno che cattura l'energia solare con pannelli fotovoltaici, l'altro che assorbe e neutralizza la CO_2 .

Pur con qualche divergenza rispetto al modello naturale, questo esempio risulta interessante perché tenta di risolvere più problematiche con un solo prodotto.

Dall'osservazione accurata della pelliccia dell'orso polare nasce una categoria di isolanti termici per edifici, i TIM (Thermal Insulation Materials).

La pelliccia dell'orso bianco è composta da due strati di pelo, il primo più corto e vicino alla pelle, che funge da semplice isolante, il secondo, più lungo e quindi più esterno costituito da una struttura cava trasparente. Questo particolare pelo ha la capacità di catturare e incanalare i raggi solari e trasferirli alla superficie della pelle, trasmettendo calore. La pelle, inoltre, caratterizzata da un colore scuro, ottimizza l'assorbimento termico, che si mantiene anche con l'aiuto dello strato isolante più interno e più fitto della pelliccia. Durante il percorso lungo il condotto del pelo i raggi solari riflettendo sulle pareti producono impercettibili micro-vibrazioni del pelo stesso, producendo energia cinetica che contribuisce ulteriormente al riscaldamento dell'animale, che così sopporta le rigide temperature polari pari anche a -70 gradi.

I TIM sono composti da una struttura di micro cannulle di materiale plastico trasparente protette dall'esterno da un vetro; questi isolanti vengono applicati come cappotto per le pareti di colore scuro e lavorano allo stesso modo dei peli dell'orso. Un sistema di involucro

opaco contenente TIM chiamato "parete solare" oltre a garantire un buon effetto isolante, grazie al suo alto contenuto di aria e al fatto che è in grado di suddividere l'aria in piccoli sub-volumi, è dotato di un alto valore di permeabilità alla radiazione solare che fa sì che la radiazione stessa riesca a penetrare nell'involucro edilizio fino alla superficie massiva interna ma, grazie alla presenza della superficie vetrata esterna, limita la dispersione dell'energia nella direzione inversa.



Figura 37 - Applicazione dei TIM in un involucro edilizio opaco.

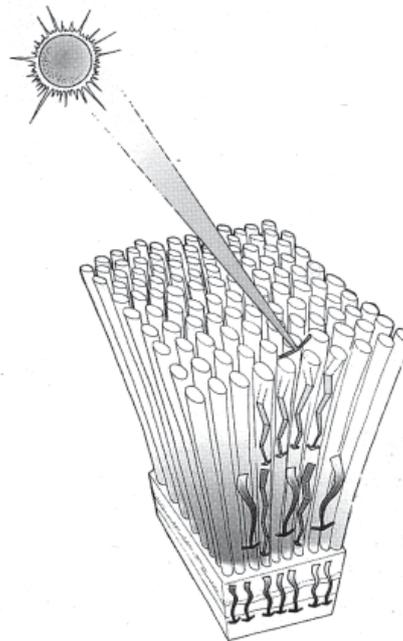


Figura 38 - Schematizzazione del funzionamento della pelliccia dell'orso polare come elemento captatore di energia termica.



Figura 39 - Applicazione dei TIM. Ostello per la gioventù a Windberg (Thomas Herzog, 1987-91)

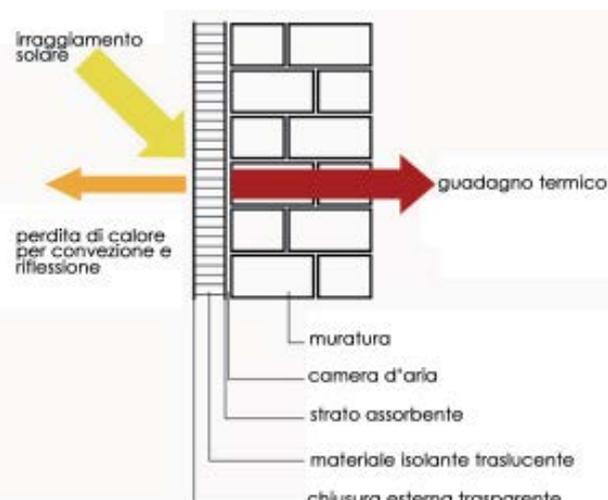


Figura 40 - Funzionamento dei TIM in abbinamento ad un involucro edilizio opaco.

2.3 Sistemi strutturali

Ci sono diverse categorie strutturali proprie del mondo biologico e riproducibili nel campo ingegneristico-architettonico.

Le categorie studiate mostrano diversi metodi di aggregazione di elementi, la cui struttura è riproducibile artificialmente.

Le più comuni sono le fibre, le reti, le ramificazioni, le cellule, il lattice.

Le tecniche per riprodurre questi sistemi strutturali possono basarsi su una strumentazione tradizionale restituendo risultati validi.

Quando per comporre queste strutture ci si avvale degli opportuni strumenti informatici, i risultati possono raggiungere qualità molto elevate, sia in termini prestazionali che estetici.

Riportiamo solo alcuni esempi di queste categorie. Lo scopo è fornire una visione dei diversi ambiti progettuali investiti da un approccio biomimetico, non di fornire una raccolta esaustiva di tutti gli esempi possibili.

Reti

Le reti sono composte da elementi, o più precisamente cavi, sottoposti a forze di tensione.

Queste strutture presenti in natura, trovano impiego in architettura ed ingegneria da tempo immemore.

Nelle architetture temporanee sono frequenti queste strutture. Diversi i ponti si basano su questi principi.

Rappresentazioni articolate di queste logiche costruttive le troviamo nei progetti di Frei Otto, uno dei primi esempi lo riscontriamo nel Padiglione della Germania all'Expo di Montreal del 1967, in cui collaborava con Larry Madlin, Rolf Gutbrod e Fritz Leonhard.



Figura 41 - La copertura realizzata con un sistema strutturale a rete del Padiglione della Germania all'Expo di Montreal (Frei Otto, 1967).

Basandosi sulle ricerche di questa esperienza, Otto realizza il suo famoso progetto dello stadio Olimpico di Monaco, costruito nel '72.

Con l'elaborazione computazionale delle reti si possono controllare progetti molto complessi, capaci di risolvere problemi strutturali e non solo.

Fibre

La fibra ha una struttura cellulare allungata ed è molto diffusa nel mondo biologico.

Ne esistono solo quattro tipologie in natura, la cellulosa nei vegetali, il collagene negli animali, la chitina negli insetti e nei crostacei, la seta nella tela del ragno. Si tratta di una struttura base della biologia e una densità minore di molti materiali avanzati artificiali.

Il loro successo non risiede nella forma in sé, ma nell'organizzazione gerarchica delle fibre, questo consente di avere delle differenze nella distribuzione e nella densità della struttura, in funzione delle forze a cui questa è sottoposta. Il risultato è molto performante.

Gli strumenti informatici oggi disponibili sono in grado di elaborare delle sperimentazioni di questa struttura tanto efficace.

I vantaggi più immediati riguardano le caratteristiche statiche degli oggetti elaborati, in termini di ottimizzazione di materiali e prestazioni.

Riportiamo il caso studio della Panton Chair, una sedia elaborata virtualmente tramite una struttura a fibre; queste sono distribuite con diverse densità e direzioni lungo la sua forma, in funzione dei punti di maggiore forza a cui la sedia è sottoposta.

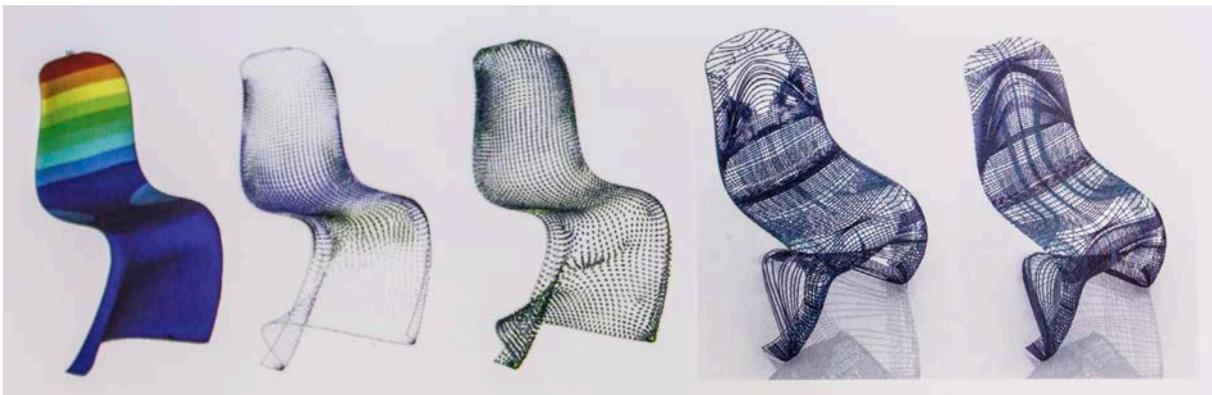


Figura 42 - Studi preliminari per il progetto della Panton Chair.

Il progetto si basa su una risposta di diversa densità della struttura a stimoli esterni. Questa sensibilità risponde appieno alle logiche della struttura, ne sfrutta al meglio le potenzialità e si comporta proprio con le stesse logiche naturali.

Le logiche di relazioni qui osservate sono il primo passo verso un concetto sistemico di progettazione.

Ramificazioni

Le composizioni ramificate appaiono in natura in grande abbondanza, rientrano nella morfologia delle piante, ma anche dei sistemi vascolari degli animali, e ancora, oltre al mondo biologico, fanno parte della struttura dei fiumi e di altri fenomeni come i fulmini.

La comprensione dei meccanismi generativi alla base della formazione di questi sistemi è stata studiata in ambito matematico: c'è un algoritmo che ne governa la morfogenesi, chiamato L-system, da Aristid Lindenmayer (1925-89), il biologo ungherese che ne definì le logiche.

L'imitazione di questi sistemi strutturali può avvenire solo tramite calcoli computazionali basati sull'algoritmo citato.



Figura 43 - Proliferazione di un sistema ramificato generato dall'utilizzo dell'algoritmo L-system.

Cellule

Le cellule sono la struttura base di tutti gli organismi viventi.

Comporre un insieme di elementi simili tra loro per formare una struttura compiuta non è una novità in architettura, si pensi che muratura di pietre o mattini rientra in questa categoria.

Con l'impiego di programmi di calcolo avanzato si riesce ad elaborare strutture con logiche cellulari, ma meno rigide nella dimensione e forma degli elementi di base. La possibilità di variazione dei componenti, consente di elaborare progetti più flessibili, così come accade in natura.

Un esempio di struttura a cellula è costituito dalla ricerca *Manifold* del 2004 condotta dallo studio Matsys realizzata nell'ambito del programma *Emergent Technologies and Design (EmTech)* dell'Architectural Association (AA) di Londra sulla morfogenesi di strutture a nido d'ape.

L'obiettivo principale della ricerca è stato lo sviluppo di un materiale-sistema con un alto grado di integrazione tra la forma e le prestazioni. Tale integrazione è inerente agli organismi naturali che si sviluppano attraverso mezzi evolutivi che legano in maniera inscindibile la forma, la crescita, e il comportamento dell'organismo.



Figura 44 - L'installazione *Manifold* (Matsys Design, 2004)

Nell'industria dei materiali, il livello di integrazione tra questi elementi è estremamente basso, dando vita a problematiche lacune nel rapporto tra i mezzi di produzione, la definizione geometrica e materica del materiale e le sue prestazioni ambientali.

La ricerca esplora le strategie di integrazione per un materiale-sistema prodotto industrialmente per lo specifico utilizzo in applicazioni architettoniche.

Lo studio Matsys ha dunque elaborato, attraverso l'utilizzo di specifici software, un sistema a nido d'ape in grado di adattarsi a differenti requisiti di prestazione attraverso la modulazione

dei parametri geometrici e materiali inerenti al sistema, pur rimanendo entro i limiti delle tecnologie di produzione disponibili.

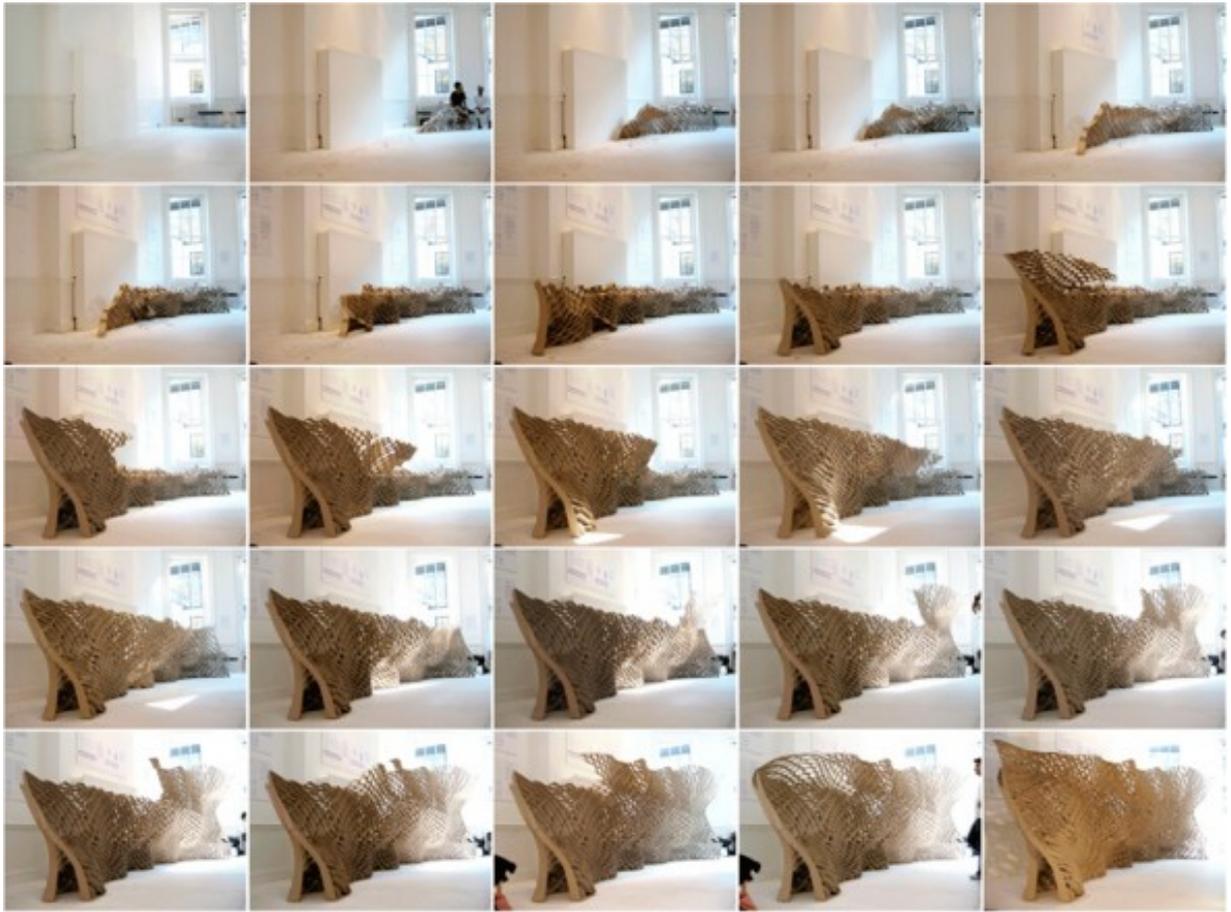


Figura 45 - Processo costruttivo del progetto Manifold (Matsys Design, 2004)

Il sistema sviluppato presenta una struttura aperta attraverso cui il progettista può lavorare, favorendo un rapporto più solidale tra i vari aspetti contrastanti e sovrapposti nello sviluppo di un progetto architettonico.

Lattice

L'organizzazione strutturale a lattice è genericamente definita come un insieme di punti ripetuti periodicamente nelle tre dimensioni.

La riproduzione di questa struttura nell'ambito delle costruzioni avviene con la composizione di strisce di materiale sottile, collegate tra loro tramite connessioni periodiche.

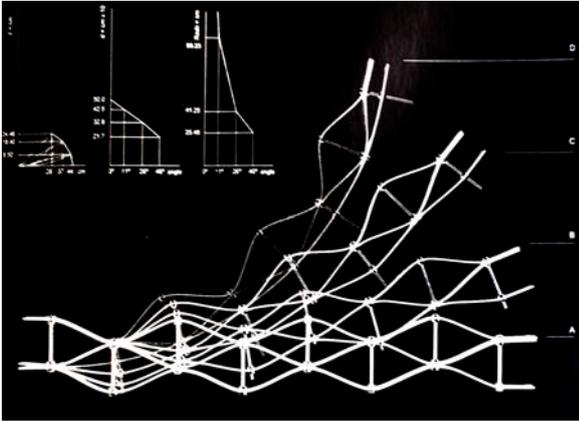


Figura 46 - Elemento base del sistema gridshell HybGrid che dimostra le potenzialità di controllo dei cambiamenti di forma dei software parametrici.



Figura 47 - Dettaglio del prototipo del sistema HybGrid.

Le grid-shell, strutture che traggono la loro resistenza strutturale dalla doppia curvatura, si basano su una struttura a lattice rettangolare continua.



Figura 48 - La gridshell del Savill Building a Windsor (Glenn Howells Architects, 2006)

Un altro esempio è la composizione Kagome, che invece rappresenta una configurazione triangolare discontinua delle strutture a lattice.

Le possibilità di connessione tra gli elementi sono diverse.

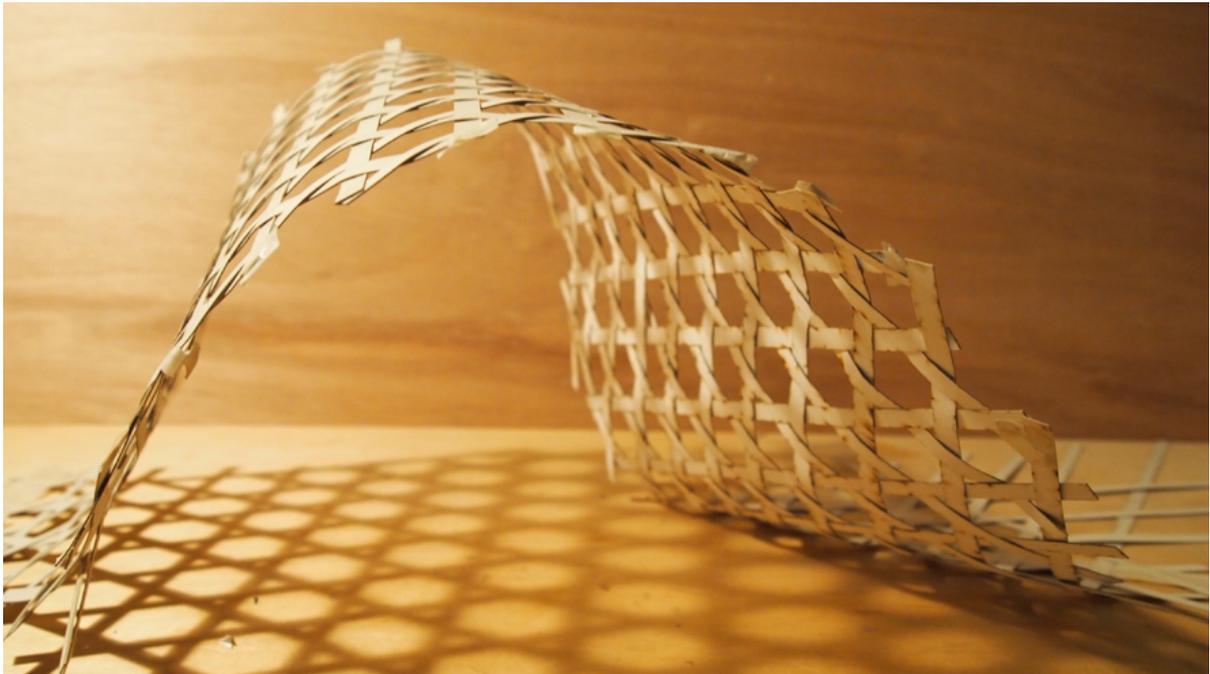


Figura 49 - Esempio di composizione strutturale Kagome.

Ancora, un altro esempio di composizione prevede l'impiego lunghe strisce di materiale sottile e flessibile, collegate da elementi rigidi che creano una distanza tra le strisce, la connessione avviene tramite la flessione delle strisce. Una differente lunghezza dei distanziatori, si ripercuote sull'intera composizione. Questa relazione tra gli elementi di collegamento e la geometria globale dà la possibilità di calcolare le configurazioni finali tramite processi computazionali.

2.4 Relazioni

Di tutte le possibili manifestazioni con cui i progetti possono esprimere un'imitazione della vita, la capacità di intessere relazioni è quella più interessante per un approccio sistemico.

Anche se limitate, le relazioni sono il primo passo per la creazione di organismi sistemici, nel caso dell'architettura, per cominciare ad immaginare un sistema edilizio con un alto grado di sintonia tra il contesto e le sue componenti materiche.

Partiamo dal presupposto che le relazioni tra un oggetto e l'ambiente sono inevitabili, e invece che immaginare un'architettura di impatti da limitare, si richiede la costruzione di un'architettura di relazioni da moltiplicare, tanto da diventare parte di un eco-sistema in equilibrio.

Avere un obiettivo di armonia sistemica è più interessante che avere un obiettivo di limitazione dei danni, che è spesso quello che accade quando si sottopone il nostro operato ad una valutazione di sostenibilità.

Alcuni esempi biomimetici sono incentrati sulle relazioni esogene ed endogene.

Uno dei primi, più citati e ormai quasi un simbolo nell'ambito della biomimetica è l'Eastgate Complex di Harare, nello Zimbabwe, aperto nel 1996, costruito in base a un progetto ispirato ai termitai disseminati per le zone rurali dell'Africa, e più precisamente al loro sistema di ventilazione. È il primo edificio a utilizzare la climatizzazione passiva in questa maniera; il

suo sistema di climatizzazione costa un decimo di quelli convenzionali e utilizza il 35% di energia in meno rispetto ad altri edifici simili ad Harare.

Grazie al raffreddamento il calore viene immagazzinato durante il giorno e liberato di notte quando le temperature si abbassano.

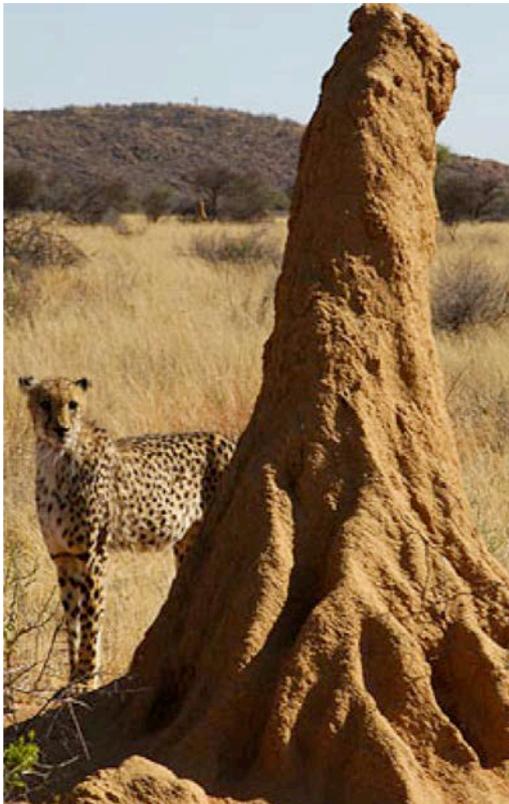


Figura 50 – Un termitaio

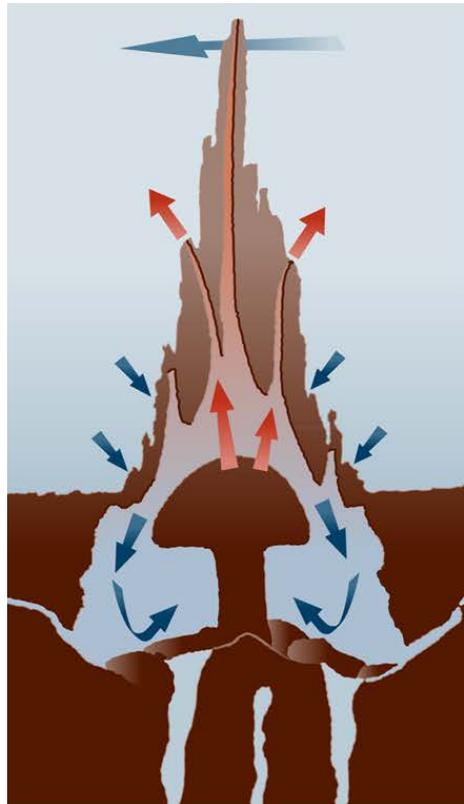


Figura 51 - Schema di funzionamento del sistema di raffreddamento passivo di un termitaio.

Schematizziamo il funzionamento del sistema di raffreddamento.

Inizio di giornata: l'edificio è fresco.

Durante il giorno: i macchinari e la gente generano calore, e il sole riscalda la superficie esterna dell'edificio. Il calore viene assorbito dall'involucro dell'edificio, che ha una elevata capacità termica, in questo modo la temperatura interna aumenta, ma non di molto.

Sera: la temperatura esterna diminuisce. L'aria interna calda viene liberata attraverso i camini, aiutati dai ventilatori, ma il fenomeno avviene naturalmente perché l'aria calda è meno densa, quindi tende a salire, lascia un vuoto e consente all'aria fresca più densa di accedere dal fondo della costruzione.

Notte: questo processo continua, l'aria fredda fluisce attraverso le cavità nei solai finché l'edificio non ha raggiunto la temperatura ideale per ricominciare il processo il giorno successivo.⁵⁵

⁵⁵ Architects for Peace. Profile and excerpt from the jury report of the 2003 Prince Claus Award, presented to Mick Pearce on 10 December 2003 (<http://www.architectsforpeace.org/mickprofile.php>)

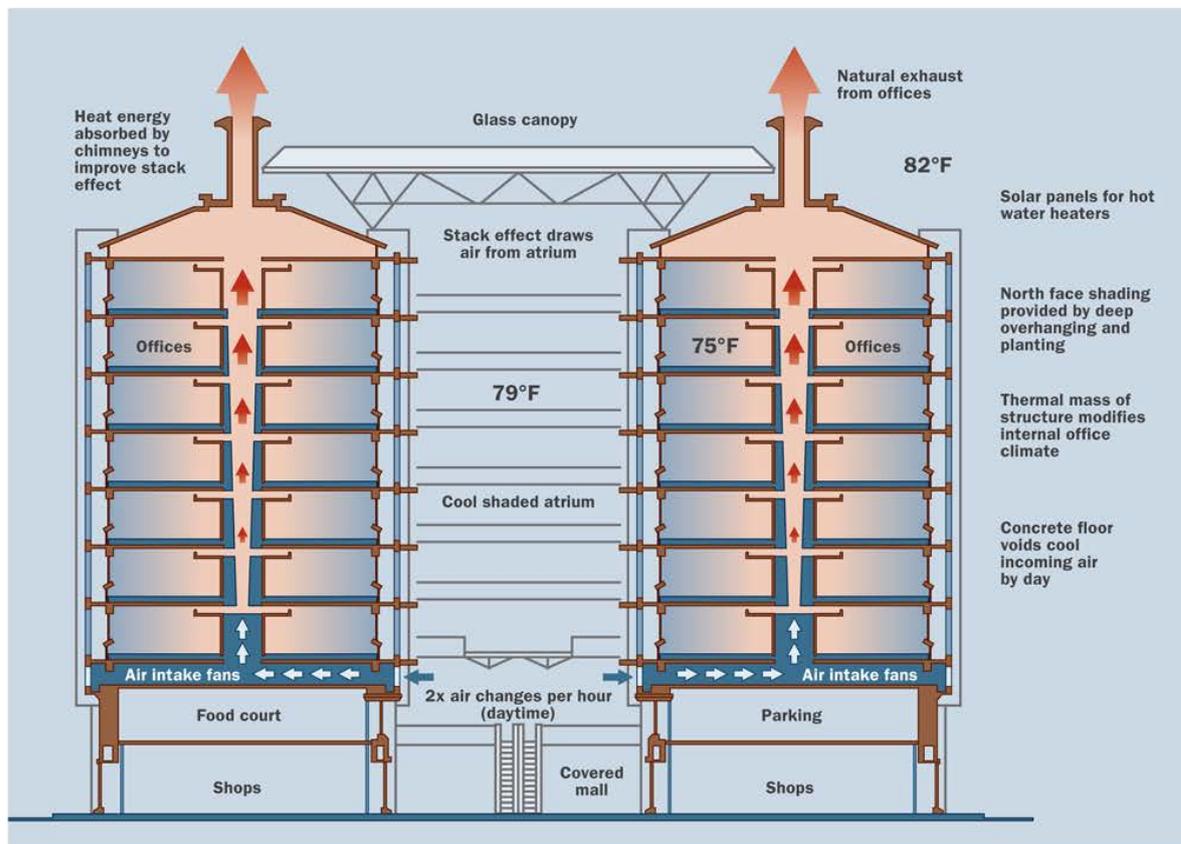


Figura 52 - Schema di funzionamento del sistema di raffreddamento dell'Eastgate Centre ad Harare (Mick Pearce, 1996)

Il programma Emergent Technologies and Design (EmTech) dell'Architectural Association (AA) di Londra si occupa della progettazione computazionale in architettura.

All'interno di questo programma Toni Kotnik e Michael Weistock, hanno realizzato alcuni esempi che indagano le intricate relazioni tra materia, forma e forza, ne riportiamo uno di esempio.

Uno dei progetti è composto da una struttura in grandi piastre di legno curvato, agganciato a terra con dei vincoli fissi, anch'essi in legno. Sulle piastre sono presenti dei tagli, la cui forma e dimensione deriva da precisi rapporti di relazione tra lo spessore, le dimensioni e le caratteristiche elastiche del materiale, l'ampiezza della curvatura e le forze statiche a cui è sottoposta l'intera struttura.

I richiami alle logiche biologiche di adattamento prestazionale sono ricorrenti nell'articolo di presentazione del lavoro, ed in generale accompagnano tutta la filosofia del programma EmTech.

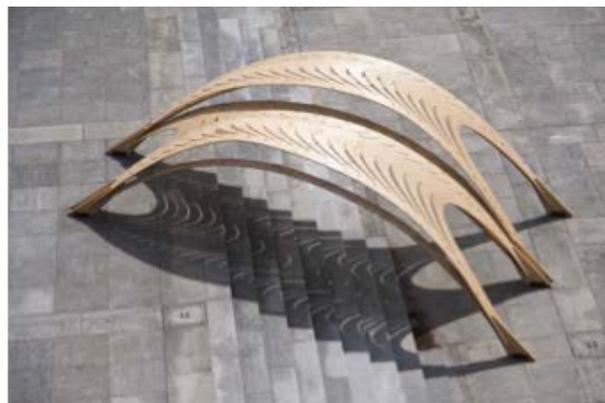


Figura 53 - Immagini del prototipo strutturale realizzato all'interno del programma EmTech (Toni Kotnik e Michael Weistock).

Il padiglione di legno di Achim Menges e Tobias Schwinn imita le logiche biologiche di ottimizzazione del materiale con l'ausilio una progettazione digitale complessa e una fabbricazione tramite macchine.

Lo stesso Menges sottolinea l'obiettivo di questo progetto in funzione di una precisa osservazione dal mondo naturale: "...in biologia il materiale è costoso, ma la forma è economica".

Il padiglione imita la composizione morfologica dello scheletro di una particolare specie di riccio di mare.

Il progetto è costituito da 70 moduli di legno dallo spessore di 6,5 mm. Il padiglione copre una superficie di 200 metri cubi, ma utilizza solo 1,8 metri cubi di materiale. La maggior parte delle cellule ha un doppio strato. Lo strato interno non è pieno, ma presenta delle forature, in parte dovute al risparmio del materiale, in parte per motivi pratici legati al montaggio della costruzione. Infatti, le paerture, rendono più agevole l'assemblaggio degli strati interni con quelli esterni.

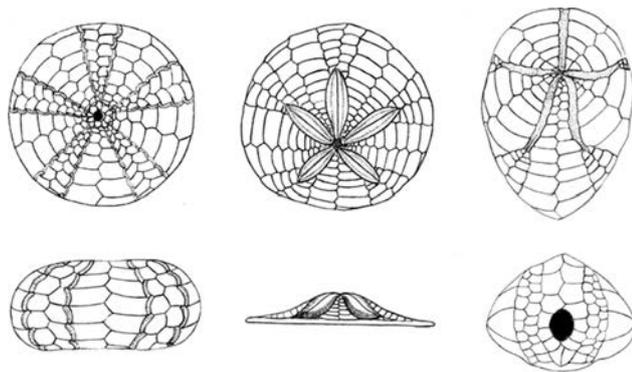


Figura 54 - La specie di riccio di mare che ha ispirato il Padiglione progettato da Menges e Schwinn.



Figura 55 - Immagini dall'alto (sinistra) e dall'interno (destra) del Padiglione progettato da Menges e Schwinn.

Un progetto importante in termini di relazioni tra materiale ed ambiente è quello di Achim Menges e Steffen Reichert, questo esperimento sfrutta le naturali proprietà idroscopiche del legno in funzione dell'umidità presente nell'atmosfera.

La struttura a petali è costituita da sottili fogli di legno, che in presenza di umidità sono distesi, lasciando chiusi gli occhielli, mentre, quando l'aria è sufficientemente secca, le fibre si ritirano, così che i petali si aprono e lasciano aperti i fori della struttura. Un ingegnoso meccanismo che si basa sulle naturali proprietà del materiale e crea una relazione di movimento con le differenze ambientali del contesto.

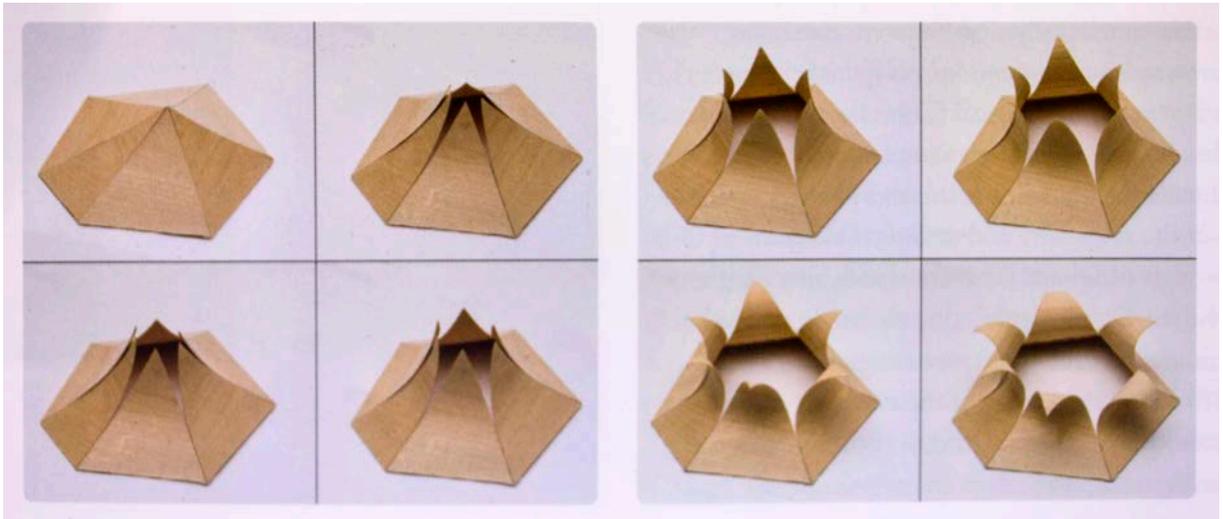


Figura 56 - Le proprietà igroscopiche del sistema dinamico progettato da Menges e Reichert.



Figura 57 - Hygroscopic Envelope Prototype, (ICD, Stuttgart, 2010).

Quando i parametri da calcolare sono più numerosi, il progetto si arricchisce di relazioni complesse, come in questo esperimento progettuale di un involucro modulare. Il risultato formale dei moduli è dovuto ad una serie di calcoli che prevedono il controllo del soleggiamento e della ventilazione che investono il progetto. Anche qui si intessono relazioni di vantaggio con l'ambiente circostante.

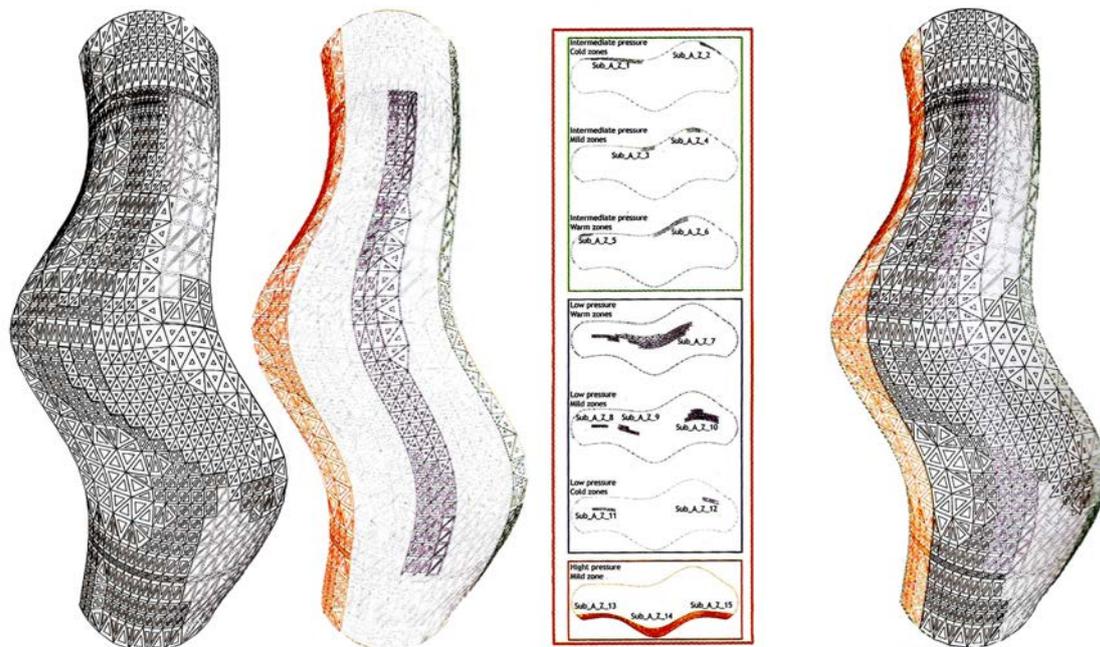


Figura 58 – Sperimentazione di un involucro modulare per il controllo del soleggiamento e della ventilazione. MARCH Dissertation of Juan Subercaseaux. February 2006.

Non si imita una particolare forma naturale, ma il processo con cui si creano le relazioni è simile a quello che avviene negli organismi biologici. L'esempio riportato in figura considera solo pochi parametri in confronto a quanto accade normalmente in natura, ma quello che conta sono le logiche e il giusto impiego degli strumenti. Aumentando i parametri di riferimento e quindi le relazioni, ci si avvicina ai comportamenti eco-sistemic, e quindi si creano rapporti sempre più in equilibrio tra il manufatto architettonico e l'ambiente.

Capitolo 3 - La definizione di un processo progettuale biomimetico sistemico

3.1 Una convergenza verso la complessità

L'architettura organica, che inizialmente si esprime con un linguaggio formale, acquista con il tempo una maturità di intenti, che passa prima attraverso le teorie funzionaliste, poi si arricchisce di necessità statico-formali negli esempi di Nervi, Otto e Fuller, mentre con i metabolisti comincia ad avere un obiettivo sistemico. Il massimo delle potenzialità delle forme organiche è raggiunto con gli strumenti informatici odierni, che però, ancora poco compresi, ad oggi hanno espresso solo un piccolo saggio delle loro effettive capacità. Quello che è maturato nel tempo, oltre alle disponibilità tecnologiche e di materiali performanti, è proprio il concetto di organico.

Da un semplice insieme di elementi, l'organismo è diventato la somma delle sue parti e dei collegamenti tra esse. Si assiste ad una progressiva interpretazione della realtà con metodi complessi.

Le logiche sistemiche che governano la composizione di un organismo sono simili a quelle dell'ecosistema.

La realtà tutta comincia ad essere letta come un insieme di elementi collegati tra loro e ricca di interrelazioni.

Le pratiche ecologiche prevedono diversi dettami per le nuove costruzioni: *input* e *output* in equilibrio, materiali a basso impatto ambientale, ecosostenibili, biocompatibili, progetti performanti capaci di ridurre l'impegno di materiale o di energia. Le indicazioni sono tante, tutte comprensibilmente legate ad un concetto ecologico sempre più ampio.

Eppure, a osservare bene, le azioni ecologiche della sostenibilità sono già egregiamente svolte dagli organismi viventi.

La possibilità di imparare dalla natura, dai suoi equilibri e dalle sue strategie è alla base della biomimetica, che a sua volta, cosciente delle logiche che governano la vita, avanza i suoi obiettivi verso la composizione di sistemi sempre più interconnessi, sempre più vicini alle logiche eco-sistemiche, quindi sempre più complessi.

La sostenibilità, su cui tanto si sta discutendo negli ultimi decenni, può essere interpretata come un tassello di un nuovo modo di progettare, che si basa su logiche complesse.

“Un sistema vivente, sia un organismo, un sistema sociale o un ecosistema, è un insieme integrato che non può essere capito riducendo le proprietà alle proprietà delle parti più piccole. Le proprietà dette sistemiche sono proprietà dell'intero che nessuna delle parti possiede. Il pensiero sistemico, quindi, coinvolge un cambiamento di prospettiva dalle parti all'intero. Una delle scoperte più importanti della comprensione sistemica della vita è il riconoscimento che la rete è il sistema di organizzazione principale di tutti i sistemi viventi. La rete è un sistema di organizzazione comune della vita. Ovunque vediamo la vita vediamo reti viventi.”⁵⁶

⁵⁶ Capra, F., Luisi P.L., *Vita e natura. Una visione sistemica*. Ed. Aboca, San Sepolcro 2014

3.2 Punti di forza e limiti della visione biomimetica della Benyus in architettura

La visione teorica ampia, proposta dalla Benyus, è in sintonia con l'esigenza multi-comprendensiva propria del sentire contemporaneo.

C'è la consapevolezza che non è più sufficiente limitare la progettualità alla copia di strategie, per quanto efficaci, ma che è necessario estendere l'interesse ai processi e puntare ad una struttura sistemica, in riferimento ai legami eco-sistemici presenti in natura.

Queste conclusioni sono frutto di una profonda conoscenza dei meccanismi biologici, la stessa conoscenza che ha impiegato qualche secolo per definirsi e consolidarsi.

Si tratta quindi di considerazioni nate in un momento maturo della storia della nostra civiltà. Le stesse valutazioni sarebbero state inconcepibili solo un paio di secoli fa, quando ancora i concetti di sistema, eco-sistema e organismo non erano compiuti.

Il primo merito di questa visione risiede nella conoscenza del modello di riferimento, che consente di immaginare nel progetto complessità pari a quelle del modello di riferimento.

Un altro dei meriti del metodo Benyus è la diffusione. Con il suo Biomimicry Institute, la biologa organizza diversi momenti didattici e formativi e si rivolge a studenti e ricercatori di tutto il mondo con concorsi, summit, convegni.

Grazie all'istituzione del portale *asknature.org*, le conoscenze biologiche e funzionali più adatte allo scopo sono a disposizione dei progettisti di tutto il mondo. La divulgazione della conoscenza è un punto essenziale del successo dell'approccio della Benyus.

Tuttavia, il metodo proposto si basa su logiche lineari e non contiene percorsi sistemici.

Inoltre, il modello progettuale proposto dalla biologa si rivolge a molte discipline, non è specifico per l'architettura, eppure l'architettura ha strumenti propri che non sono fruibili in altri settori.

Ricordiamo le fasi del metodo Benyus:

1. emulazione di forma e funzione
2. emulazione di processo
3. emulazione di ecosistema

Nel primo punto, si promuove l'imitazione di una forma funzionale. Basandoci sui suggerimenti proposti, il percorso conoscitivo parte dall'osservazione di una strategia naturale, (o se vogliamo dall'identificazione dell'esigenza che si vuole risolvere) per poi giungere, dopo alcune tappe, al progetto. Tutte le indicazioni del metodo proposto delle Benyus sono coerenti con la possibilità di svolgere un'efficace emulazione di strategie naturali, e, infatti, ci sono numerosi esempi che dimostrano come questo metodo funzioni e anche bene.

Tuttavia buona parte del successo di questi progetti, non è nel metodo, che infatti è molto semplice e lineare, ma nelle capacità del progettista. Divulgare e diffondere il pensiero biomimetico accresce le possibilità di raggiungere le menti più pronte e vivaci, e quindi predisposte a questo specifico lavoro progettuale.

Fino a che puntiamo ad un obiettivo lineare, questo metodo risulta adeguato, quando però, la biologa suggerisce di adottare l'imitazione di un processo e non solo di una forma funzionale, i suggerimenti proposti perdono di coerenza.

Imitare un processo naturale significa innanzitutto conoscere un processo naturale.

Prendiamo il processo di accrescimento di un organismo: questo è auto-generativo, modulare, si basa sull'interazione locale tra le parti di cui è composto, ma è interessato anche da influenze di fenomeni esterni. In poche parole, questo tipo di processo è definito

da logiche complesse. Nel suo testo e nei dati disponibili sul sito del Biomimicry Institute 3.8, è possibile recuperare documentazioni interessanti riguardo ad esempi di sistemi complessi. Manca forse una definizione unitaria, che consenta di distinguere gli esempi complessi da quelli lineari. L'abbondanza di dati disponibili questa volta non è sufficiente, è necessaria una chiave di lettura che purtroppo non viene chiarita in modo efficace. Esempi lineari e complessi vengono descritti allo stesso modo, e si invita i progettisti a procedere parimenti, ovvero, con lo stesso metodo lineare.

Imitare un processo complesso è possibile, ma non è immediato come imitare una forma; presuppone la conoscenza di strumenti capaci di costruire collegamenti complessi tra le parti. La prima mancanza del metodo B. è quindi l'assenza di adeguati strumenti di elaborazione. E' possibile che questi strumenti siano diversi a seconda delle discipline, quindi un altro limite del metodo è l'assenza di percorsi, indicazioni e strumenti specifici per le diverse discipline.

L'architettura non può condividere un metodo progettuale con l'economia o la chimica dei materiali, è necessario distinguere.

Quando si parla di ecosistema per i progetti si punta ad un obiettivo molto ambizioso. Un ecosistema è formato da una grande quantità di collegamenti tra le parti, ma se già manca una corretta impostazione del processo, non è chiaro come sia possibile con un approccio lineare giungere ad un risultato complesso.

Secondo una visione complessa, una giusta e coerente composizione dei collegamenti tra le parti può portare alla composizione di un rudimentale sistema, che può essere ecosistema se il sistema è aperto e include anche parametri ambientali esterni di riferimento.

Se raggiungere la complessità di un ecosistema naturale è un'impresa ancora molto ardua, emulare le logiche dei processi e impostare alcuni collegamenti sistemici è invece possibile, ma solo con i giusti strumenti.

L'eccessivo e poco calibrato entusiasmo con cui si saluta la possibilità di una composizione progettuale eco-sistemica può risultare fuorviante. Infatti, nei testi della biologia non si parla dell'ecosistema come di un obiettivo auspicabile, un percorso da tenere in considerazione, ma come di una obbligatorietà. A questo punto, se ancora il processo non è raggiungibile con i mezzi proposti, come si può immaginare un progetto eco-sistemico?

Come strumento di miglioramento del progetto la Benyus propone un'analisi. I dati di riferimento sono i principi della vita, proposti come una vera e propria *check-list*, che aiuta il progettista a determinare se ha raggiunto obiettivi simili a quelli naturali.

Ancora una volta siamo di fronte ad un approccio lineare.

In sintesi, il metodo Benyus è utile come punto di partenza e come database di informazioni sui modelli biologici. E' carente invece nella definizione degli strumenti con cui raggiungere la completezza dei tre gradi di emulazione in architettura.

3.3 Approccio lineare, approccio sistemico

L'approccio biomimetico lineare non necessitò di un approfondimento. La sua efficacia è abbondantemente dimostrata dalla produzione crescente di materiali e prodotti ispirati alla vita.

In architettura, un contributo interessante all'innovazione di progetto è possibile con l'adozione di un approccio sistemico. Questo si definisce come la capacità di un elemento di generare relazioni esogene ed endogene.

3.4 Gli strumenti per un processo progettuale biomimetico sistemico

Il bagaglio di conoscenze scientifiche dei fenomeni naturali è il primo passo verso un approccio progettuale che imita la natura, tuttavia le nozioni non sono sufficienti.

E' necessaria una comprensione dei fenomeni che interessano la vita.

Diverse discipline, con diversi approcci ed obiettivi, si stanno interessando dei fenomeni generativi: dalla filosofia alla biologia, dalla chimica alla matematica.

Filosofi come Spinoza, Deleuze e De Landa si sono occupati della generazione della forma.

Le conclusioni a cui giungono sono vicine ai modelli biologici, e anche le parole adoperate a volte sono tratte dalla terminologia biologica, come genotipo e fenotipo. Sono frequenti i riferimenti al DNA e alle logiche genetiche.

D'altra parte, in biologia, e più precisamente nel campo della genetica, si perfezionano le teorie e le sperimentazioni che trattano dei processi generativi, il lavoro di Carroll, che approfondisce le teorie evoluzionistiche di Darwin, ne è un esempio.

I fenomeni che interessano la biologia, tuttavia, sono comuni anche al mondo inorganico, di fatti la vita è solo una delle possibilità di espressione della materia, e le stesse logiche a cui sono sottoposti gli organismi viventi, interessano la materia in generale: siamo di fronte alle prime teorie sulla comprensione della complessità.

La complessità interessa la realtà a varie scale, e, oltre ad essere una chiave di lettura più efficace dei modelli lineari, è anche l'unico modello per l'elaborazione di un processo progettuale che imita il processo generativo biologico.

L'importanza di un approccio complesso è chiaramente indicato negli ultimi studi sulla biomimetica, ma è anche sottinteso nelle logiche ecologiche che stanno interessando l'architettura negli ultimi decenni.

Le teorie sulla complessità si basano sugli studi di fenomeni naturali, dai *pattern* all'intelligenza degli *swarms*. Dall'osservazione di questi fenomeni sono state elaborate alcune regole di base comuni a tutti i sistemi emergenti.

La comprensione della complessità è oggetto di studio, non si può ancora definire in modo univoco i suoi fenomeni, tuttavia i dati disponibili sono sufficienti per delle sperimentazioni

La possibilità di riprodurre processi complessi è indispensabile per l'elaborazione di progetti sistemici, che siano essi architettura o altro.

Se la filosofia, la biologia, la genetica, la matematica, la fisica studiano i fenomeni complessi propri di ogni campo, l'unica disciplina in grado di elaborare e controllare fenomeni complessi è l'informatica.

L'informatica lavora con una grande quantità di unità capaci di eseguire con precisione delle semplici regole, reiterate per un gran numero di volte, e questa è la condizione di base dei sistemi emergenti e complessi.

Per l'architettura, che si basa su composizioni materiche e formali, parliamo di generazione di forme complesse. Di fatti, oltre l'architettura, e se vogliamo il design, sono i pochi campi in cui i sistemi complessi elaborati danno vita ad oggetti visibili e tangibili. I sistemi più diffusi elaborati dall'informatica si occupano di organizzazione di dati e non sono interpretabili visivamente.

Questo può generare confusione, perché non sempre è chiaro che alla base di sistemi formali e informali complessi ci sono le stesse regole.

Ad ogni modo, limitando il nostro interesse all'architettura, gli strumenti informatici necessari si occupano di elaborazioni formali, o più precisamente, i dati sono organizzati in funzione di una resa formale finale.

In questo modo l'architetto adopererà *software* capaci di gestire i dati in modo sistemico per la generazione di sistemi emergenti formali.

Si tratta di una limitazione dovuta agli obiettivi dell'architettura.

Dunque, per l'architettura sono disponibili *software* specifici, capaci di elaborare i progetti. Il limite dei *software* è che il loro campo di azione è circoscritto a dati informatici. Quello che noi interpretiamo come una forma è solo un insieme di informazioni, di fatto non esiste nella realtà, non è effettivamente visibile o tangibile.

La fase di elaborazione informatica è quindi solo una tappa del processo. E' necessario trasferire i dati al materiale reale per avere l'oggetto architettonico.

A questo punto risultano indispensabili gli strumenti meccanici. Oggi sono disponibili diverse tipologie di macchine a controllo numerico capaci di convertire i dati informatici in azioni che agiscono sulla materia.

La caratteristica comune a tutte le CNC (Computer Numerical Control) risiede nella capacità di dialogare con i computer.

Le operazioni necessarie per giungere dai dati agli oggetti sono diverse, pertanto il compito del progettista non si limita all'elaborazione delle composizioni, ma deve tenere conto delle macchine con cui potrà trasporre l'elaborato dall'informatica alla realtà. Parte del progetto, quindi, consiste nella comprensione dei macchinari.

Riassumendo, per l'elaborazione di sistemi complessi in architettura sono indispensabili tre grandi gruppi di strumenti: teorici, informatici, meccanici.

I primi aiutano a comprendere il significato delle logiche generative. Il ruolo degli strumenti teorici è fondamentale, anche se a volte sottovalutato. Solo comprendendo profondamente le teorie che interessano questi fenomeni, è possibile emularli in modo consapevole.

L'informatica è l'unico strumento capace di riprodurre e controllare sistemi emergenti complessi.

L'impiego dei *software* parametrici in architettura è un fenomeno crescente, tuttavia, questa diffusione non sempre è accompagnata da una comprensione teorica adeguata, questa carenza rischia di creare dei fraintendimenti. C'è la possibilità che le grandi potenzialità di questi strumenti siano stereotipate e interpretate come generatori di forme vuote, scollegate da parametri validi, e quindi c'è il pericolo che tutta questa disciplina venga riassunta come uno sterile formalismo. Inoltre, una scarsa conoscenza dei modelli teorici non rende possibile un giudizio e una valutazione degli oggetti architettonici prodotti, contribuendo alla confusione.

Gli strumenti meccanici comprendono diversi esemplari, utili in casi diversi, ma anche questo campo rischia un'immeritata semplificazione.

La conoscenza approfondita delle macchine disponibili consente un'impostazione adeguata del progetto, comportando una fase di produzione più efficace.

3.5 La genesi di un processo progettuale biomimetico sistemico

Lo schema proposto sintetizza i ruoli e le relazioni dei diversi contributi disciplinari che si sono studiati per la comprensione dei processi generativi sistemici.

Le relazioni, le regole algoritmiche, gli approcci algebrici e bottom-up sono alcuni principi su cui si basano i sistemi complessi e su cui è necessario fondare il processo progettuale architettonico perché diventi sistemico. Il mezzo tramite cui questo avviene è l'informatica, o più precisamente il complesso dei *software* parametrici di modellazione. Ne deriva un progetto in due fasi, generativa e attualizzata.

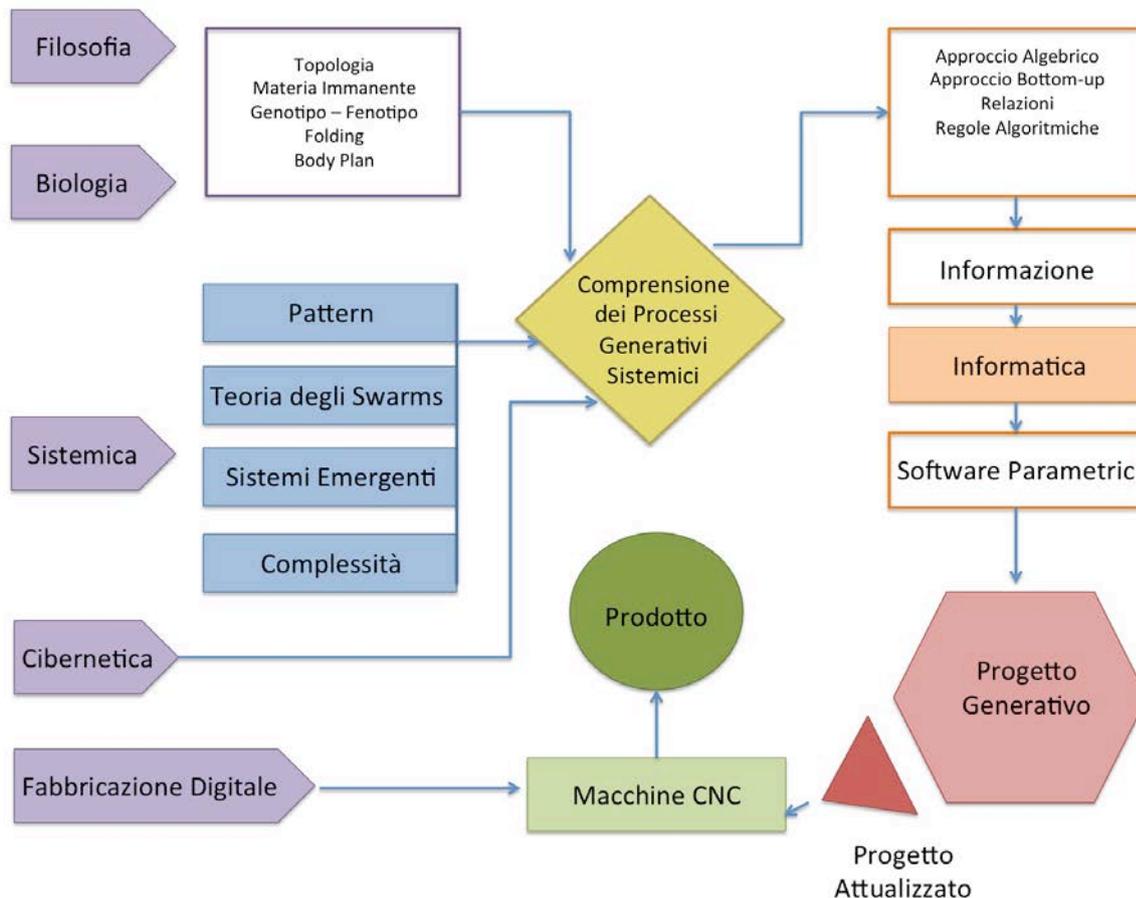


Figura 59 - Sintesi schematica della genesi del processo progettuale biomimetico sistemico proposto (Rossella Siani, 2015)

3.6 Le fasi del processo progettuale biomimetico sistemico: fase generativa e fase attualizzata

Il lavoro di tesi conduce alla concezione di un processo in due fasi.

La necessità di una doppia fase del progetto è dettata dalle logiche genetiche, in cui si utilizzano i termini genotipo e fenotipo per definire due fasi del processo generativo. In architettura, grazie ai software parametrici è possibile avere delle fasi assimilabili a quelle genetiche, ma attualmente sono prive di termini specifici.

La terminologia che con questo lavoro si propone parte dal modello genetico, ma ha peculiarità distinte e proprie, non necessariamente coincidenti in tutto con il modello di riferimento.

Per la progettazione architettonica parliamo di progetto generativo e di progetto attualizzato.

I due termini scelti non sono casuali, si riferiscono al loro significato.

Per generativo, si sottolinea la capacità di generare propria di questo progetto.

Siamo abituati ad immaginare il progetto come un oggetto determinato, visibile almeno come rappresentazione grafica, in questo caso, la grande rivoluzione consiste proprio nell'impossibilità di visualizzare il progetto in modo convenzionale. Nella fase generativa non abbiamo una soluzione, ma una molteplicità di soluzioni virtuali.

La comprensione di questo significato avverrà nei capitoli successivi, ora è sufficiente avere un'idea approssimativa.

La seconda fase è generata dalla prima. Dalla molteplicità del progetto generativo si ottiene una soluzione specifica, il progetto attualizzato, attraverso particolari operazioni di

determinazione. Nello stabilire il valore peculiare di alcuni caratteri, si compie un'attualizzazione, e qui il termine viene preso dalla filosofia, che pure accompagna definisce in modo eccellente questi nuovi significati.

La singolarità del progetto attualizzato e la possibilità di avere una molteplicità di soluzioni singolari e uniche da una sola radice progettuale è uno dei punti di forza della progettazione parametrica.

Capitolo 4 - Gli strumenti delle fasi del processo progettuale biomimetico sistemico

4.1 Le ragioni di un processo progettuale sistemico in due fasi

La definizione di due fasi del processo progettuale, quella generativa e quella attualizzata, ha radici ideologiche profonde che partono da profondi concetti filosofici, oltre che da evidenti riscontri scientifico-biologici.

Nella cultura occidentale, il primo indizio sulla possibilità di un approccio diverso dall'opinione dominante creazionistica lo troviamo nel XVII secolo negli scritti del filosofo olandese Baruch Spinoza, secondo cui *“le risorse coinvolte nella genesi della forma non sono trascendenti ma immanenti nella materia stessa”*.⁵⁷ Questo pensiero è in vivace contrasto con millenni di opinioni opposte da parte del pensiero filosofico occidentale, che propone una concezione della materia come un ricettacolo inerte per le forme che provengono dall'esterno. In altre parole, la genesi di forma e struttura sembra coinvolgere sempre risorse che vanno oltre le capacità del substrato materiale di queste forme e strutture. In alcuni casi, queste risorse sono esplicitamente trascendentali, essenze eterne che definiscono le forme, che poi sono imposte su materiali sterili. L'esempio più chiaro di questa teoria della forma è il creazionismo religioso, in cui la forma inizia come un'idea nella mente di Dio, ed è quindi imposta dal comando divino su una materia ubbidiente e docile.

Esistono anche altri esempi. Nelle filosofie antiche, le “essenze” di Aristotele sembrano coerenti con questo modello, così come gli abitanti dei cieli platonici. E anche se la fisica classica ha iniziato con un taglio netto con la filosofia aristotelica, e ha dato alla materia un comportamento spontaneo (ad esempio l'inerzia), ha ridotto la variabilità e la ricchezza di espressione materiale al concetto di massa, e ha studiato solo i sistemi di materia semplice (le dinamiche planetarie senza attrito, i gas ideali) dove non occorre la generazione di forme spontanee, quindi mantenendo sempre la possibilità di qualche forza trascendente nascosta.⁵⁸

Se il pensiero di Spinoza comprende i primi dubbi sulle teorie creazionistiche, è sicuramente la ricerca e lo studio di Charles Darwin, che ha creato la prima grande frattura con il pensiero creazionistico dominante, aprendo la strada per una concezione generativa ad oggi in fase di definizione.

In sintesi, i punti principali su cui è basata la teoria evuzionistica di Darwin sono: variabilità dei caratteri, eredità dei caratteri innati, adattamento all'ambiente, lotta per la sopravvivenza, selezione naturale ed isolamento geografico.⁵⁹

Partendo dal presupposto dell'ereditarietà di alcuni caratteri e della loro variabilità (ovvero della possibilità di mutazioni spontanee), Darwin elabora la sua teoria. Gli individui di una popolazione sono in competizione fra loro per le risorse naturali; in questa lotta per la sopravvivenza, l'ambiente opera una selezione, detta selezione naturale. Con la selezione naturale sono eliminati gli individui meno adatti, cioè quelli che, per le loro caratteristiche sono meno predisposti a sopravvivere a determinate condizioni ambientali; solo i più adeguati sopravvivono e trasmettono i loro caratteri alla prole. In questi termini si tratta di una lotta per la sopravvivenza. Fondamentali sono le mutazioni spontanee, queste infatti, assicurano una variabilità alla trasmissione dei caratteri, che risulta vantaggiosa in tempi di

⁵⁷ De Landa, M., *Deleuze and the genesis of form*, Universitätsverlag WINTER GmbH 2000

⁵⁸ *ibid.*

⁵⁹ Darwin, Charles (1859), *L'origine delle specie*, Rizzoli, Milano 2009

cambiamenti ambientali, perché se i caratteri mutati risultano più efficaci di quelli comuni, danno una possibilità di sopravvivenza alla specie nel nuovo ambiente. In questo modo si comprendono i meccanismi con cui una specie mutata nel tempo, ovvero si evolve in funzione dei fattori ambientali. L'evoluzione è tanto più rapida quanto più è grande l'isolamento geografico. Questa è solo una rapida sintesi delle teorie di Darwin, che hanno rivoluzionato il sapere in questo campo.

L'interesse scientifico nei riguardi degli studi di Darwin fu da subito vivace.

Il suo lavoro di ricerca, frutto di anni di studi ed osservazioni sugli organismi viventi, contiene delle intuizioni che ancora oggi sono alla base della moderna genetica.

Tra le ultime innovazioni in quest'ambito di grande rilievo è la teoria dell'Evo Devo (Evolution Development – Evoluzione Sviluppo) di Sean B. Carroll.

Nel libro *“Endless forms most beautiful”*, Carroll racconta i meccanismi dell'evoluzione e dello sviluppo degli organismi viventi, svelando processi affascinanti. La sua teoria che, com'è evidente, parte dai capisaldi della teoria dell'Evolution di Darwin, con studi e sperimentazioni sugli organismi, dai più semplici ai più complessi, illustra tutti i meccanismi oggi conosciuti sul progetto della vita. Senza addentrarci troppo su argomenti così distanti dall'architettura, riportiamo una considerazione fondamentale per questa tesi: il progetto di ogni organismo vivente è il risultato di un incalzante rapporto tra l'ambiente e le qualità della materia di cui è composto.

Come già intuito dai filosofi, la materia è ricca di peculiarità preesistenti alla composizione della forma, o più coerentemente con l'ambito biologico, alla generazione degli organismi viventi. Le qualità della materia sono letteralmente accese o spente con tempi, ritmi e durate tali da formare la generazione di un organismo. In questo modo non basta più analizzare il corredo genetico di un essere vivente, è necessario conoscere anche il “programma” con cui lavorano i geni, che ricordiamo, sintetizzano proteine.

Questa sequenza di *switch on – switch off* è il progetto della vita, e in biologia rappresenta quella parte oscura del DNA, che fino a poco tempo fa veniva considerato “spazzatura”, ma che invece risulta essere il principio base del funzionamento dei meccanismi della vita.

Per questo motivo, nonostante tra l'uomo e il topo ci sia una lieve differenza nel tipo e nella quantità di geni, di fatto la diversità tra i due organismi è grande.⁶⁰ Possiamo immaginare il corredo genetico come i tasti di un pianoforte che sono strumento necessario per generare una melodia, ma non sufficiente, è lo spartito che fa la differenza tra un motivo musicale e l'altro, e lo spartito corrisponde appunto a quelle parti del DNA che racchiude le informazioni d'uso dei geni, ovvero quella serie di dati che accendono e spengono il funzionamento dei gruppi genetici, capaci di generare gli organismi.

La concezione di una materia immanente, ovvero già provvista di caratteri, e la necessità di un processo generativo che accompagni e allo stesso tempo segua la materia stessa, sembra il primo passo verso un nuovo modello di comprensione del reale e quindi anche un nuovo modello possibile per l'ambito progettuale.

L'argomento è molto caro al filosofo francese Deleuze: è appunto a lui che si deve la valorizzazione del pensiero di Spinoza e a profonde riflessioni in merito alle proprietà immanenti della materia. Gli studi di Deleuze sono stati poi ripresi e approfonditi da De Landa, in un filone che vede la filosofia aprirsi e contaminarsi con altre discipline. Infatti, in questo caso appare chiaro come le scienze siano di grande supporto al pensiero filosofico, ma anche come la ricaduta teorica di questi modelli filosofici risulti di grande aiuto per un

⁶⁰ Carroll, S. B., *Endless forms most beautiful*, ed. Quercus, London 2006

nuovo approccio della progettazione architettonica. Entrambi i filosofi manifestano in più scritti questa multidisciplinarietà.

Ecco quindi che Deleuze, oltre ad affidarsi alle speculazioni filosofiche e all'approfondimento del pensiero di suoi illustri predecessori, tra cui, come si è visto, Spinoza, elabora con disinvoltura alcuni aspetti propri della fisica e della chimica per spiegare il concetto di una materia con proprietà immanenti.

Un esempio. *"Il tipo più semplice di risorsa immanente per la morfogenesi sembra essere quello degli stati stabili endogeno-generati. Storicamente, il primo di questi stati ad essere scoperti dagli scienziati che studiano il comportamento della materia (gas) è quello degli stati minimi di energia (o corrispondentemente, di massima entropia). La forma sferica di una bolla di sapone, per esempio, emerge dalle interazioni tra le sue molecole costituenti giacché queste sono costrette energeticamente a "cercare" il punto in cui la tensione superficiale è ridotta al minimo. In questo caso, non si tratta di un'essenza di "bolla di sapone" che in qualche modo si impone dall'esterno, una forma geometrica ideale (una sfera) che elabora un insieme di molecole inerti. Piuttosto, una forma topologica endogena (un punto nello spazio delle possibilità energetiche per questo assemblaggio molecolare) governa il comportamento collettivo delle singole molecole di sapone, e provoca la comparsa di una forma sferica. Inoltre, la stessa forma topologica, lo stesso punto di minimo, può guidare i processi che generano molte altre forme geometriche. Ad esempio, se invece delle molecole di sapone abbiamo i componenti atomici di un cristallo di sale comune, la forma che emerge dalla minimizzazione dell'energia (energia di legame in questo caso) è un cubo. In altre parole, una stessa forma topologica può guidare la morfogenesi di una varietà di forme geometriche. Un punto simile vale per le altre forme topologiche che abitano questi spazi delle possibilità energetiche. Ad esempio, questi spazi possono contenere circuiti chiusi (tecnicamente chiamati "cicli limite" o "attrattori periodici"). In questo caso le diverse possibili esemplificazioni fisiche di questo spazio avranno tutte un comportamento isomorfo: una tendenza endogenetica generata da oscillazioni stabili. Sia che si tratti di una struttura socio-tecnologica (ad esempio un trasmettitore radio o una macchina radar), di una biologica (un metabolismo ciclico), o di una fisica (una cella di convezione nell'atmosfera), è sempre la stessa risorsa immanente coinvolta in diversi comportamenti di oscillazione."*⁶¹

Altre fonti sulla topologia la definiscono come una branca della matematica che studia le proprietà delle figure geometriche generate sotto continue trasformazioni. Due figure sono topologicamente equivalenti se possono essere ottenute una dall'altra curvando o stirando la sua superficie senza tagli o pieghe.

Di conseguenza - come Antonio Juárez osserva nel saggio su Le Ricolais - *"la topologia è stata definita la geometria del foglio di gomma, perché su di esso, un quadrato è trasformabile in un cerchio, e una sfera è equivalente a un cubo, ma non a un anello. Le idee di aperto, chiuso, collegato, non collegato sono al centro di questa disciplina"*.⁶²

La topologia studia le proprietà di oggetti indipendentemente dalla loro dimensione e forma. Si tratta di proprietà che non hanno alcun grandezza. Studia tutte le forme possibili e immaginabili - astratte, multi-dimensionali - in termini di continuità, allungamento e compressione. La topologia geometrica è temporale, al contrario della geometria euclidea, in

⁶¹ De Landa, M., *Deleuze and the genesis of form*, Universitätsverlag WINTER GmbH 2000

⁶² AA.VV., *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture: City, Technology and Society in the Information Age*, Actar, New York 2002

cui ogni forma è l'ombra di un ideale matematico immutabile. La topologia tratta il cambiamento e l'evoluzione delle forme come caratteristiche essenziali della loro comprensione e classificazione. Mentre la geometria classica parla di lati e vertici, e osserva ogni elemento isolato, la topologia parla di buchi, e ritiene che il collegamento tra gli oggetti sia più importante degli oggetti stessi.⁶³

Il pensiero topologico è in opposizione al pensiero tipologico. La differenza tra il pensiero tipologico e topologico può essere approssimativamente riassunta come la differenza tra il pensare in termini di entità (tipologia) e il pensare in termini di relazioni che definiscono uno spazio di possibili entità (topologia), come nell'esempio delle bolle di sapone: dove i tipologi vedono bolle di diverse forme e dimensioni, i topologi vedono una relazione tra molecole di sapone minimizzate dalla tensione superficiale, e la stessa regola descrive uno spazio di entità potenziali che comprende molte forme diverse che vanno dalle bolle ai cristalli.⁶⁴

La capacità delle forme topologiche di dare origine a molte diverse istanze fisiche è un punto cruciale nella filosofia di Deleuze, egli la chiama un processo di "attualizzazione divergente", prendendo l'idea dal filosofo francese Henri Bergson che, a cavallo del secolo, ha scritto una serie di testi in cui ha criticato l'incapacità della scienza del suo tempo di pensare al nuovo.

Il primo ostacolo è stato, secondo Bergson, una visione meccanico-lineare che implicava un rigido determinismo causa-effetto.

Chiaramente, se tutto il futuro è già dato in passato, se il futuro è semplicemente quella modalità di tempo in cui diventano realizzate le possibilità precedentemente determinate, allora una vera innovazione è impossibile.

Per evitare questo errore, pensò, dobbiamo lottare per modellare il futuro come realmente aperto e indeterminato, e il passato e il presente come in stato di gravidanza, non solo con possibilità che diventano reali, ma con virtualità che diventano reali.

La distinzione tra il possibile e il reale, assume una serie di forme predefinite (o essenze) che acquisiscono realtà fisica come forme materiali che ricordano le forme predefinite. Dal punto di vista morfogenetico, realizzare una possibilità non aggiunge nulla a un modulo predefinito, se non la realtà. La distinzione tra il virtuale e il reale, d'altra parte, non comporta somiglianza di qualsiasi tipo (ad esempio, nel caso delle bolle di sapone e del sale, in cui un punto topologico diventa una sfera o un cubo) e lontano dal costituire l'identità essenziale di una forma, sovverte l'identità, dal momento che forme così diversi come sfere e cubi emergono dallo stesso punto topologico.

Per citare ancora Deleuze: *"Il processo di attualizzazione si allontana dalla somiglianza non meno di quanto si allontana dall'identità come principio. In questo senso, l'attualizzazione, o la differenziazione, è sempre una vera creazione."*⁶⁵

E Deleuze va a discutere processi di realizzazione più complessi di bolle o cristalli, processi come quello dell'embriogenesi, lo sviluppo di un organismo completamente differenziato a partire da una singola cellula. In questo caso, lo spazio delle possibilità energetiche è più elaborato, coinvolgendo molte forme topologiche che regolano complessi dinamismi spazio-temporali:

⁶³ AA.VV., *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture: City, Technology and Society in the Information Age*, Actar, New York 2002

⁶⁴ Curti, C., *Material(ism) for Architects: a Conversation with Manuel De Landa*

(<http://www.cluster.eu/2010/10/08/materialism-for-architects-a-conversation-with-manuel-delanda/>)

⁶⁵ Deleuze, G. (1968), *Difference and Repetition*, Columbia University Press, New York 1994

*"Come accade l'attualizzazione nelle cose di per se stesse? ... Sotto le qualità reali e le estensività [delle cose stesse] ci sono dinamismi spazio-temporali. Questi devono essere indagati in tutti i campi, anche se sono nascosti dalle qualità costituite e dalle estensività. L'embriologia dimostra che la divisione dell'uovo è secondaria rispetto ai più significativi movimenti morfogenetici: l'aumento di superfici libere, formati dall'estensione di strati cellulari, la creazione dalle piegature (folding), lo spostamento regionale dei gruppi. Appare un intero cinematismo dell'uovo che implica una dinamica."*⁶⁶

Il concetto di *folding* è probabilmente la nozione filosofica più congruente con la pratica progettuale architettonica.

E' importante comprendere ed accettare la teoria del *folding* di Deleuze per realizzare appieno il suo potenziale nel discorso architettonico.

Il *folding* è la piega, e questa ha valore e significato solo in un contesto topologico, dove la relazione tra le parti, e non la forma, è il principio base di riferimento.

*"La piega è la topologia generale del pensiero ... lo spazio 'dentro' è topologicamente in contatto con lo spazio 'fuori' ... e porta i due in confronto al limite del vivere presente"*⁶⁷

*"Un flusso dall'esterno all'interno, attraverso diverse scale e indipendente dalla distanza, dove nulla è fisso, ma in costante cambiamento. Così, un edificio non è uno spazio e un sito ma molti spazi piegati in molti siti. L'architettura è concepita dove c'è una piegatura di spazio in altri spazi. Una molteplicità dove tutto è sempre letto e riletto, ma non lo vediamo mai nella sua interezza. E' una lettura dello spazio come intensità variabile di movimento"*⁶⁸.

Si passa da un concetto cartesiano dello spazio, basato su un complesso sistema di distanze, ad uno spazio di *"profondità indefinita da cui irrompe qualcosa che crea un proprio spazio e tempo"*⁶⁹

*"Le diverse pieghe creano una sfocatura di interno/esterno, pieno/vuoto e lo spazio per soglie di spazio; è una riconcettualizzazione delle nozioni tradizionali architettoniche di connessioni spaziali e separazioni. All'interno del folding, la concezione architettonica convenzionale di adiacenze spaziali (il diagrammi modernista di 'bolla' dello spazio di allocazione) è messa in discussione, così essa è resa non più con la ripetizione in sé, ma con una ripetizione delle differenze. Lo spazio è concepito, sviluppato e realizzato con un'esperienza di variazioni invece che con un'esperienza di identità, caratteristica del modo architettonico tradizionale."*⁷⁰

Il *folding*, non deve essere visto come un dispositivo tecnico, ma come un'ontologia del divenire, della molteplicità, di una differenziazione che tuttavia non nega la continuità.⁷¹

Queste sono nozioni complesse, ma fondamentali per apprezzare il valore teorico dei cambiamenti pratici che stanno interessando il progetto architettonico.

Il *folding* non può essere considerato come un evento unico, ma piuttosto come una popolazione di molti *foldings*.

Anche il concetto contrario, l'*unfolding*, non è da intendersi semplicemente come suo opposto, ma piuttosto come ciò che viene dopo la piega fino a quella seguente. È di per sé un multiplo della piega.

⁶⁶ De Landa, M., *Deleuze and the genesis of form*, Universitätsverlag WINTER GmbH 2000

⁶⁷ Deleuze, G., *Foucault*, University of Minnesota Press, 2000 p. 118-19

⁶⁸ Krissel, M., *Gilles Deleuze, the architecture of space and the fold*

⁶⁹ Rajchman, J. *Constructions*. MIT press, 1998 p. 16

⁷⁰ Krissel, M. *Gilles Deleuze, the architecture of space and the fold*

⁷¹ *ibid.*

*"Così un labirinto continuo non è una linea che si dissolve in punti indipendenti, come la sabbia che scorre potrebbe dissolversi in grani, ma assomiglia a un foglio di carta diviso in pieghe infinite o separato in movimenti di flessione, ciascuno determinato dal circostante consistente o cospirante ... Una Piegatura è sempre raccolta all'interno di una piega, come una caverna in una caverna. L'unità di materia, il più piccolo Elemento del labirinto, è la Piegatura, non il punto che non è mai una parte, ma una semplice estremità della linea ."*⁷²

In "Differenza e ripetizione", Deleuze fa ripetutamente uso di "spazi di possibilità energetiche" (tecnicamente denominati come "spazi di stato" o "spazi di fase"), e delle forme topologiche (o "singolarità") che caratterizzano questi spazi. Il concetto di "spazio delle fasi" e quello di "singolarità" appartengono alla matematica, pertanto è evidente che una componente fondamentale del pensiero di Deleuze viene dalla filosofia della matematica. D'altra parte, visto che "spazi di fase" e "singolarità" diventano fisicamente significativi solo in relazione ai sistemi di materiali che sono attraversati da un forte flusso di energia, la filosofia di Deleuze è intimamente legata anche a quella branca della fisica che si occupa di materiali e flussi energetici, ovvero, di termodinamica. Il filosofo introduce un concetto, quello dell'intensità, o per meglio dire differenza di intensità, che diventerà la più importante chiave di interpretazione dell'attualizzazione delle forme:

*"Differenza non è diversità. La diversità è data, ma la differenza è quella per cui il dato è dato ... differenza non è fenomeno ma il noumenon vicino al fenomeno ... Ogni fenomeno si riferisce ad una disuguaglianza con cui è condizionata ... Tutto ciò che accade e tutto ciò che appare è correlato con gli ordini di differenze: differenze di livello, temperatura, pressione, tensione, potenziale, differenza di intensità".*⁷³

Per comprendere l'importanza della posizione del filosofo francese è bene chiarire il pensiero filosofico prevalente degli ultimi tempi.

È consuetudine, dopo Kant, distinguere tra il mondo come appare a noi umani, cioè, il mondo dei fenomeni o dell'apparenza, e il mondo come esiste di per sé, indipendentemente dal fatto che vi è un osservatore umano per interagire con esso. Questo mondo "in sé" si riferisce al *nuoumenon*.

Un gran numero di pensatori contemporanei, in particolare quelli che si definiscono "postmoderni", non credono nel *noumenon*. Per loro il mondo è costruzione sociale, di conseguenza, tutto ciò che contiene è un fenomeno di definizione linguistica. Si noti che, anche se molti di questi pensatori si dichiarano "anti-essenzialisti", condividono con l'essenzialismo la visione della materia come di un materiale inerte, solo che nel loro caso la forma non proviene da un paradiso platonico, o dalla mente di Dio, ma dalle menti degli esseri umani (o da convenzioni culturali linguistiche). Il mondo è amorfo, e viene definito in forme dall'uso del linguaggio. Niente potrebbe essere più lontano dal pensiero deleuziano che questo relativismo linguistico postmoderno. Deleuze è davvero un filosofo realista, che crede non solo nell'esistenza autonoma di forme reali (le forme di rocce, piante, animali e così via), ma anche nell'esistenza di forme virtuali.

Per spiegare il concetto d'intensità come principio della morfogenesi, De Landa propone un esempio familiare dalla termodinamica. Se si crea un contenitore separato in due scomparti, e si riempie uno scomparto con aria fredda e l'altro con aria calda, si crea così un sistema che incorpora una differenza di intensità, l'intensità in questo caso è la temperatura. Se poi si

⁷² Deleuze, G., *The Fold-Leibniz and the Baroque: The Pleats of Matter*. Architectural Design Profile No.102: Folding in Architecture

⁷³ Deleuze, G. (1968), *Difference and Repetition*, Columbia University Press, New York 1994

apre un piccolo foro nella parete che divide i compartimenti, la differenza d'intensità provoca l'insorgenza di un flusso spontaneo di aria da un lato all'altro. È in questo senso che le differenze d'intensità sono morfogenetiche, anche se in questo caso la forma che emerge è troppo semplice.

Per tornare nuovamente all'esempio dello sviluppo dell'embrione, il DNA, che governa il processo, non contiene, come un tempo si credeva, un modello per la generazione della forma finale dell'organismo, un'idea che implica una materia inerte alla quale i geni danno forma dal di fuori. In questo punto la filosofia si avvicina alle scienze genetiche e adotta la moderna comprensione del processo genetico, che immagina i geni intervenire su una materia attiva, cioè la funzione dei geni e i loro prodotti ora sono visti solamente come un contrasto o un'agevolazione della varietà dei processi materiali, lontano da quella "zona di equilibrio costante", in cui la forma emerge spontaneamente.

Matematica, fisica, genetica o in modo più ampio, biologia: la filosofia di Deleuze e De Landa diventa un quadro ampio che interpreta il reale attraverso i risultati delle scienze e questa visione ampia e multidisciplinare ricade sui significati e sulle regole che governano il progetto dell'architettura.

Deleuze propone altri concetti fondamentali che chiariscono la sua visione dei processi generativi della forma.

*"...la forma del prodotto finale (un cavallo reale, uccello o uomo) non ha specifiche di lunghezza, aree e volumi, il progetto del corpo non può assolutamente essere definito in questi termini, ma deve essere abbastanza astratto per essere compatibile con una miriade di combinazioni, una grande quantità"*⁷⁴: questa è l'idea un diagramma astratto, o di una molteplicità virtuale⁷⁵, per capire quanto l'osservazione dei meccanismi biologici hanno influito nella definizione di questo modello, riportiamo altri termini, con accezioni simili, usati dal filosofo: "Vertebrato Astratto", "Body Plan"⁷⁶.

Bisogna pensare in termini di population, l'idea è che, nonostante il fatto che una forma evoluta si manifesti in organismi individuali, è la popolazione non l'individuo la matrice per la produzione della forma. L'architettura di un determinato animale o vegetale evolve lentamente come i geni si propagano in una popolazione, a velocità diverse e in tempi diversi, in modo che la nuova forma lentamente sia sintetizzata all'interno della grande comunità riproduttiva.

La lezione per la progettazione informatizzata è semplice: una volta elaborata la relazione tra i geni virtuali e gli elementi virtuali di un edificio progettato a CAD, come appena descritto, un'intera popolazione di tali edifici deve essere liberata all'interno del computer, non solo un paio di loro. L'architetto deve aggiungere alla sequenza di operazioni CAD punti in cui possono verificarsi mutazioni spontanee (nell'esempio di una colonna: le proporzioni relative al tratto iniziale, il centro di rotazione, la forma con cui viene eseguita la sottrazione booleana) e poi lasciare che queste istruzioni mutanti si propaghino e interagiscano con la collettività per molte generazioni.⁷⁷

De Landa parla di *universal singular* e *individual singular* o anche di genotipo e fenotipo con chiari riferimenti alla genetica.

⁷⁴ De Landa M. *Deleuze and the use of the genetic Algorithm in architecture*, (<http://www.cddc.vt.edu/host/delanda/pages/algorithm.htm>)

⁷⁵ *ibid.*

⁷⁶ *ibid.*

⁷⁷ *ibid.*

Il genotipo rappresenta la matrice, mentre il fenotipo rappresenta l'individualità singola.⁷⁸ Tutti i casi citati presentano dei meccanismi ricorrenti, in cui c'è un disegno o progetto virtuale generale e poi un risultato reale e unico.

Il termine virtuale, spesso utilizzato per definire semplicemente uno spazio digitale, qui “*qui ci si riferisce ad uno schema astratto che ha la possibilità di essere attualizzato, spesso in una varietà di possibili configurazioni*”⁷⁹

Nell'ambito di questa tesi, il momento del processo progettuale definito generativo, affonda le sue radici nei concetti appena proposti. Si tratta quindi, di un modello virtuale del progetto, che include in sé una molteplicità di possibilità, che solo nel momento della definizione reale verranno espressi nella singolarità individuale. A definire i caratteri reali e specifici per ogni individualità progettuale saranno i parametri locali di riferimento assieme ai dati peculiari dei materiali, quindi parliamo di dati esogeni ed endogeni.

4.2 Dall'osservazione alla comprensione della complessità

La filosofia guida la comprensione del reale in termini teorici, prevalentemente deduttivi. Per lo studio dei processi generativi appena trattati si parte da un'intuizione fondamentale, ovvero una materia immanente e si prosegue con una verifica della tesi data con riscontri nel mondo reale. Tutta la comprensione dei meccanismi generativi avviene tramite speculazione teorica. I risultati biologici e principalmente genetici, confermano alcune conclusioni determinanti raggiunte dalle speculazioni teoriche, ma solo alla conclusione della definizione del pensiero.

I discorsi trattati esprimono concetti nuovi e spesso di non immediata comprensione.

Si propone adesso un percorso diverso da quello appena affrontato che può aiutare a comprendere la complessità della genesi di forme e organismi.

Questa volta non si parte da un concetto, ma dall'osservazione diretta della natura e delle sue manifestazioni, con un approccio induttivo. Da qui si segue con le teorie che ne sono derivate.

Si tenta di approfondire la comprensione dei meccanismi complessi che sono alla base della vita.

⁷⁸ Allen, S. *From Object to Field*, in AD Profile n. 127, Maggio-Giugno 1997, pp.24-31

⁷⁹ Lynn, G., *Animate Form*, in Oxman, R., Oxman R. *Theoris of the Digital in Architecture* ed. Routledge New York, 2014

4.2.1 Pattern e Morfogenesi



Figura 60 - Esempi di pattern naturali

Le immagini proposte si possono definire con un unico termine: *pattern*.
Facciamo delle osservazioni.

I *pattern* proposti sono di origine biologica, ma anche di origine non biologica, tuttavia sono tutti naturali.

*“I Pattern naturali sembrano avere una palette relativamente limitata, anche nei sistemi che apparentemente non hanno nulla in comune gli uni con gli altri.”*⁸⁰

Le manifestazioni più comuni sono rappresentate da esagoni, strisce, onde, rami organizzati gerarchicamente, elementi periodici, forme frattali, spirali. Con una definizione più ampia possiamo dire che i *pattern* sono una sequenza nello spazio e nel tempo in cui l'informazione è registrata.

Queste strutture le ritroviamo in ambiti molto distanti gli uni dagli altri, e possiamo ipotizzare che si siano generate senza interferenze.

Allora cosa c'è alla base della loro composizione?

Philip Ball così spiega il fenomeno: *“in principio, questa regolarità in natura fu presa come l'evidenza della mano guida di Dio. Oggi noi sappiamo che non è necessario un agente intelligente per creare i pattern che appaiono profusamente in entrambi i regni, quello organico e quello inorganico.”*⁸¹

Lo studio del fenomeno non si limita all'osservazione di queste sequenze ritmiche, ma si dedica ai meccanismi che li generano. E' proprio l'indagine sulla genesi, le teorie e le sperimentazioni che ne conseguono la parte più interessante dello studio dei *pattern*, anche in relazione all'uso che le moderne tecnologie possono farne, in funzione della progettazione architettonica, nel nostro caso. Se approfondiamo l'argomento, vediamo che *“questi insiemi ordinati di elementi emergono spontaneamente dall'interazione tra i loro molteplici componenti, ci sono reagenti chimici che interagiscono e piccole particelle diffuse o molecole che si organizzano in gruppi, fessure che si propagano, granelli di sabbia mossi dal vento o liquidi che scorrono. Tali modelli si dicono auto-organizzati. Il loro studio scientifico comprende un aspetto della ricerca sui cosiddetti sistemi complessi, che mostrano in genere comportamenti emergenti che non possono essere dedotti o previsti da una particolare attenzione per le proprietà dei singoli elementi.”*⁸²

I primi contributi sistemici in merito alla comprensione della genesi di questo fenomeno li troviamo negli studi dello zoologo scozzese D'Arcy Thompson, che raccolse insieme *pattern* e forme della natura in una sintesi tra biologia, storia naturale, matematica, fisica e ingegneria. Thompson dedusse che sia nel mondo biologico che in quello inorganico, la formazione dei *pattern* non è un evento statico, ma emerge dalla crescita: ogni cosa è quello che è perché ha trovato quella via.⁸³

⁸⁰ Ball, P., *Pattern formation in nature: physical constraints and self-organising characteristics* in *Material Computation*, AD Architectural Design n. 216, guest-edited by Achim Menges p. 23. “Natural patterns seem to come from a relatively limited palette, even in system that might seem to have nothing at all in common with on another.”

⁸¹ Ball, P., *Pattern formation in nature: physical constraints and self-organising characteristics* in *Material Computation*, AD Architectural Design n. 216, guest-edited by Achim Menges p. 23 “in earlier time, such regularity in nature was taken as evidence of God's guiding hand. We now know that no intelligent agency is needed to create the patterns that appear profusely in both the living and inorganic natural world.”

⁸² Ball, P., *Pattern formation in nature: physical constraints and self-organising characteristics* in *Material Computation*, AD Architectural Design n. 216, guest-edited by Achim Menges p. 23 “These organised arrays of elements arise spontaneously from the interactions between their many component parts, whether these are chemical reagents that react and diffuse, small particles or molecules that cohere into clusters, propagating cracks, wind-blown sand grains or flowing liquids. Such patterns are said to be self-organised. Their scientific study comprises one aspect of research into so-called complex system, which typically show emergent behaviours that cannot be deduced or predicted by a focus on the properties of the individual elements.”

⁸³ Thompson D'Arcy, W., *On Growth and Form*, ed. Cambridge University, Cambridge 1917

Lo zoologo scozzese comprese che le limitazioni e le possibilità imposte dalle forze fisiche (inclusi i processi chimici) agiscono sulla crescita degli organismi.

Ball, riassumendo le attuali conoscenze scientifiche in questo campo, esprime il fenomeno con analogie matematiche e con regole che governano la formazione dei *pattern*, dove queste regole sono espresse in termini di equazioni continue che descrivono la diffusione e il trasporto del materiale, o che agiscono come interazioni locali tra i componenti.

Non c'è una teoria universale della formazione dei *pattern* in natura. Tuttavia è possibile riscontrare molti principi comuni, come l'universalità di certe forme base e l'importanza dei processi di crescita in non-equilibrio, la relazione tra forze in conflitto tra loro, e l'esistenza di una forma limite che guida le forze e produce cambiamenti globali nei *pattern*.⁸⁴

Questi sistemi auto-generati dalle interazioni delle sue parti, con un meccanismo che parte dal basso, non sono esclusivi del mondo naturale propriamente detto. Anche nei nostri sistemi artificiali si creano le condizioni per l'emergenza dei *pattern*. Esempi sono i flussi di traffico, o il quasi-periodico ciclo nel sistema economico.⁸⁵ Un caso emblematico è la composizione della città di Manchester. La piccola cittadina inglese rimase per secoli subordinata alla vicina Salford. La rivoluzione industriale produsse dei grandi e repentini cambiamenti nella cittadina, che letteralmente esplose sotto la spinta demografica degli operai e a seguito del moltiplicarsi delle industrie. La città si ampliò senza un piano, tuttavia, era possibile osservare delle logiche nella composizione del nuovo assetto, logiche che tentavano in ogni modo di nascondere le atrocità dei quartieri industriali. Si era creato un cordone di separazione tra la zona industriale e il resto della città. Le osservazioni di questo strano ordine sono sapientemente raccolte e descritte da un giovane Friederich Engels in "The condition of the working class in England".⁸⁶

*"Compresi in un senso molto più astratto, quelli che Engels osservò sono i pattern nel panorama urbano, visibili perché hanno una struttura ripetuta che li distingue dal comune rumore che si associa naturalmente ad una città non pianificata."*⁸⁷

Un grande contributo nella comprensione delle leggi che governano la formazione dei *pattern* è dato dagli studi di Alan Turing.

Turing si dedicò ai processi chimici e con lui ebbe inizio la morfogenesi. *"La Morfogenesi è il fondamento teorico e il corpo di conoscenze relative all'evoluzione della struttura di un organismo nei fenomeni naturali"*.⁸⁸

Nella formazione dei *pattern* di origine chimica, Turing identificò due tipi di sostanze morfogeniche, entrambe diffuse attraverso il sistema.

Una, l'attivatore, genera la forma. La seconda sostanza interferisce con l'attivatore: in altre parole è un inibitore. I *pattern* stazionari emergono se gli inibitori si diffondono più velocemente degli attivatori.

⁸⁴ Ball, P., *Pattern formation in nature: physical constraints and self-organising characteristics* in *Material Computation*, AD Architectural Design n. 216, guest-edited by Achim Menges p. 24

⁸⁵ *ivi* p. 23

⁸⁶ cit. in Johnson, S. *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities*. Scribner, New York 2001

⁸⁷ Johnson, S. *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities*. Scribner, New York 2001 p. 40 *"Understood in the most abstract sense, what Engles observed are patterns in the urban landscape, visible because they have a repeated structure that distinguishes them from the pure noise you might naturally associate with an unplanned city."*

⁸⁸ Oxman, R. – Oxman, R., *Morphogenesis, Bio-inspired Evolutionary Design* in Oxman, R., Oxman, R. *Theoris of the Digital in Architecture* ed. Routledge New York, 2014,

Il modello di Turing produce due particolari tipi di *pattern*, quello maculato e quello a strisce. Le sue teorie, nate negli anni '50, furono verificate solo negli anni '90, in seguito a specifici esperimenti.

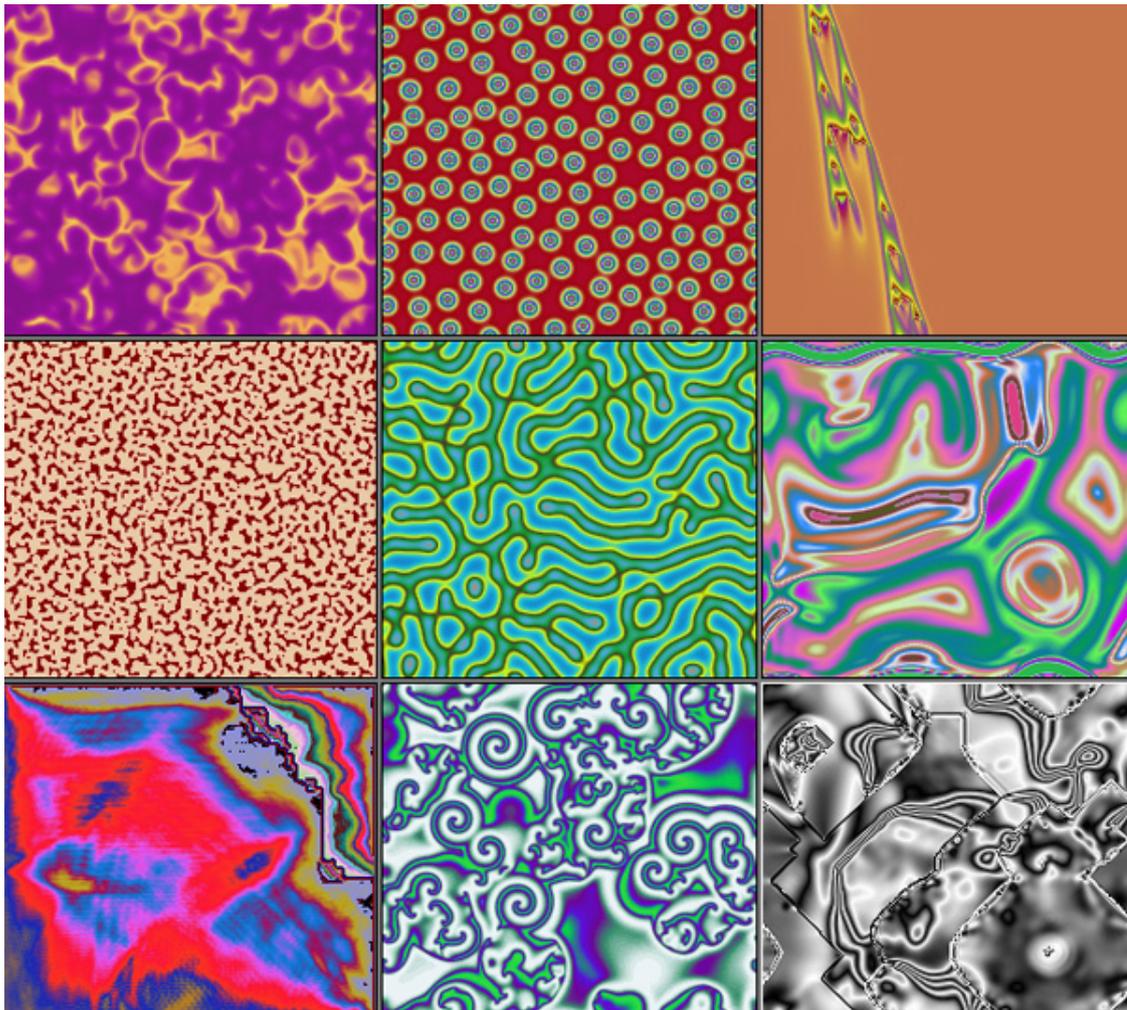


Figura 61 - Esempi di pattern chimici

In sintesi, con i *pattern* identifichiamo forme con specifiche strutture, magari ricorrenti, periodiche, in ogni caso tali da far presupporre una qualche legge che li governa. Queste forme sono di fatto dei sistemi visibili. La composizione in una forma concreta, tuttavia, è solo una circostanza, è solo una manifestazione di un fenomeno. L'evento in sé, basato su "migliaia di individui e poche semplici regole di interazione"⁸⁹ non è esclusivo della genesi dei *pattern*, ma appartiene anche a quella di altri fenomeni, tra cui uno di grande interesse chiamato *swarm intelligence*.

4.2.2 Intelligenza degli swarm

Swarm significa sciame, ed infatti la sua manifestazione più emblematica è quella degli sciami di api, che visti volare insieme nel cielo sembrano, più che un insieme di tanti piccoli individui, un organismo coerente e compatto nelle sue parti.

Se osserviamo con attenzione il comportamento dello sciame, vediamo che la repentina reazione ai pericoli, o anche solo la sequenza di movimenti, sembrano dettati da un'unica volontà e non dall'interazione di centinaia di piccole api. La cosa più interessante è che, non solo i movimenti delle singole api sono coerenti alla definizione di un movimento unico

⁸⁹ Johnson, S. *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities*, Scribner, New York 2001

globale, ma le logiche, le intenzioni e risultati di questi movimenti, dimostrano un'intelligenza, ovvero sono funzionali a svolgere determinati compiti, quello della salvaguardia dai pericoli ad esempio, ma anche quello della ricerca di nuovi territori per la raccolta del cibo.

L'intelligenza degli *swarm* non è esclusiva degli sciami di api. Gli stormi, le mandrie, le greggi, i banchi di pesci, e in generale i gruppi composti da un grande numero di individui, hanno comportamenti simili. Questa intelligenza collettiva non si limita ai movimenti coerenti nello spazio, come nell'esempio delle api in volo, ma è riscontrabile in diversi comportamenti, la difesa dal nemico, la raccolta del cibo, la costruzione di un riparo.

Cosa c'è alla base di questa intelligenza collettiva presente in natura? Come le semplici azioni degli individui si sommano al complesso comportamento di un gruppo? Come centinaia di api prendono una decisione critica per il loro alveare se molti di loro non sono d'accordo? Cosa consente ad un banco di aringhe la coordinazione dei movimenti in modo da cambiare direzione precisamente e velocemente, come se fosse un unico, organismo argenteo? Nonostante tali animali singolarmente non colgano il quadro generale, essi contribuiscono al successo del gruppo, queste capacità collettive sembrano miracolose anche per i biologi che li studiano. Eppure nel corso degli ultimi decenni, i ricercatori hanno creato spunti intriganti.⁹⁰

Jhonson, nel suo libro *Emergence*, riporta il caso delle colonie di formiche, osservate per decenni dalla dott.ssa Deborah Gordon. Le formiche non sono organizzate con un sistema centralizzato. Questo è il primo elemento fondamentale nella comprensione delle intelligenze collettive. Tutte le decisioni vengono prese autonomamente dai singoli individui della colonia, eppure il risultato sembra nascere da una decisione ragionata. Gli scienziati descrivono questo fenomeno come un sistema auto-organizzato.⁹¹

Un esempio: nella colonia studiata dalla dott.ssa Gordon c'è un luogo adibito alla discarica dei rifiuti e uno al cimitero delle formiche morte. Ogni formica, autonomamente, ha stabilito quale fosse il luogo più adatto per il cimitero e quale per la discarica solo seguendo una logica istintiva: disporre il cimitero quanto più lontano possibile dalla colonia, ma non vicino alla discarica. Ogni formica ha risolto autonomamente questo problema di geometria, contribuendo alla formazione di una scelta collettiva. Questa è la logica degli *swarm*, che consente ad una colonia di formiche, tra le altre cose, di scegliere la strada più breve per la raccolta del cibo. In questo caso si usano i feromoni come guida: ogni formica al suo passaggio lascia una traccia di feromoni, ormoni a cui le formiche sono sensibili; i percorsi con una maggiore intensità di feromoni sono i più brevi, perché in minor tempo consentono un maggiore passaggio di formiche e quindi una maggiore concentrazione di feromoni; le formiche, scegliendo per istinto il percorso con una maggiore intensità di feromoni, di fatto scelgono il percorso più breve.

Come afferma Jhonson "*Locale è il termine chiave nella comprensione del potere della logica degli swarm. Vediamo un comportamento emergente nei sistemi delle colonie di formiche, quando nel sistema gli individui prestano attenzione ai loro vicini immediati, piuttosto che attendere ordini dall'alto. Pensano localmente e agiscono localmente, ma la loro azione collettiva produce un comportamento globale.*"⁹²

⁹⁰ Miller, P., *The genius of Swarms* (<http://ngm.nationalgeographic.com/2007/07/swarms/miller-text/1>)

⁹¹ *ibid.*

⁹² Johnson, S., *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities*, Scribner, New York 2001, p. 74. "Local turns out to be the key term in understanding the power of swarm logic. We see emergent behavior in systems like ant

Nessuno degli individui ha una visione del quadro generale.
Semplici creature seguono semplici regole, ognuna agisce su informazioni locali.⁹³

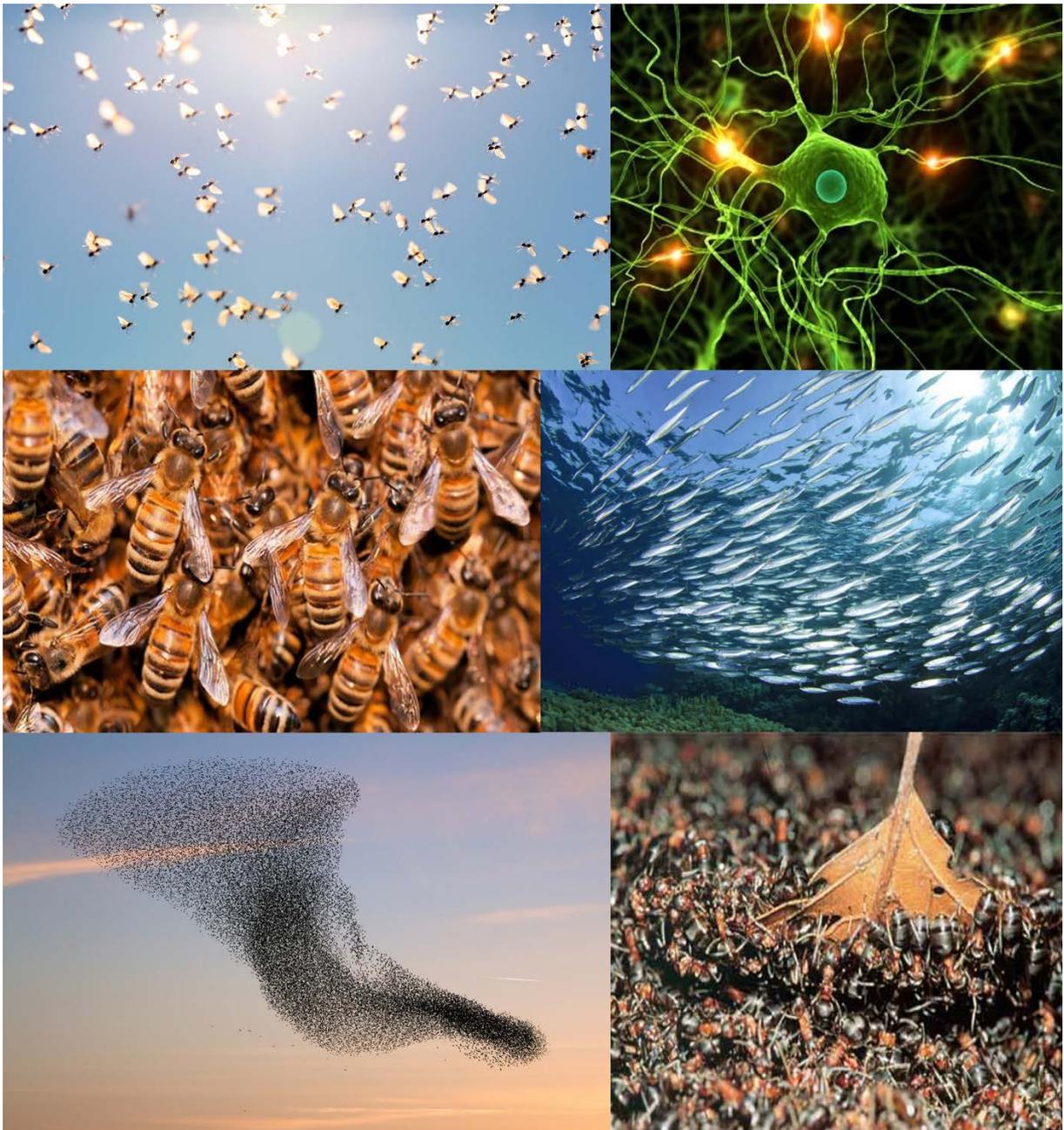


Figura 62 - Esempi di swarms (insetti, neuroni nel cervello umano, sciami d'api, banchi di pesci, stormi di uccelli, colonie di formiche) .

Infatti sia per gli sciami in volo che per la raccolta del cibo, tutto è basato su informazioni locali che gli individui eseguono con grande precisione.

Nel caso degli sciami o degli stormi in volo, o anche dei banchi di pesci in movimento, ogni individuo è attento al comportamento del suo vicino, qui la regola base è di restare non troppo vicino agli individui circostanti, ma non troppo lontano, e nella definizione di queste distanze c'è il segreto della composizione collettiva.

colonies when the individual agents in the system pay attention to their immediate neighbors rather than wait for orders from above. They think locally and act locally, but their collective action produce global behavior."

⁹³ Miller, P., *The genius of Swarms* (<http://ngm.nationalgeographic.com/2007/07/swarms/miller-text/1>)

Inoltre, gli individui ai limiti dello sciame si muovono in funzione degli stimoli esterni, si allontanano dalle fonti di pericolo e si avvicinano alle fonti di cibo o ad altri elementi favorevoli, in questo modo determinano l'inizio dei fenomeni di movimento.

Ritornando al caso delle formiche, come è possibile che queste non commettano errori portando al caos la colonia? Se, come abbiamo detto, ogni formica prende le decisioni autonomamente, com'è possibile che poi il risultato finale sia coerente?

Sempre nel libro di Johnson troviamo un altro esempio sul comportamento delle formiche che spiega questo fenomeno.

"Le formiche individualmente non hanno alcun modo di sapere quanti raccoglitori o costruttori o netturbini sono in servizio in un dato momento, tuttavia queste possono avere un'idea del numero di membri di ciascun gruppo considerando gli incontri fatti durante i loro viaggi quotidiani. Sulla base di queste informazioni - il segnale di feromone in sé e la sua frequenza nel tempo - le formiche possono regolare il proprio comportamento di conseguenza. Le colonie hanno un problema che le società umane potrebbero risolvere con un sistema di comando (una sorta di trasmissione dal controllo annunciando che ci sono troppi raccoglitori), ma invece esse lo risolvono utilizzando la probabilità statistica. Se abbastanza formiche si muovono in modo casuale attraverso uno spazio finito, la colonia sarà in grado di fare una stima accurata del fabbisogno complessivo di raccoglitori o di costruttori. Naturalmente, è sempre possibile che un individuo-formica possa imbattersi casualmente in un numero sproporzionato di raccoglitori e quindi sopravvalutare lo stato di foraggiamento globale e cambiare il suo comportamento di conseguenza. Ma siccome il processo decisionale si sviluppa su migliaia di individui, il margine di errore è irrisorio. Per ogni formica che sovrastima il numero di raccoglitori di turno, ce n'è una che lo sottostima, le due valutazioni finiranno per annullarsi a vicenda, ed emergerà una lettura accurata."⁹⁴

Di fatto le colonie di formiche sono un organismo, e come tale hanno un momento di inizio, una crescita, uno sviluppo e una fine. Anche questa osservazione è conseguente agli studi della dott.ssa Gordon, infatti per la prima volta si sono svolte ricerche sulle formiche per un tempo così lungo da stimarne il naturale periodo di esistenza. Le colonie di formiche vivono per circa 15 anni.

Durante questo tempo si svolge un vero e proprio ciclo definito da tre fasi, che possiamo denominare come quelli di un qualsiasi organismo, l'infanzia, l'adolescenza e la maturità. Il comportamento di una colonia adolescente è più aggressivo di quello di una colonia matura e così via. In sintesi tutti i caratteri tipici delle tre fasi di un organismo, appartengono anche alle colonie di formiche. La colonia mantiene la sua unità e identità nel tempo, nonostante gli individui che la compongono siano diversi. *"La persistenza dell'intero nel tempo - il comportamento globale che sopravvive a tutti i suoi componenti - è una delle caratteristiche*

⁹⁴ Johnson, S. *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities*. Scribner, pp. 50, 51, New York 2001 p. 79. "Individual ants have no way of knowing how many foragers or nest-builders or trash collectors are on duty at any given time, but they can keep track of how many members of each group they've stumbled across in their daily travels. Based on that information - both the pheromone signal itself, and its frequency over time - they can adjust their own behavior accordingly. The colonies take a problem that human societies might solve with a command system (some kind of broadcast from mission control announcing that there are too many foragers) and instead solve it using statistical probability. Given enough ants moving randomly through a finite space, the colony will be able to make an accurate estimate of the overall need for foragers or nest-builders. Of course, it's always possible that an individual ant might randomly stumble across a disproportionate number of foragers and thus overestimate the global foraging state and change her behavior accordingly. But because the decision-making process is spread out over thousands of individuals, the margin of errors is vanishingly small. For every ant that happens to overestimate the number of foragers on duty, the two will eventually cancel each other out, and an accurate reading will emerge."

*di definizione dei sistemi complessi. Generazioni di formiche vanno e vengono, ma la colonia matura, cresce più stabile, più organizzata.*⁹⁵

A questo punto un'osservazione nasce spontanea: la relazione tra gli insiemi di insetti sociali – formiche, termiti, api – è molto simile a quella che intercorre tra le cellule di un corpo.

“Il corpo umano è formato da diverse centinaia di differenti tipi di cellule (muscoli, sangue, nervi, e così via). In ogni momento, approssimativamente 75 trilioni di queste cellule stanno lavorando nel tuo corpo. Nel vero senso della parola, tu sei la somma delle loro azioni; non ci sei tu senza di loro. Eppure queste cellule muoiono di continuo! ... Nonostante il continuo turnover cellulare, tu ti senti sempre te stesso, settimana dopo settimana, anno dopo anno. Com'è possibile questo?”

Le conoscenze sul DNA possono far pensare che, la logica degli *swarm* non appartenga ad organismi complessi, ma le cellule fanno di più che seguire semplicemente le indicazioni del DNA. Esse imparano anche dalle cellule vicine. E senza l'interazione locale, il progetto del nostro codice genetico sarebbe completamente inutile.

Le cellule si auto-organizzano in strutture più complicate imparando da quelle vicine. Ogni cellula del tuo corpo contiene un intricato set di strumenti per decifrare lo stato delle cellule circostanti, e per comunicare a queste attraverso l'uso di diversi messaggi chimici. Se le formiche usano gli ormoni per comunicare le une con le altre le loro attività, le cellule comunicano attraverso il sale, lo zucchero, gli amminoacidi.

Il premio Nobel Gerald Edelman definisce Topobiologia questo processo di influenza tra le cellule, dal greco, *topos*, che significa luogo.

Ecco quindi, come in un campo biologico troviamo un concetto affine a quello proposto dalla filosofia (vedi Topologia nel paragrafo 4.1).

Una caratteristica da non trascurare quando si parla dell'intelligenza degli *swarm* è la semplicità: semplicità delle regole, da rispettare rigorosamente e semplicità degli organismi. Si potrebbe anche dire stupidità, di fatto una formica non è intelligente, la colonia invece sì. E' importante la stupidità delle singole formiche, perché garantisce che le azioni siano svolte automaticamente, senza giudizi autonomi e se vogliamo, senza creatività. Una formiche che improvvisamente cominciasse a prendere decisioni coscienti e autonome, sarebbe un disastro per la comunità.

Viene da pensare ad un'altra analogia. Se è vero che una colonia di formiche è paragonabile ad un corpo, che cosa si può dire del confronto di questa con le città? Di fatto anche gli agglomerati urbani sono degli organismi, ma le loro parti componenti, gli umani, sono molto più intelligenti e auto-riflessivi di una formica.

Non è certamente un paragone semplice ed immediato, necessita di alcune astrazioni.

Il comportamento umano lavora in due scale comparabili: la nostra sopravvivenza quotidiana, che implica valutazioni per i prossimi trenta o quarant'anni al massimo; e la scala millenaria di città e di altri ecosistemi economici. Guidare una macchina ha conseguenze a breve e a lungo termine. Le influenze di breve termine incidono sulla puntualità con cui arriviamo agli appuntamenti; quelle a lungo termine alterano la forma della città stessa.

La nostra decisione di fare acquisti in un negozio o di spostarsi da un quartiere all'altro o anche di lasciare del tutto la città, sono tutti spostamenti realizzati sulla scala della vita umana - e di solito in un periodo di tempo molto più breve di quello. Tali decisioni si fanno

⁹⁵ Johnson, S. *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities*. Scribner, pp. 50, 51, New York 2001

“The persistence of the whole over time – the global behavior that outlasts any of its component parts – in one of the defining characteristics of complex systems. Generations of ants come and go, and yet the colony itself matures, grows more stable, more organized.”

coscientemente, ma contribuiscono anche ad un macro-sviluppo che quasi non abbiamo modo di comprendere, nonostante la nostra capacità intellettuale avanzata. E il macro-sviluppo appartiene all'organismo della città stessa, che cresce e si evolve e impara nel corso di un ciclo millenario, mentre decine di generazioni umane vanno e vengono.

Vista in questi termini la nostra volontà individuale non sembra molto diversa da quella delle formiche operaie di Gordon, ognuna delle quali vive solo per vedere una piccola frazione dei quindici anni di esistenza della colonia. Quelli di noi che camminano sui marciapiedi delle città di oggi rimangono inconsapevoli della visione a lungo termine, la scala millenaria della metropoli, come le formiche lo sono della vita della colonia.

La popolazione oggi vive per la maggior parte nelle metropoli. Quello dell'organizzazione umana nel super-organismo delle grandi città è un fenomeno relativamente recente. I motivi di questo dipendono da numerosi fattori, ma uno di cruciale importanza è che queste città, come le colonie di formiche, posseggono una specie di intelligenza emergente: un'abilità di raccogliere e recuperare le informazioni, di riconoscere e riproporre i pattern nel comportamento umano. Noi contribuiamo a quella intelligenza emergente, ma è alquanto impossibile per noi percepire quel contributo, perché la nostra vita si svolge ad una diversa scala.

Gli studi sulla teoria degli *swarms* sono relativamente recenti, ma hanno già portato delle innovazioni interessanti nella nostra società. Ci sono strategie nella gestione del traffico o nella distribuzione del latte che si ispirano alle intelligenze degli *swarms*.

Le innovazioni che incidono più intensamente sul quotidiano di una buona parte della popolazione mondiale riguardano il campo del web.

Google, il canale di ricerca, ha alla base una logica semplice che determina l'ordine, e quindi l'importanza, dei siti nell'elenco della ricerca. Infatti l'ordine con cui ci appaiono i siti dopo una ricerca non è casuale, ma viene autodeterminato dagli utenti. Ogni collegamento da un sito verso un altro è come un voto che viene attribuito, i siti più linkati (quindi con più referenze) sono quelli considerati migliori, e dunque sono quelli che appaiono per primi nella ricerca, e spesso è proprio tra i primi siti che ci sono le informazioni che cerchiamo.⁹⁶ Il sistema si auto-determina, proprio come uno *swarm*, così si genera un sistema emergente, un sistema complesso. I canali di ricerca precedenti avevano logiche lineari, in cima alla lista dei risultati comparivano i siti che citavano più volte la parola cercata, ma questo non ne determinava il valore, quindi le ricerche erano poco efficaci.

Wikipedia, l'enciclopedia libera, sta ottenendo un grande successo, con i suoi milioni di articoli in più di 200 lingue e su qualsiasi argomento, ognuno dei quali può ricevere contributi o essere editato da chiunque, proprio con una logica *bottom up* di un sistema complesso decentralizzato.

“Ora un grande numero di persone possono pensare tutte insieme, in un modo che nessuno poteva immaginare poche decadi fa” dice Thomase Malone del Centro per le Intelligenze Collettive del MIT, *“una singola persona non sa tutto ciò che è necessario per affrontare i problemi che abbiamo di fronte come società, come l'assistenza sanitaria o il cambiamento climatico, ma collettivamente sappiamo molto più di quanto siamo stati in grado di apprendere finora.”*⁹⁷

⁹⁶ Miller, P., *The genius of Swarms* (<http://ngm.nationalgeographic.com/2007/07/swarms/miller-text/1>)

⁹⁷ Malone, Thomase, cit. in Miller, P., *The genius of Swarms* (<http://ngm.nationalgeographic.com/2007/07/swarms/miller-text/1>)

4.2.3 Sistemi emergenti

Secondo Jhonson, se si vuole costruire un sistema emergente, progettato per imparare dal basso, un sistema dove macro-intelligenza e adattabilità derivano da conoscenze locali, ci sono alcuni principi fondamentali che bisogna seguire.

Il grande numero fa la differenza. Questo vecchio slogan della teoria della complessità, in realtà, ha due significati che sono rilevanti per i sistemi emergenti, pensiamo ancora una volta alle colonie di formiche. In primo luogo, la natura statistica di interazione tra le formiche esige che ci sia una massa critica di formiche per la colonia in modo da avere valutazioni intelligenti del suo stato globale. Dieci formiche che attraversano il deserto non saranno in grado di valutare con precisione il fabbisogno complessivo di raccoglitori o di costruttori, ma duemila faranno un lavoro ammirevole. Il grande numero fa la differenza anche per la distinzione tra micro-motivi e macro-comportamenti: le singole formiche non sanno che stanno tracciando un percorso prioritario tra le diverse fonti di cibo, quando identificano un gradiente di feromoni vicino ad un mucchio di semi. In realtà, se avessimo studiato solo la formica come individuo, non avremmo avuto modo di sapere che queste secrezioni chimiche erano parte di uno sforzo globale per creare una linea di distribuzione di massa, creata portando relativamente grandi quantità di cibo nel tornare al nido. È solo osservando l'intero sistema al lavoro che il comportamento globale diventa evidente.

L'ignoranza è utile. La semplicità del linguaggio formica - e la stupidità delle singole formiche - è, come dicono i programmatori di computer, una caratteristica non un *bug*. I sistemi emergenti possono crescere in modo ingombrante quando le loro parti componenti diventano troppo complicate. Meglio costruire un sistema densamente interconnesso con elementi semplici, e lasciare che il comportamento più sofisticato emerga nella totalità. Questa, tra l'altro, è una delle ragioni per cui il traffico dei chip dei computer ha un linguaggio semplificato con zero e uno.

Avere i singoli agenti del sistema capaci di valutare direttamente lo stato globale può essere una vera responsabilità nella logica degli *swarm*, per la stessa ragione che non si desidera che uno dei neuroni nel nostro cervello diventi improvvisamente consapevole.

Incoraggiare gli incontri casuali. I sistemi decentralizzati come le colonie di formiche fanno molto affidamento sulle interazioni casuali tra le formiche che esplorano uno spazio dato, senza ordini predefiniti. I loro incontri con le altre formiche sono individualmente arbitrari, ma poiché ci sono così tanti individui nel sistema, quegli incontri alla fine consentono agli individui stessi di misurare e alterare il macro-stato del sistema stesso. Senza quegli incontri casuali, la colonia non sarebbe in grado di scoprire fonti di cibo o di adattarsi alle nuove condizioni ambientali.

Cercare pattern nei segni. Le formiche non hanno bisogno di un ampio vocabolario e sono incapaci di formulazioni sintattiche, tuttavia queste fanno molto affidamento sui pattern dei segni chimici che rilevano. Una sfumatura in un sentiero feromone le conduce verso una fonte di cibo, mentre l'incontro di un alto numero di costruttori le incoraggia a dedicarsi alle attività di manutenzione della colonia. Questo talento per il rilevamento dei pattern permette alle meta-informazioni di circolare attraverso la mente della colonia: segni su segni. Avvertire i feromoni di una singola formica raccoglitrice significa poco, ma i feromoni

di cinquanta raccoglitori nello spazio di un'ora impartiscono informazioni sullo stato globale della colonia.

Prestare attenzione ai propri vicini. Questa potrebbe essere la lezione più importante che le formiche hanno da darci, e sicuramente quella con le conseguenze di più vasta portata. Il meccanismo principale della logica degli *swarm* è l'interazione tra gli individui circostanti: "informazioni locale possono portare alla saggezza globale". L'aumento di individui all'intero sistema genererà più interazioni tra i vicini e di conseguenza consentire al sistema stesso di risolvere i problemi e autoregolarsi in modo più efficace. Senza l'interazione tra le altre formiche le colonie sarebbe solo un assemblaggio insensato di organismi individuali - uno sciame senza logica.

4.2.4 Complessità organizzata

Attingendo a varie ricerche in biologia molecolare, genetica, fisica, scienze informatiche e diverse teorie, Warren Weaver divise gli ultimi secoli della ricerca scientifica in tre ampi campi, che si sono susseguiti e hanno accompagnato lo sviluppo della conoscenza.

Il primo riguarda lo studio di sistemi semplici: problemi con due o tre variabili, come ad esempio la rotazione dei pianeti, o le relazioni tra una corrente elettrica e il voltaggio e la resistenza.

Il secondo campo si occupa della complessità disorganizzata: problemi caratterizzati da milioni o miliardi di variabili che possono essere approcciati solo con metodi di meccanica statistica e teoria probabilistica. Appartengono a questo gruppo i comportamenti delle molecole in un gas o le previsioni del tempo e tutta quella serie di casi in cui la quantità di dati è molto grande.

A questi due vasti gruppi, ne segue un terzo, che è stato solo in parte compreso nelle sue caratteristiche e potenzialità. Tra un problema con due o tre variabili e un problema con innumerevoli variabili c'è una regione intermedia. Di fatto si tratta di casi in cui c'è un moderato numero di variabili, ma la dimensione del sistema è solo un carattere secondario.

*"Molto più importante del mero numero di variabili è il fatto che queste variabili sono tutti interconnesse ... Questi problemi, in contrasto con la situazione disorganizzata con cui possono far fronte le statistiche, mostrano la caratteristica essenziale dell'organizzazione. Dovremo quindi fare riferimento a questo gruppo di problemi come quelli della complessità organizzata."*⁹⁸

4.2.5 Sistemica

La formazione dei *pattern* e quella degli *swarm* hanno delle caratteristiche comuni: sono entrambi sistemi che partono dal basso (*bottom up*), non hanno una coordinazione sovrastrutturata, sono sistemi emergenti, si basano su regole semplici applicate localmente, determinano la composizione di organismi complessi ed ordinati. Se vogliamo trovare una differenza, questa è nel numero di varianti negli elementi di base che li compongono.

Queste teorie ricadono in un'unica disciplina, la sistemica, o teoria dei sistemi.

⁹⁸ Weaver, W. cit. in Johnson, S. *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities*. Scribner, pp. 50, 51, New York 2001, p. 47 "Much more important than the mere number of variables is the fact that these variables are all interrelated... These problems, as contrasted with the disorganized situation with which statistics can cope, show the essential feature of organization. We will therefore refer to this group of problems as those of organized complexity."

Se Turing nella teoria della morfogenesi individua due soli elementi nella composizione dei *pattern* a strisce o a macchie, per la determinazione di un alveare, o di una colonia di formiche, c'è bisogno di diverse tipologie di organismi, ognuna specializzata in uno o pochi compiti, ma capaci di cambiare ruolo all'occorrenza.

Nella definizione di un organismo, la quantità di tipi di cellule che lo compongono è un numero ancora maggiore di quello della colonia. In sintesi, la differenza è nel grado di complessità, ovvero, maggiore saranno le tipologie di base, maggiori saranno le regole che le governano, maggiori saranno gli scambi tra le parti e maggiore sarà la complessità. Pochi collegamenti complicati non portano alla complessità, tanti collegamenti, tra tanti elementi, organizzati in alcune tipologie, con poche regole determinano un sistema complesso. Al crescere dei collegamenti, degli elementi, delle tipologie e delle regole, cresce il grado di complessità. Alla base della complessità ci sono regole semplici, c'è la semplicità moltiplicata.

Il concetto di topologico del pensiero di Deleuze è pienamente espresso dall'esempio dell'intelligenza degli *swarms*, nel momento in cui si comprende che il sistema si genera dalle interferenze locali. Le interazioni con i vicini generano un cambiamento nel comportamento dell'individuo (che sia esso una formica o una cellula, o altro). Gli insieme degli individui, guidati dalle stesse regole, genera un comportamento globale.

Gli esempi concreti possono limitare la comprensione, la filosofia, con una visione più ampia, riesce a cogliere meglio l'essenza di questi fenomeni.

Ancora, ripercorriamo altri concetti della filosofia Il *body plan* che cos'è se non l'insieme di regole che determina un corpo? Al cambiare delle regole, cambierà l'organismo, e al cambiare dei parametri a cui lo stesso *body plan* è sottoposto, avremo una differenza, ma non una diversità.

Un cavallo è diverso da uno scoiattolo, uno scoiattolo non è diverso da un altro scoiattolo, ma è differente.

La diversità dipende dalle regole, la differenza dai parametri.

Qui ritornano i concetti di genotipo e fenotipo, che sono alla base del modello progettuale studiato.

4.2.6 Cibernetica

La possibilità di immaginare la realtà non solo in termini di materia, ma in termini di forma è un concetto fondamentale per la comprensione di discipline come la cibernetica.

Alla domanda "di cosa è fatto?", si sostituisce "di quale *pattern* è?"

La cibernetica nasce negli anni '40 e si occupa dei processi di retroazione (*feedback*) nella comunicazione e nel controllo di animali e macchine e l'attenzione ai *pattern* e agli schemi di comunicazione è il fulcro fondamentale di questa disciplina.

Wiener scrive: "Noi non siamo altro che gorghi in un fiume di acqua che sgorga senza sosta, noi non siamo materia che rimane, ma strutture (*pattern*) che si perpetuano."⁹⁹

L'attenzione per i *pattern* o per gli schemi di organizzazione sono il focus principale della cibernetica ed erano, nel periodo di definizione di questa disciplina, comuni alla biologia organismica e alla psicologia del *Gestalt*. Ci troviamo di fronte a concetti che sconfinano una sola disciplina, per investire più campi del sapere.

⁹⁹ Wiener, N. (1950), *The Human use of Human Being*, Houghton Mifflin, New York, 1950 p. 96 (ed. it. *Introduzione alla cibernetica*, Boringhieri, Torino, 1966)

I protagonisti della cibernetica, tra cui Norbert Wiener, John von Neumann, Claude Shannon, Werner McCulloch, formarono un gruppo informale per perseguire interessi scientifici comuni durante la seconda guerra mondiale e infatti, molti dei loro lavori erano collegati ad interessi militari.

Indipendente da questo gruppo, ma fautore di importanti risultati scientifici affini alle discipline cibernetiche, fu Alan Turing, brillante matematico britannico, che sviluppò processi algoritmici e computazionali oltre che ai già citati risultati sulla morfogenesi.

La fase pionieristica della cibernetica, oltre ad avere un impatto durevole sul pensiero sistemico nel suo insieme, produsse molti risultati concreti.

Tutti i maggiori risultati della cibernetica ebbero inizio dal confronto tra organismi e macchine.

Il concetto base è il *feedback-loop* o anello di retroazione, una struttura circolare di elementi connessi casualmente, in cui una causa iniziale si propaga lungo la connessione del circuito, in modo che ogni elemento ha un effetto su quello successivo, fino a che l'ultimo elemento, *feedback*, riporta l'effetto sul primo elemento del ciclo. La conseguenza di questa organizzazione è che la prima connessione (*input*) è influenzata dall'ultima (*output*) e ciò produce l'autoregolazione dell'intero sistema, poiché l'effetto si modifica ogni volta che percorre il ciclo.

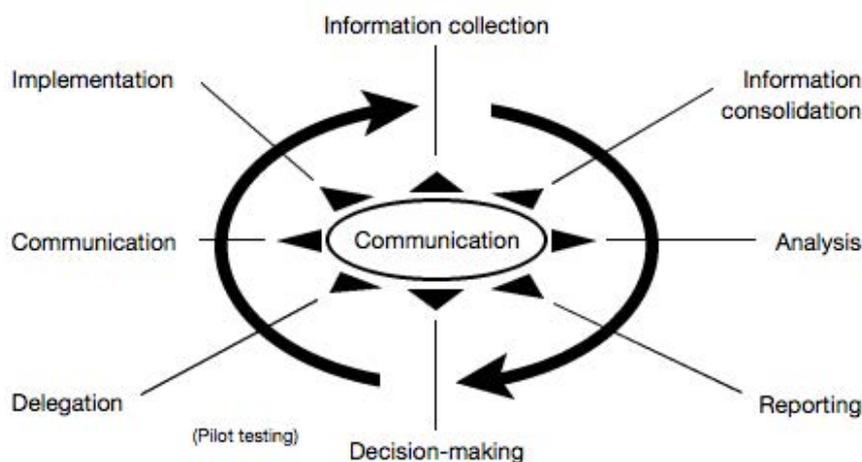


Figura 63 - Diagramma esplicativo del feedback loop.

Uno dei concetti più interessanti scaturiti da questi studi è l'auto-generazione, che possiamo collegare al concetto morfogenetico di *pattern*.

Le regole che generano i *pattern* sono il modello di riferimento oltre che per l'interpretazione del reale, per la generazione di elementi progettuali.

Un altro risultato di grandissimo interesse, nato dal concetto base dell'informazione, proprio della cibernetica, è l'informatica.

4.3 Gli approcci

I meccanismi alla base della complessità, le relazioni tra le parti, l'informazioni che generano un *pattern* e gli altri concetti trattati ci servono ad impostare un nuovo modello progettuale, basato sulle logiche biologiche, ovvero, un processo progettuale biomimetico sistemico.

Un progetto complesso lavora con un grande numero di elementi collegati da regole, ma lavora anche con un processo dal basso, in cui sono le relazioni tra i componenti a determinare il risultato globale. Queste due caratteristiche principali possono essere

applicate in architettura tramite alcuni approcci poco consueti, ma non del tutto privi di esempi.

Parliamo di un approccio algebrico, in contrasto con quello geometrico dominante, e di un approccio *bottom-up*, piuttosto del più consueto *top-down*.

Si è visto finora come interpretare gli organismi complessi. Da questo punto in poi si cercherà di imitare alcuni momenti che portano alla formazione di un progetto complesso, così da apportare un contributo al processo progettuale.

Le speculazioni teoriche fin qui affrontate, che abbracciano campi apparentemente distanti tra loro, come la biologia e la filosofia, sono un momento essenziale. Con queste è possibile comprendere quanto antichi e profondi siano i primi spunti su una diversa visione della realtà (si pensi al contributo di Spinoza) e quanto nei nostri tempi si stiano moltiplicando gli interventi collegati alla questione.

La ricaduta sul processo progettuale non è solo una questione di nuovi strumenti, quelli informatici, per esempio, che vedremo nel paragrafo successivo, ma può essere una innovazione in termini di approccio.

Le componenti della complessità sono diverse e il percorso verso la loro comprensione è appena cominciato; tuttavia, basandoci anche solo su alcuni fattori che governano la complessità, si possono ottenere dei risultati rivoluzionari.

Gli strumenti informatici sono solo un acceleratore, un modo più efficace per raggiungere l'obiettivo, ma non è solo qui l'innovazione, come si può fraintendere, ma è nel modo di impostare il progetto.

4.3.1 Approccio Geometrico e Approccio Algebrico

Prendiamo in considerazione la relazione tra le parti, che sembra essere un punto essenziale. Negli organismi complessi è presente una fitta rete di relazioni tra i suoi componenti.

Questo sembra che accada anche in architettura, infatti la teoria classica architettonica è basata sulle proporzioni delle parti e sulle relazioni che intercorrono tra queste e l'unità.

Eppure ci sono delle grandi differenze tra l'approccio classico e qui proposto, di fatto i due metodi sono opposti.

Vediamo perché.

I diversi elementi dell'architettura classica sono organizzati in unità coerenti in un sistema di relazioni di proporzioni geometriche. I dati possono essere espressi in modo numerico, ma sono fondamentalmente geometrici.¹⁰⁰

Il famoso assioma di Alberti per cui la bellezza è la consonanza delle parti tale che nulla può essere aggiunto o tolto esprime l'idea di un'unità organica geometrica.

L'obiettivo è l'intero. Le parti che lo compongono sono progettate in funzione dell'unità finale, non hanno un significato in sé.

Tutte le regole di relazioni, di proporzioni, le simmetrie che governano le logiche compositive, sono in funzione del momento in cui l'opera sarà compiuta. Per raggiungere il compimento dell'opera, le parti hanno molteplici regole di relazione, ma se osserviamo bene, c'è una costante, le regole sono gerarchiche.

*“Gli elementi individuali sono organizzati in un ordine gerarchico attraverso relazioni geometriche estensive per preservare l'unità totale.”*¹⁰¹

¹⁰⁰ Allen, S. *From Object to Field*, in AD Profile n. 127, Maggio-Giugno 1997, pp.24-31

¹⁰¹ *ibid.*

Si tratta di un'unità prestabilita, aggiungere o togliere una parte al tutto pregiudica l'interezza e l'unità del progetto.

Esistono esempi di architettura in cui l'unità è preservata nonostante gli ampliamenti avvenuti nel tempo: la moschea di Cordoba, in Spagna.

La composizione della moschea è così organizzata: c'è una corte chiusa che separa la torre del minareto da una zona coperta. La recinzione è orientata verso la *Qibla*, un muro di preghiera continuo segnato da una piccola nicchia, il *Mihirab*. L'assetto originale della moschea, ancora riconoscibile, risale ad un periodo compreso tra il 785 e l'800 d.C., e, oltre agli elementi appena descritti, presenta una semplice struttura coperta suddivisa da dieci pareti parallele tra loro e perpendicolari alla *Qibla*, i muri sono supportati da colonne ed archi di uguali dimensioni, a creare una struttura ritmica e regolare. C'è una griglia composta da rette che vanno paralleli e perpendicolari alla *Qibla*, nell'intersezione di queste rette, ci sono le colonne, che così creano uno spazio ampio ma frammentato.

Stan Allen definisce questa composizione un campo (*field*). I visitatori che si muovono attraverso lo spazio della moschea vivono un'insolita e particolare esperienza di percezione dello spazio. L'intera parte ovest della zona coperta è aperta sulla corte interna, così non c'è una singola entrata, ma tante quante gli spazi che si creano tra le colonne. La moschea è stata ampliata in quattro momenti successivi. Tuttavia, nonostante le aggiunte, la logica della struttura originale è rimasta intatta, infatti, gli ampliamenti principali si sono limitati ad una reiterazione della composizione iniziale, fatta di archi e colonne su pareti parallele. Solo la costruzione di una chiesa cristiana all'interno della struttura ha interrotto la sequenza ritmica del campo.



Figura 64 - La moschea di Cordoba. Vista dall'alto.

L'integrità compositiva non equivale ad un'integrità costruttiva, come accade nella maggior parte delle architetture occidentali, perché l'unità non è in una forma finale totale, ma in una logica diversa, che Allen definisce algebrica.

L'approccio "algebrico, che lavora con unità numeriche combinate una dopo l'altra, è in contrasto con quello geometrico dell'architettura classica, che lavora con le figure (linee, piani, solidi) organizzati in spazi che formano l'intero".¹⁰²

Nella moschea di Cordoba, ad esempio, elementi indipendenti sono combinati additivamente per formare un intero indeterminato. La relazione tra le parti è identica nella prima e nell'ultima versione costruita. La sintassi locale è fissa, ma non c'è una sovrastruttura geometrica. Le parti non sono frammenti dell'intero, ma semplicemente parti. A differenza di un'idea di unità chiusa, applicata nell'architettura classica occidentale, la struttura può essere ampliata senza sostanziali modifiche morfologiche. Le configurazioni del campo sono intrinsecamente espandibili, la possibilità di incrementare la crescita è anticipata nella relazione matematica delle parti.¹⁰³

Un altro esempio di approccio algebrico in architettura viene da Le Corbusier, ed è l'ospedale di Venezia. La pianta del progetto ha una sintassi basata sulla ripetizione delle parti, che stabiliscono lungo i lati periferici molteplici relazioni con la città.



Figura 65 - Organizzazione planimetrica e inserimento nel contesto del progetto per l'Ospedale di Venezia (Le Corbusier).

¹⁰² Allen, S. *From Object to Field*, in AD Profile n. 127, Maggio-Giugno 1997, pp.24-31

¹⁰³ *ibid.*

Il progetto si sviluppa orizzontalmente, secondo una logica di accumulazione. Il blocco base è un'unità formata da 28 letti ed è ripetuto in diverse posizioni, basate sullo spostamento o la rotazione del blocco originale. Le camere delle visite si formano dagli spazi tra i blocchi base e hanno dei percorsi articolati.

Non c'è uno schema geometrico uniforme.

L'intera composizione si basa sulle elaborazioni di coordinate gestite localmente. Anche qui, come nella moschea di Cordova, le logiche locali intercorrono nella composizione di un insieme globale coerente.

Vediamo applicata in architettura una delle logiche basi dei sistemi complessi.

4.3.2 Approccio Top down e Approccio Bottom up

Le logiche che troviamo nella composizione progettuale applicate alle architetture della moschea di Cordoba e dell'ospedale di Venezia di Le Corbusier si basano su regole algebriche, ma anche su un'altra caratteristica comune ai sistemi complessi, ovvero sono sistemi formati dal basso, per la loro composizione concorrono elementi semplici la cui combinazione tramite regole di relazioni determina un sistema. Non c'è un'idea prestabilita della struttura finale, invece sono fisse le leggi tra gli elementi.

Siamo di fronte all'approccio *bottom-up* che poi è alla base dei sistemi emergenti.

Nel sistema *bottom-up* si parte dagli elementi, dal basso, e si giunge verso la composizione globale, in alto. Questo approccio è in contrapposizione con quello *top-down*, che ha la direzione inversa, ovvero, parte dall'alto, ovvero dall'unità finale, e si estende verso il basso ai diversi componenti.

La composizione classica dell'architettura occidentale si basa sulle teorie di Leon Battista Alberti. L'architetto promuove un criterio di proporzionalità che investe l'oggetto architettonico in tutte le sue parti componenti. Nella sua opera più rappresentativa, il Tempio Malatestiano, vediamo espressa la scienza delle proporzioni.

Il progetto parte dall'idea di unità. Il progetto viene impostato come unità chiusa e finita, le parti che lo compongono vengono costruite con relazioni proporzionali rispetto all'unità totale.

La proporzioni di bellezza a cui si riferisce l'architetto e studioso sono quelle del corpo umano. C'è un riferimento al mondo biologico, ma le logiche sono diverse.

La forma finale del progetto è definita come primo elemento, da cui far derivare tutte le sue parti in un secondo momento e in funzione del tutto.

Nella moschea di Cordoba e nell'ospedale di Venezia, invece, si parte da elementi semplici, che combinati tra loro formano un sistema globale.

Non siamo tuttavia di fronte a sistemi complessi propriamente detti, queste due architetture sfruttano approcci propri dei sistemi emergenti, ma le variabili sono poche e il numero di relazioni è limitato. Tuttavia è un buon punto di partenza.

Per aumentare il grado di variabili e mantenere il controllo sono indispensabili gli strumenti informatici. E' a questo punto, dopo aver compreso i significati di queste logiche che l'uso dei *software* diventa cosciente e fruttuoso.

4.4 Gli strumenti informatici

4.4.1 Strumenti generativi

E' importante sottolineare le analogie dei meccanismi informatici con quelli biologici. I primi protagonisti di questa disciplina esprimevano interessi espliciti verso le regole morfologiche alla base della vita.

Sia Alan Turing che John von Neumann sono conosciuti come i padri del computer, ed entrambi avevano una propensione per il significato teorico del loro lavoro e un interesse verso gli studi sui processi generativi biologici.

Nel 1935 Turing era impegnato in un problema concernente la decisione (*Entscheidungsproblem*). Per giungere ad un modello di soluzione, propone una macchina ideale che manipola i dati contenuti su un nastro di lunghezza potenzialmente infinita, secondo un insieme prefissato di regole ben definite.



Figura 66 - Macchina ideale di Turing.

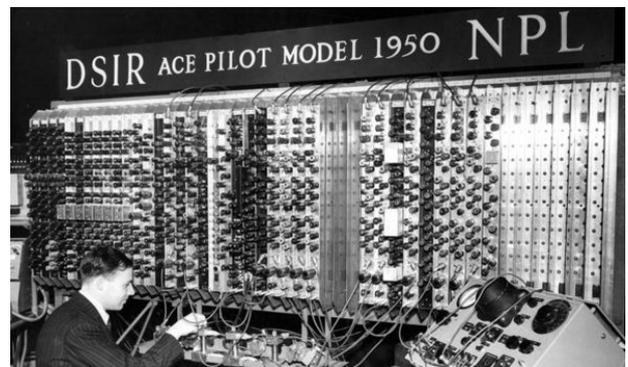


Figura 67 - Macchina reale costruita da Turing per la decifrazione dei codici nazisti.

Turing definisce questa macchina teorica come un congegno capace di risolvere ogni processo computabile, ma le sue intuizioni restano teoriche finché durante la seconda guerra mondiale non si rende necessaria la costruzione di un modello reale della macchina per decifrare il codice di comunicazione che utilizzava la Germania nazista. Da questo momento l'umanità ebbe il suo primo computer con il suo primo programma e Turing propose il concetto di Intelligenza Artificiale.¹⁰⁴

John von Neumann, a partire dalla macchina di Turing, sviluppò la logica base della serie del computer, definendo i suoi tre elementi principali: il processore, la memoria e l'unità di controllo.

Neumann compose il primo computer americano, ma il suo più interessante lavoro fu la replicazione automatica.

Il processore ideato da Neumann non ha una computazione in serie, ma in parallelo e questo gli consente di elaborare più calcoli contemporaneamente. Da questa intuizione si avvia un processo di perfezionamento delle

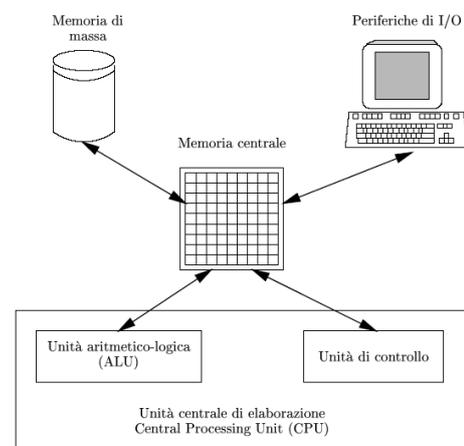


Figura 68 - Schema funzionale del primo computer elaborato da Von Neumann.

¹⁰⁴ Frazer, J., *An Evolutionary Architecture*, ed. E.G. Bond Ltd, London 1995, p. 25

connessioni dei dati del calcolatore, fino a giungere alla gerarchizzazione dei dati e alla moltiplicazione delle connessioni, che *“simula l'apprendimento e il riconoscimento dei pattern proprio del cervello umano”*¹⁰⁵

Il processore lavora con logiche sistemiche, ma non tutti i *software* hanno la stessa capacità. Riferendosi al campo della modellazione, oggi abbiamo a disposizione due gruppi di software, i CAD (*Computer-Aided Design*) e i CD (*Computational Design*).

I primi hanno una struttura e un'interfaccia utile a sviluppare *“le geometrie delle forme, piuttosto che le geometrie delle relazioni”*¹⁰⁶.

*“Fino agli anni '80, i software convenzionali hanno utilizzato il concetto generico e onnipresente di copia, taglia e incolla. Questi comandi combinano la sottrazione e l'addizione di parti per elaborare rapidi cambiamenti attraverso la copia e il riposizionamento di queste parti come elementi. Copia, taglia e incolla funzionano nel disegno convenzionale precisamente perché sono parti indipendenti.”*¹⁰⁷

Il *Computational Design*, invece, lavora con software parametrici, *“piuttosto che creare la soluzione progettuale (attraverso manipolazioni dirette) come avviene con gli strumenti di modellazione convenzionali, in questo caso il progettista stabilisce le relazioni di connessione, costruisce un progetto, usando queste stesse relazioni che può editare osservando e selezionando i risultati prodotti.”*¹⁰⁸

Questo rivoluziona la logica di progettazione e si avvicina alle logiche di morfogenesi proprie degli organismi naturali. La coincidenza processuale è riconosciuta in campo scientifico, tanto da mantenere il termine biologico e da definire questa pratica morfogenesi digitale.¹⁰⁹

*“I processi morfogenetici forniscono condizioni di molteplici singolarità in un continuum in evoluzione perpetua”*¹¹⁰ e la *“morfogenesi digitale è la strumentalizzazione dei media generativi per la derivazione della forma materiale e la sua mutazione evolutiva.”*¹¹¹

E' su questo punto che tutta la teoria sulla generazione degli organismi biologici ha un contatto con la progettazione architettonica.

Al pari della biologia, si avrà un progetto genotipo che comprende una molteplicità di possibilità e un progetto fenotipo, e corrisponde al progetto attualizzato dai dati specifici del caso.

Ad esempio il genotipo è il progetto generativo e corrisponde all'idea di parallelepipedo, il fenotipo è il progetto attualizzato ed è la forma di parallelepipedo di uno specifico pilastro, le cui dimensioni specifiche sono definite per un caso preciso e necessariamente tali per motivi, in questo caso, prevalentemente strutturali.

I dati, in questo esempio dimensionali, possono essere modificati in innumerevoli combinazioni senza tuttavia tradire l'idea di parallelepipedo del progetto generativo.

¹⁰⁵ Frazer, J., *An Evolutionary Architecture*, ed. E.G. Bond Ltd, London 1995, p. 26

¹⁰⁶ *ivi*, p. 32

¹⁰⁷ Woodbury, R., *How Designers Use Parameters* in Oxman, R., Oxman, R., *Theories of the Digital in Architecture* ed. Routledge New York, 2014

¹⁰⁸ *ibid.*

¹⁰⁹ Kolarevic, B., Chapter 2 “Digital Morphogenesis” in Kolarevic, Branko, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, Spon Press, London, 2003, pp.11-28

¹¹⁰ Oxman, R., Oxman, R., *Introduction, Vitruvius Digitalis* in Oxman, Rivka – Oxman *Theories of the Digital in Architecture* ed. Routledge New York, 2014

¹¹¹ *ibidem*

Con i software parametrici "il contesto della progetto diviene uno spazio attivo e astratto che dirige dall'interno una corrente di forze che può essere immagazzinata come informazione nell'aspetto della forma."¹¹²

Si tratta di una innovazione nel campo della progettazione architettonica, ma la sua diffusione è ancora limitata, principalmente perché queste avanzate prestazioni progettuali hanno un costo: l'acquisizione di nuove e complesse competenze da parte del progettista.

4.4.2 Nuove competenze progettuali

La progettazione parametrica comporta l'acquisizione di nuove competenze.

Riportiamo alcuni esempi allo scopo di illustrare il funzionamento concettuale di queste nuove metodologie.

Il flusso di dati

Studiamo le logiche del flusso di dati che attraversa un modello parametrico, che va dallo studio dei nodi indipendente ai nodi dipendenti, indaghiamo il modo in cui i flussi di dati influenza profondamente i disegni, e come il progettista interagisce con loro.

Un esempio semplice ma efficace può essere la pianta rettangolare di tre stanze schematizzata con delle linee che rappresentano le pareti.

Nelle figure, oltre allo schema della pianta con le misure delle partizioni, viene riportato un grafico di propagazione con le relazioni di dipendenza tra i nodi.

Nella figura 69, le dimensioni delle camere sono legate da rapporti dimensione aperti.

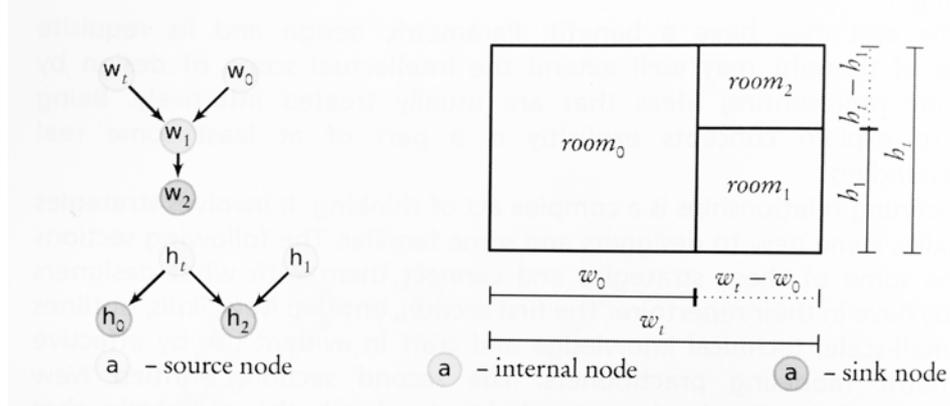


Figura 69

La figura 70 mostra lo stesso insieme di camere, con un vincolo aggiuntivo, una delle camere è sempre quadrata. Qui il grafico ha un nuovo collegamento (tra w_1 e h_1), e un nodo sorgente in meno (h_0).

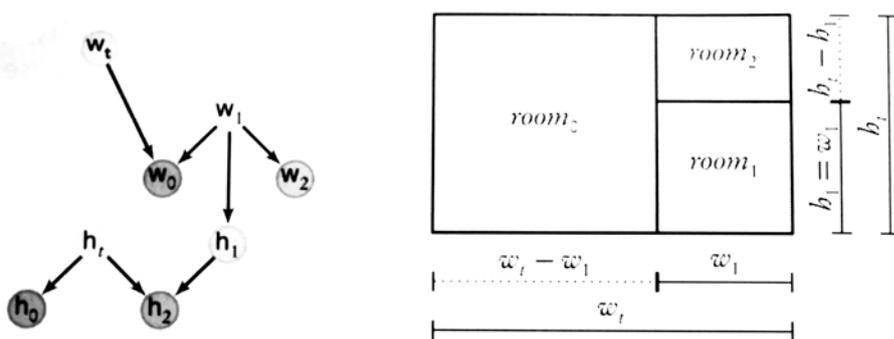


Figura 70

¹¹² Lynn, G., *Animate Form*, Princeton Architectural Press, New York, 1999, p.11

L'ideazione, l'organizzazione e la modifica delle dipendenze sono le parole chiave nella composizione parametrica.

Per rendere le cose più complesse, i vincoli di dipendenza - diversi nodi di dipendenza sequenziale - tendono a crescere.

La figura 71 parte dagli esempi precedenti, ma comprende anche i punti e le linee che rappresentano il piano terra. Si osserva che i vincoli lunghi di dipendenza sono la norma e comprendere il grafico può essere difficile.

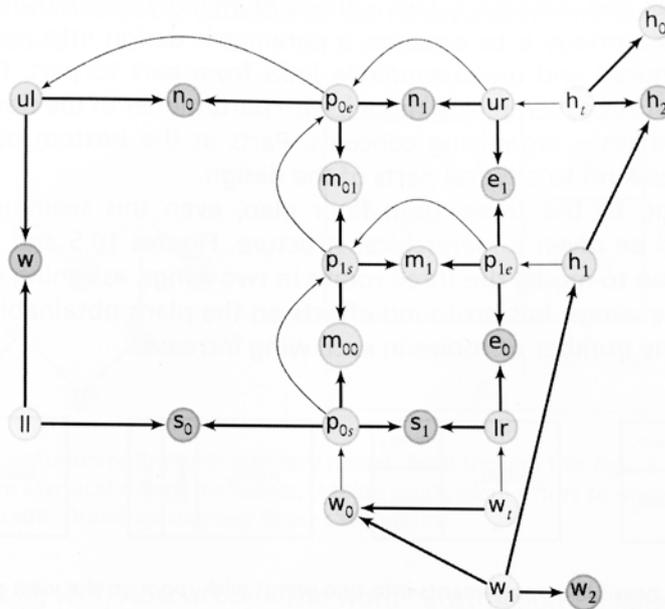


Figura 71

Il progettista usa le dipendenze in combinazione per ottenere le forme o i comportamenti desiderati.

Le dipendenze possono corrispondere a relazioni geometriche (per esempio, tra una superficie e le sue curve che la definiscono), ma non sono limitate a questo e possono rappresentare un ordine superiore di comandi progettuali. I programmi parametrici di modellazione mirano a fornire ai progettisti gli strumenti per racchiudere le decisioni di progettazione in una forma esplicita, modificabile, e re-eseguibile.

Divisione gerarchica per il controllo parziale

Per diverse buone ragioni, i progettisti organizzano il loro lavoro con sistemi gerarchici, vale a dire, costruiscono i sistemi divisi in ambiti con interazioni limitate tra le parti.

La limitata interazioni tra le parti del sistema consente una strategia di controllo parziale: si divide il progetto in parti, si progettano le parti e si combinano queste in un intero disegno, il tutto gestendo le loro interazioni. La strategia funziona meglio quando le interazioni sono semplici.

La modellazione parametrica consente, anzi quasi richiede, una strategia di divisione gerarchica per il controllo parziale.

Nel costruire un disegno parametrico, è facile aggiungere nodi al grafico. Si raggiunge un certo momento in cui il grafico diventa troppo complesso da essere compreso appieno. Quindi diventa difficile spiegare il grafico ad un altro, o anche solo riprendere il lavoro dopo. Una strategia di divisione per il controllo parziale consente di organizzare il progetto parametrico in parti in modo che ci sono collegamenti limitati e comprensibili. Il flusso

direzionale dei dati assicura un modello gerarchico, che in alto presenta i concetti organizzativi, in basso gli elementi fisici del progetto.

Tornando all'esempio del trilocale, anche a questo progetto apparentemente semplice si può dare una struttura gerarchica.

Le Figure 72 e 73 mostrano che la decisione di distribuire le tre stanze in due ali, assegnando ogni camera ad una delle ali, ha effetti profondi sui piani, soprattutto quando il numero di camere in ogni ala aumenta.

La modellazione parametrica basata sul controllo delle partizioni richiede conoscenze sia del dominio del progetto che su come strutturare i disegni parametrici in modo che i flussi di dati scorrano in modo chiaro e comprensibile.

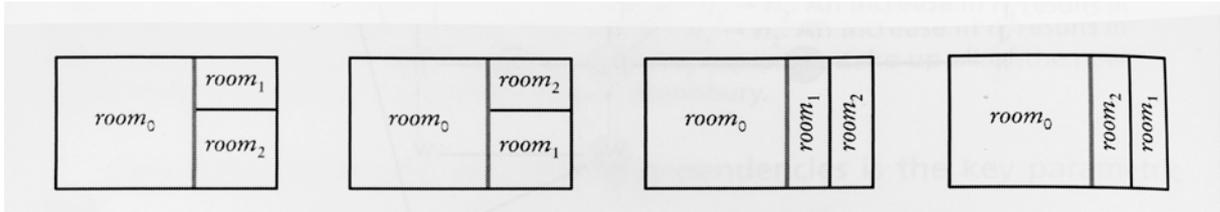


Figura 72 - Tutte le possibili configurazioni in due ali con la stanza 0 nell'ala ovest e le stanze 1 e 2 in quella est.

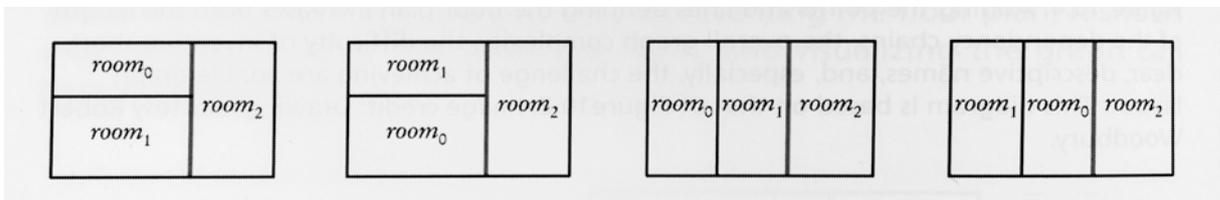


Figura 73 - Tutte le possibili configurazioni delle stanze in due ali con le stanze 0 e 1 nell'ala Ovest e la stanza 2 nell'ala Est

Denominazione

Assegnare nomi alle parti in cui è suddivisa il progetto non è un vera e propria regola, piuttosto una buona pratica.

Prendiamo ancora il nostro schema delle camere, la figura 74 è identica alla figura 69 in tutti gli aspetti, tranne nella denominazione dei nodi e delle camere. Nomi diversi aiutano a distinguere meglio parti simili del progetto, ma con identità diverse.

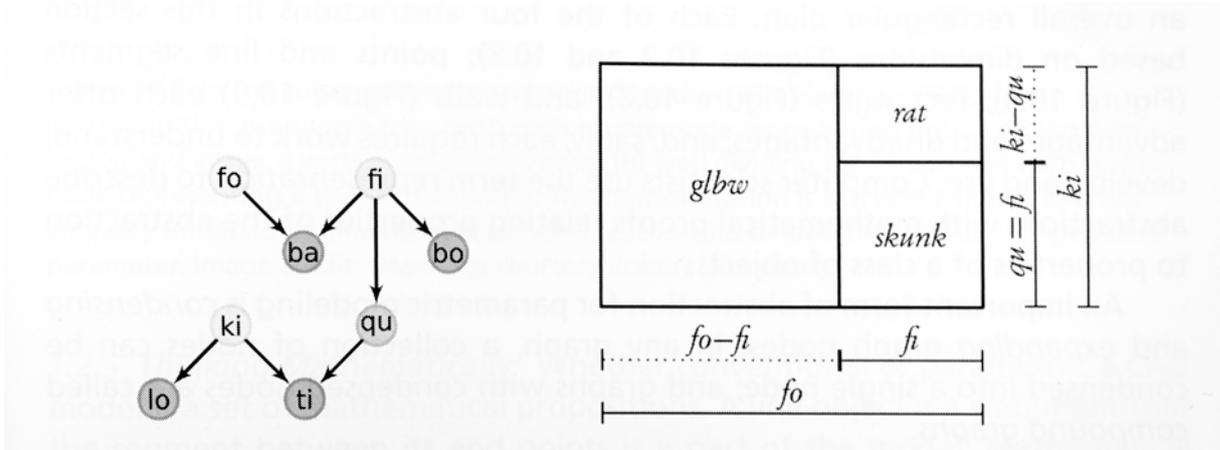


Figura 74

Pensare in astrazione

La parola "astrazione" è pregnante, vale a dire, il suo significato dipende dal contesto.

I progettisti e gli scienziati informatici usano il termine in modo diverso.

Un'astrazione descrive un concetto generale piuttosto che uno specifico esempio. Nell'uso comune, l'astrazione ha un significato vago; può essere difficile dedurre un pensiero da un'idea astratta. Nel disegno, le idee astratte sono spesso multiformi, cioè, sono utilizzati

come base da cui generare molte alternative. In questo caso valgono entrambe le connotazioni della parola: un concetto generale può essere realizzato in molti modi, e a un concetto vago si possono dare molte interpretazioni, ognuna delle quali può avere più realizzazioni.

In informatica, l'astrazione ha il primo significato: un'astrazione descrive una classe di casi, omettendo i particolari irrilevanti. Gli informatici sono costantemente alla ricerca di formalismi e codici da applicare in molte situazioni. Infatti, l'utilità di un'idea computazionale è profondamente legata alla sua generalità - più spesso questa viene applicata, più utile risulta. I progettisti conoscono bene tale astrazione e la praticano. Moduli dimensionali, linee centrali strutturali e serie di dettagli sono tutti supporti per le idee del progetto astratto.

Astrarre un modello parametrico lo rende applicabile in nuove situazioni.

Per compiere un'astrazione bisogna limitarsi agli elementi essenziali eliminando l'uso di termini troppo specifici.

Se una parte di un modello può essere utilizzata in un altro, il riutilizzo ne dimostra il valore di astrazione. Le astrazioni ben impostate sono componenti fondamentali per l'efficienza della modellazione.

Una forma importante di astrazione per la modellazione parametrica è la condensazione o l'espansione dei nodi del grafico. In ogni grafico, un insieme di nodi può essere condensato in un unico nodo; e i grafici con più nodi sono chiamati grafici composti.

Un nodo condensato può essere ampliato per ripristinare il grafico al suo stato originale. La condensazione e l'espansione implementano la gerarchia e aiutano la strategia del controllo parziale. I progettisti parametrici adoperano questa strategia per creare nuovi tipi di nodi con multi-proprietà, per sostenere la copia e il riutilizzo di parti di un grafico e quindi per costruire librerie di modelli parametrici definite dall'utente.

Pensare Matematicamente

I progettisti, quando utilizzano un programma di modellazione, che sia convenzionale o parametrico, stanno utilizzando la matematica.

Un punto, una linea, un cerchio o ancora i comandi scala, copia, sposta, e così via, sono tutte funzioni matematiche, che nei programmi CAD vengono svolte dal processore, lasciando al progettista il compito di elaborarli in termini di elementi vettoriali visualizzabili come immagini.

I progettisti non fanno matematica in senso stretto, ma la utilizzano molto e inconsapevolmente.

Utilizzare la matematica per la progettazione richiede molte meno conoscenze e competenze che non fare la matematica, intendendo qui il lavoro dei matematici, che va dalle dimostrazioni di nuovi teoremi alla ricerca di settore in genere.

La relazione tra la conoscenza matematica e la pratica architettonica è antica. Gli edifici gotici possono essere compresi ed evidentemente sono stati costruiti con logiche matematiche. Le cupole persiane Ramsi sono state costruite a partire unico modello geometrico. In persiano le parole "ramsi" e disegnare hanno la stessa radice linguistica. L'uomo Vitruviano di Da Vinci definisce le proporzioni umane in riferimento alle costruzioni geometriche del cerchio e del quadrato. E gli esempi potrebbero continuare copiosi, con Palladio, Gaudì, o il Modulor di Le Corbusier.

L'avvento degli strumenti informatici per la modellazione ha solo proseguito la relazione tra matematica ed architettura.

I programmi CAD presuppongono la matematica, ma questa resta celata dietro un'interfaccia di modellazione vettoriale, i sistemi parametrici, invece rendono attivo ed evidente il suo ruolo.

Proiezioni, equazioni, tangenze diventano strumenti attivi e di uso consapevole per il progettista parametrico.

La matematica moderna è troppo vasto per una sola mente, è troppa anche per un solo settore.

Appaiono nuovi operatori geometrici per i CAD, ampliando le possibilità di elaborazioni.

Il campo della geometria computazionale fornisce diversi costrutti di base i diagrammi di Voronoi e le triangolazioni di Delaunay, che consentirebbero nuove esplorazione.

La modellazione parametrica moltiplica le interazioni con gli strumenti matematici e offre nuove possibilità di sperimentazione.

4.5 Gli algoritmi

Il disegno parametrico è un grafico basato sulla progettazione tramite espressioni algebriche, compresi alcuni particolari modelli sistemici: gli algoritmi.

La progettazione tramite algoritmi è solo una possibilità del campo della progettazione parametrica per l'architettura e ancora poco diffusa, ma è uno strumento molto potente, vale la pena approfondire.

4.5.1 Definizione

La parola algoritmo ha origine nel Medio Oriente e deriva dal nome dello studioso persiano Abu Ja'far Mohammed ibn Mûsâ al-Khowârizmî, il cui testo di aritmetica (825 d.C. circa) esercitò un'influenza significativa per secoli.

In origine gli algoritmi erano impiegati esclusivamente per risolvere problemi numerici, dall'avvento dei calcolatori hanno avuto un'applicazione molto ampia, dimostrando che possono lavorare con qualsiasi simbolo appartenente ad un gruppo specifico, oltre che agli insiemi numerici.

*"Un algoritmo è la specificazione di un processo per mezzo di un numero finito di istruzioni, o regole, attuata attraverso l'organizzazione sistemica della loro applicazione, a ogni studio del processo essendo univocamente determinata senza ambiguità la regola da applicare, ogni regola prescrivendo operazioni così elementari che la sua applicazione non richiede intelligenza o intuizione particolari."*¹¹³

Alcune indicazioni pratiche sulle caratteristiche degli algoritmi la troviamo negli scritti di Berlinski.

Un algoritmo:

- è una procedura finita
- è scritto con un vocabolario simbolico fissato
- è governato da precise istruzioni
- si muove con passi discreti 1,2,3,...
- la sua esecuzione non richiede intuizione o intelligenza o perspicacia
- prima o poi giunge ad una fine¹¹⁴

¹¹³ Lolli, G., *Definizioni di algoritmo*, in *Matematica e Calcolatori*, Le Scienze, quaderni n.14, 1984

¹¹⁴ Berlinski, D., *The adventure of the algorithm: the idea that rules the world*, Harcourt, 1999

La progettazione tramite algoritmi evidenzia due aspetti.

Il primo è la "procedura": un algoritmo è un processo che deve essere specificato passo per passo. La maggior parte dei progettisti descrivono oggetti, piuttosto che processi.

Il secondo è la "precisione": anche un solo carattere fuori luogo comporta con buona probabilità il non funzionamento dell'algoritmo.

La necessità di una grande precisione è uno dei motivi per cui, nonostante la progettazione per algoritmi sia disponibile da alcuni decenni, questa faccia fatica ad imporsi. Nel campo architettonico questo strumento è disponibile da poco, ma si prevedono le stesse difficoltà di diffusione.

Quasi tutti i programmi informatici attuali hanno un linguaggio di *scripting*.

Questi sono linguaggi di programmazione che lavorano in un dominio di istruzioni testuali.

Il linguaggio algoritmico si differenzia dalla prassi dominante.

Questa differenza di linguaggio aumenta il divario tra la progettazione tradizionale e quella algoritmica.

Solo una comprensione piena e profonda delle potenzialità di questo modello informatico di progettazione può realizzare il superamento delle difficoltà.

4.5.2 Alcuni algoritmi utili alla progettazione architettonica

Algoritmi Evolutivi

Gli algoritmi evolutivi sono vari; comprendono algoritmi genetici, strategie evolutive, programmazioni evolutive e programmazioni genetiche.¹¹⁵ Gli algoritmi genetici sono probabilmente i più conosciuti tra tutti gli algoritmi evolutivi. Questi risolvono problemi di ottimizzazione.

Le regole che governano questi algoritmi sono ricavate direttamente dalle leggi dell'evoluzione osservate a partire dagli studi sulla genetica. I primi studi a riguardo si devono a J. Holland e risalgono al 1975.

Nel 2010 David Rutten ha elaborato un algoritmo genetico applicato alla modellazione parametrica dal nome evocativo, Galapagos. Le applicazioni di questo si limitano al campo dimensionale, infatti il programma di Rutten lavora sulle ottimizzazioni numeriche, con due sole possibilità, la massimizzazione o la minimizzazione di un dato numerico riferito ad altri parametri sempre numerici. Nonostante le limitazioni, i campi di applicazione sono tanti.

Gli algoritmi genetici imitano le regole principali dell'evoluzione:

- adattamento
- selezione
- accoppiamento
- coalescenza
- mutazione

Queste regole definiscono le azioni principali:

- Si elabora un gruppo o una popolazione di soluzioni progettuali piuttosto che una singola soluzione.
- Gli individui sono selezionati in base al loro adeguamento alle funzioni di adattamento.

¹¹⁵ Marin, P., Xavier M., Saleri, R., and Duchanois G., *Creativity with the help of evolutionary design tool*. in *Digital Physicality: Proceedings of the 30th eCAADe Conference*, 319-327. Vol. 1. eCAADe: Conferences 1. Prague, Czech Republic: Czech Technical University in Prague, Faculty of Architecture, 2012.

- Le nuove soluzioni sono generate attraverso la mutazione e gli incrocio di elite precedenti.

Ci sono diversi esempi in architettura basati sull'uso degli algoritmi genetici.

Le opere di John Frazer, Peter Bentley, e Paul Coates rappresentano i primi esperimenti in questo campo. Negli ultimi anni, si nota un continuo interesse per l'uso di questi algoritmi e oggi è prevedibile una maturazione della tecnologia. Per esempio, le ricerche di Hemberg per stimolare la creatività con un generatore di superficie; Caldas ottimizza la composizione delle abitazioni; Besserud lavora sull'involucro edilizio; Dillenburger schematizza la costruzione e Turrin ottimizza un tetto solare.¹¹⁶

Cellular Automata

Una *cellular automaton* è una griglia di elementi (celle) generata da regole algoritmiche basate su rapporti di vicinanza.

Le celle, distribuite sulla griglia di dimensioni finite, hanno un numero finito di stati.

Per ciascuna cella è definito un insieme di celle chiamato zona che è in relazione con la cella specificata. Alle celle dello strato iniziale viene assegnato uno stato. Segue la seconda generazione, secondo una regola fissata che determina lo stato di ciascuna nuova cella in relazione con lo stato corrente della cella e gli stati delle celle adiacenti.

Tipicamente, la regola di aggiornamento dello stato delle celle è la stessa per ciascuna cella e non cambia nel tempo, e viene applicato all'intera rete simultaneamente, le eccezioni sono note come *cellular automaton* stocastica e *cellular automaton* asincrona.

Il concetto è stato originariamente scoperto nel 1940 da Stanislaw Ulam e John von Neumann. Oggetto di studi accademici nel corso degli anni 1950 e 1960, solo negli anni '70, in una versione bidimensionale, hanno suscitato interesse oltre il mondo accademico.

L-system

Un L-system o sistema Lindenmayer è un algoritmo di scrittura parallela.

Un L-system consiste di un alfabeto di simboli che possono essere usati per elaborare composizioni di elementi, in cui, partendo da un "assioma" e seguendo un insieme di regole, si genera un meccanismo che elabora stringhe simboliche in strutture geometriche.

Gli L-system sono stati introdotti e sviluppati nel 1968 da Aristide Lindenmayer, biologo teorico ungherese e botanico presso l'Università di Utrecht. Lindenmayer utilizzò gli L-system per descrivere il comportamento delle cellule vegetali e per modellare i processi di crescita di sviluppo delle piante. Gli L-sistemi sono stati anche utilizzati per modellare la morfologia di una varietà di organismi e possono essere utilizzati per generare frattali auto-similari come i sistemi di algoritmi iterativi.¹¹⁷

¹¹⁶ Marin, P., Xavier M., Saleri, R., and Duchanois G., *Creativity with the help of evolutionary design tool*. in *Digital Physicality: Proceedings of the 30th eCAADe Conference*, 319-327. Vol. 1. eCAADe: Conferences 1. Prague, Czech Republic: Czech Technical University in Prague, Faculty of Architecture, 2012.

¹¹⁷ La grammatica L-sistem prevede:

$$G = (V, \omega, P),$$

dove

V (l'alfabeto) è un insieme di simboli contenenti elementi che può essere sostituito (variabili)

ω (inizio, assioma o iniziatore) è una stringa di simboli da V definire lo stato iniziale del sistema

P è un insieme di regole di produzione o produzioni che definiscono le variabili del modo in cui può essere sostituito con combinazioni di costanti e altre variabili. Una produzione è costituita da due stringhe, il predecessore e il successore. Per ogni simbolo A in V che non appare sul lato sinistro di una produzione in P, la produzione di identità $A \rightarrow A$ è assunta; questi simboli sono chiamati costanti o terminali.

Il risultato grafico dell'applicazione basilare di questo algoritmo è una ramificazione, come evidenziato dalle immagini sottostanti.

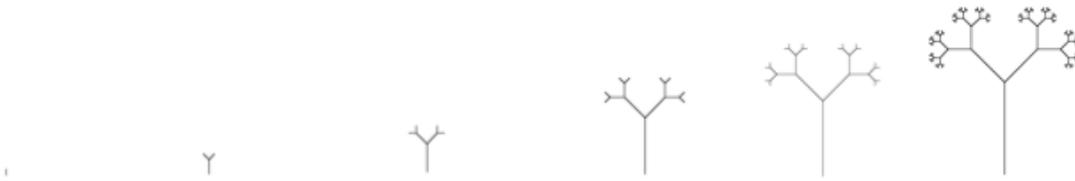


Figura 75 - Risultato grafico di un applicazione semplice dell'algoritmo L-system.

4.6 Le macchine a controllo numerico

La complessità del processo progettuale sistemico richiede l'elaborazione di oggetti spesso molto articolati. Questo comporta metodi di trasformazione diversi da quelli tradizionali. In questo paragrafo si propone una panoramica delle macchine utili a questi processi di trasformazione.

L'interesse verso la fase produttiva è dettato dalla necessità di comprendere nel momento progettuale le caratteristiche di realizzazione da includere al progetto stesso.

Una progettazione che non tenga conto della fase realizzativa, non può dirsi completa.

Le macchine a controllo numerico sono strumenti meccanici capaci di leggere i dati numerici elaborati dai computer e trasformarli in azioni meccaniche. CNC è la sigla che le identifica e si riferisce ai termini inglesi "*computer numerical control*", che sintetizzano la relazione con gli strumenti informatici.

L'importanza di queste macchine risiede nella loro capacità di trasferire i dati numerici informatici alla materia reale con estrema precisione.

Le regole della grammatica L-sistem vengono applicate in modo iterativo iniziando dallo stato iniziale. Le regole sono applicate contemporaneamente, per ogni iterazione; questa è la caratteristica distintiva tra un L-system e il linguaggio formale generato da una grammatica formale. Se le regole di produzione sono applicate solo una alla volta, si definisce semplicemente come una lingua, piuttosto che come un L-system. Così, gli L-sistemi sono rigorosi sottoinsiemi di lingue.

Un L-system è libero dal contesto se ogni regola di produzione si riferisce solo a un simbolo e non per i suoi vicini. Gli L-system context-free sono quindi specificati mediante una grammatica fissata, o una grammatica regolare. Se una regola dipende non solo da un unico simbolo ma anche da i suoi vicini, si definisce un L-system sensibile al contesto.

Se c'è una produzione per ogni simbolo, allora si dice che un L-system è deterministico. Se ci sono diverse produzioni, e ciascuna è scelta con una certa probabilità durante ogni iterazione, allora si tratta di un L-systema stocastico.

Si riporta l'esempio di un L-system applicato alla composizione ramificata di un albero.

variabili: 0, 1

costanti: [,]

assioma: 0

regole: (1 → 11), (0 → 1 [0] 0)

La forma è costruita ricorsivamente alimentando l'assioma attraverso le regole di produzione. Ogni carattere della stringa di input viene confrontato con l'elenco delle regole per determinare con quale carattere si deve sostituire nella stringa di output. In questo esempio, un '1' nella stringa di input diventa '11' nella stringa di output, mentre '[' rimane la stessa. Applicando questo l'assioma di '0', si ottiene:

assioma: 0

1 ° ricorsione: 1 [0] 0

2 ° ricorsione: 11 [1 [0] 0] 1 [0] 0

3 ° ricorsione: 1111 [11 [1 [0] 0] 1 [0] 0] 11 [1 [0] 0] 1 [0] 0

...

La tecnologia delle macchine a controllo numerico precede quella dei computer, infatti i primi esemplari di macchine CNC risalgono agli anni '40 e '50, elaborati sulla base di strumenti esistenti modificati con motori comandati da punti su un nastro perforato. Questi primi servomeccanismi sono stati in seguito migliorati con i computer analogici e digitali, portando alla creazione di moderne macchine CNC.

Oggi un linguaggio comune, detto G-code, consente a tutte le macchine di interpretare i dati informatici in modo universale, rendendo più agevole l'impiego di diversi modelli.

Con la diffusione dei computer si assiste ad un progressivo sviluppo di questi macchinari, che attualmente vantano un'ampia gamma di tipologie, tali da essere impiegati in diversi campi di produzione.

Se l'utilizzo di queste macchine è utile in diversi settori produttivi, diventa indispensabile nella fabbricazione digitale, perché l'articolazione che possono raggiungere i progetti realizzati tramite software avanzati è tale che solo la grande precisione delle macchine CNC può garantirne la realizzazione rapida ed efficace.

Nei moderni sistemi, l'*end-to-end* dei componenti è altamente automatizzato ed è in grado di leggere file elaborati con i CAD (*computer-aided design*) o con i CD (*computational design*) e produrre software CAM (*computer-aided manufacturing*).

I CAM creano un file che viene interpretato per estrarre i comandi necessari per far funzionare una particolare macchina tramite un post processore, il file poi viene caricato in una macchina per la produzione.

Le macchine CNC possono essere divise in tre grandi gruppi, a seconda della tecnologia utilizzata per trasformare il file virtuale in prodotto reale: taglio, sottrazione o adduzione.

Il processo di laminazione, che si basa sul taglio, si divide in due categorie:

- Il semplice **taglio** (da lama o laser), di pannelli di materiale: le varie parti dell'elemento vengono poi assemblate manualmente dall'operatore.
- **LOM** (Laminated Object Manufacturing): strati di carta, laminati plastici o metallici rivestiti di adesivi sono successivamente incollati insieme e tagliati in una forma con un *cutter* a lama o laser. E' possibile inoltre una lavorazione o una perforazione successiva alla stampa. La risoluzione per questo processo è definito dalla materia prima e solitamente varia dallo spessore di un foglio di carta a quello di più fogli.

Invece il processo di sottrazione nella macchine CNC si basa sulla rimozione di materia da un blocco solido di materiale.

Macchine CNC, solitamente impiegate per queste tecnologie, sono la fresatrice e il tornio:

- La **fresatura** è una lavorazione meccanica a freddo per asportazione di trucioli da blocchi di materiale con l'ausilio di un utensile che ruota attorno ad un proprio asse su un pezzo in moto di avanzamento.
- Il **tornio** è una macchina utensile utilizzata per la lavorazione di un pezzo posto in rotazione. La lavorazione avviene per asportazione di truciolo ed è detta tornitura.



Figura 76 - Laser Cutter

Le macchine CNC che lavorano con il metodo di adduzione materica infine sono divise in due gruppi, a seconda della tecnica di lavorazione del materiale. Nel primo caso, si parte da materiale solido modellato per fusione, nel secondo caso, si parte da un materiale liquido trasformato tramite solidificazione. Il primo gruppo, che si basa sulla fusione, utilizza tecniche diverse:

- **SLS** (Selective Laser Sintering). La SLS utilizza il laser come sorgente di alimentazione per sintetizzare materiale in polvere, legandoli insieme in modo da creare una struttura solida. I principali materiali utilizzati con questa tecnica sono termoplastici, sabbia, metalli e vetro.
- **SLM** (Selective Laser Melting). La SLM è simile alla SLS, con la differenza che i materiali non solo sinterizzati dopo averli composti, ma sono anche in grado di realizzare una fusione completa.
- **FDM** (Fused Deposition Modeling). Questo metodo lavora con il principio "additivo" della stratificazione per livelli di materiale; un filamento di plastica o metallo viene svolto da una bobina di materiale e disposto per produrre l'oggetto. Si usano soprattutto termoplastici.
- **LDT** (Laser Deposition Technology) è un processo in cui la polvere metallica viene iniettata nel fascio focalizzato di un laser ad alta potenza in condizioni atmosferiche strettamente controllate. Il fascio laser focalizzato scioglie la superficie del materiale bersaglio e genera la fusione di una piccola porzione del materiale di base.
- La **Siringa ad estrusione** funziona, come dice il nome, con l'estrusione di un materiale fluido. La siringa è collegata ad un compressore d'aria attentamente controllato. Appena la macchina inizia la stampa, la pressione nella siringa viene sollevata manualmente, ed estrude continuamente materiale finché il compressore viene

spento. Questa tecnologia utilizza materiali differenti che possono essere resi fluidi, come l'argilla, la terra, ma anche il cioccolato.

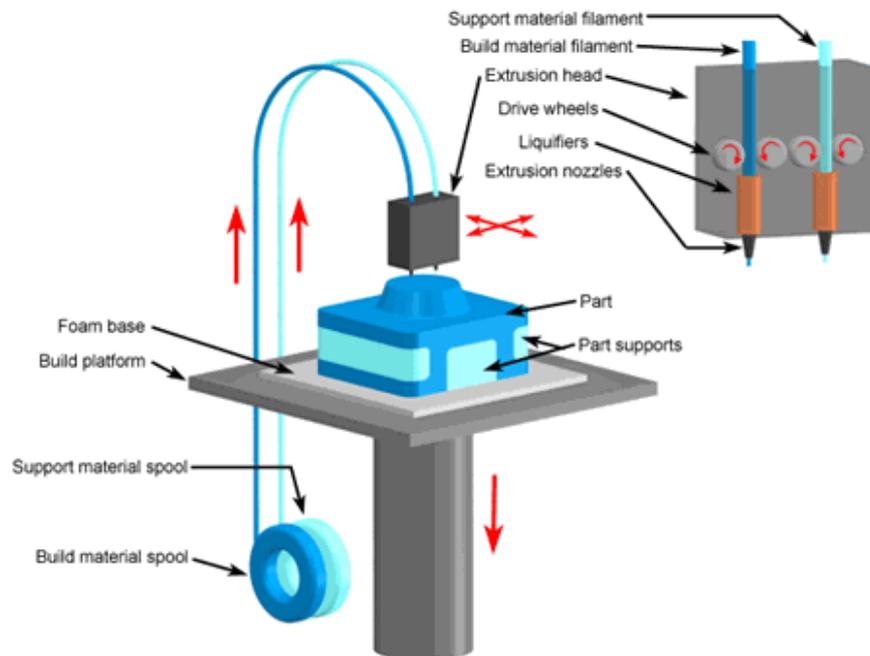


Figura 77 – Schema di funzionamento della tecnica FDM (Fused Deposition Modeling).

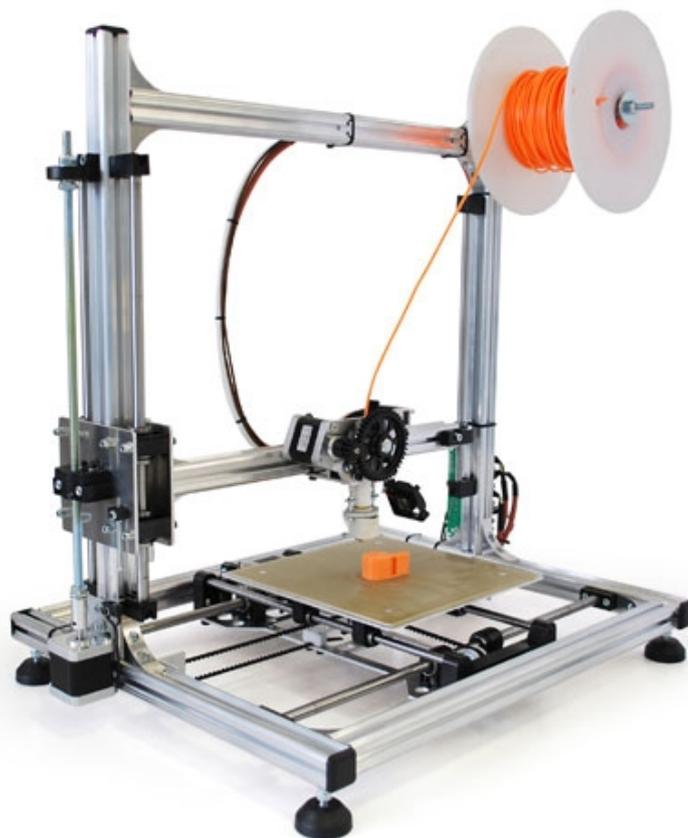


Figura 78 - 3DRAG, macchina che utilizza la tecnica FDM (Fused Deposition Modeling)

Nel secondo caso di adduzione, c'è solo una metodologia, che è la produzione tramite **SLA** (Stereo Lithography Apparatus) lavora con un livello per volta utilizzando una resina foto-reattiva e un laser UV o un'altra fonte di alimentazione simile. Il termine "**stereolitografia**" è stato coniato nel 1986 da Charles (Chuck) W. Hull, che l'ha brevettata come un

procedimento ed un'apparecchiatura per realizzare oggetti solidi con una "stampa" in successione di strati sottili di materiale sensibile agli ultravioletti. Il brevetto di Hull è descritto come un fascio di luce ultravioletta concentrata sulla superficie di una vasca riempita con un fotopolimero liquido. Il fascio di luce definisce la superficie dell'oggetto strato per strato, e utilizza la polimerizzazione o la reticolazione per creare un solido.

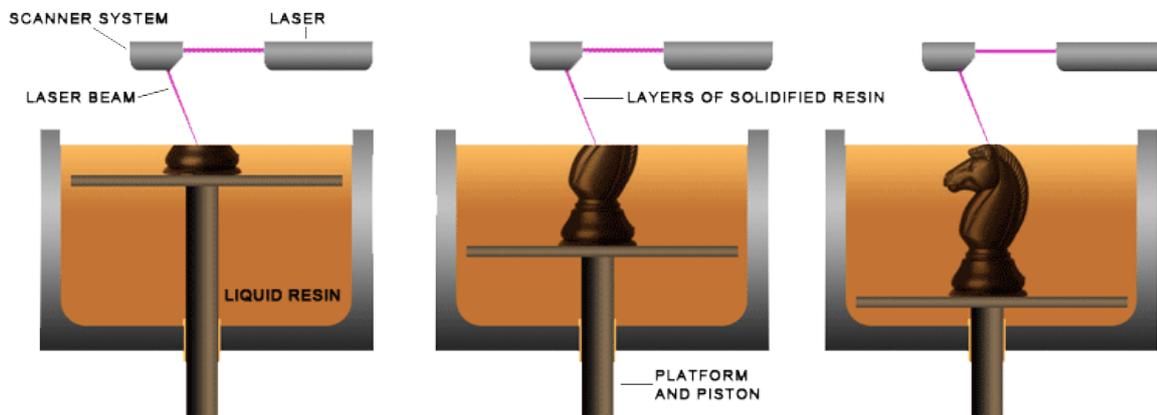


Figura 79 - Produzione tramite SLA (Stereo Lithography Apparatus)

Di tutte le macchine a controllo numerico, quelle che stanno suscitando il maggiore interesse da parte dei media si limitano ai processi di adduzione, e spesso si riferiscono solo alle FDM, ovvero quelle che utilizzano un filamento di materiale solido modellato con la temperatura e disposto a strati grazie ad un estrusore mobile. Più raramente ci si riferisce alle altre tecnologie. Queste macchine vengono chiamate comunemente stampanti 3D.

Il successo di queste tipologie è in parte dovuto alla semplicità meccanica ed economicità dei modelli base. Molti appassionati sono in grado di realizzare in auto-produzione una piccola stampante 3D.



Figura 80 - Macchina CNC che utilizza la tecnica SLS (Selective Laser Sintering)

La fabbricazione digitale si avvale anche di robot. In questo caso, il loro uso è così vario che non può essere sintetizzato. La progettazione e la programmazione del robot è molto ampia e gli unici limiti sono l'immaginazione umana e la fattibilità tecnologica.

I materiali usati con queste tecniche sono diverse. Nel taglio troviamo principalmente materiali tradizionali quali legno, cartone, carta stagnola. Nei processi di adduzione, i materiali hanno un'origine prevalentemente sintetica, prevalgono le plastiche, più precisamente le termoplastiche, ma può anche essere utilizzato il metallico, o una miscela (polveri di pietra, legno, ecc) con una resina che funge da collante.

4.7 La fabbricazione digitale

La parola **Fabbricazione digitale** (o **Digital Fabrication**, o **fabbing**) fa riferimento al processo attraverso cui è possibile creare oggetti solidi e tridimensionali partendo da disegni digitali. Lo schema seguente riassume gli strumenti utili in questa disciplina, sia in ambito informatico, con i CAD e i CD, sia in ambito meccanico, con le tipologie di macchine a controllo numerico.

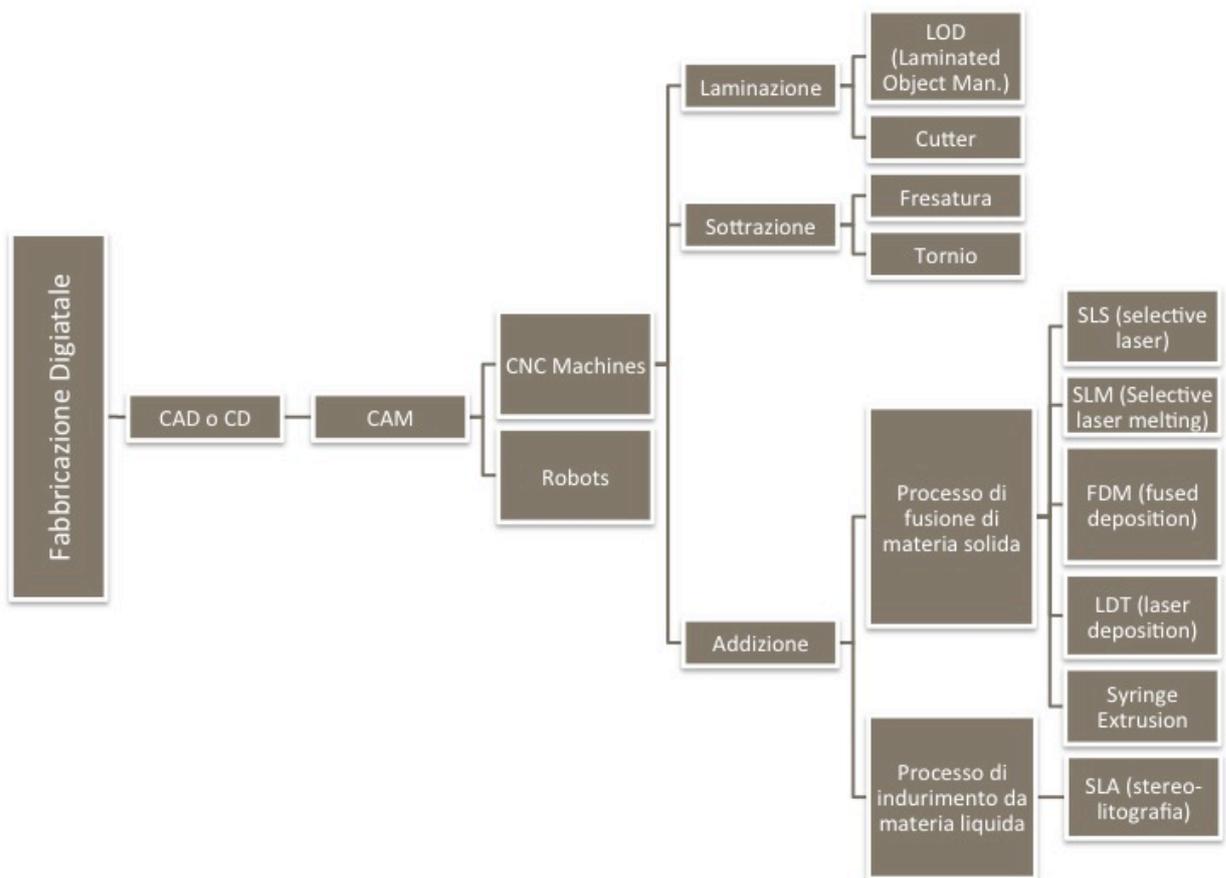


Figura 81 - Schema degli strumenti informatici e meccanici della Fabbricazione digitale (R. Siani, 2015).

Nella fase progettuale è utile individuare a priori lo strumento di trasformazione più utile per la corretta realizzazione dell'oggetto. Tutti i dati della fabbricazione devono essere considerati nella fase progettuale. Fondamentale sarà stabilire il materiale, o il gruppo di materiali con cui uno specifico progetto digitale può essere realizzato. Importanti sono i dati dimensionali e morfologici di un progetto, sia in riferimento alla tecnica impiegata, sia alla specifica macchina con i propri limiti dimensionali.

Un processo progettuale completo deve comprendere i dati della fabbricazione.



Figura 82 - Oggetti realizzati con macchine FDM (George W. Hart).



Figura 83 - After Form, parametric bench (Oleg Soroki)

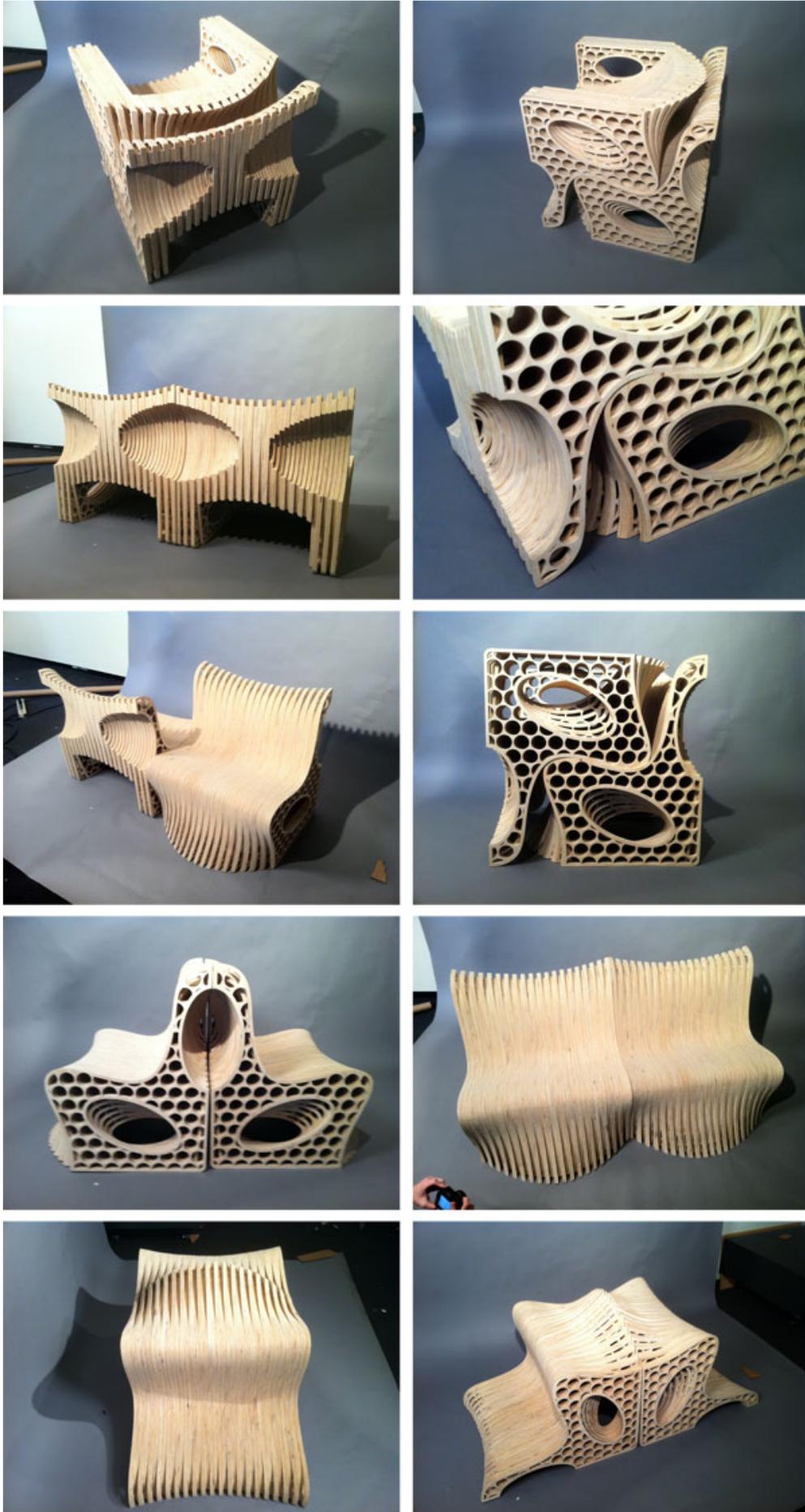


Figura 84 - Plywood Furniture (Meta Territory Studio, 2010).

Capitolo 5 - Il significato del processo progettuale nelle due fasi

A partire dagli strumenti teorici, informatici e meccanici oggi disponibili, si definiscono le due fasi del processo progettuale sistemico.

Se dagli studi di Carroll si scoprono i meccanismi biologici che portano alla generazione degli organismi viventi, per comprendere come questo sapere scientifico possa intervenire nella definizione di un processo progettuale innovativo in architettura, è utile ricordare il pensiero del filosofo francese Gilles Deleuze, che studia il concetto di una materia con proprietà immanenti, dichiaratamente ispirata alle intuizioni di Spinoza, e il pensiero di Deleuze, ripreso e approfondito da De Landa.

In questa corrente filosofica il paradigma biologico è un apparato efficace per la definizione di nuovi modelli progettuali, ma anche di nuovi codici per la comprensione del reale.

Con lo studio dei fenomeni generativi biologici abbiamo appreso i processi che intervengono nella composizione degli organismi e delle sue manifestazioni, che siano essi *pattern*, intelligenze collettive, o sistemi emergenti in genere, giungendo alla comprensione della complessità.

Le logiche proprie della generazione biologica appartengono parimenti ai processori informatici, che oggi sono gli unici strumenti in grado di elaborare e gestire sistemi complessi artificiali.

Ecco quindi riassunte alcune delle principali tappe che ci hanno portato alla definizione di questo processo progettuale, basato su solide basi teoriche, che toccano la filosofia, la biologica, la genetica, la matematica, la fisica e l'informatica.

Un tale sforzo era necessario per validare le conclusioni a cui si giunge, ovvero la definizione di un processo progettuale in due fasi.

Come abbiamo visto nel terzo capitolo, i significati della fase generativa e della fase attualizzata coincidono con i concetti biologici di genotipo e fenotipo, a loro volta ripresi dalla filosofia.

Con il genotipo ci confrontiamo con un elemento virtuale e la sua elaborazione presuppone strumenti informatici con specifiche qualità di complessità. Se queste sono implicite nei processori e definiscono il carattere stesso del computer, non tutti i software prevedono un approccio complesso.

Scelti i *software* adeguati e apprese le specifiche competenze, si avvia il processo progettuale, che determina la prima fase del progetto, comprensiva di una molteplicità di possibili combinazioni.

La fase attualizzata è una singolarità, imita il fenotipo, e deriva dalla prima solo in funzione della definizione di specifici dati.

Ogni progetto generativo contiene una quantità di progetti attualizzati pari al numero di combinazioni possibili dei suoi parametri.

5.1 La fase progettuale generativa: molteplicità

Il termine generativo, scelto per la prima fase di questo processo sistemico, proviene dalle scienze biologiche.

La definizione di un progetto generativo avviene per mezzo dei *software* parametrici del *Computational Design*.

Come accade per la materia biologica, in cui l'immanenza dei caratteri viene elaborata con un insieme di regole (DNA) per la determinazione dell'organismo, così, con i programmi

parametrici è possibile lavorare con le relazioni tra gli elementi, in modo da stabilire un insieme di passaggi algebrici che definiscono la matrice da cui si potrà trarre un numero variabile di progetti attualizzati.

Poiché con i software di modellazione per l'architettura i dati su cui si lavora sono principalmente numerici, i parametri possono corrispondere a dimensioni, quantità e a tutte le relazioni che intercorrono tra questi.

Il fatto che il progetto generativo si basi su dati numerici, però, non deve confondere e far identificare questo strumento con un generatore quantitativo.

Il modello progettuale esigenziale-prestazionale si basa sul superamento di un approccio quantitativo a vantaggio di un approccio qualitativo.

La possibilità di poter interagire con parametri specifici rende personalizzabile il progetto e quindi l'idea di qualità, in questo approccio, è definita proprio dal valore della personalizzazione.

Personalizzare significa tradurre in una forma compiuta un valore derivato da una sequenza di relazioni basate su dati numerici specifici.

Nell'ambito dell'approccio esigenziale-prestazionale, la progettazione generativa comporta un vantaggio interessante: il controllo delle prestazioni a priori.

Si può avere un preciso controllo delle prestazioni di un requisito, che a sua volta soddisfa un'esigenza.

Facciamo un esempio. L'esigenza di benessere relativa ad una poltrona può essere definita dal comfort della seduta, che quindi diventa il requisito. Tutti i parametri del comfort traducibili in valori numerici possono essere elaborati nella definizione del progetto generativo di poltrona. Questi valori numerici comprenderanno anche l'altezza e le diverse misure corporee dell'utente, oltre ad altri dati preferenziali come il grado di morbidezza della seduta o l'altezza dei braccioli. Elaborando i dati in termini relazionali e inserendo gli specifici valori personalizzati, si otterrà una poltrona dalla qualità di comfort superiore alle comuni poltrone, perché personalizzata sulle misure ed esigenze specifiche dell'utente.

Anche fattori apparentemente non numerici, come la bellezza, possono essere espressi in parametri di relazioni (numeriche) tra le parti, pensiamo ai valori di simmetria, alle proporzioni ritmiche, alla composizione di *pattern*, etc.

Nella progettazione tradizionale il controllo delle prestazioni avviene con l'analisi, che sia essa contemporanea alla fase progettuale o successiva. La valutazione, che segue l'analisi, guida modifiche al progetto stesso in vari passaggi, fino a giungere alle condizioni desiderate. Il primo gesto è sempre una forma abbozzata, uno schizzo che contiene alcuni dati, ma a cui se ne aggiungeranno altri in seguito, con un processo di modifica.

Il progetto generativo non può essere abbozzato, poiché non dipende da forme, ma da relazioni. Solo stabilendo dei valori numerici, anche se provvisori, il calcolatore può restituirci il lavoro in un'immagine tridimensionale.

Si possono sperimentare diversi percorsi algebrici per giungere agli stessi risultati, si possono fare delle prove con dati diversi per valutare il risultato più soddisfacente anche in termini visivi, ma bisogna avere un'idea chiara del tipo di relazioni che si vuole comporre.

Se si vuole stabilire un controllo sull'ombreggiatura, la prima composizione algebrica da elaborare è la proiezione dell'elemento schermante su una superficie in funzione del vettore solare.

La relazione tra le parti è chiara, ora andrà deciso se è la proiezione che guida la schermatura o il contrario.

Nel primo caso, stabiliremo il valore di proiezione che ci interessa, immaginiamo il contorno di un'ombra, ne ricaveremo la forma esatta di schermatura corrispondente a tale ombra in riferimento ad una precisa inclinazione dei raggi solari. Si tratta di calcoli già disponibili all'interno di software di modellazione CAD, soprattutto nella sua funzione opposta, ovvero ricavare l'ombra da una schermatura.

Con la progettazione generativa, però, non si tratta di utilizzare una funzione di un programma, ma di realizzarla, di progettarela.

Inoltre, le possibilità di gestire i valori delle relazioni sono molto ampie non solo in funzione della modifica dei valori numerici, ma in complessi calcoli di ottimizzazioni, che si basano sugli algoritmi. Se pensiamo all'algoritmo evolutivistico, capace di massimizzare o minimizzare una quantità e applichiamo questa capacità all'area dell'ombra, si comprende come possiamo ottenere un'ottimizzazione dei valori di ombreggiatura, ovvero possiamo minimizzare o massimizzare la sua estensione.

E' in questo modo che si stabilisce un controllo a priori del progetto: è la soluzione, in termini prestazionali, che guida la forma del progetto.

Il progetto generativo è virtuale,¹¹⁸ ovvero è un'idea generale, contiene in sé delle molteplicità, questo implica diversi accorgimenti e può risultare vantaggioso.

In termini pratici è conveniente scegliere casi in cui si prevede di aggiornare diversi esemplari dallo stesso progetto generativo.

La grande quantità di parametri presente nella definizione di un sistema edilizio nel suo insieme richiede per la sua definizione un progetto generativo molto articolato che necessita di specifiche competenze e tempi elevati.

Questi fattori sono svantaggiosi, in termini di tempi e costi, quindi bisogna valutare di volta in volta se il progetto necessita effettivamente di un processo complesso o se è sufficiente un metodo tradizionale.

Data la grande precisione dei risultati, i campi di applicazione più interessanti sono quelli che richiedono un controllo accurato di alcuni parametri.

Inoltre, i software parametrici hanno ancora dei limiti di gestione, quelli più accessibili in termini di competenze, sono anche meno evoluti in termini di gestione e risultati.

Un buon compromesso sembra la limitazione del progetto generativo ad ambiti parziali del sistema tecnologico. Si può lavorare su una classe di unità tecnologica, o su una sola unità tecnologica, oppure su una classe di elementi tecnici, o su un elemento tecnico.

Lavorare su elementi parziali del sistema tecnologico, e sulla risoluzione di specifici problemi può risultare una strategia valida, se si prevede l'impiego della matrice di molteplicità per la definizione di progetti aggiornati da impiegare in più sistemi edilizi.

La progettazione generativa di un singolo elemento tecnologico capace di risolvere un unico requisito, ma impiegabile in decine, se non centinaia di progetti, rappresenta l'uso ottimale.

5.2 La fase progettuale aggiornata: singolarità

Se il progetto generativo è il genotipo, la matrice e la molteplicità, il progetto aggiornato è il fenotipo, la singolarità.

¹¹⁸ Per virtuale non si intende una simulazione informatizzata, accezione che viene comunemente adoperata, ma si riferisce alla sua comprensione di molteplicità, in altre parole il risultato progettuale equivale ad un generatore di soluzioni.

Il primo è composto da un insieme di regole algebriche, mentre il secondo rappresenta una scelta di tutte le possibili combinazioni matematiche.

Dati locali, personali, preferenziali intervengono nella definizione del progetto, che sarà così tanto personalizzato da essere unico, come unici sono tutti gli organismi viventi, nonostante ognuno rientri in una categoria specifica, con cui ha in comune i caratteri della matrice.

Questa fase non è più virtuale, ma è ancora solo informatizzata.

In termini pratici il progetto è visualizzabile come modello tridimensionale, ma non esiste ancora nella realtà.

Le possibili performance prestazionali personalizzabili sono la caratteristica più interessante di questo processo progettuale, anche una piccola variazione dimensionale può determinare risultati differenti. Si tratta di un margine diverso per ogni caso.

Tutte le energie spese nella realizzazione di un progetto così preciso richiedono una fabbricazione altrettanto precisa, per non rischiare di alterare il valore del progetto stesso.

La singolarità ha bisogno di una grande precisione di realizzazione.

La fabbricazione digitale, che adopera le macchine a controllo numerico per la trasposizione del modello informatizzato all'oggetto reale, è la tecnologia più adatta per salvaguardare le caratteristiche prestazionali del progetto.

Fermo restando che il progetto generativo è stato elaborato in funzione delle tecniche di trasformazione, nel progetto attualizzato si entra nel dettaglio delle specifiche caratteristiche della macchina che trasformerà i dati informatizzati in oggetti reali.

I parametri da scegliere per l'attualizzazione non riguardano quindi solo il progetto come modello tridimensionale, ma anche la fase di realizzazione, che spesso impone dei limiti. Un esempio di facile comprensione riguarda i limiti dimensionali, ogni macchinario infatti ha delle dimensioni di produzione proprie, in funzioni delle quali si deve impostare il progetto, che sarà grande quanto i limiti imposti dalla macchina oppure modulare.

Questo è solo uno dei numerosi parametri che possono intervenire nel processo, quali ad esempio, le caratteristiche del materiale o le peculiarità della macchina disponibile alla trasformazione. Diverso sarà un progetto che adotta il taglio, da uno che adotta la tecnica FDM, ma diverso sarà il progetto anche se a parità di tecnologia, si dispone di una diversa dimensione dei macchinari.

E' evidente che tutte queste implicazioni influenzano da principio il progetto generativo, ma mentre nella matrice ci si limita alla definizione della categoria di macchina CNC, nella singolarità si tiene conto della specifica macchina a disposizione.

5.3 La necessità di un sistema aperto nel processo progettuale

Il modello progettuale fin qui descritto è uno strumento nelle mani del progettista.

La validità del risultato dipende dalle capacità dell'operatore non meno di qualsiasi altro strumento.

Quello che conta, per la qualità del progetto, è il significato, o se vogliamo l'obiettivo.

Nel nostro caso, l'obiettivo è l'elaborazione di progetti sistemici che imitano i processi e gli eco-sistemi biologici.

I processi sono chiaramente emulati dagli strumenti informatici stessi, che come abbiamo visto, nascono dalle stesse logiche generative proprie degli organismi naturali.

A questo punto, quello che rende realmente valido il progetto non è l'uso in sé dello strumento di elaborazione, per quanto questo sia efficace, ma le scelte che si compiono nella definizione degli obiettivi.

Il nostro scopo è un progetto sistemico, ovvero costituito da relazioni con diversi elementi. Se questi elementi non sono parte di un insieme ristretto, ma possono rappresentare elementi esterni reali, allora possiamo parlare di un sistema aperto. L'eco-sistema è appunto un sistema aperto.

La complessità dell'eco-sistema dipende da una grande quantità di fattori interconnessi.

Gli strumenti oggi disponibili non sono in grado di raggiungere tale livello di complessità, tuttavia probabilmente non è necessario.

Ricordiamo che la complessità organizzata lavora con pochi elementi, quindi è possibile elaborare pochi fattori e ottenere risultati soddisfacenti.

Più che la quantità dei parametri, è importante la qualità.

La forza gravitazionale, l'irraggiamento solare, la temperatura ambientale sono elementi riferibili alle condizioni esterne, fattori esogeni del contesto in cui l'architettura va ad impiantarsi.

Considerare parametri derivanti da questi elementi qualifica il progetto e lo rende partecipe di alcuni aspetti del suo ambiente. Altri fattori sono invece riferibili alle caratteristiche dei materiali, e questi sono i fattori endogeni.

La tipologia e la quantità di relazioni possibili è a discrezione del progettista, ed è in queste scelte che si può misurare la validità del progetto.

Perché si abbia un progetto effettivamente e non solo formalmente sistemico, vanno scelti i parametri dalla realtà.

Può sembrare un'affermazione ovvia, ma non è così.

I software parametrici vengono spesso impiegati per l'elaborazione di forme complesse, la cui definizione avviene a partire da dati casuali, questo perché gli ambiti in cui si praticano questi esercizi si limitano a fattori estetici.

Un vaso, un gioiello, una lampada spesso vengono elaborati sulla base di dati numerici casuali.

Solo quando si inserisce una necessità prestazionale o funzionale dipendente da precisi fattori numerici, si può cominciare a parlare di progetto sistemico.

Uno degli obiettivi di questo studio risiede proprio nel fare chiarezza in questo punto.

Fintanto che non daremo alle forme architettoniche un significato di qualsiasi natura, che sia esso prestazionale o culturale, non si potrà parlare di complessità in architettura, ma solo di formalismo.

La difficoltà nasce da un fatto, tutto il fulcro di questa visione è nel processo e non nella forma, è solo dall'analisi del processo che si potrà dare un giudizio sull'architettura stessa. Questo comporta una innovazione nell'ambito dell'analisi o se vogliamo della critica.

Giungeremo alla situazione in cui, osservando una forma architettonica parametrica, sarà impossibile stabilire solo da questa se siamo al cospetto di un'architettura sistemica oppure no. Solo uno studio del processo che la determina può risolvere il dubbio.

Si aprono nuovi scenari per la critica architettonica.

5.4 Il ruolo del progettista

Il ruolo dell'architetto in questo processo progettuale innovativo cambia.

I software non sono più un supporto al disegno, ma un vero e proprio strumento di progettazione con le sue regole e i suoi approcci.

Non è più sufficiente imparare i comandi di un programma di modellazione, qui è richiesto un diverso approccio di pensiero. Oltre alle competenze informatiche, il progettista deve confrontarsi con la sua capacità di immaginare il risultato architettonico non come oggetto

concreto, ma come sequenza di relazioni che conducono ad un risultato non sempre immaginabile in termini formali.

Provocatoriamente, alcuni corsi del settore, incentrati proprio sull'apprendimento di software parametrici, propagandano questo cambiamento con slogan provocatori, come: progettare senza pensare. Non è proprio così, ovviamente.

Immaginare la forma finale di un progetto o magari realizzare uno schizzo sintetico di un'idea non è più possibile con questo metodo, in cui il risultato dipende dalla relazione sistemica dei dati.

In questi termini l'oggetto finale non è immaginabile in termini di forma. Il risultato emerge in modo imprevisto ed imprevedibile. Tuttavia lo sforzo intellettuale non è esente, solo diverso e con altri significati, spesso ancora più intenso che nelle pratiche tradizionali.

Il ruolo del progettista, limitatamente a quest'ambito, cambia profondamente.

Non poter comporre la forma del progetto in termini classici, fa cadere il concetto di linguaggio e di linea poetica che è la traccia stilistica di grandi architetti.

Questo approccio progettuale non investe solo la progettazione, ma anche l'interpretazione del progetto finito.

La progettazione parametrica è uno strumento complesso, data solo pochi anni di sperimentazione e quindi manca un numero sufficiente di applicazioni progettuali per avere un giudizio valido.

Bisognerà attendere che il fenomeno maturi per avere una chiara visione della situazione.

In questo tempo tanti errori e tante esasperazioni si commetteranno, come del resto si stanno già verificando, e solo una chiara interpretazione del fenomeno potrà aiutare a percorrere la strada più giusta in questo campo.

C'è un certo fermento nei confronti di queste nuove tecnologie di progettazione, ma altrettanta diffidenza. Mancano codici efficaci di comprensione e spesso, questa mancanza, causa fraintendimenti e pregiudizi.

Un ruolo così rilevante degli strumenti informatici nella progettazione crea il sospetto di una sopraffazione della macchina nei confronti della decisionalità dell'uomo.

L'automatismo nella progettazione tramite software è un rischio possibile, come lo è in tutti i casi in cui uno strumento non venga utilizzato correttamente.

Inoltre, un processo progettuale che comprende una molteplicità di soluzioni e una singolarità che scaturisce solo dalla scelta di alcuni dati numerici sembra mortificare il ruolo del progettista, limitando il suo lavoro all'inserimento di una manciata di numeri.

E' un'interpretazione tutt'altro che rara. La prima reazione di fronte a questo approccio è proprio di critica sulla mancanza di autonomia decisionale.

Una conoscenza approfondita delle logiche che governano gli strumenti informatici e delle teorie che li accompagnano, aiuta a immaginare il potenziale creativo dietro la composizione di relazioni geometriche, piuttosto che di forme geometriche.

Si tratta di un potere decisionale che avviene prevalentemente a monte, nella fase di composizione del progetto generativo, ma che si compie con la scelta delle varianti nella fase attualizzata.

Oltre a dover superare i pregiudizi e la diffidenza, l'utilizzo di software con approcci tanto diversi da quelli classici richiede un notevole impegno da parte del progettista, tanto da avere un alto valore specializzante. Nella formazione di un architetto può essere utile conoscere le logiche di base di un metodo progettuale parametrico, perché rende possibile il

superamento di nuovi limiti, soprattutto limiti di immaginazione, ma per una padronanza completa dei software e delle teorie, la strada più probabile sembra la specializzazione.

La progettazione parametrica può essere un sapere specializzato a supporto dell'architettura, a patto che la conoscenza su questi metodi sia ampia e consenta il dialogo tra i diversi ruoli progettuali.

Capitolo 6 - Output sperimentali per la verifica del processo

6.1 Introduzione

Il processo progettuale sistemico ha una vasta possibilità di applicazione in campo architettonico.

Raggiungere un altro grado di complessità tale da poter definire sistemico il progetto ottenuto richiede lunghi periodi di studio e sperimentazione.

In questo capitolo presentiamo due sperimentazioni con un grado iniziale di complessità.

Da entrambi i progetti si evince il carattere emergente del processo, che parte dalla definizione di alcune regole di collegamenti tra le parti e si configura poi delle composizioni formali, dei veri e propri pattern, che derivano dai valori dei dati aggiunti.

Essi hanno caratteristiche tali da rendere indispensabile la progettazione tramite software parametrici, e presentano le due fasi progettuali proposte, la fase generativa e la fase attualizzata.

Con questi esempi si comprende l'importanza del progetto generativo, in quanto, più che applicabili ad uno specifico caso, il progetto si rende disponibile per una molteplicità di situazioni.

I due esempi si limitano ad una piccola parte del sistema tecnologico, affrontano e risolvono esigenze così specifiche da poter essere impiegati in tutti i sistemi edilizi che presentano le medesime caratteristiche.

Nonostante i punti in comune, si tratta di due sperimentazioni molto diverse.

La prima si occupa di un'ottimizzazione in funzione un parametro ambientale, la seconda comporta un'innovazione in un'antica tecnologia in funzione dei programmi digitali e diventa uno strumento indiretto di trasposizione del modello tridimensionale al prodotto reale.

6.2 Un esempio di ottimizzazione delle prestazioni: un'over-cladding per il controllo dell'ombreggiamento in facciata

Elaborazione preliminare dei parametri solari

Esistono relazioni precise tra il vettore solare e il controllo delle ombre. Per realizzare il progetto, ci sono state alcune fasi di studio ed elaborazione dei parametri stessi.

Il progetto è stato elaborato con i programmi *Rhinoceros* e *Grasshopper*.

A differenza degli altri programmi di modellazione, in cui i parametri solari sono inclusi, i *software* parametrici utilizzati non presentano di base strumenti per l'elaborazione dei dati solari. Il campo di lavoro è molto flessibile e nonostante la possibilità di integrazione con numerosi *plug-in*, la progettazione avviene a partire dalla definizione dei parametri stessi.

Nel caso in esame, la prima fase di lavoro ha riguardato la costruzione del percorso solare e del vettore corrispondente ai raggi solari per le ore, i giorni e mesi dell'anno, applicabile a tutte le latitudini terrestri. Questo generatore, consente lo studio di un vettore solare per volta, o di un gruppo di vettori definiti da alcuni caratteri. E' possibile, inoltre, attribuire a questi dati essenzialmente geometrici, i valori di temperatura, radiazione e umidità tratti dalle stazioni meteorologiche, così da avere uno strumento valido per diversi progetti.

Questa prima fase ha riguardato la costruzione di un parametro, i cui dati sono direttamente impiegabili nella costruzione di relazioni con il progetto e non fungono solo da strumenti di analisi.

Il vettore solare, se impiegato in valide relazioni con il progetto, consente di elaborare la composizione delle forme con le stesse logiche di ottimizzazione proprie degli organismi naturali.

La scelta di questo parametro ha delle motivazioni precise. Da un lato puramente pratico, il sole ha caratteristiche prevedibili e costruibili geometricamente, e questo lo rende un elemento ideale in un *software* che lavora con calcoli algebrici e geometrici. Ma dal lato della visione sistemica, affrontata in questa tesi, è il parametro di riferimento principale della vita. Da questo dipendono tutti gli organismi, dalle forme unicellulari più semplici, ai più complessi sistemi di aggregazione, sia per via diretta, che indiretta attraverso la catena alimentare.

Nel caso biologico l'importanza del sole è data da fattori energetici, ricordiamo, ad esempio la fotosintesi clorofilliana nelle piante. Nel nostro caso, si tratta di un valore simbolico, dal momento che i suoi parametri non definiscono un fattore energetico essenziale, ma un ambito specifico per il controllo indiretto della temperatura.

Nelle immagini seguenti è illustrata la definizione dei parametri solari.

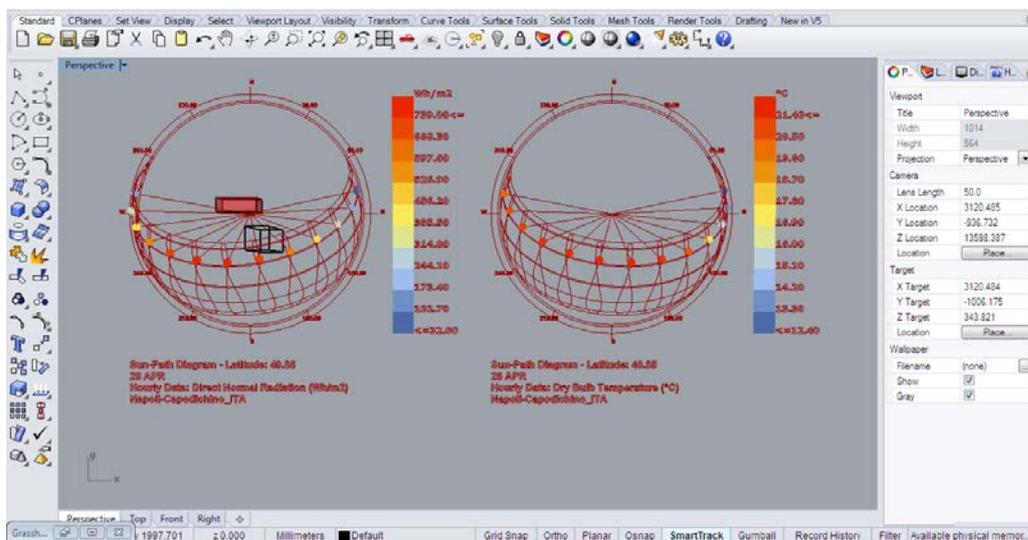


Figura 85 - Diagramma solare elaborato in Rhinoceros-Grasshopper, con i parametri di radiazione solare e temperatura. (R. Siani, 2014)

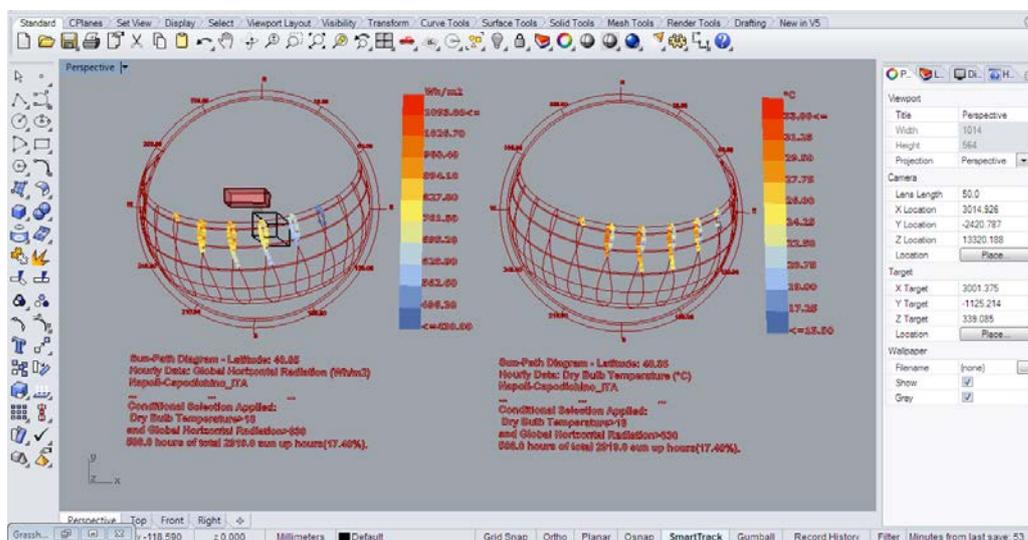


Figura 86 - Diagramma solare elaborato in Rhinoceros-Grasshopper, limitato a specifici range di radiazione solare e di temperatura (R. Siani, 2014).

Per comprendere le potenzialità generative delle logiche di questa progettazione, si propone un esempio preliminare semplice.

L'esercizio ha preso in considerazione come parametri di riferimento, oltre al vettore solare, anche i dati di temperatura ambientale e di radiazione solare.

Lo scopo è quello di progettare la giusta sporgenza di alcune mensole in facciata in funzione dell'ombreggiatura. Si prevede che l'ombreggiatura della superficie di facciata sia totale in alcuni casi specifici. Qui intervengo le scelte del progettista.

Nel caso in esame, si è scelto di prevedere l'ombreggiatura nei mesi più caldi dell'anno e sono stati sperimentati diversi valori di temperatura e di radiazione solare.

Oltre ai parametri solari, è possibile variare il numero di mensole, anche queste a discrezione del progettista.

La soluzione è costituita da una serie di superfici sovrapposte per lo spazio di ogni mensola, tale da corrispondere alla sporgenza massima necessaria per le diverse inclinazioni dei raggi solari. Per operare una scelta accurata delle soluzioni, si possono effettuare diverse simulazioni.

Su questi dati il progettista potrà operare scelte formali anche stilistiche, avendo come guida di riferimento i dati geometrici risultati dai calcoli prestazionali.

In questo caso, il risultato prestazionale è una guida, non una composizione finita, lasciando al progettista le scelte estetico-formali. Comincia a delinearsi il ruolo della progettazione parametrica come supporto e non sostituzione della progettazione classica.

Il generatore di vettori e parametri solari è applicabile a diversi progetti. Questa porzione del progetto generativo si presta a diventare parte di quella libreria di componenti astratti, di cui si parla in merito delle competenze.

I dati ottenuti dal generatore solare possono essere elaborati in vari modi.

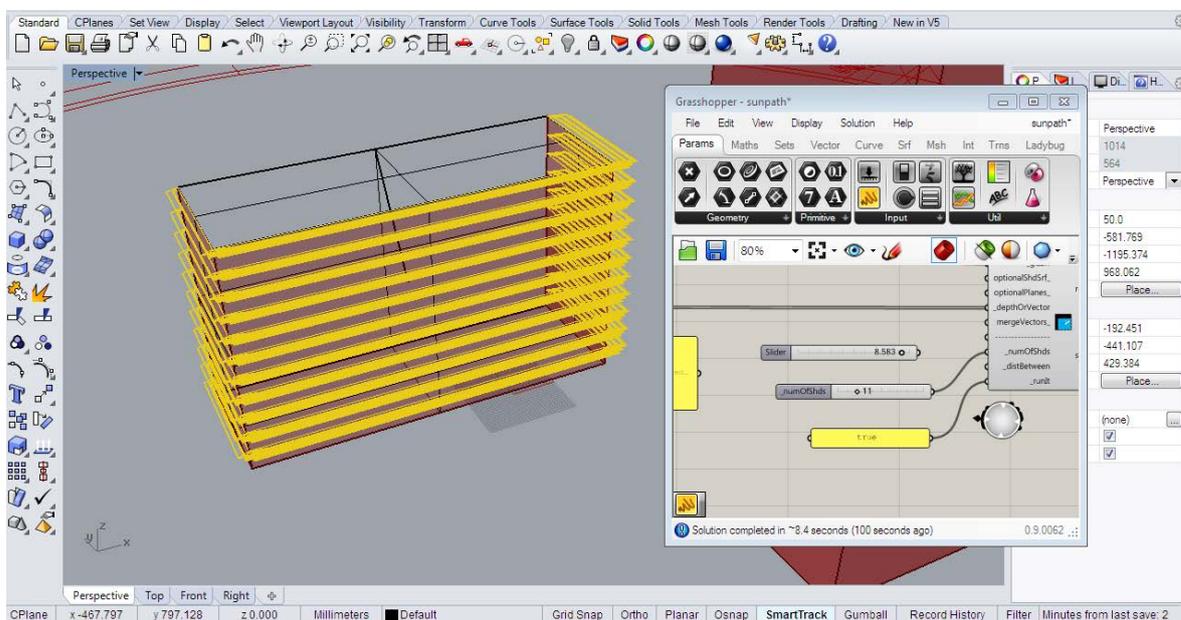


Figura 87 – Determinazione delle dimensioni delle mensole in funzione di un numero prefissato di elementi schermanti (11) e delle ore più calde del periodo estivo al fine di garantire l'ombra totale sulla facciata (R. Siani, 2014).

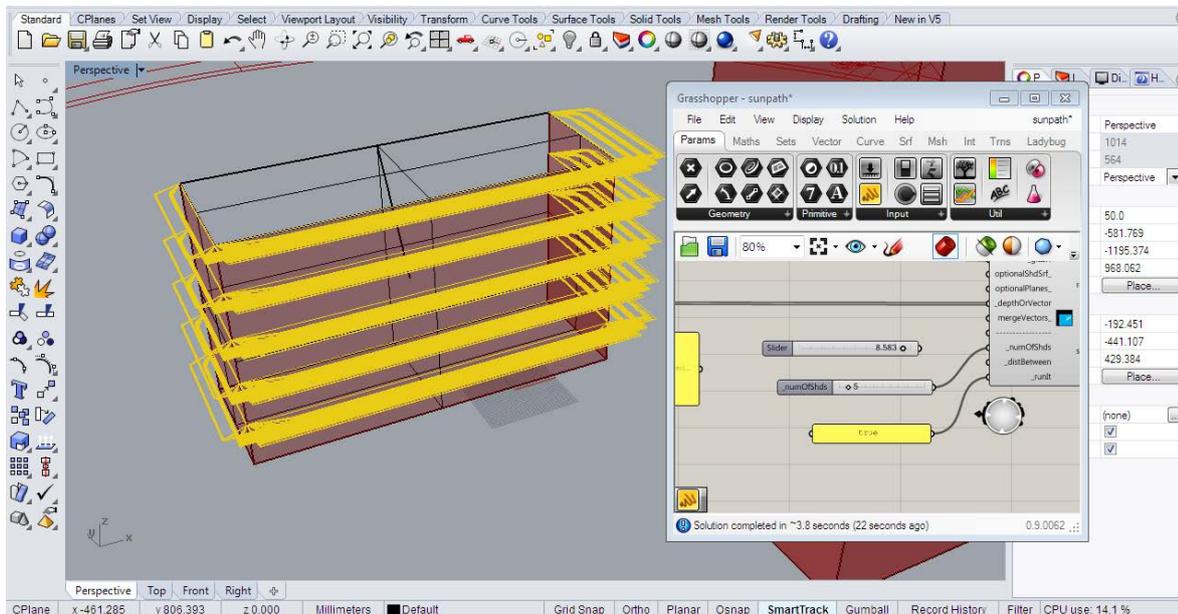


Figura 88 - Determinazione delle dimensioni delle mensole in funzione di un numero prefissato di elementi schermanti (5) e delle ore più calde del periodo estivo al fine di garantire l'ombra totale sulla facciata (R. Siani, 2014).

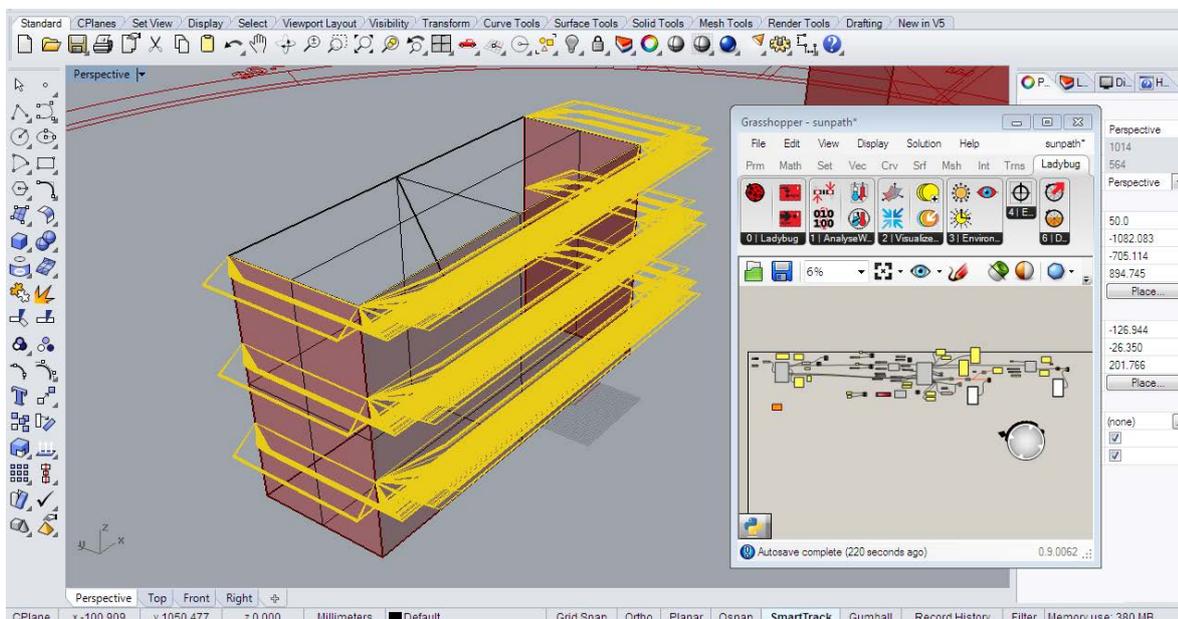


Figura 89 - Determinazione delle dimensioni delle mensole in funzione di un numero prefissato di elementi schermanti (5) e delle ore più calde del periodo estivo al fine di garantire l'ombra totale sulla facciata (R. Siani, 2014).

Utilizzo dell'algoritmo genetico

E' possibile elaborare anche forme più complesse delle superfici piane.

Maggiore è la complessità della composizione e maggiori saranno le soluzioni ottenute. La scelta della soluzione più efficace può essere effettuata con calcoli algoritmici.

Nel caso delle superfici in ombra, si può procedere con un processo di massimizzazione o minimizzazione delle superfici ad opera di un algoritmo genetico. Nel caso in esame, si è utilizzato *Galapagos*, un *plug-in* interno di *Grasshopper*.

Nella figura 90 si riporta un esempio di schermatura costituita da mensole curve ruotate, ovvero da un numero grande di elementi con superficie complessa.

L'impostazione di regole algebriche adeguate consente all'algoritmo di lavorare compiutamente.

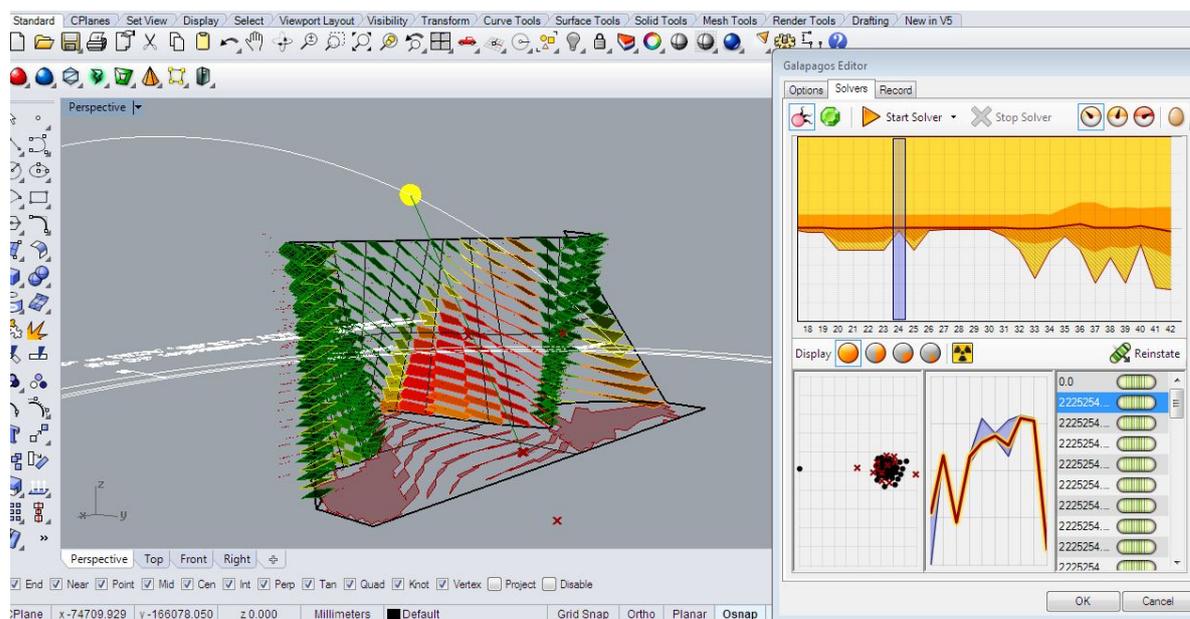


Figura 90 - Minimizzazione delle ombre, alle ore 13.00 del 29 gennaio per la latitudine di Napoli, ottenuta tramite la rotazione di superfici complesse operata dall'algorithm genetico Galapagos in Rhinoceros-Grasshopper. (R. Siani, 2015).

Progettazione sperimentale dell'over-cladding

Definiti i parametri solari e compreso il loro funzionamento, si illustra adesso la sperimentazione di una partizione esterna verticale per il controllo dell'ombreggiatura in facciata. Si tratta di un'over-cladding, o seconda pelle.

La schermatura solare proposta è composta da due lastre di materiale solido opaco parallele tra loro e alla parete dell'edificio a cui va applicata come seconda pelle.

Lo scopo della sperimentazione è il controllo dell'ombreggiatura, per il riscontro indiretto della temperatura superficiale del sistema edilizio.

Il valore sistemico del progetto è dato dalle relazioni con il parametro scelto. Il sole è un elemento esogeno che determina diversi effetti sulle architetture, in termini termici e luminosi, e interferisce sul valore dell'architettura stessa, sia in termini strettamente energetici, che funzionali in genere.

Lavorare sull'involucro del sistema tecnologico significa creare un filtro tra l'esterno e la superficie dell'edificio.

La struttura ideata si presta ad essere applicata sia ad edifici di nuova costruzione che a preesistenze, ed è soprattutto a queste ultime che di rivolge.

Il progetto è un vero e proprio strato aggiunto al preesistente, che assicura nei mesi più caldi la maggiore superficie di ombra possibile in faccia tramite una schermatura solare che comprende delle parti piene delle parti vuote. La presenza di aperture nella struttura consente la libera ventilazione nell'area interstiziale tra la chiusura verticale e la partizione esterna verticale.

Il doppio strato forato permette di variare l'incidenza del soleggiamento nelle diverse stagioni dell'anno. La distribuzione delle aperture sui due strati è calibrata in modo tale da restituire la maggiore ombra possibile nel periodo caldo.

Per raggiungere il risultato ottimale, ci si è avvalsi di un algoritmo genetico, capace di massimizzare e minimizzare la superficie di proiezione delle ombre, o, al contrario, la superficie interessata dal soleggiamento diretto.

Il progetto proposto nella fase generativa è completo nelle sue parti ed applicabile a diversi casi.

Il progetto attualizzato è calibrato sui parametri solari della città di Napoli, è applicato ad una parete teorica generica e non si riferisce ad un caso reale.

Questo esempio lavora su un principale parametro, il vettore dei raggi solari.

Il parametro guida la morfologia e distribuzione delle aperture, entro i limiti imposti dal progetto.

Nel caso riportato, le aperture hanno una forma quadrata, sono distribuite su una griglia ortogonale, e la loro dimensione cambia in funzione di punti sulla superficie.

Le due lastre hanno una composizione morfologica simile, in entrambe la forma delle aperture è quadrata, la griglia è diversa nelle due per numero di righe e differiscono nella posizione dei punti che governano la dimensione dei quadrati di bucatore.

La scelta della forma e della distribuzione delle aperture non è generata da fattori di ottimizzazione, ma dipende dalle scelte del progettista. Opportune modifiche al progetto generativo possono cambiare le forme ora quadrate, senza intaccare la logica di relazione che intercorre tra i raggi solari e l'ottimizzazione delle ombre. I quadrati possono essere sostituiti con cerchi, ovali o forme di qualsiasi foggia.

La scelta di una forma quadrata per le aperture ha due motivazioni principali. La prima rappresenta la volontà di lavorare con forme dall'aspetto poco organico, per valorizzare il significato sistemico del processo, più che la resa estetica. Il secondo motivo ha ragioni pratiche e riguarda la possibilità di integrare la struttura schermante con pannelli fotovoltaici, da applicare alla superficie, limitatamente alle parti piene. Per il fotovoltaico è preferibile avere a disposizione spazi chiusi regolari, come ne deriva dalle parti tra le aperture quadrate, piuttosto che forme curve e irregolari.

Questa parte del progetto è solo ipotetica, ma apre la possibilità ad altre applicazioni del progetto stesso.

Un'altra variante è rappresentata dalla possibilità di avere sulla lastra esterna una composizione figurativa delle aperture, nei limiti degli equilibri tra vuoti e pieni. Questa opzione dà al progetto di *over-cladding*, oltre ad una funzione prestazionale, anche un valore estetico-culturale, che può essere affrontato in termini di personalizzazione dell'oggetto, sempre in funzione delle logiche di questa tipologia di progetto.

Tuttavia, queste scelte riguardano modifiche sostanziali già nel progetto generativo.

Ci si limita alle modifiche apportabili al caso studiato nella fase di attualizzazione, per apprezzare le logiche di ottimizzazione che guidano il progetto.

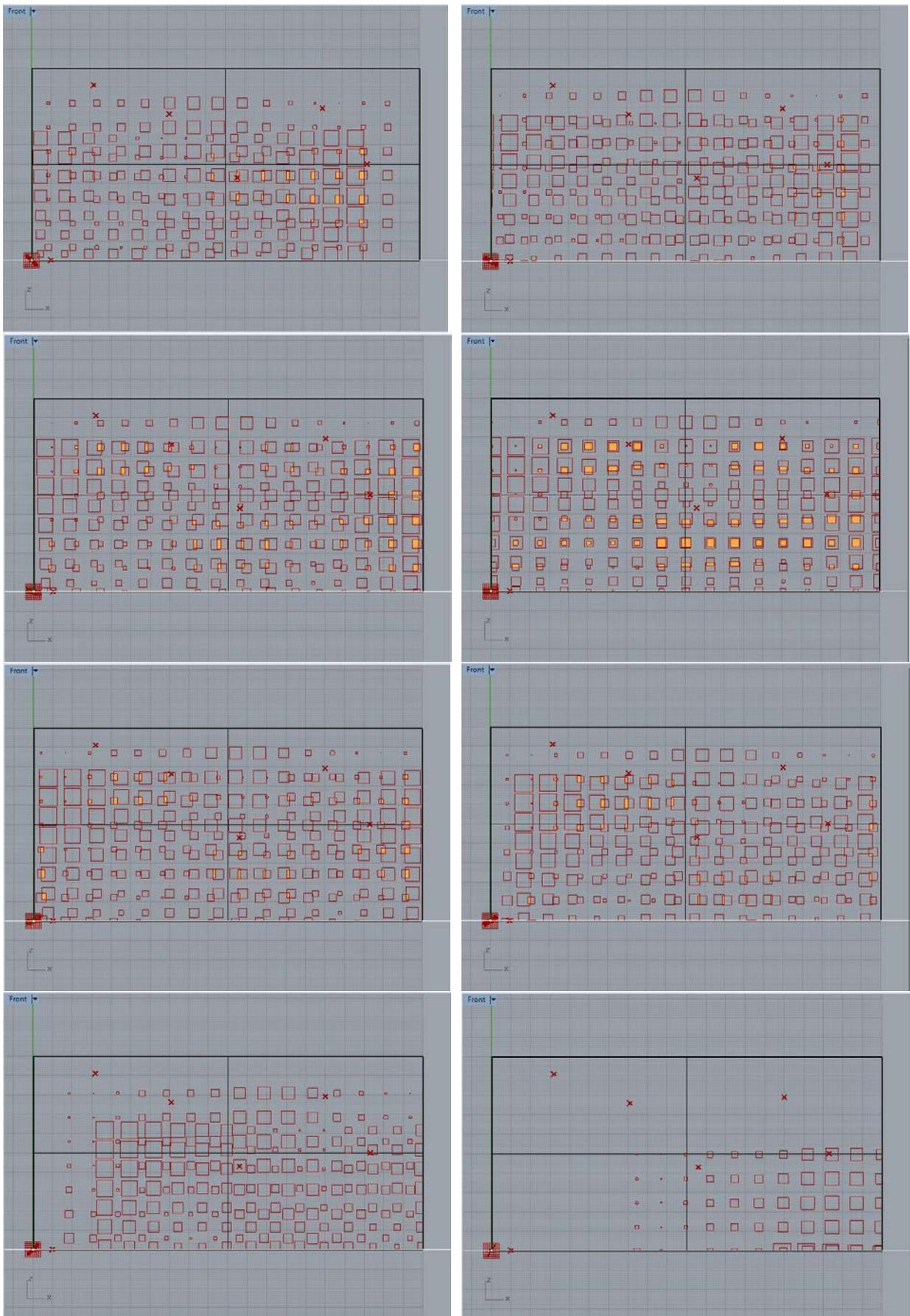


Figura 91 - Proiezioni delle aperture dei due pannelli costituenti l'*over-cladding* sulla facciata. In arancione è evidenziata la superficie soleggiata. Il risultato è stato ottenuto con l'impiego di un algoritmo genetico che minimizza la superficie esposta al sole in funzione della disposizione e della dimensioni delle aperture. Simulazione elaborata per la latitudine di Napoli alle ore 09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, 15.00 e 16.00 del 29 luglio (R. Siani, 2015).

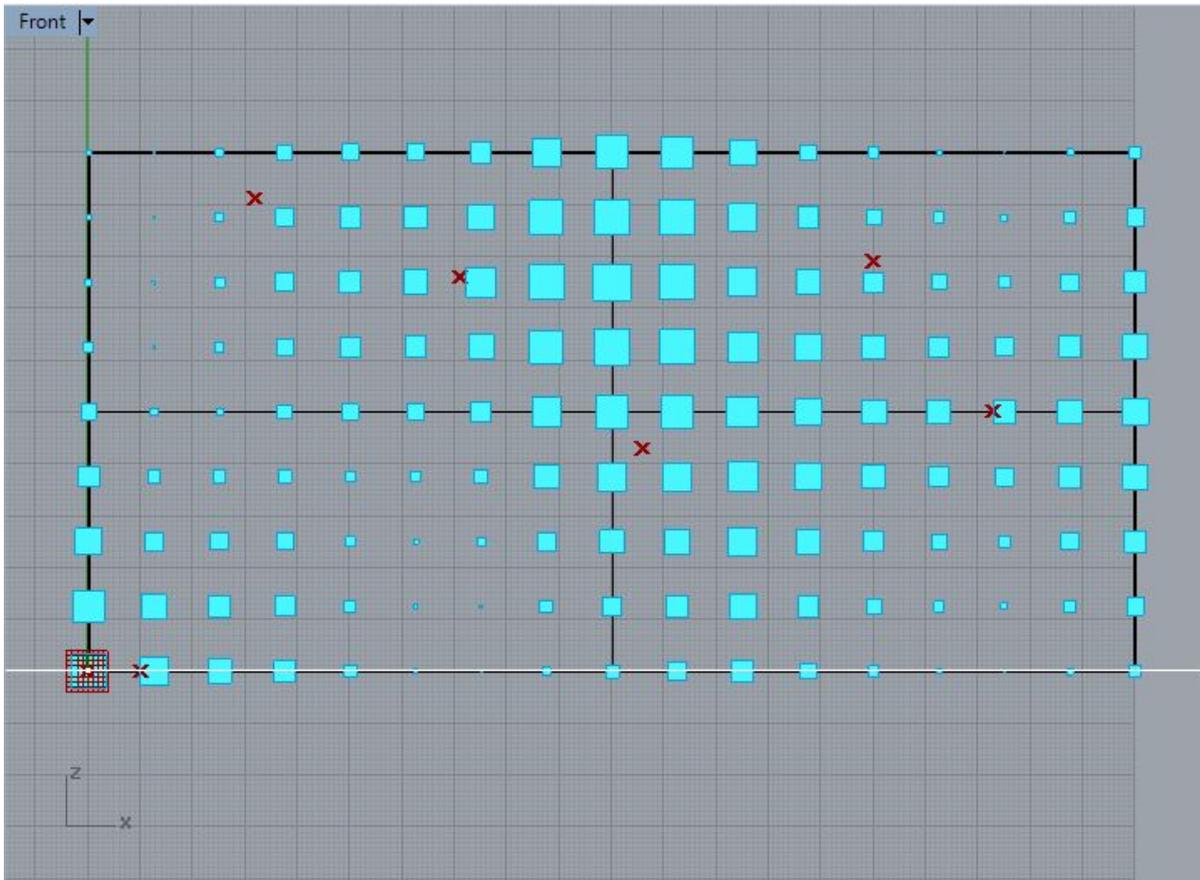


Figura 92 – Schema delle aperture del pannello interno dell'*over-cladding* (R. Siani, 2015).

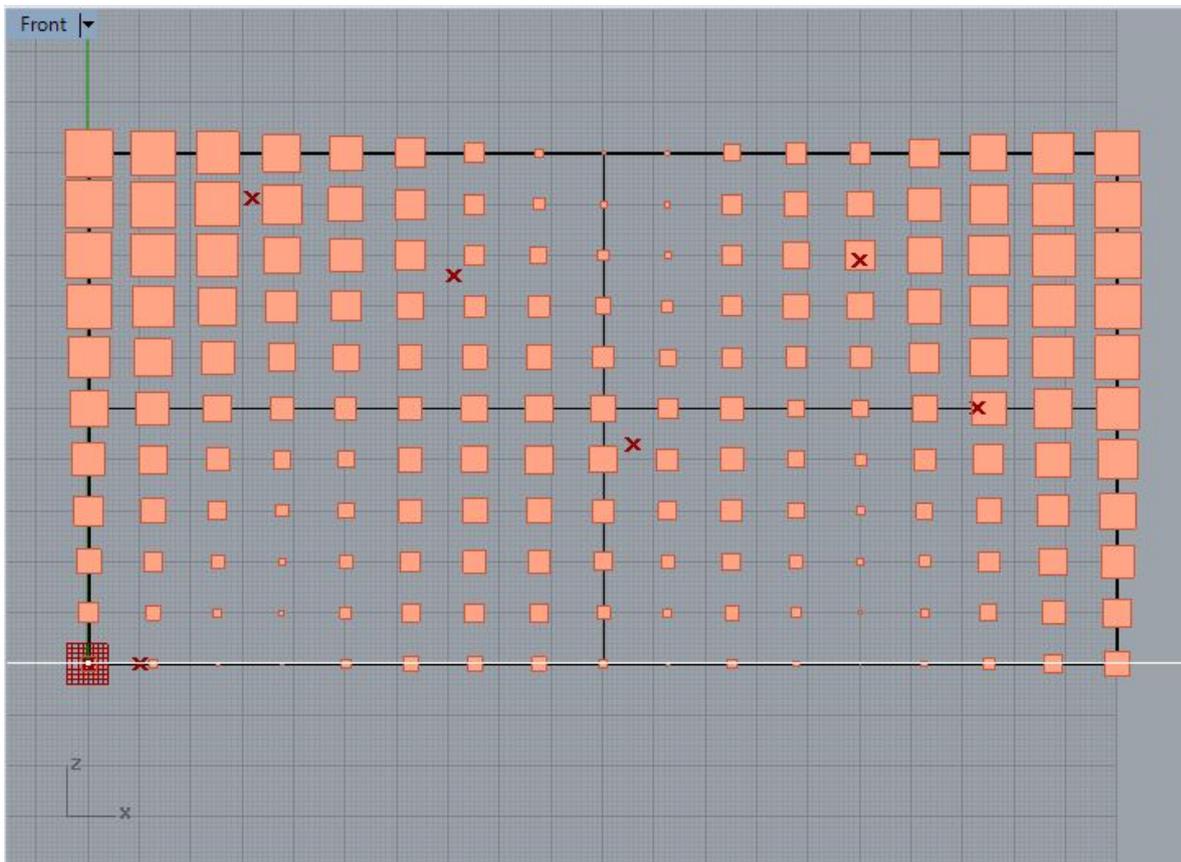


Figura 93 - Schema delle aperture del pannello esterno dell'*over-cladding* (R. Siani, 2015).

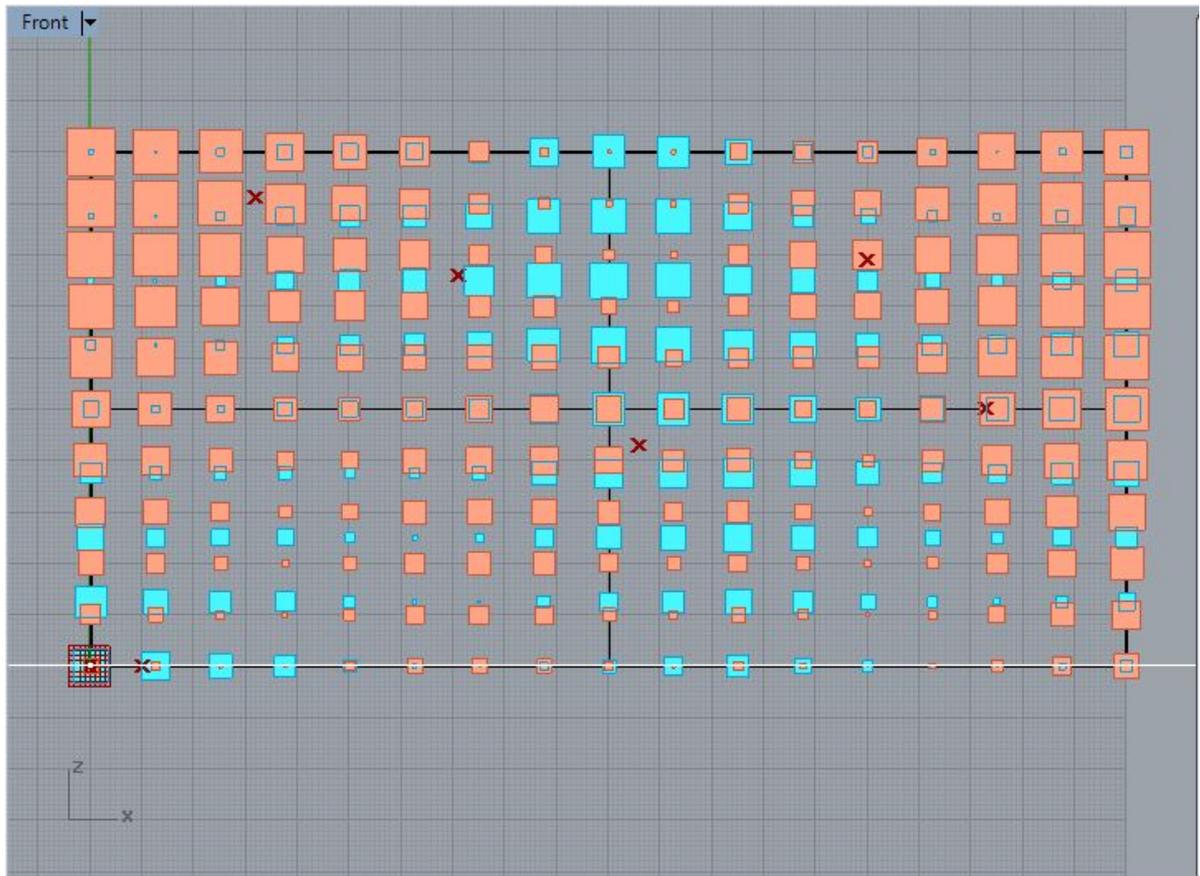


Figura 94 –Schema delle aperture dei due pannelli che compongono l’over-cladding. In arancione quelle del pannello esterno, in azzurro quelle del pannello interno (R. Siani, 2015).

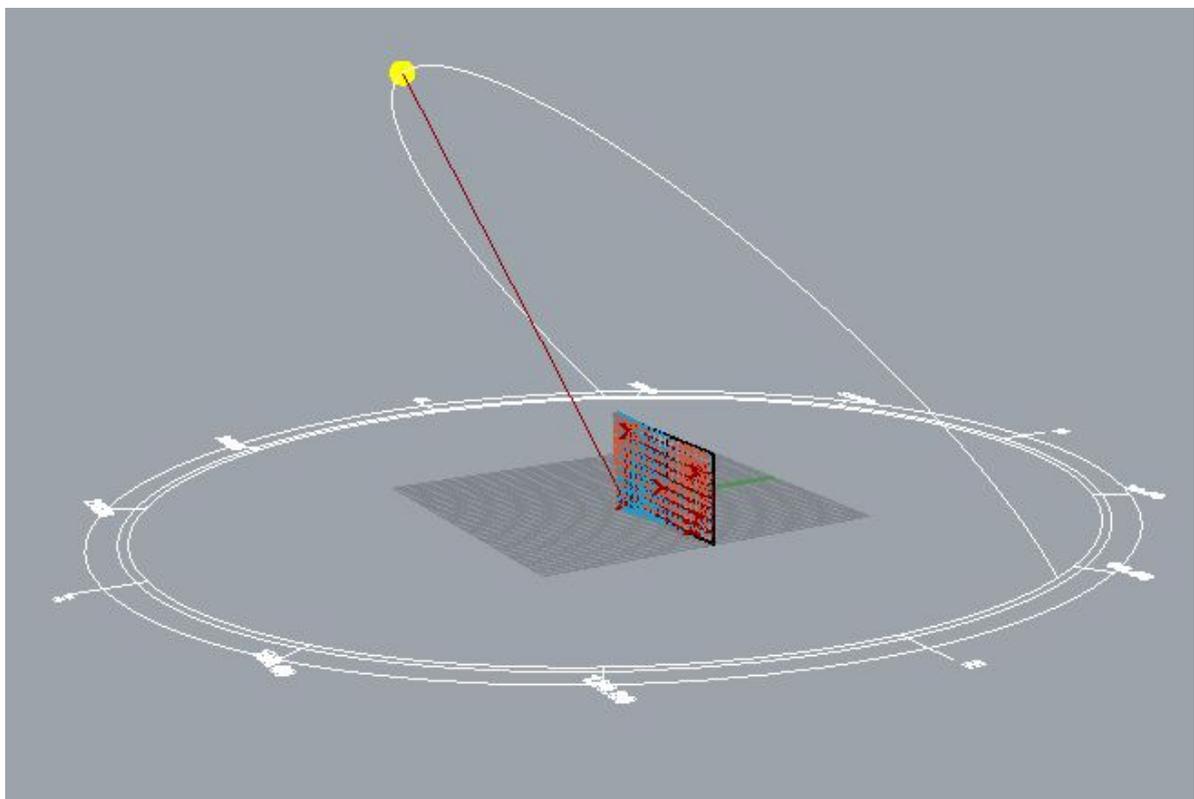


Figura 95 - Rappresentazione schmatica del progetto con la visualizzazione del vettore solare per la latitudine di Napoli, alle ore 13.00 del 29 luglio (R. Siani, 2015)

Le immagini si riferiscono alla massimizzazione delle ombre in un periodo dell'anno caldo, il 29 luglio e sono elaborate sui parametri di Napoli.

La sperimentazione con forme complesse è utile a comprendere le potenzialità di applicazione di queste logiche.

L'approfondimento affrontato sulla fabbricazione digitale e sulle diverse tipologie di macchine a controllo numerico vuole essere un invito a ragionare già in fase progettuale sulle possibilità di realizzazione di un determinato prodotto.

Sulla base di queste riflessioni si avviano una serie di considerazioni che portano alla composizione finale del progetto proposto.

La scelta di limitare il progetto a due lastre, consente la fabbricazione di due superfici piane.

La realizzazione di questi elementi avviene con macchine *cutter*, una macchina CNC abbastanza diffusa.

Le due lastre che compongono la schermatura, possono essere suddivise in moduli, definite dalle dimensioni del macchinario disponibile.

La scelta di limitare il progetto in funzione di una più immediata realizzabilità è dettata dalle esigenze di avere costi contenuti.

Realizzare un *over-cladding*, con prestazioni schermanti complesse, dalla composizione personalizzabile, amplia i casi di applicazione.

6.3 Un esempio di controllo indiretto della realizzazione del progetto: una proposta per trasporre un muro di adobe dal virtuale al reale

Questa seconda sperimentazione è stata svolta presso il centro di ricerca Les Grandes Ateliers che si trova a Villefontaine in Francia, durante un periodo di quattro mesi di residenza di dottorato. La supervisione della sperimentazione è stata svolta dal prof. arch. Philippe Marin e dal team di Amaco, lo studio del centro.

Lo studio Amaco svolge le sue ricerca dedicandosi a vari aspetti di ricerca sulla terra cruda in architettura.

Le potenziali applicazioni di un processo complesso alla progettazione con la terra cruda abbracciano varie possibilità e riguardano il materiale in sé o le tecnologie con cui questo viene impiegato nelle costruzioni architettoniche.

Si è scelto di svolgere la sperimentazione con una delle tecniche della terra cruda, l'adobe.

Questo argomento è studiato, all'interno del centro, dall'arch. Gian Franco Noriega, che ha dato un contributo tecnico teorico alla sperimentazione in esame.

L'adobe si esprime in diverse composizioni sia tradizionali, che innovative e queste riguardano sia la variazione della forma dei singoli mattoni, che la composizione dei muri.

La progettazione parametrica consente di elaborare modelli virtuali di muri di mattoni con il controllo di diversi fattori, dalla composizione di forme complesse di muro alla combinazione di mattoni con caratteristiche diverse, tali da produrre particolari prestazioni.

Uno schema riassuntivo delle possibilità di intervento sui mattoni può aiutare a comprendere i differenti aspetti su cui si può intervenire efficacemente nella progettazione dei muri di mattoni.

- Composizioni con mattoni di forma convenzionale
- Combinazione con mattoni con caratteristiche diverse (peso, resistenza)
- Forma non convenzionale dei mattoni.

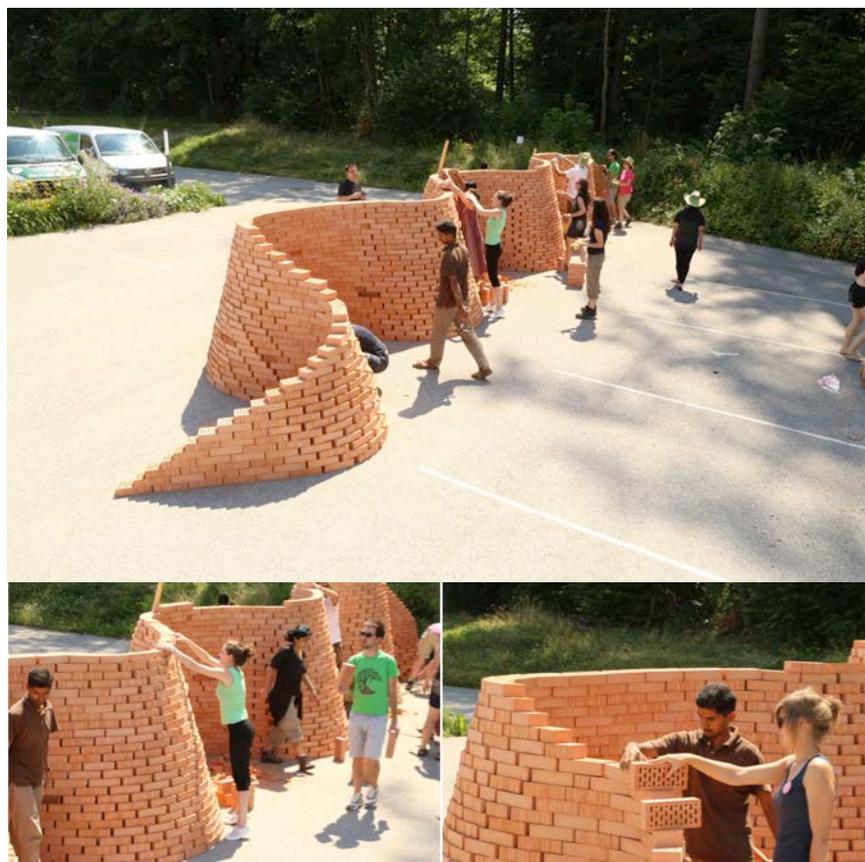


Figura 96 - Alcuni momenti di uno dei workshop sull'adobe organizzati dal centro Amaco (Gian Franco Noriega).

I modelli virtuali di muri di mattoni possono coprire una vasta gamma di soluzioni, in funzione di diverse esigenze, che siano strutturali, estetiche, o altro.

Il grande potenziale progettuale può esprimersi compiutamente solo se la trasposizione dal modello informatico alla costruzione reale avviene in modo preciso e rispondente.

La fabbricazione digitale di muri di mattoni è stata sperimentata da Gramazio e Kohler presso L'ETH di Zurigo, e prevede l'uso di un robot che dispone i blocchi di mattoni nella posizione esatta prevista dal progetto.

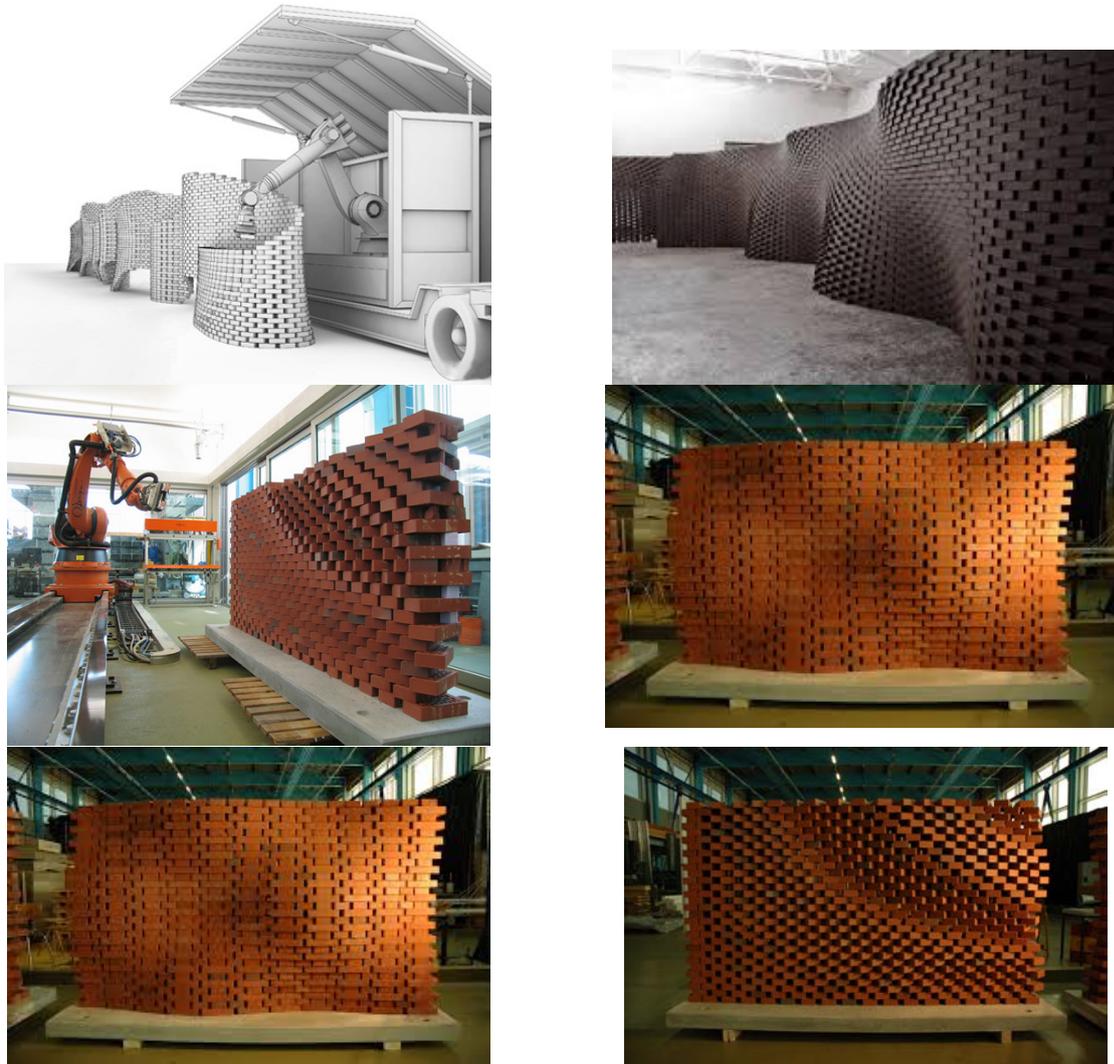


Figura 97 - Sperimentazione di muri di mattoni parametrici realizzati con un robot (Gramazio e Kohler).

Nonostante si tratti di uno strumento di grande precisione, ciò può diventare un limite. Una delle criticità di questo metodo di costruzione è la grande sensibilità dei robot, che non è in grado di comprendere le approssimazioni proprie della costruzione in muratura, ovvero la possibilità di piccole differenze nei blocchi e negli strati di malta. Ed è soprattutto con la malta che si hanno i maggiori problemi, tanto che le sperimentazioni proposte attuate dal gruppo svizzero si limitano alla composizione dei mattoni senza strati di malta come collante. Questa è una grande limitazione, perché nessun muro può resistere al tempo senza giunti tra i blocchi che lo compongono.

Per risolvere questo problema, ci sono due possibili strade: lavorare sui giunti o lavorare su un nuovo metodo di trasposizione del progetto dal virtuale al reale.

Nella sperimentazione che qui si propone viene indagato il secondo caso.

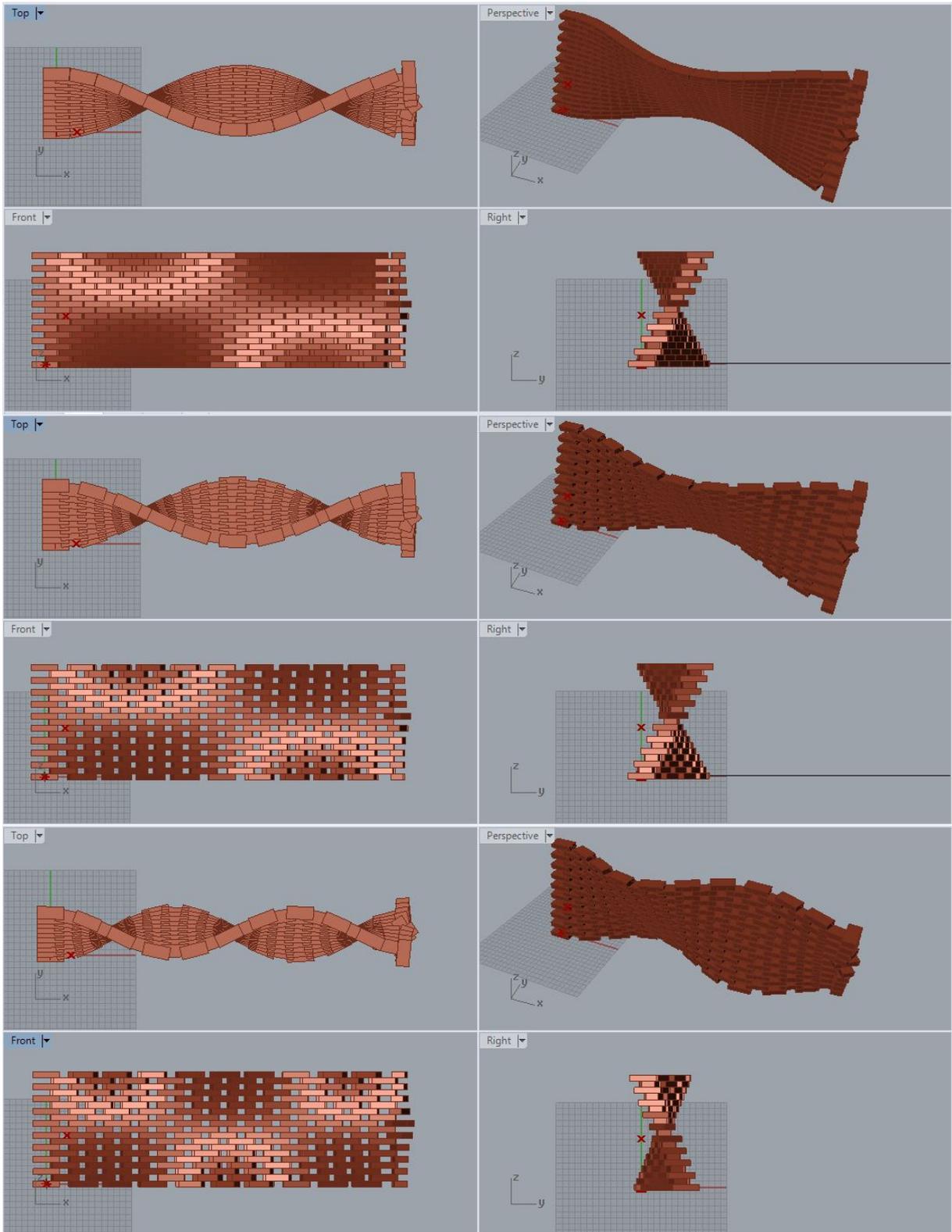


Figura 98 - Diverse configurazioni del muro parametrico di mattoni (R. Siani, 2015)

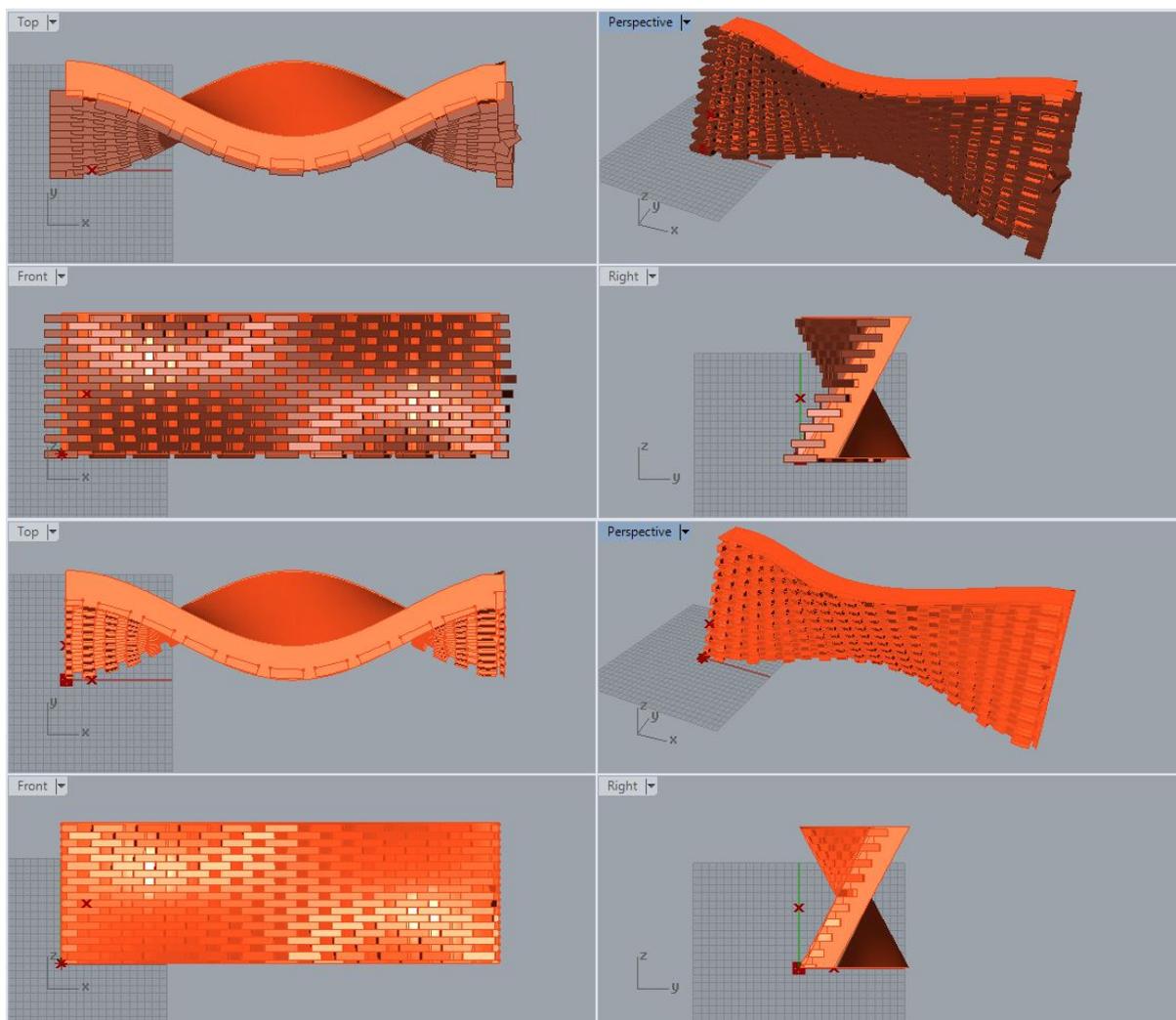


Figura 99 - Elaborazione del modello virtuale del negativo del muro parametrico (R. Siani, 2015)

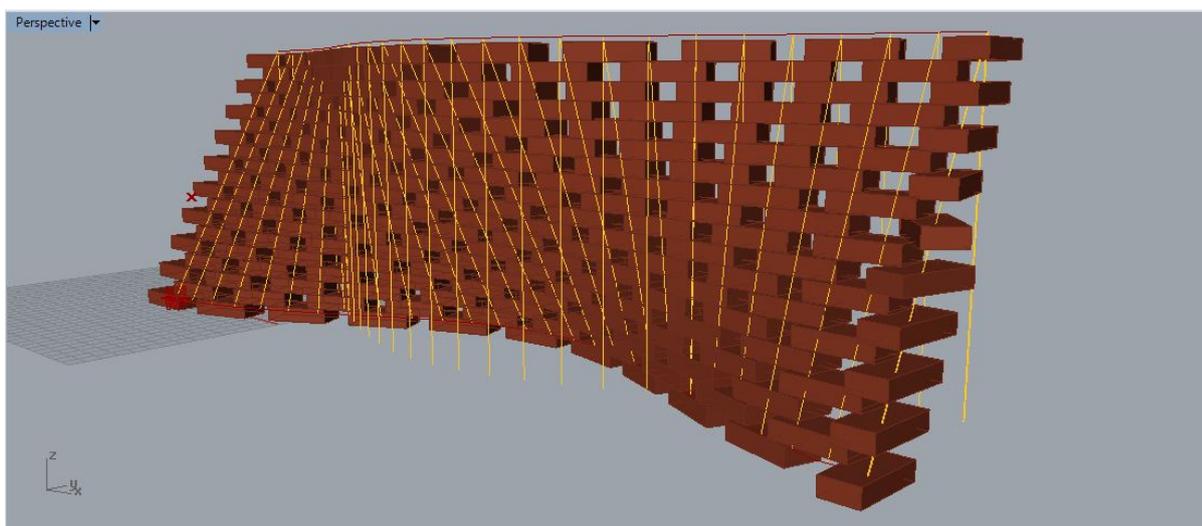


Figura 100 - Controllo dell'incilnazione della muratura (R. Siani, 2015)

Elaborato il progetto di un muro di mattoni, è possibile, con una serie di passaggi algebrici, costruire un modello virtuale del negativo del muro, così da avere per ogni livello di mattoni una guida alla costruzione.

Questi livelli che fungono da guida possono essere riprodotti in cartone resistente o in legni poco pregiati tramite le macchine *cutter*.

Una volta montati ad incastro tutti i componenti del negativo, questa struttura fa da guida al posizionamento dei mattoni.

La costruzione del muro, con questo metodo, mantiene il suo carattere artigianale e può essere realizzata a mano da parte di operatori esperti delle tecniche di costruzione, ma senza particolari competenze specifiche per questo lavoro.

Le possibili variazioni dimensionali dei mattoni e degli strati di malta, possono essere facilmente gestiti dal lavoro dell'operatore.

Questo metodo indiretto consente di trasporre le grandi potenzialità della progettazione parametrica nei campi tradizionali della costruzione, con strumenti di aiuto realizzabili con una *cutter*, una macchina abbastanza diffusa.

Nelle immagini seguenti si può osservare la costruzione di un modello reale dello strumento di supporto alla costruzione. Il modello realizzato è in scala. I blocchi di mattoni misurano 6x3x2cm.



Figura 101 - Modello reale del negativo del muro parametrico realizzato con elementi di legno pressato sagomati tramite una laser *cutter* (R. Siani e P. Marin, 2015)

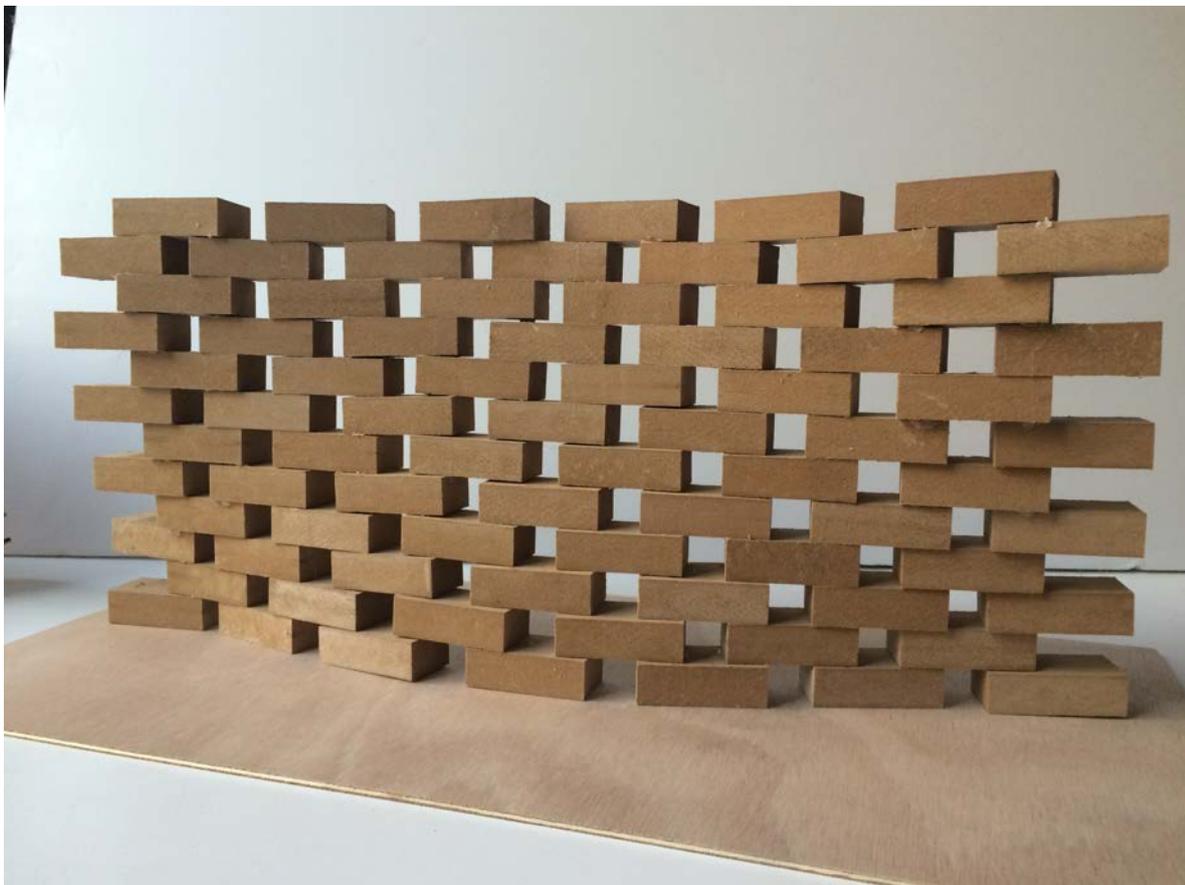


Figura 102 – Vista frontale del modello reale del muro parametrico realizzato attraverso l'utilizzo del negativo (R. Siani e P. Marin, 2015).

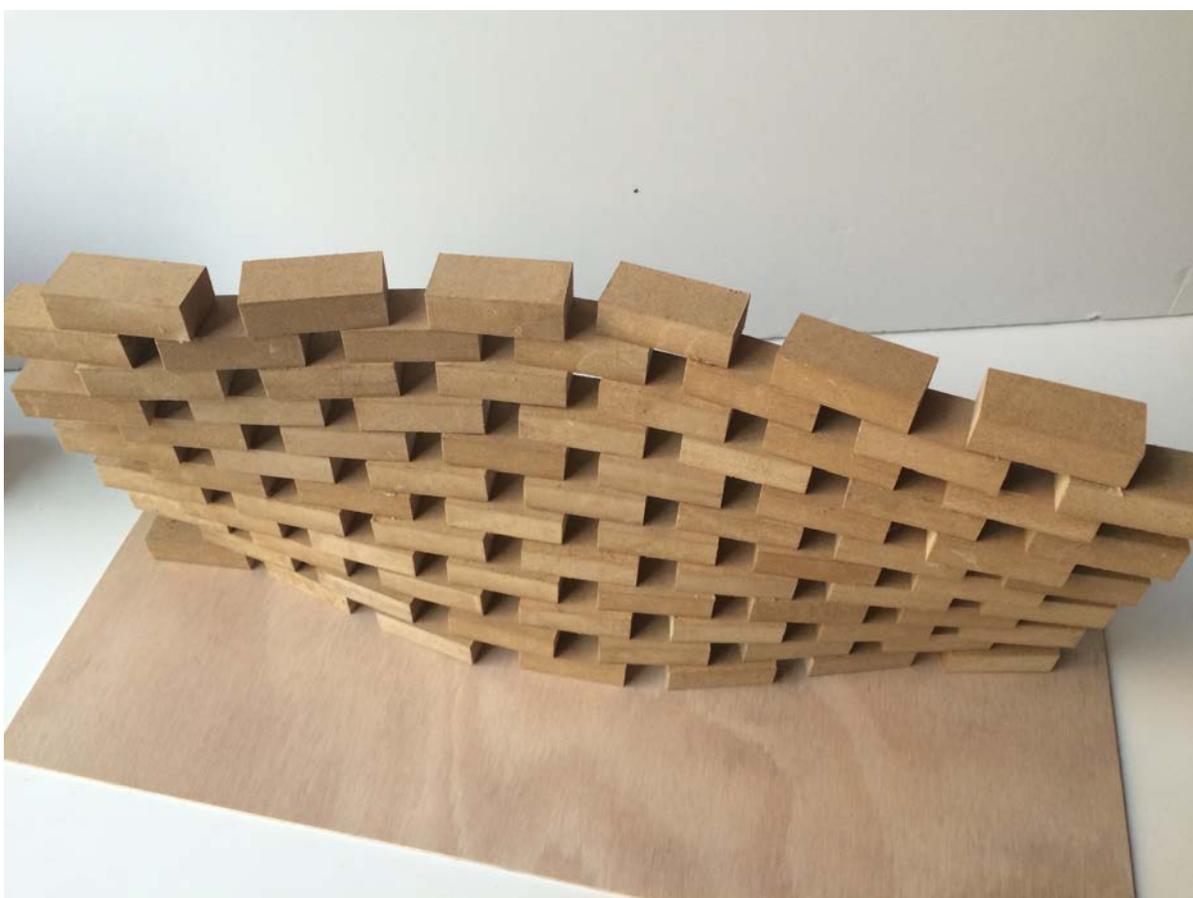


Figura 103 - Vista dall'alto del modello reale del muro parametrico realizzato attraverso l'utilizzo del negativo (R. Siani e P. Marin, 2015).

6.4 Prospettive future di ricerca

Il metodo progettuale indagato in questa tesi si trova come punto d'incontro tra diverse discipline, la biomimetica, come modello di riferimento, il design computazionale, come strumento di elaborazione progettuale e la fabbricazione digitale come tecnologia di costruzione.

Ognuna di queste discipline, già da sola, sta fornendo interessanti risposte innovative nel campo della progettazione, adottarle tutte insieme significa trovare dei campi di applicazione comune. Se da un lato si impongono delle limitazioni, dall'altro si prospetta un approfondimento di alcuni specifici temi.

La biomimetica limiterà la sua indagine ai meccanismi di connessione che generano le forme, più che alle forme stesse. Il *Computational Design*, che ha grandi potenzialità di elaborazione, si limiterà alla composizione di progetti con un sistema di relazioni aperte, che includa parametri ambientali, cominciando a costruire architetture o elementi interconnessi con l'ambiente, così da avvicinarsi all'obiettivo di un equilibrio ecosistemico.

La fabbricazione digitale limita le applicazioni della computazione digitale alle caratteristiche dimensionali, formali e materiche della macchine a controllo numerico.

In sintesi il progetto ottenuto sarà un'elaborazione digitale, in funzione della potenzialità dei software, modellata sugli esempi biologici, costruita con macchine CNC.

Lo studio svolto parte dalla comprensione dei significati e delle ragioni che accomunano le logiche organiche alle regole informatiche.

A fronte di questa comprensione teorica, sono stati elaborati due casi studio che sperimentano e verificano le logiche proposte in fase teorica.

L'obiettivo di una composizione sistemica per il progetto, viene affrontata con l'adozione dei parametri esogeni del sole, nel primo caso, e con alcune regole compositive di base della logica della costruzione dei muri di mattoni, nel secondo; inoltre entrambi sono calibrati sulle caratteristiche delle macchine *cutter*, per la produzione degli elementi costruiti.

La scelta dei parametri deriva dalla visione sistemica su cui si basa la tesi.

Impostare una relazione con il sole è uno dei primi passi per cominciare a costruire le architetture con le stesse logiche con cui la vita si auto-definisce. Oltre al valore fortemente simbolico, di questo parametro, aiuta a comprendere quanto un elemento ambientale possa letteralmente modellare il progetto. A questo punto, anche le logiche di composizione naturali cominciano ad essere più chiare.

Il processo sperimentale, dal lavoro con i *software* alla definizione delle regole da cui emerge il progetto, è stato un valido supporto di comprensione, che ha portato anche al consolidamento e alla verifica di alcuni aspetti teorici.

Il primo obiettivo delle sperimentazioni, quindi, è la comprensione pratica del processo progettuale.

I progetti realizzati hanno alcune relazioni sistemiche, ma il numero di parametri è ancora esiguo per poter fare un paragone compiuto con gli organismi viventi.

Il primo scenario per una successiva fase di sperimentazione risiede nella composizione di altri progetti con un numero maggiore di parametri.

I *software* parametrici impiegati negli esercizi svolti lavorano bene solo con un numero limitato di dati, dopo di che, il progetto diventa ingestibile. Quindi, una possibilità risiede nello studio di altri software e quindi nell'acquisizione di nuove competenze da parte dei ricercatori.

Un altro campo importante di sperimentazione riguarda la fase produttiva. Lo studio principalmente teorico delle macchine a controllo numerico deve essere affiancato da una sperimentazione pratica. Questo comporta la disponibilità di diverse tipologie di macchinari e l'acquisizione di competenze specifiche per affrontare le diverse tecniche di produzione. Tuttavia, anche utilizzando una delle macchine più diffuse, la *cutter*, che viene utilizzata in entrambi i progetti, è possibile realizzare progetti in vari ambiti, anche molto diversi tra loro. Un altro importante campo di approfondimento riguarda l'applicabilità di questo processo progettuale all'architettura. Questo approccio richiede competenze specialistiche e tempi di elaborazione diversi rispetto alla progettazione architettonica tradizionale. I risultati ottenuti raggiungono alti livelli prestazionali se correttamente elaborati. Escludendo la possibilità di sostituire questo approccio a tutti i campi di progettazione architettonica è importante avere una valutazione accurata degli ambiti più convenienti. Una ricerca valida consiste nella definizione di precisi ambiti di intervento e progettazione, valutati sulla base dei tempi e delle competenze richieste per svolgere le fasi progettuali.

Capitolo 7 - Feedback sul processo progettuale biomimetico sistemico

7.1 Le caratteristiche dell'approccio biomimetico sistemico in un'ottica ecologica

“Oggi sta diventando sempre più evidente che i problemi cruciali, problemi come energia, ambiente, cambiamento climatico, povertà, non possono essere compresi separatamente, sono problemi sistemici, interconnessi e interdipendenti.”¹¹⁹

La complessità è il modello di interpretazione più adeguato, la complessità sarà un efficace modello di soluzione in diversi ambiti.

In architettura, adottare un processo progettuale che imita alcuni aspetti del mondo biologico rappresenta un valido contributo alla composizione di progetti architettonici ricchi di connessioni con il contesto e con i materiali di cui è costituito, è un passo in più verso la definizione di un'architettura eco-sistemica, ovvero dell'elaborazione di sistemi architettonici sempre più connessi con l'ambiente circostante e quindi sempre più vicini ad un'idea ecologica.

Il ciclo di vita

Il ciclo di vita per la produzione artificiale può essere paragonato ai cicli di vita degli organismi biologici, in questo modo è già intuitivamente evidente che, nonostante le similitudini concettuali, tra i due intercorre un diverso grado di complessità. Se nel primo caso abbiamo un percorso lineare, nel secondo le connessioni sono così tante e varie, che anche una piccola variazione del percorso può avere ripercussioni sull'equilibrio di un intero eco-sistema.

Per secoli l'impatto delle attività antropiche sull'ambiente non è stato valutato, ma questo non vuol dire che non abbia avuto effetti, ed è proprio dalla comprensione di conseguenze dirette delle attività antropiche, ad esempio l'inquinamento o la deforestazione, ma anche indirette, come l'effetto serra o i cambiamenti climatici, che si è presa coscienza dell'impatto delle nostre azioni sull'ambiente.

Riuscire a controllare un progetto complesso, ovvero capace di intessere diverse connessioni con parametri endogeni ed esogeni, può essere uno strumento per guidare le ricadute sul contesto, favorendo le conseguenze propizie e limitando quelle negative.

William McDonough e Michael Braungart¹²⁰ propongono un ciclo che va dalla culla alla culla, ovvero, un percorso continuo che dalla fine vita di un prodotto immagina l'inizio di un nuovo prodotto, evitando o almeno limitando i rifiuti. Si tratta di un contributo molto importante nel campo tecnologico e progettuale, soprattutto perché propone di fare di un problema un'opportunità. La fine vita di un prodotto diventa l'inizio di un altro. E' un percorso semplificato rispetto a quello che già accade in biologia da sempre.

La questione dei rifiuti, delle emissioni e degli scarti non esiste in natura, perché l'ecosistema è così efficace dopo i millenni di evoluzione che ogni scarto di un organismo è fonte di cibo per un altro.

A differenza dei nostri approcci top-down, che propongono una limitazione ad un problema, come la diminuzione di un rifiuto, gli approcci bottom-up della natura impostano e affrontano il problema in un altro modo. Nel momento in cui c'è abbondanza di un

¹¹⁹ Capra, F., Luisi P. L., *Vita e natura. Una visione sistemica*. ed Aboca, San Sepolcro 2014

¹²⁰ McDonough, W., Braungart, M. (2002), *Dalla culla alla culla. Come conciliare tutela dell'ambiente, equità sociale e sviluppo*, Blu Edizioni, Torino 2003

determinato elemento, questo diventa interessante per alcune forme di vita, che si adattano ai cambiamenti e prosperano nell'abbondanza di quello che diventa un nuovo sostentamento per loro.

Il più grande esempio di questo fenomeno lo possiamo riscontrare ai primordi della vita sulla terra.

Tra i primi organismi viventi sulla terra c'era un particolare tipo di alga unicellulare. L'alga traeva il suo sostentamento dal sole e dall'anidrite carbonica, presente in buona quantità nell'atmosfera in seguito alle intense manifestazioni vulcaniche di quel periodo geologico. Lo scarto principale dell'alga era costituito dall'ossigeno. La presenza abbondante di sole e anidrite carbonica comportò la diffusione dell'alga, che così in un lungo tempo riempì l'atmosfera di ossigeno. Ricordiamo che l'ossigeno è un gas corrosivo, che su molti materiali provoca ossidazione. Siamo di fronte quindi ad un grande problema per l'equilibrio della terra, ma è proprio quando l'atmosfera diventa satura di questo gas che cominciano a comparire le prime forme di vita che basano sull'ossigeno la loro esistenza, ristabilendo un equilibrio. Da quelle prime, elementari forme di vita discende la nostra capacità di vivere e prosperare in un'atmosfera in cui è presente l'ossigeno.

E' con questo approccio che la vita ha conquistato anche gli angoli più impervi della terra.

Una ricaduta diretta di questa saggezza potrebbe essere l'adozione di un materiale presente in abbondanza sul territorio, ma non utilizzato, magari considerato un rifiuto o un problema.

Riguardo al ciclo di vita McDonough e Braungart prevedono due approcci, l'elaborazione di un tecno-ciclo e quella di un bio-ciclo, dove nel primo caso si prevede un sistema chiuso, nel secondo aperto e quindi maggiormente connesso con l'esterno.

Prendendo in considerazione quest'ultimo approccio, più vicino alle logiche di questa tesi, il modello proposto risulta come una sintesi dei processi che avvengono in biologia.

Con gli strumenti informatici proposti è possibile cominciare ad elaborare progetti con alcuni parametri tratti dall'ambiente, aumentando gradualmente il numero di parametri in un percorso che va verso l'emulazione dell'ecosistema.

Si tratta sempre di percorsi che nascono dal basso, dall'osservazione del contesto e abbastanza flessibili da correggere l'andamento in corso d'opera, proprio come accade alle specie animali con la loro capacità di adattamento. Questi discorsi possono essere adatti alla progettazione a grande scala di territori e città, ma possono avere dei riscontri interessanti anche a scala di edificio se non di componente.

Il cambiamento come paradigma della vita

"Nulla è permanente, tranne il cambiamento" diceva Eraclito.

Ancora una volta l'intuizione filosofica anticipa la verifica biologica.

Darwin si esprime in merito ai cambiamenti in ambito biologico e dice che "il più forte sopravvive, chi si adatta meglio prospera". La chiave del successo è nel cambiamento e più precisamente nell'adattamento.

La capacità di adattamento di un organismo, sia esso un organismo biologico o culturale, dipende da molti fattori, uno degli aspetti cruciali è la velocità con cui i cambiamenti si manifestano, tanto più rapido sarà la mutazione delle condizioni, tanto più impegnativo sarà l'adattamento.

Se il cambiamento è fisiologico, il cambiamento eccessivamente rapido diventa patologico.

La giusta velocità delle alterazioni perché siano sostenibili, cambia caso per caso, ma è opinione assodata che la nostra società e il nostro ambiente si sta trasformando ad una velocità superiore a quella sperimentata in passato e quindi stiamo andando in contro ad un

periodo di vera e propria sperimentazione, in cui non ci sono precedenti storici con cui confrontarci.

I cambiamenti climatici, l'aumento demografico esponenziale, il depauperamento delle risorse alimentari, energetiche e ambientali, sono alcuni degli esempi più devastanti e influenzano tutti i sistemi della terra, proprio per quella logica di interconnessione complessa.

Ormai è chiara la portata del problema, molti governi stanno adottando misure di salvaguardia, ma, anche arrestando del tutto i fattori che hanno determinato l'innescio di questa fase di instabilità eco-sistemica, l'opinione scientifica afferma che il precedente equilibrio è compromesso, l'unica strada percorribile è l'adattamento ad un nuovo equilibrio.

Gli scenari previsti sono solo ipotetici, e dipendono da cause solo in parte controllabili dall'uomo.

In questa incertezza, la soluzione più plausibile è l'adozione di nuovi sistemi sociali, economici e culturali più resilienti, ovvero più abili a superare cambiamenti improvvisi ed imprevisti.

Questo obiettivo, perché sia effettivamente valido, va raggiunto in diversi ambiti, non da meno l'architettura.

La resilienza

“La resilienza è la capacità di un sistema di superare il cambiamento.”¹²¹

In ecologia e biologia è la capacità di un materiale di autoripararsi dopo un danno o di una comunità (o sistema ecologico) di ritornare al suo stato iniziale dopo essere stata sottoposta a una perturbazione che l'ha allontanata da quello stato.¹²²

L'interesse verso le capacità resilienti di un sistema è la diretta conseguenza della sensibilizzazione ecologica degli ultimi decenni e la comprensione che le aggressioni che la società umana infligge all'ambiente sono tali che non sempre i sistemi ambientali sono in grado di sopportare la perturbazione e ripristinare lo stato precedente allo squilibrio.

L'attenzione verso una possibile resilienza in architettura nasce dal bisogno di fronteggiare meglio gli squilibri che naturalmente investono l'edificio o i suoi componenti.

Se consideriamo il sistema edilizio come un organismo interconnesso, ancora più peso avranno i fattori esterni ed interni che intervengono nella definizione dell'edificio, e fondamentale sarà la capacità di questo di superare le possibili perturbazioni, siano esse piccole o grandi.

L'edificio è un piccolo sistema con il suo contesto e pertanto partecipa delle oscillazioni dovute agli agenti esterni, che vanno dai semplici agenti atmosferici a cambiamenti di vario tipo, che includono anche catastrofi come terremoti o alluvioni. Le perturbazioni possono interessare anche semplicemente un cambio di destinazione d'uso o altri fattori culturali, che richiedono un adeguamento degli spazi ai nuovi costumi.

Si tratta di un tema ampio e ogni categoria di perturbazione, sia essa periodica e prevedibile, o improvvisa e solo possibile, richiede un campo di applicazione specifico.

¹²¹ Wieland, A. & Wallenburg, C.M. (2013): *The Influence of Relational Competencies on Supply Chain Resilience: A Relational View*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 43, No. 4, pp. 300-320.

¹²² <http://it.wikipedia.org/wiki/Resilienza>

In questo ambito possiamo affrontare delle riflessioni generali sul concetto di resilienza tratte dagli organismi viventi per giungere ad una più matura consapevolezza da trasmettere alla progettazione architettonica.

Non tutti gli organismi viventi, siano essi animali, piante o intere foreste, hanno lo stesso grado di resilienza e soprattutto non sono resistenti agli stessi fattori. Banalmente possiamo dire che un orso polare è resiliente ai climi e all'habitat polare, ma avrebbe poche speranze di sopravvivenza già ad una latitudine di poco più bassa, nessuna speranza in un clima desertico o tropicale.

Organismi complessi come foreste e praterie hanno una relazione molto forte con il contesto e sono più o meno resistenti ai cambiamenti a seconda della quantità e qualità di perturbazioni esterne che quotidianamente li investono. La foresta amazzonica che prospera in un clima per lo più uniforme, senza grandi sbalzi di temperatura nella varie fasi dell'anno e con precipitazioni costanti o di poco variabili tutto l'anno ha maturato un basso grado di resilienza, perché non era necessario.

Le praterie americane, invece, soggette a stagionalità, periodi di siccità o di piogge abbondanti, fronteggia quotidianamente piccoli e grandi disturbi e in migliaia di anni ha sviluppato delle difese efficaci per il mantenimento della sua costituzione. La cosa interessante è che, nonostante la prateria persista nelle varie condizioni, superando anche lunghe siccità, la tipologia delle piante che le compongono cambia, o meglio, cambia la percentuale di alcune tipologie nei confronti di altre. Il motivo di questo è semplice. Negli anni in cui le piogge sono abbondanti prosperano gli arbusti che necessitano di più acqua, mentre negli anni di scarse piogge sono le piante dell'agave o simili piante grasse che sopravvivono meglio e quindi risultano più numerose. Inoltre tra i diversi tipi di piante si creano delle simbiosi, tali che anche nei momenti più estremi, consentono la sopravvivenza di esemplari di ogni specie, anche quelle più svantaggiate dal momento climatico.

Fenomeni simili si manifestano anche nella nostra macchia mediterranea, che oltre alle oscillazioni del clima, è in grado di superare le concentrazioni di salsedine dovute a sporadiche mareggiate che raggiungono i crinali delle colline a picco il mare, o anche ai roghi dovuti ai periodi prolungati di caldo secco.

L'insegnamento più evidente che ricaviamo da queste osservazioni sugli organismi naturali è che la resilienza non è compiuta da principio, ma conquistata nel tempo. E' la continua relazione con il contesto che genera delle capacità negli organismi. Questo è dovuto in parte alla capacità di adattamento di ogni organismo, in parte agli spietati meccanismi di selezione naturale, in cui gli organismi meno adatti soccombono e nel lungo tempo si creano organismi sempre più adeguati. Inoltre le capacità acquisite non sono cristallizzate, ma proseguono la pratica dell'adattamento in un contesto in costante cambiamento.

Trasferire questa capacità di resistenza ai cambiamenti in architettura non è immediato. Siamo portati a pensare al progetto architettonico come definito e in questo modo la resilienza dovrebbe essere un fattore già ben composto in fase progettuale prima ancora della costruzione. In alcuni casi, come nella prevenzione delle lesioni da terremoto, questo avviene di norma. Tuttavia, in un concetto di resilienza che abbracci anche fenomeni imprevisi, non è possibile pre-impostare tutto nella fase progettuale, o meglio non è conveniente preparare una fase progettuale capace di fronteggiare tutti gli accadimenti. Se realmente vogliamo imitare il processo naturale, la strada migliore è rendere l'architettura abbastanza flessibile da adattarsi, ma sempre nell'ambito delle possibilità più probabili di uno specifico contesto in riferimento al clima o a fattori culturali.

In altri termini, si promuoverà un progetto con un grado ed una tipologia di resilienza locale e non universale. Anche qui intercorrono le logiche di interconnessione con il contesto. Gli strumenti informatici parametrici, abbinati a queste consapevolezze sul significato biologico di resilienza, possono dare un grande contributo, ma la strada da percorrere è appena cominciata.

Ottimizzazione e personalizzazione

Insieme nei processi progettuali e produttivi che derivano da una progettazione complessa c'è la possibilità di lavorare sull'ottimizzazione.

Questo è un altro dei punti che avvicina la progettazione parametrica alla biologia.

Ottimizzare un materiale significa utilizzare una minor quantità di materiale per assolvere alle medesime prestazioni.

In termini ecologici questo è un grande potenziale.

Quando l'ottimizzazione interessa le prestazioni, se queste sono collegate ad un minor consumo energetico, c'è un risparmio di risorse a monte che giova all'intero ciclo di vita del prodotto realizzato e anche in questo caso troviamo delle ricadute ecologiche.

Se la fase generativa prevede una molteplicità, la fase attualizzata è per sua stessa definizione una singolarità, ne consegue una personalizzazione del progetto.

Questa condizione può diventare un fattore determinante in cui sia necessario un prodotto con alte prestazioni dipendenti da molti parametri.

Sviluppo, decrescita e crescita

Crescita e sviluppo sono due termini propri della biologia. L'uso metaforico di cui se ne fa nei nostri sistemi culturali è un diretto riferimento a due fasi specifiche di un organismo vivente.

Il mondo occidentale, a partire dalla rivoluzione industriale, ha vissuto un periodo di crescita elevata e sul modello della crescita ha basato le sue proiezioni e programmazioni sia in campo economico che produttivo. Negli ultimi decenni la crescita ha diminuito o azzerato la sua corsa, almeno nei paesi occidentali, e questo manda in crisi il sistema produttivo.

Nonostante sia chiaro ed evidente che un pianeta finito non può sostenere una crescita infinita, da parte dell'opinione pubblica l'attenzione è sempre rivolta ai punti percentuali di crescita, al PIL e ai numeri della produzione. Per il momento sembra ancora più semplice portare all'estremo un modello che ha reso bene per diversi decenni, piuttosto che sostituirlo con uno più adeguato al momento storico che stiamo vivendo.

Le proposte per nuovi modelli ci sono.

Lo sviluppo sostenibile, con l'attenzione simultanea all'ambiente, all'economia e alla socialità, è un modello che punta ad un graduale contenimento dei danni causati da una crescita selvaggia e irrispettosa degli equilibri che si generano tra i diversi ambiti della società, ponendo l'accento su altri valori oltre a quello dei numeri della produzione. Uno dei meriti di questo approccio è aver diffuso la consapevolezza della limitazione delle risorse, siano esse materie prime da impiegare nella produzione, che beni ambientali il cui sfruttamento incontrollato può minare il loro valore e minacciare la sopravvivenza delle generazioni future.

Una proposta alternativa sia alla crescita che allo sviluppo ci giunge da un economista e filosofo francese, Serge Latouche, che promuove il modello della "decrescita felice".

Serge Latouche critica il concetto di economia intesa in *modo formale*, ossia come attività di mera scelta tra mezzi scarsi per poter raggiungere un fine. Rifacendosi in tal senso al pensiero di Karl Polanyi egli mira a proporre nelle sue opere il concetto dell'*economico*,

rifacendosi alla definizione di *economia sostanziale*, intesa come attività in grado di fornire i mezzi materiali per il soddisfacimento dei bisogni delle persone.¹²³

Egli critica, attraverso argomentazioni teoriche e con un approccio empirico comprensivo di numerosi esempi, il concetto di sviluppo e le nozioni di razionalità ed efficacia economica. Queste infatti appartengono ad una visione del mondo che mette al primo posto il fattore economico; per Latouche invece si tratta di *"far uscire il martello economico dalla testa"*, cioè di decolonizzare l'immaginario occidentale,¹²⁴ che è stato colonizzato dall'economicismo sviluppatista.¹²⁵ I numerosi testi di Latouche evidenziano che i maggiori problemi ambientali e sociali del nostro tempo sono dovuti proprio alla crescita ed ai suoi effetti collaterali; di qui l'urgenza di una strategia di decrescita, incentrata sulla sobrietà, sul senso del limite, sulle "8 R" (riciclare, riutilizzare ecc.) per tentare di rispondere alle gravi emergenze del presente.

Secondo Fritjof Capra per porre un freno al capitalismo selvaggio e al consumo di risorse incontrollato non è necessario fare appello a teorie della decrescita, queste ultime sono inadeguate e la direzione da percorrere è quella della crescita qualitativa:

*"Secondo me crescita zero, o decrescita, non è la soluzione. La crescita è una caratteristica centrale della vita, una società o un'economia che non crescono prima o poi moriranno. Però nella natura la crescita non è lineare, né illimitata, mentre alcune parti degli organismi e degli ecosistemi crescono altre decadono, liberando così e riciclando le proprie componenti che a loro volta diventano risorse per una nuova crescita. Questo tipo di crescita equilibrata e sfaccettata è ben nota ai biologi e agli ecologi, la chiamiamo crescita qualitativa, in contrapposizione alla crescita quantitativa, quel concetto economico attuale misurato con l'indice indifferenziato del Prodotto Interno Lordo. Quella che si chiama crescita oggi giorno è più che altro spreco, oggi abbiamo un'economia dello spreco e della distruzione. Crescita qualitativa è una crescita che valorizza la qualità della vita attraverso la generazione e la rigenerazione. La crescita qualitativa include un aumento della complessità, della raffinatezza e della maturità".*¹²⁶

La linea di pensiero più vicina alle logiche di questa tesi è evidentemente quella di Capra.

Secondo quanto possiamo dedurre da considerazioni sull'osservazione diretta della naturale, oltre che dalle riflessioni precedentemente esposte, la crescita qualitativa non è un modello da imporre ad una società, in quanto organismi, essa già avviene naturalmente, bisogna comprenderne i meccanismi per guidare i cambiamenti, accelerando alcune componenti e smorzandone delle altre, in altre parole c'è da fare un grande lavoro a partire dall'interno e dalle disponibilità presenti, non da ipotesi utopiche scollegate dalla realtà.

L'idea di calare una soluzione dall'alto è faticosa, dispersiva, inefficace.

L'atteggiamento di lotta verso i sistemi ritenuti inefficaci o dannosi non è mai una soluzione completa, in natura non si vince con la forza, se non in piccoli e ristretti ambiti, ma con la capacità di adeguarsi e sfruttare al meglio le risorse, le forze e le possibilità disponibili in quel momento.

In qualche modo si può dire che i piccoli mammiferi, simili a topolini, hanno sconfitto i dinosauri, perché al momento della grande estinzione di massa del Cretaceo-Paleocene, i piccoli animali, più abili all'adattamento, sono sopravvissuti, ripopolando la terra delle successive e svariate specie di mammiferi che oggi abitano la terra, a discapito della stirpe dei rettili, che oggi ha manifestazioni meno varie. La crisi ha promosso gli animali che si sono

¹²³ Polanyi, K., *Economie primitive arcaiche e moderne*, Einaudi, 1980, pag. 135.

¹²⁴ Latouche, S., *Decolonizzare l'immaginario. Il pensiero creativo contro l'economia dell'assurdo*, ed. EMI, 2004

¹²⁵ Latouche, S., *Mondializzazione e decrescita. L'alternativa africana*, edizioni Dedalo, 2009 pp.112 e segg.

¹²⁶ Capra, F., Luisi P. L., *Vita e natura. Una visione sistemica*. ed Aboca, San Sepolcro 2014

adattati meglio a quello specifico cambiamento, gli equilibri delle forme di vita sono cambiati, ma la vita si è preservata, merito delle sue strategie sistemiche.

Per adottare al meglio queste logiche nella nostra società bisogna comprendere quali sono gli elementi che già la compongono capaci di prosperare nelle nuove condizioni che si stanno prospettando in quest'ultimo periodo e stimolarne la crescita.

Avere una comprensione globale e simultanea di tutti gli eventi presenti nella nostra società è inimmaginabile, tuttavia è possibile identificare alcuni fenomeni emergenti in specifici ambiti.

Nell'ambito tecnologico, la progettazione informatizzata, la fabbricazione digitale e il web, che assicura una facile diffusione di idee e competenze, oltre che di contenuti progettuali veri e propri, sono gli indizi di un nuovo possibile modello produttivo, in un momento storico in cui, tanta parte degli squilibri ambientali, economici e sociali sono dovuti ad un'exasperazione del sistema produttivo industriale.

7.2 La singolarità del progetto come alternativa alla produzione standardizzata

7.2.1 Le potenzialità di un sistema di produzione personalizzata basato sulla fabbricazione digitale

Nell'ambito della produzione una delle caratteristiche più interessanti del processo progettuale complesso in due fasi, la generativa e l'attualizzata, è la singolarità del prodotto. Come gli individui di una specie, ogni esemplare è unico, ma rappresenta una variazione entro *range* stabiliti di determinati caratteri. Ogni prodotto attualizzato è diverso dagli altri, ma tutti sono riconducibili ad un unico progetto generativo.

In fase progettuale, come abbiamo visto, i tempi della definizione di un progetto attualizzato sono più brevi di quello della composizione di un modello generativo, questo comporta una rapida personalizzazione del prodotto con la modifica dei parametri prevalentemente numerici.

La produzione ha dei tempi variabili, dipendenti dalla macchina adottata per la tecnologia di trasformazione, ma è tuttavia un tempo intermedio tra la produzione industriale e quella artigianale.

Quello che si perde in velocità si guadagna in qualità, la personalizzazione del prodotto in alcuni ambiti è di grande importanza.

Inoltre con la fabbricazione digitale la produzione di varianti non ha costi aggiuntivi.

Non ci sono costi di ammortamento legati ad uno specifico oggetto, come accade con i cliché, il cui importo viene suddiviso come spesa nelle migliaia di copie prodotte.

Nella fabbricazione digitale la produzione di tante varianti o di un unico modello non cambia i costi di produzione.

Deduciamo, quindi, che gli impieghi ottimali di questa progettazione e produzione riguardano campi specifici, in cui il costo maggiore dovuto a tempi di produzione più lungo sia reso accettabile dalla necessità di personalizzazione.

La personalizzazione è a volte l'unica possibilità, e il costo maggiorato rispetto ai prodotti standardizzati diventa competitivo.

Consideriamo ambiti non architettonici per avere esempi efficaci. Ingranaggi o pezzi di ricambio metallici di antichi macchinari o di auto d'epoca a volte sono molto rari, perché le produzioni industriali sono terminate da molti anni. Riprodurre uno di questi pezzi meccanici con i metodi industriali vuol dire creare un nuovo cliché, che ha dei costi alti, non adeguati alla produzione di pochi esemplari. In questo caso, la progettazione di un modello

tridimensionale dell'oggetto e la sua produzione con macchine a fusione di metalli, può risolvere egregiamente il problema, con costi accettabili per il valore del prodotto, altrimenti irrealizzabile o sproporzionatamente costoso. E in queste nicchie di mercato, già si avverte una certa diffusione della fabbricazione digitale.

In campo odontoiatrico è facile immaginare come la produzione di protesi personalizzate con questi metodi sia interessante e competitiva, se si considera che l'unica alternativa possibile è la produzione artigianale, che richiede tempi maggiori e ha risultati di minore precisione.

In architettura un esempio importante è l'ottimizzazione in relazione a parametri variabili caso per caso, pensiamo al progetto proposto della schermatura, in cui i parametri del sole cambiano in relazione alla latitudine, ma anche in funzione dell'orientamento dell'edificio.

L'ottimizzazione delle prestazioni o dei materiali è una strada necessaria per ridurre l'impatto ambientale delle nostre architetture.

Se ci sono campi in cui è evidente la convenienza dell'impiego della progettazione complessa e della fabbricazione digitale, non sempre questo è immediatamente valutabile in architettura.

Si rende necessaria una ricerca che valuti i costi e i benefici per specifici sotto-ambiti progettuali, come ad esempio gli elementi di involucro, o anche la composizione degli spazi in rapporto alla funzione, e così via.

Riassumendo, le differenze principali tra questo approccio produttivo e quello industriale sono la personalizzazione e la possibilità di produzioni di piccoli numeri, al limite uno.

Già Ciribini negli anni '80 aveva intuito le potenzialità degli strumenti informatici per la produzione.

“Oggi giorno, in regime di automazione dell'informazione, la serie oggettuale perde in ogni caso gradualmente di importanza per essere il ciclo operativo comandato da un insieme logicamente compiuto di istruzioni automatizzate preventivamente elaborate o anche istantaneamente elaborabili in sede organizzativa: l'organizzazione prende, dunque, il sopravvento.”

“La tecnologia degli automatismi di forza e degli automatismi di comando e di controllo, ordinati in una trama governata dall'elaborazione automatica di informazioni, tende ad affrancarsi (e non solo in meccanica) dal vincolo paleoindustriale della schiavitù della serie, vanificando l'importanza già attribuita al fattore “quantità” col rivestire il prodotto soprattutto di valori intrinseci piuttosto che di valori accessori.”

“I progressi dell'elettronica applicati all'automatica trasformano, di conseguenza, la nozione di standard quale caposaldo formale di serie oggettuali in quella di serie di sistemi di stimoli informatori, integratori di sistemi operativi versatili in grado di dar vita a oggetti continuamente diversi, fabbricati in tanti o in pochi esemplari o, al limite, in uno solo.”¹²⁷

Se questo tipo di produzione si pone in opposizione a quello industriale, è possibile che la diffusione di questi nuovi strumenti limitino alcune esasperazioni della produzione in serie, che minano gli equilibri economici oltre che a quelli ambientali e sociali, e che si stanno manifestando con tutto il loro impeto proprio in questi anni.

7.2.2 Considerazioni sulla produzione di massa

La rivoluzione industriale ha comportato per la nostra società la conquista di altri livelli di benessere variamente distribuite nelle fasce sociali, ma anche ad alti costi, i primi si sono

¹²⁷ Ciribini, G., *Tecnologia e progetto*, Celid, Torino 1984, p. 112

verificati in ambito ambientale, allorché la produzione ha cominciato a raggiungere ritmi molto alti e la concentrazione delle industrie era limitata. La coscienza di questo primo grande danno si è avuta solo da pochi decenni, ma è un concetto assodato. Quello che forse è meno diffuso come sentimento comune è che la crescita illimitata a cui spingiamo la produzione industriale oggi sta degenerando in un grande squilibrio che coinvolge gli ambiti sociali ed economici.

Sociali, perché la delocalizzazione della produzione in paesi in cui i costi di manodopera sono inferiore impoverisce le fasce sociali a cui viene tolto il lavoro.

Economici, perché basando la produzione su modelli di crescita illimitata si crea una situazione insostenibile, una produzione illimitata per un mondo limitato in risorse, ma anche in consumi.

Se la produzione di beni di massa agli inizi aveva una grande domanda, dovuta al bisogno di beni essenziali per la popolazione, con il tempo, colmati le richieste, la domanda è calata.

Diverse sono state le strategie per aumentare la domanda, e vanno dall'obsolescenza programmata, alla necessità indotta nei consumatori di nuovi prodotti non necessari. Inoltre, diffondendo il modello di benessere occidentale basato sul consumismo anche ai paesi in via di sviluppo, si sono create nuove domande, per un circolo vizioso non privo di aberrazioni e conseguenze negativa.

La produzione industriale in sé non è un problema, perché rende accessibili i beni anche alla popolazione meno abbiente e dà un impiego a buona parte dei lavoratori, creando un regime stabile economico e sociale. Se poi la produzione adotta criteri di salvaguardia ambientale, come previsto dalle leggi, i danni ecologici possono essere limitati se non resi nulli del tutto.

Il problema è nel protrarre a ritmi esponenziali della produzione. Oggi questo accade in vari ambiti e i motivi sono complessi. Da una parte c'è sicuramente la corsa a guadagni più alti, ma dall'altra, un calo dei consumi, causato ad esempio dalla crisi che stiamo vivendo, induce diverse reazioni da parte del mondo produttivo. Un esempio è la diminuzione dei prezzi dei prodotti, mantenendo per un po' i consumi accettabili. Ma per prezzi più bassi, oltre ad una minore qualità c'è la necessità di un maggiore numero di produzione che assorbi i costi. Si creano circoli viziosi tali da giungere a paradossi in cui, ad esempio, nonostante ci siano migliaia e migliaia di automobili invendute, che si degradano lentamente in immensi luoghi di stoccaggio, la produzione non può essere fermata, per diversi motivi, tra cui la perdita di lavoro da parte degli operai e quindi una maggiore diminuzione dei consumi da parte dei lavoratori. Pur senza disporre di adeguati strumenti per la comprensione delle logiche economiche, è evidente a molti che c'è un problema nella produzione di massa insito nelle sue logiche di base, che presuppongono una crescita o quanto meno un livello stabile dei consumi per mantenere attiva la produzione, una contrazione dei consumi è vista come un problema, quando in realtà è un evento naturale, come sono naturali le oscillazioni in qualsiasi sistema.

Il problema non è nella diminuzione dei consumi, ma nel sistema, che non ha una resilienza sufficiente a gestire una variazione in negativo della produzione.

Ecco quindi, che un sistema produttivo non legato necessariamente ai grandi numeri di produzione per essere remunerativo e che al limite può produrre un solo esemplare di un oggetto, senza minare le logiche del sistema, può essere una preziosa alternativa alla produzione in scala.

La fabbricazione digitale, che già sta intervenendo in settori di nicchia, potrebbe estendere il suo campo di azione, limitando di conseguenza la produzione di massa, smorzandone le conseguenze negative.

Si tratta al momento solo di un'intuizione, non ci sono dati concreti a validare questa argomentazione.

Il primo momento di indagine riguarda le modalità di diffusione della fabbricazione digitale, che per le sue caratteristiche intrinseche non si presta alle logiche di localizzazione concentrata, propria della produzione industriale, ma piuttosto è più probabile ed auspicabile una diffusione capillare delle macchine a controllo numerico che elaborano le trasformazioni sui materiali con i dati informatici, i cui strumenti sono già largamente diffusi e presenti in gran parte del territorio mondiale.

Studiate le possibilità, va compresa la ricaduta sul mondo produttivo, e per questo sono necessarie indagini di mercato e previsioni statistiche, che non competono la tecnologia dell'architettura. Si evidenzia la portata multidisciplinare del fenomeno.

7.3 I mezzi di sperimentazione e divulgazione della fabbricazione digitale.

In relazione al nuovo processo produttivo descritto, indaghiamo la nascita di una nuova realtà, un luogo di incontro e di sperimentazione in cui la fabbricazione digitale fa da protagonista: i fab lab e i suoi protagonisti i maker.

7.3.1 Makers e Fab Lab

I maker sono i protagonisti di un movimento basato sull'interesse verso l'apprendimento di capacità tecniche e la loro applicazione creativa al fine di fabbricare oggetti o inventare soluzioni innovative. Si tratta di un fenomeno culturale diffusosi nell'ultimo decennio per una naturale evoluzione del fai-da-te verso una dimensione sociale facilitata dalla rete Internet, in cui la sperimentazione, la risoluzione di problemi non sono più un fatto personale ma si inseriscono in una o più comunità conoscendo la dimensione della collaborazione. L'evoluzione del movimento verso la fabbricazione digitale nasce dalla diffusione simultanea di progetti e tecnologie come le macchine a controllo numerico, tra cui le stampanti 3D, Arduino, l'open hardware, che sono fioriti proprio nell'ultimo decennio quale frutto di comunità e ricerche indipendenti ma sorprendentemente complementari.¹²⁸

Questo movimenti spontaneo, un vero e proprio fenomeno emergente, affonda le sue radici nel web, la ragnatela globale, che è essa stessa una piattaforma sistemica di comunicazione, connessione, condivisione.

La comunità che ne è sorta sta convergendo verso un'unica tendenza, grazie a fenomeni di imitazione e al contributo ideologico di romanzi come Makers di Cory Doctorow (oltre al suo blog Boing Boing¹²⁹) e soprattutto riviste come MAKE¹³⁰. Oltre all'inventiva e la reinterpretazione della tecnologia, che sono gli elementi cardine, ci sono delle interpretazioni del movimento in chiave ideologica-sociale, come scrive lo stesso Doctorow i Maker sono "persone che modificano meccanismi e hardware, modelli di business e soluzioni abitative, per scoprire modi per tirare avanti e vivere felici anche quando l'economia va a finire nel cesso".¹³¹

¹²⁸ http://makeinitaly.foundation/wiki/Il_movimento_maker

¹²⁹ <http://boingboing.net>

¹³⁰ <http://makezine.com>

¹³¹ <http://boingboing.net/2009/10/28/makers-my-new-novel.html>

Chris Anderson, invece, ex direttore di Wired, pone l'accento sulla condivisione dei saperi tecnologici: "il movimento maker avviene quando la generazione web incontra il mondo reale".¹³²

I *Maker* sono i soggetti, la fabbricazione digitale è l'obiettivo e i *FabLab* sono laboratori di fabbricazione¹³³, i "luoghi fisici in cui questi nuovi modelli di processo e di prodotto si concretizzano, sono i posti dove si rivoluzionano dalle fondamenta i principi di scambio di beni e di idee per incontrare le sostenibilità globale e la solidarietà".¹³⁴

La prima idea di un laboratorio con queste filosofie progettuali e produttive nasce nel 2001 al *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), nel corso dal titolo *How to Make (almost) Anything* coordinato da Neil Gershenfeld del *Center for Bits and Atoms* (CBA). Nel 2003, dopo il successo del primo corso, il progetto si amplia con l'inaugurazione di un laboratorio finanziato con il supporto della *National Science Foundation*.¹³⁵ Nasce il primo *FabLab* della storia come diminutivo di *Fabrication Labs*, o anche di *Fabulouse Labs*.¹³⁶

Il fattore determinante dei *FabLab* non è l'idea del laboratorio in sé, ma l'insieme dei laboratori che crea una comunità fisica su territorio mondiale collegata tramite il web: è qui la forza e l'innovazione di questo fenomeno.

La diffusione delle esperienze svolte in ogn'uno di questi laboratori diventa di ispirazione per gli altri, creando un effetto domino. Già dei gruppi, come *Make in Italy* per l'Italia, sono nati per indagare il fenomeno, magari guidarlo e supportarlo, soprattutto grazie allo scambio di informazioni.

Da uno studio del gruppo *Make in Italy*¹³⁷ si evince che i *FabLab* in Italia sono una realtà molto eterogenea. Pur mantenendo come elemento comune quello della fabbricazione digitale, spaziano gli interessi, gli obiettivi, le competenze.

L'unico organismo comune a tutte queste realtà presenti sul territorio italiano è la fondazione *Make in Italy*, che si dedica solo ad un'attività di supporto e di comprensione del fenomeno stesso.

Sia i *Maker* (i soggetti operanti) che i luoghi (i *FabLab*) ruotano attorno alla fabbricazione digitale e nonostante la progettazione parametrica non sia l'unico oggetto di studio è però chiaro che queste nuove realtà dispongono di tutti gli strumenti utili alla sperimentazione di modelli progettuali informatizzati e quindi spesso capita che i diversi mondi coincidano.

7.3.2 Logiche di connessione per un nuovo modello di produzione

Il web è il primo e più importante strumento di condivisione oggi disponibile.

La sua diffusione data pochi decenni, ma ha già cambiato molti aspetti del nostro quotidiano.

Una delle prime conseguenze di internet è la diffusione dei dati facile e veloce, che mai ha avuto precedenti simili nella storia dell'umanità.

¹³² Anderson, C. 2013 *Makers. Il ritorno dei produttori* (2012). Tr. It, Milano. Rizzoli.

¹³³ Gershenfeld, N. 2012 "How to Make Almost Anything. The Digital Fabrication Revolution", in *Foreign Affairs*, November/Dicember 2012, vol. 91, n. 6.

¹³⁴ Pone, S. – Colabella, S. 2014 "Maker" in *Op. Cit. Selezione della critica d'arte contemporanea* n.149 – gen 2014

¹³⁵ *ibid.*

¹³⁶ Gershenfeld, N. 2012 "How to Make Almost Anything. The Digital Fabrication Revolution", in *Foreign Affairs*, November/Dicember 2012, vol. 91, n. 6.

¹³⁷ <http://www.makeinitaly.foundation>

Lavoriamo su terreni ancora instabili e non ben formati, manca ad esempio una maturazione dell'informazione in conoscenza, e di fatto non sappiamo come si evolverà questo grande organismo formato da connessioni informatiche che è il mondo di internet, ma è sicuramente uno degli elementi fondamentali di un nuovo modello di azione anche nel campo produttivo.

Gli strumenti metodologici, informatici e meccanici che abbiamo presentato in questa tesi, si prestano efficacemente all'immaginazione di un modello produttivo con caratteristiche interessanti, la possibilità della singolarità nella produzione a valle di una progettazione che contempla la molteplicità, ma ancora il prodotto progettuale in formato informatico, un file che può essere trasferito in ogni parte del mondo senza costi di trasporto grazie proprio ad internet.

Ogni file informatico può essere tradotto in oggetto reale grazie alle macchine a controllo numerico.

Se associamo le potenzialità del web alle tecnologie dei fab lab e consideriamo che la diffusione di questi laboratori si sta diffondendo rapidamente, abbiamo tutti gli ingredienti per un modello produttivo innovativo.

Si comincia a tracciare lo scenario di una produzione delocalizzata, che unisce le potenzialità dei più moderni software a tempi e modi di produzione più vicine all'artigianato che all'industria, ma comprende caratteri intermedi dell'uno e dell'altro.

Infatti, in questo modello ipotetico, si avvantaggia la personalizzazione alla standardizzazione. I tempi di produzione non sono esasperati come quelli industriali, ma più rapidi di quelli artigianali.

Il trasporto dei beni finiti può essere in parte sostituito dal trasferimento dei dati informatici, a tutto vantaggio dei costi e dell'ecologia.

Si potrebbe generare un impulso alla ricerca delle risorse e competenze locali.

La spersonalizzazione dell'operaio, tanto ben descritta già a partire degli inizi del secolo scorso da Chaplin, può essere sostituita da una creatività individuale, personale, moltiplicando la ricchezza di proposte, in una logica ancora una volta più vicina all'artigianato, e ancora una volta più aderente alle logiche biologiche.

In conclusione, ci sono diversi indizi che stiamo delineando all'orizzonte e che fanno pensare al sorgere di un modello produttivo che può affiancarsi a quello industriale e mitigare le esasperazioni di questo che minacciano gli equilibri del sistema sociale che abbiamo creato, ma anche del sistema ambientale ed economico.

Bibliografia

- AA.VV, *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture: City, Technology and Society in the Information Age*, Actar, New York 2002
- Allen, S. *From Object to Field*, in AD Profile n. 127, Maggio-Giugno 1997, pp.24-31
- Anderson, C. (2012), *Makers. Il ritorno dei produttori*, Rizzoli, Milano 2013
- Ball, P., *Pattern formation in nature: physical constraints and self-organising characteristics in Material Computation*, AD Architectural Design n. 216, guest-edited by Achim Menges
- Benyus, J. M., *Biomimicry. Innovation Inspired by Nature*. 2° ed Morrow, New York 2002
- Berlinski, D., *The adventure of the algorithm: the idea that rules the world*, Harcourt, 1999
- Bocchi, G, Ceruti, M, *La sfida della complessità*, ed. Feltrinelli, Milano, 1985
- Capra, F., Luisi P.L., *Vita e natura. Una visione sistemica*. Ed. Aboca, San Sepolcro 2014
- Carrol, S. B, *Endless forms most beautiful*, , ed. Quercus, London 2006
- Ciribini, G., *Tecnologia e progetto*, Celid, Torino 1984, p. 112
- D'Arcy Thompson, W., *On Growth and Form*, ed. Cambridge University , Cambridge 1917
- Darwin, C. (1859), *L'origine delle specie*, Rizzoli, Milano 2009
- Deleuze, G. (1968), *Difference and Repetition*, Columbia University Press, New York 1994
- Deleuze, G., *Foucault*, University of Minnesota Press, 2000
- Deleuze, G., *The Fold-Leibniz and the Baroque: The Pleats of Matter*. In Architectural Design Profile No.102: Folding in Architecture
- De Landa, M., *Deleuze and the genesis of form*, Universitätsverlag WINTER GmbH 2000
- Di Bartolo, C., *Creatività e progetto*, in Modo n.73
- Eidlitz, L., *The Nature and Function of Art, More Especially of Architecture*, London 1881
- Frazer, J., *An Evolutionary Architecture*, Architectural Association, London, 1995, ISBN 1 870890 47 7, p.13
- Gershenfeld, N. 2012 "How to Make Almost Anything. The Digital Fabrication Revolution", in *Foreign Affairs*,_November/Dicember 2012, vol. 91, n. 6.
- Greenough, H., *Form and Function: Remarks on Art, Design and Architecture*, H. A. Small, University of California Press, Berkley and Los Angeles 1957, pp. 57-58. Il libro è una versione riveduta del Memorial of Horatio Greenough, H.T. Tuckermann, 1853, New York, che a sua volta è basato su 'Horace Bender' (Pseud. Di Greenough), *The Travels, Observation, and Experience of a Yankee Stonecutter*, New York 1852
- Guillot, A., Meyer, J.A. *La biunique: Quand la science imite la nature*, Dumod, Paris 2008
- Hensel, M., Menges, A., Weinstock, M., *Emergent Technologies and Design. Towards a biological paradigm for architecture*, Routledge, New York 2010
- Hofstadter, D. R., (1979) *Gödel, Escher, Bach. Un'eterna ghirlanda brillante. Una fuga metaforica su menti e macchine nello spirito di Lewis Carroll*, Adelphi, Milano, 1984
- Jacob, F., *La logica del vivente*, ed. Einaudi, Torino 1971
- Joedicke, J., *De la genese du fonctionalisme*, in L'architecture d'aujourd'hui n.153, 1971
- Johnson, S. *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities*. Scribner, pp. 50, 51, New York 2001
- Kolarevic, B., *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, Spon Press, London, 2003
- Kruft, H.-W., *Storia delle teorie architettoniche. Dall'Ottocento a oggi*, Laterza, Bari 1987
- Kurokawa, K., *Metabolism in Architecture*, ed. Studio Vista, London 1977
- Latouche, S., *Decolonizzare l'immaginario. Il pensiero creativo contro l'economia dell'assurdo*, ed. EMI, 2004

Latouche, S., *Mondializzazione e decrescita. L'alternativa africana*, edizioni Dedalo, 2009

La Rocca, F., *Tecniche della Natura in architettura*, Maggioli Editore, Rimini 1997

Lolli, G., *Definizioni di algoritmo*, in *Matematica e Calcolatori*, Le Scienze, quaderni n.14, 1984

Lynn, G., *Animate Form*, Princeton Architectural Press, New York, 1999

Marin, P., Xavier M., Saleri, R., and Duchanois G., *Creativity with the help of evolutionary design tool*. in *Digital Physicality: Proceedings of the 30th eCAADe Conference*, 319-327. Vol. 1. eCAADe: Conferences 1. Prague, Czech Republic: Czech Technical University in Prague, Faculty of Architecture, 2012.

Mazzoleni, I., *Architecture Follows Nature. Biomimetic Principles for Innovative Design*, 1° ed. CRC Press, Boca Raton London New York 2013

McDonough, W., Braungart, M. (2002), *Dalla culla alla culla. Come conciliare tutela dell'ambiente, equità sociale e sviluppo*, Blu Edizioni, Torino 2003

Menges, A. (guest-edited by), *AD - Material Computational*, n. 216 march/april 2012, John Wiley and Sons, London 2012

Nervi, P. L., *Costruire correttamente: caratteristiche e potenzialità delle strutture cementizie armate*, Hoepli, Milano 1955

Oxman, R., Oxman R. *Theoris of the Digital in Architecture* ed. Routledge New York, 2014

Pawlyn, M., *Biomimicry in Architecture* ed. RIBA, London 2011

Polanyi, K., *Economie primitive arcaiche e moderne*, Einaudi, 1980

Pone, S., Colabella, S. 2014 "Maker" in *Op. Cit. Selezione della critica d'arte contemporanea* n.149 – gen 2014

Portman A. (1960), *La forma degli animali*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2013

Rajchman, J. *Constructions*. MIT Press, Cambridge 1998

Rykwert, J., *Necessità dell'artificio*, ed. Liguori, Napoli 1988

Signorile L., *L'orologiaio miope*, Codice Edizioni, Torino 2012

Steadman, P., *L'evoluzione del design*, ed. Liguori, Napoli, 1988

Thompson D'Arcy, W., *On Growth and Form*, 1917

Trentin A., Trombetti T., *Pier Luigi Nervi, Aula delle Udienze Pontificie*, in "D'Architettura", n. 36, agosto 2008, p. 116

Tucci F., *Tecnologia e Natura. Gli insegnamenti del mondo naturale per il progetto dell'architettura bioclimatica*, Alinea, Firenze 2009

Vincent, J. F. V., *Stealing ideas from Nature*, Springer, Wien 2001

Wachsmann, K., *Una svolta nelle costruzioni*, Il Saggiatore, Milano 1960

Wieland, A. & Wallenburg, C.M. (2013): *The Influence of Relational Competencies on Supply Chain Resilience: A Relational View*, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 43, No. 4, pp. 300-320.

Wienier, N. (1950), *The Human use of Human Being*, Houghton Mifflin, New York, 1950 p. 96 (ed. it. *Introduzione alla cibernetica*, Borighieri, Torino, 1966)

Wittkower, R., *Architectural Principles in the age of Humanism*, London 1962

Wright, F. L., *La città vivente*, Einaudi, Torino 1991

Zevi, B., *Costruiranno la capitale sulle palafitte. Piano regolatore per Tokyo*, in *l'Espresso* n.4 pp.31-32