

**PER UNA SCIENZA
ARCHITETTONICA DEL PATTERN?**

Tesi di: Carmelo Zappulla
Direttore: Claudio Ternullo
Co-direttrice: Magda Saura

A Marina, Enzo e Giovanna

Per una Scienza Architettonica del Pattern?

Carmelo Zappulla

**PER UNA SCIENZA
ARCHITETTONICA DEL
PATTERN?**

Universitat Politècnica de Catalunya,
Doctorado en Proyectos Arquitectónicos

Indice

- 14 **Ringraziamenti**
- 16 **Sommario/Abstract**
- 18 **Introduzione/Introduction**
- SEZIONE PRIMA**
Strutture Matematiche nella Pratica Architettonica:
Esemplificazione di una Relazione Storica
- 60 **1. Osservazioni Metodologiche**
1.1 Matematica e Architettura
1.2 Progetto Architettonico e Matematica nella Contemporaneità
1.3 Conclusioni
- 72 **2 La Sezione Aurea: Geometria e Proporzione**
2.1 Φ , Storia e Applicazioni Geometriche
2.2 Il Rapporto Aureo per la Progettazione del Partenone
2.3 Il *Modulor* tra la Musica, il Cubismo e Matila Ghika
2.4 Per Concludere, Φ e i Rapporti tra le Cose
- 84 **3 Porzioni e Superfici: i Quasi-Cristalli**
3.1 Le Tassellature Bidimensionali e Penrose
3.2 Tasselli nello Spazio Tridimensionale, i Quasi-Cristalli
3.3 Mosaici Arabi, il *Palacio Real de la Alhambra* a Granada
3.5 I Pattern Aperiodici nell'Architettura Medioevale Islamica
3.6 Olafur Eliasson e i *Quasi-Bricks*
- 100 **4 Dimensione e Misura: i Frattali**
4.1 Tra l'Ordine e il Caos si Definisce un Dominio Frattale
4.2 Può l'Architettura Essere Frattale?
4.3 Qual è la Scala più Importante in una Città?
4.4 Pattern Frattali nell'Architettura Africana
4.5 Frattali nell'Architettura Contemporanea: Cecil Balmond

- 114 **5 Computazione tra Reattività ed Elasticità**
5.1 Geometria Computazionale
5.2 Architettura e Computer
5.3 Possibilità Creative del Determinismo Informatico
5.4 Algoritmo, Pattern e Nausea

Sezione Seconda
I Pattern dell'Architettura

- 134 **1. Per una Nuova Estetica del Pattern**
1.1 Verso una Teoria del Crimine e della Delizia
1.2 Modernità e Tabù
1.3 Postmodernismo, il Pattern Ritorna alla Decorazione
1.4 Il Nuovo Millennio e la Nascita del Pattern "Avanzato"
- 162 **2. Visioni Strutturali: Tensione e Topologia**
2.1 Pattern Strutturali, Efficienza Meccanica
2.2 Reiterazione Ossessiva, Triangolazione e Scoperte Strutturali: Kahn, Fuller e Wachsmann
2.3 Le Ricolais, Nervi, Musmeci, e Otto
2.4 Oltre la Topologia. Struttura e Computazione: Cecil Balmond e AKT
- 210 **3. I Pattern Tridimensionali. Identità Individuale e Utopia**
3.1 Estendibilità e Serialità. Metabolismo e Strutturalismo. Da Tange a Maki, da Van Eyck a Hertzberger
3.2 Plot e il Neo Strutturalismo
3.3 Il Pattern Uniforme del Progressismo, Sfondo Strutturante della Differenziazione Utopica. Archigram, Superstudio, Archizoom
- 234 **4. Organizzazione e Tassonomie. Alexander, Habraken**
4.1 Il Linguaggio di C. Alexander
4.2 L'ordine di N. John Habraken

- 250 **5. Technopattern: Pelli, Contesto e Fabbricazione**
5.1 Il Ruolo della Tecnologia nella Generazione di Pattern,
Presente e Programmabilità
5.2 Conclusione. Tecnica, Processo e Variazione

SEZIONE TERZA

Osservazioni Epistemologiche. Pattern e Metodologia

- 300 **1. Ermeneutica del Pattern**
1.1 Osservazioni Introduttive
1.2 Il Cronotopo Creativo: un Dialogo fra Bakhtin e Muntañola
1.3 Architettura come Sistema e Metasistema
1.4 Per un'Ermeneutica del Progetto Architettonico: Ricoeur
- 320 **2. Progetto, Sistema e Pattern**
2.1 Astrazione e Pratica
2.2 Integrazione dei Livelli
2.3 Retroazione Dinamica
2.4 Pattern vs. Geometria
- 372 **3. Verso un Olismo Architettonico**
- 378 **4. Pattern: Rischi e Domande**
- 388 **Conclusioni/Conclusions**
- 400 **Riferimenti Bibliografici**
- 414 **Fonti delle Immagini**

RINGRAZIAMENTI

Questa tesi è il risultato di una ricerca teorica e di riflessioni progettuali durate parecchi anni: il mio ringraziamento va quindi a tutti coloro che consciamente o inconsciamente hanno aiutato e permesso la redazione di questo lavoro. Molte delle ispirazioni sono nate da discussioni e da incontri che hanno stimolato e messo in dubbio la concezione di parti significative di questo lavoro.

Ringrazio:

- Claudio Ternullo, per l'insostituibile stimolo intellettuale e per l'aiuto nella strutturazione filosofica di questo lavoro, per aver letto il manoscritto e per i diversi commenti critici.
- Il professore Josep Muntanyola, per le innumerevoli discussioni, per aver ampliato in me i confini dell'architettura verso una dimensione più estesa e profonda, per la costante presenza nella redazione di questa tesi.
- La professoressa Magda Saura, per il sostegno incondizionato.
- Nacho Toribio, per essere presente in questo lavoro parallelamente, attraverso i progetti e la linea di ricerca sviluppata insieme all'interno di External Reference Architects.
- Giuseppe Sergioli, per avermi spiegato il significato profondo della fisica computazionale, per le chiarificanti conversazioni sulle questioni di carattere matematico.
- Ilaria Capparucci, per il notevole contributo alla revisione del testo.
- Ciro Najle, per aver stimolato in me la curiosità verso Bateson e verso il pensiero sistemico, per le discussioni che nel corso della ricerca hanno stimolato importanti riflessioni.
- Agli studenti del master in disegno d'interni dello IED e a tutta l'Università, per aver accolto in maniera proattiva l'idea di sperimentare metodologie basate sui pattern.

- Cristian Suau, per le ispiranti e animate conversazioni sul ruolo dell'architettura contemporanea, per la sua ospitalità alla Welsh School of Architecture da Luglio a Settembre 2010.
- Olafur Eliasson, Ron Eglash, Peter J. Lu, Fabio Gramazio, per il prezioso materiale iconografico.
- Luca Brucculeri, per il contributo nell'organizzazione della bozza e Ebram Abdoh, per la revisione del testo inglese.
- Luis Fraguada, per le illuminanti discussioni sulla progettazione parametrica.
- La mia Marina, per la pazienza nel sopportare lunghi fine settimana o vacanze passate in casa a studiare. Per l'amore e le discussioni che hanno profondamente influenzato molte parti della tesi, per l'infinito sostegno negli ultimi anni di ricerca.
- I miei fantastici genitori, Giovanna Peralta e Vincenzo Zappulla, per avermi trasmesso curiosità, passione e disciplina. Poi mia sorella Stefania ed il resto straordinario della mia famiglia.

SOMMARIO

Premessa fondamentale di questo lavoro è che l'architettura sia sempre il risultato dell'interrelazione tra i suoi differenti livelli costituenti: estetico, tecnico, sociale, ambientale, culturale, organizzativo. Quando il progetto si concentra solo su uno o su alcuni di questi livelli, si generano formalismi estetici, tecnici, sociali, ambientali, etc.

La tesi che viene proposta nel presente lavoro vede nel pattern lo strumento in grado di produrre l'interazione e integrazione tra i diversi livelli di progetto. L'utilizzo di pattern non si traduce automaticamente in una ricetta per produrre progetti di qualità, bensì in una metodologia che guarda l'architettura nei suoi elementi costitutivi e trova strumenti capaci di ricombinare questi elementi.

Questo lavoro contribuisce quindi a riempire quel vuoto teorico relativo all'avvento della progettazione parametrica e con lo spostamento della concettualizzazione progettuale al mero tecnicismo computazionale.

Lo studio proposto è quindi finalizzato a fornire nuovi strumenti sia di analisi e comprensione di fenomeni architettonici sia di tipo progettuale. A tale scopo il lavoro da una parte vuole approfondire la relazione tra modelli matematici e architettura, dall'altra radica il pattern nello studio dell'architettura passata e contemporanea. Vengono infine indicati i tratti di una teoria metodologica di carattere sistemico, che vede nella Teoria della Complessità la base per interpretare l'architettura e nel pattern la struttura adeguata a trasformare l'astrazione in pratica.

ABSTRACT

The basic premise of this work is to consider architecture as the result of the interrelationship between its constituent parts: aesthetic, tectonics, social, environmental, cultural, and organizational. When the project is focused only on one or a few of these levels, this is when hollow formalisms are generated.

The main aim here is to demonstrate that patterns are able to facilitate the interaction and integration of these constituents.

The rise of computation in architecture has had the effect of diluting the natural thought process of the architect. This paper therefore, helps to fill that theoretical void in parametric design.

Hence, new tools are needed to analyse and understand architectural phenomena.

For this to happen, the relationship between mathematical models and architecture needs to be cemented, and from here on after, pattern needs to be seen as an invaluable component of architecture. A methodology based on my belief that Complexity Theory could be the basis for interpreting architecture and pattern as structure, in order to transform the abstract into reality.

Keywords: architecture, pattern, geometry, system theory, chronotope, parametric design, aesthetic, structure, responsive design, vernacular, fractal, quasi-crystal, computation, feedback loop.

INTRODUZIONE

INTRODUZIONE

1. NOZIONE DI PATTERN

Scopo del presente lavoro è quello di esaminare e mettere in luce il ruolo e la rilevanza dei pattern in ambito architettonico. In particolare uno degli obiettivi fondamentali che esso si propone consiste nel dimostrare come i pattern possiedano, nell'ambito del design architettonico, un'utilità sia di tipo "intrinseco", essendo in grado di generare un alto livello di coerenza all'interno del processo di progettazione, ma anche di tipo "estrinseco", nella misura in cui sono in grado di rispondere a sollecitazioni intellettuali e a questioni inerenti il ruolo dell'architettura nell'attuale contesto urbano, ambientale e sociale.

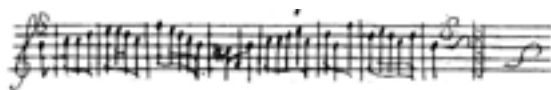
La presenza e la possibilità di applicazione di pattern nell'ambito di molteplici campi, insieme alla lunga ed articolata storia che li contraddistingue, rendono difficile fornire una definizione univoca del termine, certamente essenziale per una comprensione esauriente del *topic* della tesi. Se ne ricava come la sua stessa natura, infatti, lo pone su un terreno dai confini indefiniti, spesso all'intersezione tra diverse discipline: questa sottodeterminazione del concetto, se, da una parte, può rendere dibattuto il suo impiego in ambito architettonico, dall'altra conferisce alla nozione una certa flessibilità, sia di tipo interpretativo che strutturale.

Con il termine pattern si intende in generale tutto ciò che conferisce una forma e un significato, trasformando, ad esempio, il movimento del corpo in un passo di danza, un rumore in un suono ed i suoni in melodia, o facendo diventare lo sgocciolare della pittura *action painting*.

Ritornando alla necessità di fornire una definizione (se non precisa quanto meno sufficientemente esplicativa) della nozione di pattern, per evitare di sminuirne la portata e soprattutto per delimitare il suo campo d'azione in ambito architettonico, si può innanzitutto prendere in considerazione l'etimologia della parola, probabilmente riconducibile al greco *πατήρ* ("padre"), inteso come ciò che genera e conferisce struttura alla famiglia, colui che educa. Quindi l'etimologia della parola riconduce in prima analisi all'ambito e alla funzione di tipo strutturale del pattern, che, in campo architettonico, rinvia all'idea di sistema di organizzazione e generazione materiale. Il pattern è quindi una struttura che connette, che mette in relazione le diverse e molteplici parti di una struttura composita. In questo lavoro si adotterà,

quindi, quest'ultimo significato, che sottolinea principalmente le potenzialità del pattern, inteso come processo connettivo che regola l'interazione tra parti diverse dell'architettura.

Se consideriamo inoltre il progetto architettonico come generatore di sistemi complessi, è evidentemente necessario disporre degli strumenti capaci di gestire queste variabili: il pattern svolge questa funzione basilare, creando struttura e coerenza tra diversi aspetti del progetto e sovrintendendo ai suoi diversi livelli.



1. Le Passepied

danza e forma strumentale barocca frequente in Francia nelle Opere e i balletti. Nel suo trattato Feuillet (1709) rappresenta le diverse danze secondo un sistema grafico che rappresenta i pattern di movimento. Le partiture della danza inoltre hanno una perfetta corrispondenza con le partiture musicali.

2. PATTERN E STORIA DELL'ARCHITETTURA: CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

Nell'ambito della storia dell'architettura, il confronto tra esempi appartenenti a realtà storiche, geografiche e culturali diverse rivela la presenza di tratti ricorrenti. Lo stesso può dirsi della vita umana, il cui ritmo segue precisi pattern temporali, ossia cicli segnati da determinati momenti, riconoscibili ed ordinabili, che strutturano la nostra esistenza. Ricorrenti sono anche le situazioni che incorrono nella vita dell'uomo, come le sue necessità sociali o religiose: è evidente, quindi, non solo come la vita umana ruoti da sempre attorno alle stesse esigenze, ma anche come il modo di soddisfarle presenti continuamente sorprendenti somiglianze.

L'architettura, nella misura in cui progetta lo spazio della nostra vita, è anch'essa vertebrata da pattern, che saldano le nostre esperienze proteggendo la nostra vulnerabilità. È possibile, ad esempio, riconoscere pattern risalenti già al Neolitico che consistono in simboli apotropaici, ed altri derivanti invece dalla ripetizione di un elemento costruttivo (come il mattone o la tegola), dalla composizione di elementi funzionali o strutturali (come travi, archi o cupole), dall'occupazione del territorio per mezzo di insediamenti rurali o urbani.¹

Come ho avuto già modo di dire precedentemente, i pattern architettonici emergono da domini diversi. La caratteristica del pattern architettonico che nell'ambito di questo lavoro risulta essere particolarmente interessante, è la sua capacità di dissolvere i limiti tra aspetti apparentemente separati, assorbendoli in una struttura che li integra e li fa interagire: il pattern, in questo senso, può essere in grado di gestire allo stesso tempo tecnica, struttura, estetica, funzione, organizzazione, cultura, ambiente.

Procediamo, dunque, ad esaminare preliminarmente alcuni esempi di pattern architettonici, cercando di mettere a fuoco, tramite essi, la nozione di pattern in ambito storico.

1) *Necropoli rupestre di Pantalica* (Siracusa, Italia).

Pantalica, identificata con l'antica Hybla, venne fondata dai Sicani nell'età del Bronzo (metà del XIII sec. a.C.), in corrispondenza di un altopiano circondato da profondi *canyon*, formatosi per scorrimento di fiumi. Del sito, che venne probabilmente distrutto dai siracusani poco prima del 664 a.C., restano oggi cinque necropoli, costituite da circa 5000 tombe a grotticella scavate lungo le pareti rocciose.

È possibile osservare come la finestratura della parete segua un ordine alter-

nato ma regolare, ossia un'architettura che si sviluppa in altezza per 4, 5 o 6 piani a seconda della topografia della roccia. Evidentemente si tratta di una tipologia architettonica generata per sottrazione di materia, che, presentando aperture controllate e regolari (sia per quanto riguarda le dimensioni che la forma), generava di conseguenza un insieme piuttosto ripetitivo. Il pattern rettangolare alternato, adattandosi alle caratteristiche morfologiche del contesto, seguiva evidentemente una logica di massima occupazione della parete; in tal modo riproduceva tipologie abitative simili (ossia aperture nella roccia di simili dimensioni e disposte su piani diversi, la cui accessibilità era assicurata probabilmente da un sistema di connessione verticale di legno). Si venne quindi a determinare una regolarità dell'insieme che sembra manifestare quasi un ordine generale, creando una sorta di disposizione a scacchiera adattata alle particolari caratteristiche topografiche del luogo. In questo caso quindi, seppure in termini primitivi ed elementari, appare evidente come un pattern regolare possa uscire dalla sua regolarità per adattarsi elasticamente ad un particolare contesto, integrando nel contempo più livelli architettonici.



2. Necropoli di Pantalica
caso di pattern adattativo preistorico.

2) *Necropoli etrusca della Banditaccia* (Cerveteri, Italia).

La necropoli etrusca della Banditaccia, posta su un'altura tufacea a nord-ovest di Cerveteri e costituita da migliaia di sepolture cronologicamente comprese fra il IX ed il III secolo a.C., viene considerata la necropoli antica più estesa di tutta l'area mediterranea.

La maggior parte delle sepolture sono del tipo a tumulo, caratterizzate cioè da una struttura tufacea a pianta circolare sormontata da un monticello di terra o di roccia a protezione dell'ambiente sepolcrale. In questo caso, quindi, l'occupazione del paesaggio avviene tramite un sistema di elementi circolari, che costituisce un pattern topografico. Nel caso della necropoli di Cerveteri, la maglia regolare di cerchi si adatta, cambiando dimensione, all'importanza delle tombe e contemporaneamente al sito, generando integrazione con il paesaggio.

Quindi, come nel caso di Pantalica, si osserva l'adattamento di un generico pattern regolare a situazioni specifiche, realizzando l'integrazione di struttura sociale, sistema di organizzazione, aspetto tecnologico e coerenza formale.



3. Necropoli della Banditaccia

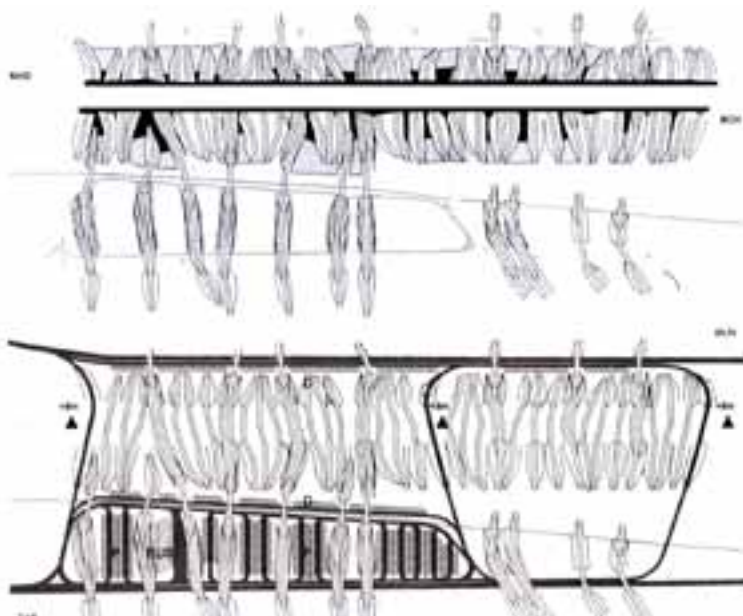
il pattern circolare si adatta alla topografia ed al programma funzionale.

3) *Insediamiento di Bai-la (Zambia).*

L'insediamento di Bai-la in Zambia è costituito da una struttura frattale che consiste in un cerchio perimetrale formato da altri cerchi e così via. La dimensione degli spazi è tanto più grande quanto più ci si sposta dall'entrata verso l'interno: seguendo questo gradiente si susseguono i magazzini, gli animali, le persone, la famiglia del capo.

Quest'esempio vernacolare esprime meravigliosamente il concetto di sistema complesso batesoniano, nel quale, essendo interconnesse le variabili, gli aspetti sociali interagiscono con l'ambiente, l'architettura ed il paesaggio. Questa interazione tra elemento naturale e artificiale che appare, in maniera diversa, nella *Land Art* di Christo Jeanne-Claude, Richard Long o Andy Goldsworthy, assume nell'architettura contemporanea una complessità diversa.

4) *Foreign Office Architects (FOA)* mostrano, nei loro progetti più paesaggistici quali *Downsview Park*, il parco della Gavia o il parco costiero di Barcellona, come il progetto confluisca nell'organizzazione di un pattern che interagi-



4. Foreign Office Architects, Terminale ad alta velocità, Perafort, 2002

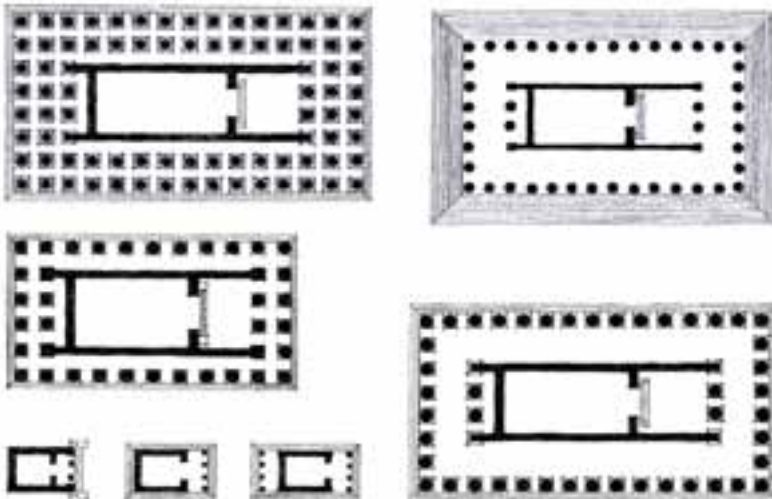
un sistema a striscie topologiche si adatta al territorio integrando le connessioni pedonali, la circolazione pedonale, l'organizzazione programmatica.

sce con tutti gli elementi intrinseci ed estrinseci al contesto. Il programma funzionale (percorsi, attività sportive, auditorium), le condizioni al contorno, gli elementi naturali (quali il sole, il vento, la vegetazione, l'acqua) sono integrati da un pattern che produce una nuova topografia, conferendo unità e coerenza al progetto.

Anche progetti più infrastrutturali, come la terminale ad alta velocità di Perafort o il *Car Park* di Novartis, costituiscono pretesti per ibridare natura ed artificialità, creando nuovi pattern topografici che attivino relazioni fra topografia locale ed infrastruttura. Sia le ondulazioni della superficie (nel caso di Novartis), sia il collegamento tra il livello del parco con gli ambienti sottostanti del parcheggio, sia le incursioni ripetitive di Perafort, costituiscono tutti validi esempi di pattern topografici.

5) Tornando ai primordi della grammatica e della sintassi architettonica, si possono prendere in considerazione gli esempi derivanti dall'architettura greca e romana, dove l'uso di pattern si rivela anche relativamente allo sviluppo di ordini ed ornamenti, trovando grandi sviluppi nella concezione architettonica generale.

Ad esempio l'architettura templare greca è caratterizzata dall'utilizzo della peristasi, ovvero un pattern regolare di colonne; più in particolare la peri-

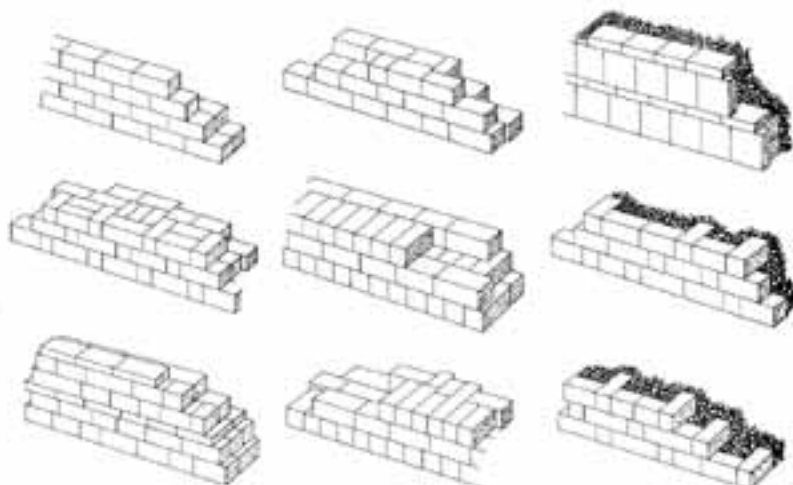


5. Classificazione dei templi

la divisione la permeabilità degli spazi si basa su pattern strutturali che cambiano in base alla disposizione dei colonnati.

stasi si materializza in un pattern tridimensionale verticale che, se da una parte reitera il sistema costruttivo, dall'altra genera un elemento permeabile finalizzato a filtrare lo spazio esterno e a proteggere quello interno (il *naos*, la cella del tempio). I templi greci possono quindi essere considerati variazioni sullo stesso pattern: se lo schema architettonico è sempre costituito da una peristasi poggiante sullo stilobate (base del tempio) e di sostegno alla trabeazione (a sua volta culminante con un tetto a due falde), tutti gli elementi (numero di file e colonne, l'intercolunnio, le altezze, i materiali) potevano subire delle variazioni. Si tratta quindi di un'architettura che si muove sul perfezionamento di un pattern, ossia che tende all'immutabilità e non all'interazione: se ne ricava come questioni architettoniche, come ad esempio il cosiddetto "conflitto angolare", non diventano occasioni di progetto ma costituiscono dei problemi da dissimulare. Perciò, sebbene a uno sguardo rapido possa apparire evidente la separazione tra ornamento, struttura e funzione, in realtà c'è una stretta coesione tra questi elementi, forzata dall'immutabilità.

Anche nell'architettura romana, il sistema costruttivo diventò pattern nella sua ripetizione. L'arco, elemento di derivazione etrusca, scandì tanto l'architettura trionfale e monumentale quanto quella ludica (teatri, anfiteatri) o le opere civili (acquedotti). Nel Pantheon, il pattern quadrato che occupa



6. Sistemi murari in mattone

differenti pattern per la disposizione dei mattoni nell'architettura romana.

7. (p. successiva) Guarino Guarini, Cupola della S.Sindone, Torino, 1668-1694

il tessuto strutturale delle arcate si riduce progressivamente fino all'estremità integrando la luce.



l'interno della cupola si adatta perfettamente alla sua geometria, tessendo un'orditura reticolare che ne migliorava le caratteristiche strutturali. È possibile affermare che in esso convivono struttura, ornamento ed organizzazione funzionale.

6) Relativamente all'architettura cristiana, ogni elemento presente in una chiesa gotica contribuisce al suo assetto statico: gli archi rampanti, i pinnacoli, le statue, l'arco a sesto acuto sono tutti elementi strutturali che indirizzano le spinte statiche all'interno del nocciolo centrale d'inerzia per eliminare gli sforzi di trazione. Nell'architettura gotica si assiste quindi ad un'integrazione perfetta tra tecnica ed estetica: tutto contribuisce alla generazione di spazi verticali e dilatati, nei quali le pareti perdono le loro qualità strutturali a favore delle nervature. Anche lo sviluppo della volta a crociera può essere concepito come uno studio sulla variazione di un pattern; in epoca barocca, le cupole di San Carlino a Roma del Borromini o della Sacra Sindone a Torino di Guarino Gaurini, costituiscono una sintesi di molteplici livelli architettonici. Sebbene con le dovute differenze, siamo vicini ad una concezione strutturale di tipo nerviano, nella quale emerge una differenziazione delle nervature strutturali che seguono le linee di forza,² allontanandosi da un sistema strutturale cartesiano rigido.

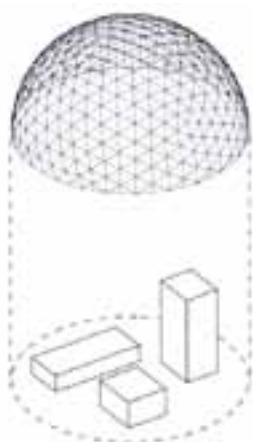
In questa ricerca siamo lontani dal risolvere un problema meramente strutturale: struttura, tecnica, forma e funzione sono considerate variabili interconnesse. In questo modo di intendere l'architettura, come risultato dell'interazione tra diversi livelli di progetto, la totalità non è riducibile alla somma delle parti, proprio perché è difficile la separazione tra parti e livelli che sono in relazione.

7) D'altro canto, personalità del calibro di Buckminster Fuller credevano in un pattern strutturale omogeneo, ottimizzato, che eliminasse ogni possibilità di deviazione ed alterazione. In un sistema così tanto chiuso, persino l'apertura di una entrata risultava problematica. Questo esempio evidenzia i limiti che scaturiscono dall'operare secondo un pattern ripetitivo e chiuso in se stesso.

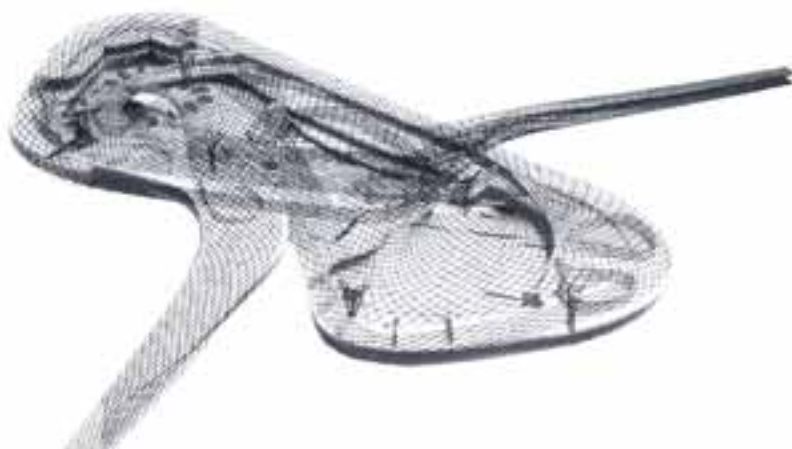
Per concludere questa breve rassegna introduttiva diacronica, si può evidenziare come, nell'architettura contemporanea, le strutture geodesiche abbiano dimostrato che il loro allontanamento dalla configurazione a cupola verso nuovi sistemi differenziati può avere conseguenze molto interessanti: è questo il caso del progetto di Reiser + Umemoto per il centro *BMW* di Monaco. Il *Water Cube* di Pechino rappresenta un caso di pattern strutturale differenziato ed altamente performativo, in cui le strutture devono essere capaci di adattarsi ed interagire con gli altri elementi. Anche il *CCTV* di

OMA, costruito nella stessa città, rivela una deviazione dalla griglia uniforme ed una concentrazione di elementi strutturali che segue la distribuzione degli sforzi.

Nella prima parte della tesi, la rassegna storica affronterà in maniera più estesa ed accurata i molteplici ed intriganti aspetti della storia dell'utilizzo dei pattern: volgiamoci ora a delle considerazioni introduttive di tipo estetico.



8. Sistema geodesico di B. Fuller
Pattern geometrico omogeneo e indifferenziato.



9. Reiser Uemoto, centro BMW, Monaco, 2001
sistema geodesico differenziato.

3. CONSIDERAZIONI ESTETICHE

Gli psicologi della forma, primi fra tutti Max Wertheimer e Wolfgang Köhler, vedevano nell'esistenza di totalità non riducibili un aspetto fondamentale della percezione. Gli organismi viventi, sostenevano, non percepiscono le cose in termini di elementi isolati ma come strutture (pattern) integrate, totalità organizzate dotate di significato, con qualità che sono assenti nelle loro parti.³

Come si era anticipato nella prima parte, il pattern definisce la struttura di un progetto determinando l'organizzazione compositiva dei suoi elementi. Essendo per sua natura ridondante, è proprio nella natura specifica della sua ridondanza che il pattern rivela pienamente le sue qualità estetiche: la ripetizione quantitativa è esattamente quell'aspetto del pattern che ci fa percepire un "senso dell'ordine" e quindi le sue potenzialità organizzative.⁴

Nell'introduzione a *The Sense of Order*, Ernst Gombrich espone la sua teoria della percezione come processo attivo, enucleando la *search light theory of the mind*, secondo la quale ogni organismo mantiene una costante attività di ricerca e di analisi dell'ambiente in cui vive.

Data la profondità del suo intervento in merito a questi temi e la rilevanza rispetto al presente lavoro, si ritiene importante analizzare in modo accurato la posizione di Gombrich.

Il filosofo ritiene che il "senso dell'ordine" sia qualcosa di innato nella specie umana, un sesto senso che ci orienta nello spazio, facendoci intendere cosa sta sopra o sotto, lontano o vicino, stabilendo una relazione tra un oggetto invariante e uno sfondo variante. Egli afferma:

Il nostro senso dell'ordine deve servire nell'ambito della sopravvivenza: esso consente all'organismo di scoprire la deviazione dall'ordine, il discostarsi da quella norma che è, in qualche modo, codificata nel sistema nervoso. Solo ora iniziamo a comprendere il grado in cui il nostro orientamento visivo nello spazio dipenda da tale norma. Potrebbe essere definito la norma di cambiare aspetto.⁵

Il modo stesso in cui ci muoviamo nell'ambiente o la forma in cui percepiamo le cose, si basa su un preciso ordine, che è espresso proprio da pattern. Gli impulsi nervosi visivi, infatti, sembra siano soggetti a manipolazioni della mente che conducono la percezione verso configurazioni caratterizzate da una certa regolarità,⁶ a cui si arriva attraverso un procedimento di prova ed errore. Tutto questo ci porterebbe, secondo Gombrich, all'elaborazione di "immagini concettuali":

Interpretati queste immagini come modelli minimali degli oggetti che essi dovrebbero rappresentare [...] 'produrre prima di corrispondere'; lo schema minimale è, dapprima, costruito prima che sia modificato o corretto confrontandolo con la realtà.⁷

La tendenza a riconoscere dei pattern nel mondo è assolutamente radicata nell'istinto umano: ci provoca meraviglia percepire le leggi fisiche che a volte si manifestano in natura nella loro integrità; allo stesso modo ci sorprende la regolarità e l'intenzionalità con cui alcuni pattern appaiono nella flora e nella fauna ed i vantaggi che questi generano per certi organismi.

Secondo Gombrich, si possono distinguere due motivi che giustificano l'adozione di pattern in natura: quelli mimetici e quelli relativi al rapporto tra oggetto e *background*.

Sebbene le analogie tra il mondo naturale e quello culturale si rivelino spesso pericolose, sappiamo come anche nel design vi siano delle relazioni strettissime tra oggetto e *background*. Nel mondo umano il pattern è stato utilizzato sin dalle origini come strumento utile a rimarcare la regolarità e la specificità del mondo culturale su quello naturale. Tuttavia l'uomo preferisce utilizzare elementi geometrici che, essendo forme rare in natura, si prestano meglio a diventare un repertorio formale capace di rappresentare la mente dell'uomo ed il suo controllo sul 'miscuglio aleatorio' della natura. La preferenza per l'ordine delle forme geometriche è connessa, secondo Gombrich, anche ad un 'principio di semplicità', che spinge l'uomo razionale a preferire le linee rette o le figure geometriche standardizzate. Questo stesso principio governerebbe ad esempio la costruzione di un muro di mattoni, l'impacchettamento molecolare di un cristallo o la composizione cellulare di un tessuto organico.⁸

Gombrich ritiene inoltre che ci sia una correlazione tra la facilità di percezione e la facilità di costruzione: questa relazione oscilla in un *range* di valori, che va dalla noia di un pattern monotono al piacere provocato da una più complessa costruzione (che tuttavia conserva delle leggi di generazione sottostanti visibilmente). Tuttavia quando il filosofo insiste sul fatto che un progetto debba essere facilmente percepibile e facilmente costruibile, egli intende rimarcare che la facilità di percezione avviene non solo in presenza della reiterazione di un certo pattern e di un certo ordine, ma anche, ed inesorabilmente, in presenza di variazioni formali (anche dotate di un certo grado di imprevedibilità).

Tale ipotesi costituisce un punto fondamentale che verrà rimarcato ed evidenziato più volte all'interno della tesi. Ad esempio alcune delle geometrie complesse che verranno analizzate nella prima parte sono particolarmente adatte a gestire regolarità e semplicità, ma anche adeguate alla possibilità di contenere variazioni formali. Ritorna e si rafforza quindi il concetto secondo il quale la variazione è ciò che consente di superare la condizione di monotona prevedibilità che impigrisce la nostra percezione.

10. (p. a fianco) Andy Goldsworthy, *Bastoni avvolti*, New York, 1999

le stesse foglie avvolgono dei bastoni per produrre un effetto di mimesi o per evidenziare una trasformazione graduale di colori.



Questo concetto viene formulato, fra gli altri, anche da Charles Jencks che, riferendosi ai pattern che emergono nelle strutture di Cecil Balmond e, più in generale, in un lavoro architettonico, afferma:

I pattern sono ciò su cui si basa la matematica e le nostre diverse concezioni della bellezza. Il problema dei vecchi pattern, ed in particolare di quelli formali, non è il fatto che siano brutti ma piatti. Si conoscono già molte delle loro combinazioni e, se da una parte non siamo estenuati da questa conoscenza, dall'altra non ne siamo neppure stimolati. L'apprezzamento estetico ed intellettuale richiede un minimo di provocazione, qualcosa che ci sproni a vedere e a pensare in maniera innovativa.⁹

Il punto è espresso ed ulteriormente sviluppato nel seguente passaggio, che concerne il senso di ordine che si coglie, questa volta, nella percezione musicale:

Esattamente come accade nei pattern visivi, dunque, si ha il medesimo *range* di ritmi temporali, dal monotono al variato, ciascuno con i suoi correlati ed effetti psicologici.¹⁰

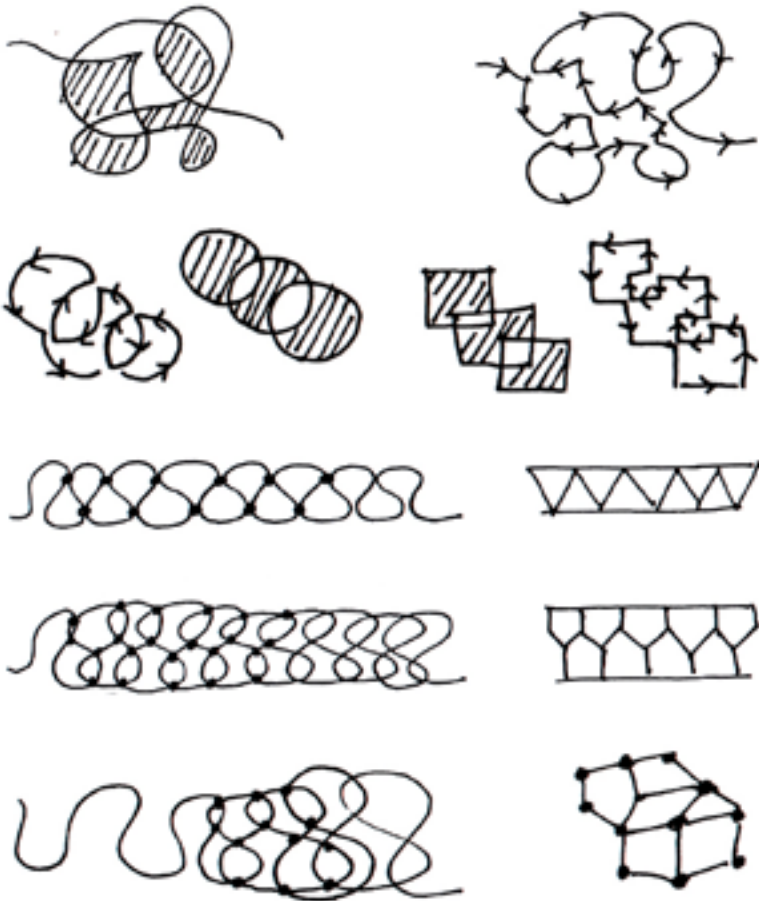
C'è un altro elemento di tipo estetico, ma anche funzionale, che ritengo interessante evidenziare introduttivamente.

La creazione di pattern sempre più complessi ed articolati tra loro, capaci di integrare più livelli di progetto, dipende dalla capacità dell'uomo di separare le complesse gerarchie di elementi o di funzioni in singoli elementi, che poi possono, successivamente, essere ricomposti in strutture più grandi. Questa combinazione di ordini sempre più complessi diviene spettacolo, e quindi piacere: nel piacere che nasce dalla contemplazione dell'ordine e dalle proprietà progettuali, ha culmine quell'esperienza estetica che è messa in moto proprio dall'utilizzo di pattern. La musica, l'arte visiva, lo sport, la danza, il teatro, la poesia, l'architettura determinano gioia sia in chi le mette in scena e sia in chi le fruisce come spettatore, anche se ovviamente il piacere di concepire un'opera sarà superiore a quello di fruirla.

Cecil Balmond afferma:

Dal momento che noi siamo fatti di pattern, sia casuali che regolari, sia fisici che emotivi, è importante investigare gli archetipi dei pattern - nel loro riconoscimento e nella loro risonanza potremmo trovare un elemento di bellezza. Nel passato la bellezza era condizionata dall'aspetto della purezza, poiché le simmetrie prefissate ed una struttura minima ridotta erano considerate la norma. Fino a quando il nostro cervello manteneva linee prefissate di ragionamento il modello persisteva. Ora che il mondo viene accettato come non semplice, acquistano rilievo il complesso e l'obliquo e l'intreccio di diverse direzioni logiche. La ragione stessa viene finalmente compresa come una struttura appena germinata, non-lineare e dipendente da procedure di feedback. La bellezza potrebbe risiedere nei reali processi di programmazione ed essere più astratta dell'estetica dell'oggettualità. In definitiva potrebbe essere un processo costruttivo.¹¹

Da quanto mostrato emerge quindi una relazione profonda fra la percezione estetica del mondo e la costruzione cognitiva e formale dell'esperienza stessa del mondo. Riconoscere un pattern genera piacere e mette in moto, quindi, una serie di considerazioni complesse ed articolate che investono, ineludibilmente, anche la sfera estetica.



11. Pattern, Cecil Balmond

pattern come linea generativa che si ripiega su se stessa sintetizzando diverse situazioni strutturali.

4. PERCHÉ È INTERESSANTE ESAMINARE IL TEMA

Se è vero che il pattern ha fatto parte da sempre della vita dell'uomo, qual è la sua rilevanza per la pratica architettonica?

Sebbene nel corso della tesi questo tema verrà ampiamente analizzato, si ritiene utile avanzare anche in questa sede una prima risposta preliminare.

L'utilizzo di pattern esprime una capacità interpretativa della realtà, estremamente attenta alle interconnessioni fra i suoi diversi livelli ed ambiti, ma anche interessata alle interconnessioni tra i diversi elementi del sapere umano stesso.

Considerando altre discipline si osserva come alcuni scienziati, tra cui Philip Ball,¹² operano una classificazione di pattern concernenti le più disparate forme naturali. Si possono prendere in considerazione, ad esempio, alcune spugne marine che presentano la stessa struttura delle bolle di schiuma: questo fenomeno non va considerato il risultato di un progetto predeterminato, ma piuttosto il prodotto di una progressiva ed adattiva autorganizzazione ed interazione tra le parti costituenti.

Il filosofo della matematica Michael Resnik, in un suo fortunato libro recente, si spinge a definire la matematica "scienza dei pattern", intendendola come uno studio di strutture (e delle loro caratteristiche) collegate a particolari entità matematiche. Ad esempio, nell'interpretazione di Resnik, la struttura dei numeri naturali (e cioè il pattern generato dalla sequenza dei numeri naturali) ha un ruolo più importante del singolo numero naturale, che, nell'interpretazione strutturalistica resnikiana, rappresenta esclusivamente una "posizione" all'interno di questo pattern.¹³

Ma come mai il pattern ha questa trasversalità? Perché ritroviamo il pattern in discipline così disparate?

David Bohm ipotizza esplicitamente che il processo creativo si basa sulla produzione o sul riconoscimento di pattern.¹⁴ Seguire un pattern significa, essenzialmente, scoprire e produrre idee nuove: individuare dei pattern, nella realtà che ci circonda, conduce a percepire differenze e somiglianze fra cose. È la scoperta di nuovi ordini e di nuove relazioni che incrementa lo sviluppo creativo: in questo senso il pattern funziona come captatore di ordini della realtà esistente e come generatore ed amplificatore di nuovi ordini.¹⁵

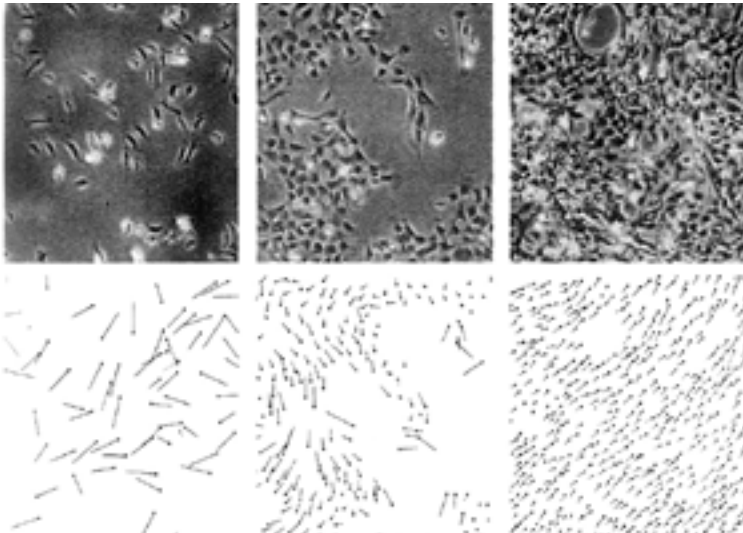
Possiamo così giungere alla conclusione provvisoria, secondo cui, come direbbe Gregory Bateson,¹⁶ un pattern è essenzialmente una struttura che connette anche altre strutture, ovvero una *metastruttura*.

Scopo di questo lavoro è esattamente quello di esaminare un certo tipo di metastrutture, ovvero i pattern architettonici che guidano e orientano la progettazione architettonica. Così come avviene nei sistemi naturali, anche

in architettura la forma è il risultato dell'interazione tra differenti forze, dove le sotto-strutture (o sotto-sistemi) sono difficilmente separabili, proprio perché perfettamente integrate e regolate da una struttura d'ordine superiore che le collega tutte.

Inoltre, come si è visto precedentemente, l'esistenza di pattern è chiaramente attestata nella storia dell'architettura: il presente lavoro cercherà anche di analizzare il declino che ha parzialmente riguardato la ricerca sui pattern relativamente alla situazione contemporanea.

A questo punto è necessario fare una premessa fondamentale. Nei progetti di architettura, ed in particolar modo in quelli più complessi, dove entrano in gioco più sistemi (ad esempio lo studio della facciata, la distribuzione del programma, la struttura, le installazioni), è molto più ambizioso e complicato far interagire ed integrare tra loro in maniera coerente sistemi differenti all'interno di pattern. È qui che entra in gioco un fattore determinante della progettazione architettonica contemporanea, ossia la dimensione digitale: infatti, come si analizzerà più accuratamente in seguito, i nuovi strumenti digitali aiutano ad interpretare i diversi livelli del progetto sotto forma di sistema ed ad integrarli fra loro.



12. Cellule cheratinocitiche in movimento

le immagini mostrano come il pattern del movimento diventi più coordinato, da sinistra a destra, con l'aumentare della densità delle cellule.

5. ARCHITETTURA COME SCIENZA DI PATTERN?

Una delle tesi fondamentali di questo lavoro, che mi auguro non rimanga una mera provocazione intellettuale, è che l'architettura possa essere pensata come una sorta di "scienza di pattern".

Si tenga innanzitutto presente come questa non sia una tesi di tipo teorico, ma al contrario investa principalmente la sfera pratica e progettuale propria del lavoro dell'architetto.

Infatti ritengo che, nella misura in cui l'architetto produce e progetta, egli verrà inevitabilmente a confrontarsi con uno studio specifico dell'uso e delle potenzialità insite nei pattern e, conseguentemente, dovrà vestire i panni dello scienziato di pattern. In questo senso, se mi è consentita la similitudine, l'architetto, in quanto scienziato di pattern, non differisce dal compositore scienziato di forme musicali: l'uno e l'altro si imbattono infatti in un repertorio di forme, che possono liberamente scegliere di declinare e modificare secondo il proprio criterio. Se non c'è nulla di scandaloso nel proporre l'immagine di un compositore come studioso di forme musicali, cosa c'è di inaccettabile nell'idea di proporre l'architetto come studioso di pattern?

L'importante, come è stato già avanzato precedentemente, è che sia ben chiara la precisa natura di un pattern (in particolare la sua multifunzionalità, che gli consente di agire a più livelli), delimitando il più precisamente possibile il campo semantico di applicazione del concetto.

In campo architettonico il pattern ha ed ha sempre avuto ruoli diversi: può contribuire a generare un sistema espressivo e comunicativo (come risultato di sforzi strutturali che si materializzano secondo un motivo di massima efficienza), può definire l'organizzazione funzionale ed i flussi di comunicazione, può interpretare un diagramma di costi/benefici o materializzare la distribuzione della luce naturale che risponda in modo efficace all'utilizzo energetico ed al *comfort*.

Tutti questi livelli di progetto possono interagire tra loro ed essere interpretati dallo stesso pattern che l'architetto progetta sperimentalmente e che può essere elaborato sulla base di diverse condizionanti al progetto, sia di tipo endogeno che esogeno.

A questo punto bisogna chiarire un aspetto fondamentale: il pattern non è uno strumento che si impone nel progetto ma è frutto di un processo di ricerca che parte dal progetto stesso e nel progetto finisce, passando per lo studio di una serie di strumenti teorici articolati e complessi.

Per fare un esempio concreto, nella definizione del rivestimento di un edificio si ricorrerà agli studi geometrici sulla tassellatura tridimensionale, per trovare le tessere che meglio seguono l'andamento geometrico della superfi-

cie: queste tessere a loro volta dovranno rispondere alle esigenze di risparmio energetico, dovranno permettere un'illuminazione ottimale corrispondente all'orientamento solare e dovranno prendere in considerazione le visuali esterne. Inoltre, sempre per rimanere nell'ambito della pelle dell'edificio, queste tessere di rivestimento dovranno soddisfare l'esigenza rappresentativa e comunicativa dell'architettura, sia in termini di identità funzionale, differenziando ad esempio un edificio residenziale da un centro culturale, sia come espressione culturale. Il rivestimento potrebbe persino compiere un ruolo strutturale, nel caso in cui si volessero liberare le piante dall'ingombro dei pilastri, incarnando quindi diversi livelli distinti di progetto.

Naturalmente questo processo non è così lineare come sembrerebbe, ma è sottoposto a innumerevoli prove ed ha innumerevoli modi di materializzarsi, così come può avere infiniti approcci e punti di partenza; è inoltre un processo nel quale devono interagire tutti i piani programmatici.

Anche se sembra scontato dirlo, non si tratta di un sistema automatico o auto-generativo, ma l'architetto è protagonista sia nella definizione del pattern che nella sua trasformazione o adattabilità. Il pattern non deve quindi mai diventare una gabbia che forzi le scelte progettuali e limiti l'indipendenza intellettuale dell'architetto: costituisce invece il risultato di un processo unico e non ripetibile,¹⁷ perché legato ad un progetto specifico e ad un peculiare contesto sociale, fisico e culturale. Questo non significa che non ci siano parti di un progetto che non siano declinabili o adattabili a diversi contesti, come d'altra parte l'arte e l'architettura sono ricche di testimonianze di come il cambiamento di contesto di uno stesso oggetto possa generare insperate potenzialità.¹⁸ Per questo motivo non si deve confondere un atto concettuale intenzionato con un processo automatico di risposte a problemi.

In questo senso, ed in rapporto alle considerazioni svolte precedentemente, uno degli scopi principali di questo lavoro sarà proprio quello mettere in luce la possibilità secondo la quale l'architetto possa essere considerato scienziato di pattern.

6. ARTICOLAZIONE DEL LAVORO

Passiamo ora a delineare brevemente la struttura del lavoro.

Per fornire una base storico-matematica del tema, verranno analizzate, nella prima parte della tesi, le relazioni tra geometria ed architettura. Tale analisi permetterà di osservare come l'architettura abbia più volte anticipato la matematica, non solo perché storicamente gli architetti erano spesso dei matematici, ma anche perché, anche qualora non lo fossero stati, hanno sempre avuto intuizioni strutturali di natura palesemente matematica. Queste intuizioni, in taluni casi, hanno anticipato sviluppi della matematica del XX secolo.

Se la prima parte del lavoro segue un percorso che va dalla matematica all'architettura, la seconda opererà in maniera inversa. La necessità di esaminare, attraverso delle appropriate messe a fuoco, le tematiche generali concernenti la natura dei pattern, rende infatti indispensabile, data l'ambiguità del termine, una definizione degli ambiti di appartenenza, senza allo stesso tempo ridurlo ad una sterile definizione concettuale. Per tale motivo nella seconda sezione si affronteranno tematiche relative all'architettura, che presentino, nell'ambito di progetto, particolari potenzialità sia di tipo pragmatico che teorico.

Nell'ultima sezione si cercherà di definire una teoria metodologica del progetto. Questa sezione ha, come suoi riferimenti teorici generali, da una parte la teoria del cronotopo di Michael Bakhtin e Josep Muntaniola, e, dall'altra, la teoria della complessità, attraverso la sintesi che ne ha magistralmente operato Fritjof Capra. Questa teoria di natura metodologica occupa uno spazio teorico scarsamente sviluppato, concernente la regolazione delle connessioni, in architettura, tra una teoria del progetto e i metodi computazionali. In un momento nel quale il calcolo tramite elaboratore accompagna l'architetto dalla generazione del progetto alla sua fabbricazione digitale, sembra sempre più necessario sviluppare strumenti teorici che sostengano e servano al progetto. Occorre quindi capire come il computer non sia il sostituto del tavolo di disegno, ma al contrario possa interagire nel processo di progettazione come un'estensione della mente del progettista.

Alla luce di queste considerazioni si affronteranno esempi architettonici che rivelino in maniera particolarmente chiara l'adozione di una metodologia di progetto sistemica basata sull'uso di pattern. Inoltre si cercherà di mostrare come i numerosi livelli di progetto possano interagire tra loro, nella definizione del progetto, attraverso l'alterazione e la modifica di un pattern.

Seguiranno infine delle conclusioni deduttive che evidenzieranno il con-

tributo della tesi sia come metodo analitico sistemico sia come strumento teorico di progetto.



13. La diversità dei volti generati al computer, Pickover

questi volti sono il risultato della combinazione arbitraria di dieci parametri che producono espressioni diverse.

NOTE

¹ A tal riguardo si prenda in considerazione lo studio di F. Otto, che ha sistematizzato i sistemi di occupazione del territorio e di connessione tra gli elementi occupanti. Attraverso una serie di esperimenti (con aghi magnetizzati, bolle di sapone o sabbia) egli ha cercato di individuare i pattern che regolano le distanze, le interazioni e gli ambiti di appartenenza degli oggetti che si insediano nel territorio, individuando quindi quelli caratterizzati da performances più elevate sotto diversi profili (ad esempio l'efficienza dal punto di vista ecologico o la definizione dei percorsi minimi). Otto [2009].

² Occorre tuttavia sottolineare come in Nervi il pattern strutturale seguisse un'idealizzazione della distribuzione delle forze: nel *Lanificio Gatti*, ad esempio, la geometria delle nervature segue le linee isostatiche, una configurazione teorica delle linee di forza. Diverso è invece l'approccio di Le Ricolais, che, nelle strutture a tubo automorfiche, generò un pattern frutto di una sperimentazione tesa a sfidare il comportamento del materiale.

³ Capra [2010], p. 43.

⁴ Cfr. Reiser + Umemoto [2006], p. 46.

⁵ Gombrich [2006], p. 4 (traduzione mia).

⁶ Gombrich si rifà alla teoria della percezione di Gestalt e chiarisce il concetto di "*far ordine attraverso la scoperta di deviazioni*" con un esempio di Julian Hochberg. Un uomo che si muove nell'oscurità cerca di captare informazioni dal contesto: invece di brancolare cercherà di stilare delle ipotesi sulla base di oggetti stabili che possono essere utilizzati come guida per il movimento. Chiaramente in un contesto all'interno del quale tutte le caratteristiche cambiano imprevedibilmente occorrerà rinunciare, ma in presenza di qualche regola egli, attraverso diversi tentativi, comincerà ad ordinare gli indizi della sua indagine, fino a costruire configurazioni sempre più complesse.

⁷ Gombrich [2006], p. 5 (traduzione mia).

⁸ Cfr. Gombrich, op. cit., p. 7. Per lo studioso il principio di semplicità che determina ed orienta il senso dell'ordine è strettamente legato alla percezione 'euclidea' del mondo. Nel suo lavoro Gombrich non prende in considerazione esempi di geometrie utilizzate in tempi recenti, come quelle frattali, che, pur non essendo 'semplici' nella sua accezione, generano tuttavia una profonda sensazione di ordine e di controllo.

⁹ Jencks [2002], p. 8 (traduzione mia).

¹⁰ Gombrich [1979], p. 11 (traduzione mia).

¹¹ Balmond [2002], p.16 (traduzione mia).

¹² Si veda, in particolare, Resnk [1999].

¹³ Si veda, in particolare, Bohm [1996].

¹⁴ Si veda Bohm [2004].

¹⁵ Cfr. Bateson [1979]. p. 25. Mentre per Bohm la scoperta di nuovi ordini determina l'attività creativa, per

noi la scoperta di nuovi ordini consiste nella scoperta di nuovi pattern.

¹⁶ Cfr. Benjamin [2000], p. 25.

¹⁷ Si prende in prestito il concetto di *Hic et nunc*, nel senso di unicità ed autenticità di un'opera che possiede un'aura legata al momento creativo. Sebbene l'architettura sia un'opera tecnicamente riproducibile, prendiamo distanza dall'architettura come oggetto acontestuale e quindi ripetibile in contesti diversi. A tal riguardo si veda Benjamin [1935].

¹⁸ Come nel campo artistico si possono prendere in considerazione i processi di cambiamento di contesto propri del *ready made*, così in architettura si può esaminare l'intercambiabilità di progetti pensati per una situazione ma utilizzati in un'altra (*Casa da Musica* di OMA e *People* di BIG).

INTRODUCTION

1. NOTION OF PATTERN

The purpose of this text is to examine and highlight the role and relevance of patterns in architecture, In particular, to demonstrate how these patterns possess, both “intrinsic” (ie: being able to generate an high level of consistency within the design process) and “extrinsic” utility (ie: being able to respond to intellectual stresses and issues relating to the role of architecture in the current urban, environmental and social context).

The possibility of application of pattern in architecture, along with its long history, makes it difficult to provide a univocal definition for “pattern”. Its nature puts it on a level playing field between several disciplines: on the one hand, the apparent absence of a concept, still very controversial in architecture, and on the other, the notion of a certain flexibility, both interpretational and structural.

With the word “pattern” encapsulates, in general, all that conveys a form and a meaning, transforming, for example, the movement of the body into a dance step, noise into sound and sounds into melody.

Hence, a definition of the notion of “patterns”, is the needed to avoid downplaying its significance and especially to delimit its scope in the field of architecture. One can first consider the etymology of the word, which stems from the Greek πατήρ (“father”), traditionally a figure of authority and structure within the family. In the first round of analysis, the etymology of the word leads to the structural scope and function of pattern, which, in the field of architecture, refers to a system for generating and organising. For the purposes of this study, we shall adopt the latter meaning, which emphasizes the potential of the pattern as a connective process that regulates the interaction between different elements.

If we also consider the architectural project as generator of complex systems, it is obviously necessary to have tools capable of managing these variables: the pattern performs this basic function, creating structure and coherence between the different aspects of the project and superintending its various levels.

2. PATTERN AND HISTORY OF ARCHITECTURE : INTRODUCTORY REMARKS

Throughout the course of Architecture, the comparison between examples belonging to different historical, geographical and cultural backgrounds reveals the presence of recurrent features. The same is true of human life; the rhythm of which follows precise temporal patterns, ie: cycles marked by certain moments, recognizable and orderable, which structure our existence. Situations that occur in the life of man are also recurring in his customs and routine. It is evident, that not only does human life revolve around the same demands, but also the means to satisfy them present surprising similarities.

Architecture, insofar as delineating the space of our lives also punctuates it with patterns that weld our experiences together as well as fulfilling its prime directive as shelter. It is possible, for example, to recognize patterns dating back to the Neolithic, which consist of apotropaic symbols, and others arising from the repetition of a constructive element (such as brick or a tile), the composition of functional or structural elements (such as beams, arches or domes), the occupation of the territory through rural or urban settlements¹.

The characteristic of architectural pattern that is of particular interest is its ability to dissolve the boundaries between apparently separate aspects, absorbing them into a structure that integrates them and makes them interact: the pattern, in this sense, may be able to simultaneously fuse detail, structure, aesthetics, function, organization, culture, and environment .

1) Rocky Necropolis of Pantalica (Syracuse, Italy).

Pantalica, identified with the ancient Hybla, was founded by Sicilian in the Bronze Age 1200BC on a plateau surrounded by deep canyons, formed by the scrolling of rivers. Today five necropolises remain on the site, whilst the others were almost certainly destroyed by the Syracusians around 664 BC. They consist of approximately 5000 cave tombs buried along the rocky walls.

One can see how the fenestration of the wall follows an alternating but regular pattern. Depending on the topography of the rock, the architecture develops in heights of 4, 5 or 6 floors. Evidently, it is an architecture of subtraction which, having controlled and regular doors (both as size and shape), generates an ordered array. The alternating rectangular pattern, which adapts to the topography of the site, obviously follows a logic of maximum occupancy of the wall. This determined, on the whole, a regularity which

expresses a general order, creating a checkerboard arrangement.

So, in this case, although in primitive and elementary terms, it is clear that a regular pattern could come from a capacity to adapt to a particular context, whilst still integrating several architectural levels.

2) Etruscan necropolis of Banditaccia (Cerveteri, Italy).

The Etruscan necropolis of Banditaccia is situated on a tufa plateau in the north-west of Cerveteri. It consists of thousands of sepulchres dating back from 800-200BC and is considered to be the largest ancient necropolis of the entire Mediterranean region.

Most of the burials are Tumuli, which are characterized by a circular tufa structure topped by a mound of earth or rock to act as a weather shield. Here the occupation of the landscape occurs through a system of circular elements, which make up a topographical pattern. In the case of the necropolis of Cerveteri, the regular grid circles varying in size plot the importance of the burials and at the same time enhance the landscape.

Thus, as in the case of Pantalica, there is an adaptation of a generic regular pattern to specific situations, realizing the integration between social structure, organization system, technology and formal coherence.

3) Bai-la settlement (Zambia).

The Bai-la settlement in Zambia is based on a fractal structure which consists of a perimetric circle formed by other circles. The size of these circles increase progressively as you move inward from the entry: storage, animals, people, and finally the head family are positioned according to this gradient.

This example of vernacular expresses perfectly the workings of a “Batesonian System” in which, all the variables are interconnected, such as social aspects, interact with the environment, architecture and landscape.

This interaction between natural and artificial elements appears differently in the Land Art of Christo Jeanne-Claude, Richard Long and Andy Goldsworthy, which takes on a different complexity in contemporary architecture.

4) Foreign Office Architects (FOA) in their landscape projects Downsvie Park, Gavia Park or the coastal park of Barcelona, show how a project converges towards a pattern organization that interacts with all the intrinsic and extrinsic elements to the context. The functional program (paths, sports,

auditorium), the boundary conditions, and the natural elements (sun, wind, vegetation, water) are integrated by a pattern that generates a new topography, giving unity and coherence to the project.

Other infrastructural projects, such as the high-speed-rail terminal in Perafort or the Novartis Car Park, are pretexts to hybridize nature and the 'man-made' to create new topographic patterns that activate relations between local topography and infrastructure. Both the undulating surfaces of Novartis, its link between the ground and subterranean levels, and the repetitive incursions of Perafort, are all good examples of topographical pattern.

5) Harking back to the beginnings of architectural language, one can take into consideration Greek and Roman examples where the use of pattern is also revealed in relation to the development of orders and ornaments, finding further developments in the general architectural conception.

For instance, the Greek temple architecture is characterized by the use of peristyle, ie: a pattern of regular columns; more particularly the peristyle materializes in a vertical three-dimensional pattern that, if on one hand reiterates the constructive system, on the other generates a permeable element finalized to filter outer space and to protect the inner (the naos, which is the cell of the temple). The Greek temples can, therefore, be considered as variations of the same pattern: if the architectural outline is always made of a peristyle leaning on the stylobate (base of the temple) and bearing the trabeation (in turn culminating with a gable roof), all elements (number of rows and columns, the intercolumn, heights, materials) could vary. It is, thus, an architecture that moves on the refinement of a pattern, viz tends to immutability and not to interaction: for this reason, architectural issues, such as the so-called "corner conflict", don't become occasions of design but they provoke problems to be dissimulated. Therefore, although at a quick glance, the separation between ornament, structure and function may seem obvious, in reality there is a strong cohesion between these elements, forced on by immutability.

Even in Roman architecture, the constructive system became pattern in its repetition. The arc, element with Etruscan origin, marked as much by the triumphant and monumental architecture as the playful (theatres, amphitheatres) or civil engineering (aqueduct). In the Pantheon, the square pattern that tessellates the interior of the dome is perfectly adapted to its geometry; moreover it weaves a warped lattice that improved the structural performance. One can say that structure, ornament and functional organization coexist harmoniously.

6) Regarding the Christian architecture, every single element of a gothic church contributes to its static arrangement: the rampant arches, pinnacles, statues and the pointed arch are all structural elements that direct the static thrust within the central core of inertia to eliminate traction stresses. In the Gothic architecture we have, therefore, a seamless integration between technology and aesthetics: everything contributes to the generation of vertical and dilated spaces, where the walls lose their structural qualities in favour of the ribs. The development of the vault can be also seen as a study on pattern variation. In the Baroque era, Borromini's dome of San Carlino in Rome or the Guarino Gaurini's chapel of the Holy Shroud in Turin, are a synthesis of many architectural layers. Although with some specific differences, we are close to a *Nervian* structural conception, in which a differentiation of the structural ribs that follows the lines of force² emerges, moving away from a rigid Cartesian structural system.

In this research, we are far from solving a merely structural problem, as structure, tectonics, form, function, and meaning are all considered to be interrelated variables. In this sense, we understand architecture as a result of the interaction between the different layers of the project, the totality is not reducible to the sum of its parts, precisely because it is difficult the separation between the parts and the levels that are in relationship.

7) On the other hand, figures such as Buckminster Fuller believed in an optimized, homogeneous structural pattern that would discard the possibility of any deviation or alteration. In such a closed system, even opening an entrance appeared problematic. This example highlights the limits resulting from operating according to a repetitive pattern which is, in itself, closed.

To conclude this brief introductory diachronic review, we can highlight how, in contemporary architecture, geodesic structures have demonstrated that, their distancing from the dome configuration toward new differentiated systems, can have very interesting consequences. Reiser Umemoto's BMW Centre in Munich and the water cube in Beijing are good examples of this differentiation in highly performant structural patterns. CCTV by OMA, built in the same city, reveals a deviation from the uniform grid and a concentration of structural elements according to the strength distributions.

In the first part of the thesis, the historical review will carefully and extensively address the many intriguing aspects of the historical use of pattern. For now let us turn to the introductory "aesthetic considerations."

3. AESTHETIC CONSIDERATIONS

*Gestalt psychologists, led by Max Wertheimer and Wolfgang Köhler,
saw the existence of irreducible wholes
as a key aspect of perception.
Living organisms, they asserted,
perceive things not in terms of isolated elements,
but as integrated perceptual patterns,
meaningful organized wholes,
which exhibit qualities that are absent in their parts.³*

As mentioned earlier, pattern defines the structure of a project by determining the compositional organization of its elements. Being, by its nature, redundant, it is by this redundancy that pattern fully reveals its aesthetic qualities: the quantitative repetition is exactly the aspects that make us feel a “sense of order”.⁴

In the introduction to “*The Sense of Order*”, Ernst Gombrich explains his theory of perception as an active process, enucleating the *searchlight theory of the mind*, according to which every organism maintains a constant activity of research and analysis of its environment.

Given the depth of his approach about these issues and its relevance to the present work, it is worth accurately analysing the position of Gombrich.

The philosopher believes that the “sense of order” is something innate to the human species; a sixth sense that orients us in space, helping us understand what is up and down, far or near, establishing a relationship between an “invariant” shape and a “variant” background. He says:

Our sense of order must serve in the business of survival: it allows the organism to discover deviation from the order, departures from that norm which is somehow encoded in the nervous system. We are only now beginning to understand the degree to which our visual orientation in space also depends on such a norm. It might be called the norm of changing aspect.⁵

The way we move in an environment and perceive it, is based on a precise order expressed by patterns. The visual nerve impulses are, in fact, subject to the manipulation of the mind, which leads perception towards configurations characterized by a certain regularity,⁶ ascertained through trial and error. All this would lead, according to Gombrich, to the development of “conceptual images”:

I interpreted these images as minimum models of the objects they are intended to represent... “making before matching”; the minimal schema is first constructed before it is modified or corrected by matching it against reality.⁷

The tendency to recognize patterns in the world is absolutely rooted in human instinct. In turn, it is striking to see the physical laws that sometimes occur in nature; equally surprising is the regularity and intentionality with which some patterns appear in the flora and fauna and the benefits that they generate for some organisms.

According to Gombrich, there are two reasons that justify the use of pattern in nature: those camouflage and those connected to the relationship between object and background.

Although the similarities between the natural and the cultural world can often prove dangerous, we know there are also in the design close relations between object and background. Mankind has used pattern since the dawn of time as a useful tool to emphasize the regularity and specificity of the cultural world over the natural one. However, man prefers to use geometric elements that, being uncommon forms in nature, lend themselves better to become a formal repertoire capable of representing the human mind and its control over the “random mixture” of nature. The preference for the order of geometric shapes is, according to Gombrich, connected to a “principle of simplicity” that pushes the rational man to prefer straight lines or geometric standardized shapes. This same principle would govern, for instance, the construction of a brick wall, and just as well the molecular packing of a crystal, or the cellular composition of organic tissue.⁸

Gombrich also believes that a correlation between the ease of perception and ease of construction occurs: this relation oscillates in a range of values, from the monotony of a simple pattern to the pleasure of a more complex construction (still visibly retaining its underlying generating laws). However, when the philosopher insists that a project should be easily perceivable and easily constructible, he intends to point out that the easiness of perception doesn't take place solely through the reiteration of a certain pattern and of a certain order, but also, in the presence of formal variations (even with a certain degree of unpredictability).

This assumption is a fundamental point which will be marked several times over the course of this thesis. Some of the complex geometries that will be analysed in the first part are particularly suitable to manage regularity and simplicity, but equally apt in containing formal variations. Variation is what allows us to overcome the monotonous predictability that encourages laziness in our perception.

Charles Jencks, who among others, noticed the patterns emerging in the structures of Cecil Balmond, says:

Patterns are what underlie mathematics and our various conceptions of beauty. The problem of old patterns, and particularly formal ones, is not that they are ugly but unchallenging. We already know many of their combinations and, if we are not fatigued by this knowledge neither are we stimulated by it. Aesthetic and intellectual appreciation demands a minimum provocation, something that spurs us to see and think a new.⁹

The point is expressed and further developed in the following passage, which concerns the sense of order captured in the way we understand music:

As in visual patterns therefore, we have the same range in temporal rhythms from the monotonous to the varied, each with its own psychological correlates and effects.¹⁰

The creation of pattern which is increasingly complex, articulated, and capable of integrating multiple levels of project, depends on the man's ability to separate the hierarchies of individual elements, which can then, later, be reassembled in larger structures. This combination of ever more complex orders, once visible, becomes a source of pleasure. This pleasure arises from the contemplation of order and design properties; an aesthetic experience brought on through the use of patterns. Music, visual arts, sport, dance, theatre, poetry, and architecture engender joy in both the artist and the spectator.

Cecil Balmond says:

As we are made of pattern, both random and regular, both physical and emotional, probing the archetypes of pattern is important-in its recognition and resonance we may find an element of beauty. In the past beauty was conditioned by aspect of purity, fixed symmetries and pared minimal structure being accepted as norms. As long as our brains kept to tramlines of reasoning model persisted. Now that the world is being accepted as not simple, the complex and the oblique and the intertwining of logic strands gain favour. Reason itself is finally being understood as nascent structure, non-linear and dependent on feedback procedures. Beauty may lie in the actual processes of engagement and be more abstract than aesthetic of object hood. Ultimately it may really be a constructive process.¹¹

To conclude, as a consequence of what has been said so far, one can legitimately assert that there is a deep relationship between the aesthetic perception and the experience of the world. Recognising patterns is pleasant, and gives rise to varied considerations also inevitably involving the aesthetic dimension.

4. WHY IT IS INTERESTING TO EXAMINE THE TOPIC

If it is true that pattern has always been part of human life, what is its relevance in architecture?

Scientists like Philip Ball,¹² operate a classification of patterns for the most diverse natural forms. It may take into consideration, for example, some marine sponges that have the same structure foam bubbles: this phenomenon should not be considered the result of a predetermined design, rather the product of a progressive and adaptive self-organization and interaction between the constituent parts.

The mathematician and philosopher Michael Resnik, in his recent works, defines mathematics “science of patterns”, adding that it is a study of structures and their characteristics. Resnik’s Interpretation of the structure of natural numbers (ie the “pattern” generated by the natural numbers sequence) has a more important role than in a single natural number. Resnikian structuralist interpretation represents solely one “position” within this pattern.¹³

Why is pattern so versatile? Why do we encounter it in such disparate disciplines?

David Bohm assumed that the creative process is based on the production or recognition of pattern¹⁴. To follow a pattern means to discover and produce new ideas: to identify patterns in the world around us, leads us to perceive differences and similarities between different things. It is the discovery of new orders and relationships that increase the creative development. In this sense pattern works as a sensor of existing orders and as a generator and amplifier of new orders¹⁵.

We can thus conclude provisionally that, as Gregory Bateson would say, a pattern is essentially a structure that connects to other structures, or a *meta-structure*¹⁶.

The objective here is to examine a certain type of metastructure, ie architectural patterns that guide and direct the architectural design. In architecture as is the case in natural systems, form is the result of the interaction of different forces, thus making the sub-structures (or sub-systems) difficult to separate. This is because they are so perfectly integrated and regulated by the parent structure which connects them together.

I will also be looking into the recent decline of research on patterns in contemporary architecture.

In architectural projects, and particularly in the more complex ones, where the most systems come into play (such as the study of the facade, the distribution of the program, the structure, installations), is much more ambitious

and complicated to cohesively integrate different systems within a single pattern. It is here that a determinant of contemporary architectural design comes into play in the digital dimension. New digital tools help us understand the different levels of the project in the form of the systems and to integrate with each other.

5. ARCHITECTURE AS A SCIENCE OF PATTERN?

Another point I am to make is that the architecture can be thought of as a “science of patterns”.

As architects design and produce, they will inevitably be confronted with a specific study of the use and potential inherent in the pattern and, consequently, will assume the role of “pattern scientist”. In this sense, the architect as “pattern scientist” does not differ from the music composer. as both manage a repertoire of forms, which they rearrange freely.

In architecture, pattern has always had different roles: it can help create an expressive and communicative system that defines the functional organization and communication flow, interprets cost/benefits diagrams, and displays the distribution of natural light informing decisions around energy use and comfort.

All these layers of a project can interact with each other and be interpreted by the same pattern designed and processed on the basis of different conditioners in the project, both endogenous and exogenous you type.

The pattern is not an instrument that imposes upon the project, but is instead the result of a process that starts and ends with the project through the study of a series of articulated and complex theoretical tools.

We’ll use the example of buildings’ skin to analyse the geometries of three-dimensional tessellation, which is to say the pieces that best follow the geometric shape of a surface. These tiles must save energy, allow optimal illumination, respond to the exterior views offered by the site, and satisfy the representative and communicational needs architecture, both in terms of functional identity and cultural expression (ie: how one would distinguish a residential building from a cultural centre). The skin may even fulfil a structural role, allowing the architect to leave the plan “pillar-free”.

This process is not as straightforward as it might first appear as it is subject-

ed to countless simulations and starting points, and so countless possible outcomes. It is a process that must, at all stages, interact with the programs set out by the brief.

This is not an automatic or self-generating system; the architect retains control on the question of pattern, simply by transforming and adapting it. The pattern must never become a cage that constrains the design and limits the intellectual independence of the architect: it should instead be the result of a unique and unrepeatable process¹⁷. This is because of the link which a project shares with its physical, social and cultural context, which isn't to say that there aren't parts of a project that can't be adapted to different contexts. Past and present examples of art and architecture are testimonies to how a change in context can reveal new and unexpected potential.¹⁸ For this reason one should not confuse an intended concept with an automated set of answers to a problem.

In this sense, and as a consequence of the remarks made earlier, one of the goals of this work is to address the reasons why one would think that an architect is a scientist of patterns.

6. STRUCTURE OF THE WORK

Let me now outline in brief the structure of this work.

In order to establish a historical and mathematical foundation, the relationship between geometry and architecture must firstly be analysed. This analysis will allow us to observe how architecture has often anticipated mathematics. Historically architects were often also mathematicians. The structural nature of mathematics they observed transpired in their work as architects, and vice-versa, in some cases in the 20thC, it was the architecture that led to developments in mathematics.

If the first part of the work follows a path that goes from mathematics to architecture, the second will operate in reverse. The need to examine, the general issues concerning the nature of pattern, makes it essential to study its spheres of influence. For this reason, the second section will deal with themes related to both the pragmatic and theoretical aspects of a project.

The last section will offer a general theoretical background: first Bakhtin's "theory of the chronotope", and then Fritjof Capra's "complexity theory".

These theories represent the two main interpretative frameworks which I

have used in order to bring out the connections between design theories and computational tools in architecture.

When a computer's calculations accompany the architect from the project idea to digital fabrication, it seems increasingly necessary to develop a system of thought to support and justify the project. It is therefore necessary to understand how the computer is not a substitute for the drawing board, but an extension of the designer's mind.

In light of these considerations will come across examples that reveal a design methodology based on the use of pattern. Furthermore, I will attempt to demonstrate the many interacting layers of a project through the alteration and modification of a pattern.

Finally, I shall make some concluding remarks, which will help me summarise the main contribution this work makes to the existing scholarship, insofar as it is both an example of a systemic method of analysis and as a theory-based design tool.

ENDNOTES

¹ F. Otto outlined a theory of territory occupation and connection between the occupants. Through a series of experiments utilizing magnetized needles, soap bubbles or sand) he sought to identify patterns that regulate the distances, interactions and areas of belonging of the objects that are settled in the territory. Otto [2009].

² Luigi Nervi's structural patterns follow an idealized distribution of forces, for example in the Gatti Wool Mill, the geometry of the ribs follows the isostatic lines (a theoretical configuration of the force lines). Conversely Robert Le Ricolais, with his tubular automorphic structures, generates a pattern that is the result of experiments aimed at challenging the behavior of material.

³ Capra [1996], p.31-32.

⁴ Cfr. Reiser + Umemoto [2006], p. 46.

⁵ Gombrich [1979], p. 4.

⁶ Gombrich refers to Gestalt's theory of perception is based on the idea of "making order for the discovery of deviations" and using Julian Hochberg's as the prime example. A man that moves in the darkness trying to get information from his environment: he will draw hypotheses from fixed objects that he'll use as guides to navigate the space. If said environment were to change continuously and unpredictably, the navigation becomes impossible. However when subjected to rules and order, this changing environment can be understood.

⁷ Gombrich [2006], p. 5.

⁸ Cfr. Gombrich, op. cit., p. 7. For him the principle of simplicity that determines and directs the 'sense of order' is closely related to the 'Euclidean' perception of the world. In his work, Gombrich does not consider examples of geometries used in more recent times, such as fractals, which, although not 'simple', through repetition, convey a profound sense of order and control.

⁹ Jencks [2002], p. 8.

¹⁰ Gombrich [1979], p. 11.

¹¹ Balmond [2002], p.16.

¹² Resnik [1999].

¹³ See Bohm [1996].

¹⁴ Cfr. Bohm [1996]. Whilst for Bohm the discovery of new orders determines the creative activity, for us it represents the discovery of new patterns.

¹⁵ See Bateson [1979]. p.25.

¹⁶ Cfr. Benjamin [2000].

¹⁷ By taking a step back from purist architecture belief, and can begin to see architecture as a lone object, reproducible in different context. See Benjamin [1935].

¹⁸ In art we talk about the processes of changing context (readymade), whereas in architecture we can examine the interchangeability of projects designed for one situation but used in another (*Casa da Musica* by OMA and *People* of BIG).

SEZIONE PRIMA

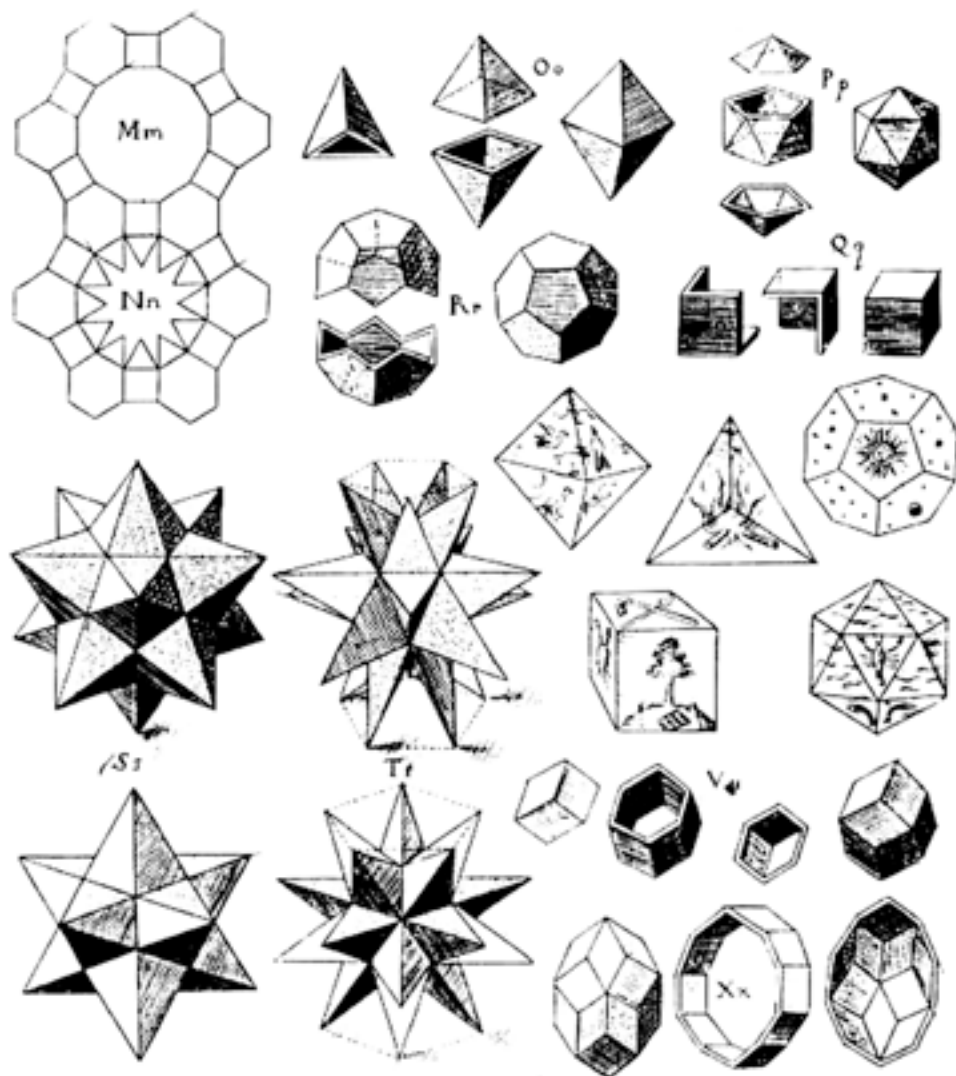
**Strutture Matematiche nella Pratica Architettonica:
Esemplificazione di una Relazione Storica**

1. OSSERVAZIONI METODOLOGICHE

Scopo principale di questo capitolo è dimostrare, usando diverse testimonianze storiche e contemporanee, come i pattern siano strumenti particolarmente adeguati a soddisfare gli avanzati bisogni progettuali dei nostri tempi. In questa parte del lavoro si cercherà, in particolare, di mostrare la connessione storica fra uso dei pattern e ricerca di tipo matematico: di conseguenza si esamineranno le modalità con cui gli architetti utilizzano le risorse di tipo formale offerte dalla matematica, contribuendo così al progresso delle applicazioni pratiche di questa disciplina.

In particolare, nell'ambito della connessione fra architettura e matematica, verranno messi in luce i seguenti punti:

1. nell'ambito del lavoro architettonico la matematica è ridotta a pattern visivi, che offrono un'ampia gamma di interpretazioni formali e diagrammatiche;
2. l'utilizzo di pattern matematici non limita la creatività del progettista, ma, al contrario, produce novità grazie alle sue caratteristiche astratte. In ogni caso cambia notevolmente il modo in cui la geometria può essere interpretata;
3. sia che vengano utilizzati in maniera cosciente o in maniera inconsapevole, i pattern matematici costituiscono degli strumenti che permettono il raggiungimento di una certa coerenza formale;
4. l'utilizzo di pattern matematici aiuta lo svolgimento sistemico di un progetto;
5. la geometria può indurre un controllo formale, ma da sola non può assicurare il successo di un progetto.



1. I poliedri di Johannes Kepler

1.1 MATEMATICA E ARCHITETTURA

La storia dell'architettura è costellata di numerosi esempi che dimostrano come questa disciplina abbia spesso anticipato scoperte di strutture e forme matematiche, di cui ha sempre fatto uso estensivamente.¹ Inoltre, nonostante questi esempi provino che la geometria viene scoperta ed utilizzata intuitivamente, senza una sistematizzazione matematica rigorosa, il suo utilizzo è, in qualche modo, sempre consapevole.

Le chiese gotiche, le tassellature arabe, i templi Hindu, alcuni insediamenti africani, i pattern di Gaudì o certe opere di F. Lloyd Wright, pur non facendo un utilizzo rigoroso dei modelli matematici, sono senza dubbio esempi di un loro uso cosciente. Le geometrie che essi hanno anticipato sono, fra le altre, le "tassellature" sistematizzate da G. Fedoseevich Voronoi nel 1908, i "frattali" formalizzati da B. Mandelbrot alla fine del 1970, i "quasi-cristalli" di R. Penrose del 1974. Persino il Partenone pare abbia anticipato le proporzioni auree euclidee (sebbene, come vedremo, la questione rimane controversa).

Queste geometrie, che al tempo delle loro prime applicazioni architettoniche non erano state ancora studiate formalmente, si trovano facilmente in natura: solo per fare alcuni esempi, la successione di Fibonacci ha strette corrispondenze con la fillotassi; i frattali descrivono forme naturali come le nubi, gli alberi, i fiumi, le montagne o le coste; il *voronoi* rappresenta la suddivisione cellulare delle foglie; le tassellature di Penrose ripropongono la struttura di alcuni cristalli.

Se quindi risulta assodato il manifestarsi in natura di forme geometriche, bisogna chiedersi in che modo queste si manifestano. Per utilizzare un linguaggio un po' approssimativo ma efficace, si potrebbe dire che la natura fa un'interpretazione 'soggettiva' di tali geometrie, variandole anche solo minimamente.

Il frattale arboreo che troviamo nei fiumi, nei sistemi nervosi o negli alberi avrà infinite declinazioni legate ad elementi contingenti che fanno variare il sistema geometrico, adattandolo quindi alle esigenze specifiche: questi fattori fanno sì che un albero diventi un albero unico o un fiume sia un fiume unico e irripetibile.

Si potrebbe quindi dire, con un pizzico di *naïveté*, che la matematica ci fornisce dei modelli astratti ed universali che vengono poi utilizzati liberamente dalla natura in base a determinate condizioni fisiche, come ad esempio la qualità della terra, la quantità di luce solare, la presenza di vegetazione circostante ed altri ancora.²

L'uomo è in grado quindi di astrarre dei modelli generali dallo studio di questi casi naturali.

Quanto si trova in natura può aiutare a chiarire un grosso fraintendimen-

to, che consiste nel ritenere che l'architettura, una volta presa coscienza di alcuni modelli matematici, ne diventi schiava, limitandosi esclusivamente all'impiego di strutture geometriche. In realtà bisogna essere coscienti di come un processo progettuale sistemico, fondato sull'applicazione di geometrie avanzate, non obblighi l'architetto a perdere la propria indipendenza di pensiero, poiché egli, in qualsiasi momento, è assolutamente in grado di uscire dal processo o modificarlo.

Tale processo instaura quindi, in un certo senso analogamente a ciò che avviene in natura, un dialogo tra gli elementi ideali della geometria ed i prodotti pragmatici dell'architettura.

Secondo Poincaré ci sono infinite "geometrie vere" nel mondo virtuale. Ma tali geometrie sono vere anche nel mondo reale? Si può affermare che, se la matematica scopre un mondo virtuale che rappresenta la realtà, sarà l'architetto a dover interpretare tale mondo per trovare il modo di trasformarlo in progetto costruito.³

Come avviene questo dialogo tra geometria ed architettura? Queste geometrie 'nuove' che conseguenze hanno nel progetto?

Prima di dare una risposta dovremmo ridefinire il concetto stesso di architettura, preso in prestito dalla teoria dei sistemi.

Segue la descrizione di G. Bateson di ciò che è un sistema vivo:

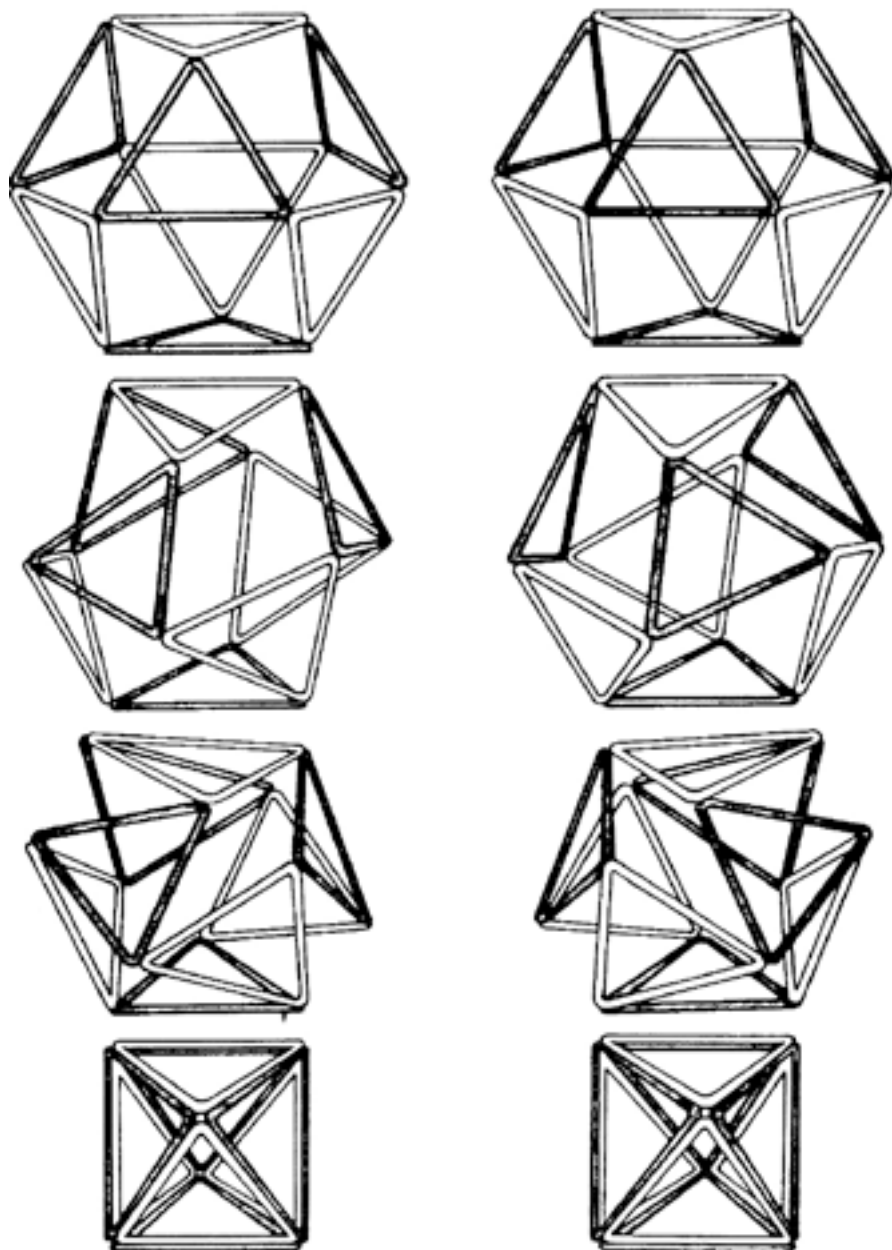
Tutti i sistemi biologici (organismi ed organizzazioni sociali ed ecologiche di organismi) sono capaci di cambiamenti adattivi. Ma cambiamenti adattivi assumono numerose forme, come reazione, apprendimento, successione ecologica, evoluzione biologica, evoluzione culturale, etc., a seconda della grandezza e della complessità del sistema che si sceglie di considerare. Qualsiasi sia il sistema, il cambiamento adattivo fa affidamento su un feedback continuo, sia che siano stabiliti da una selezione naturale sia che siano quelli di rinforzo individuale. In ogni caso deve esserci in seguito un processo di prova ed errore ed un meccanismo di confronto.⁴

Un sistema che ammette la presenza di vita, così come mostrato dall'autore, può essere descritto in termini di variabili interconnesse, dove il mutamento di una variabile produce inevitabilmente cambiamenti in tutto il sistema. Adottando la visione batesoniana, l'architettura può essere definita come un sistema complesso nel quale tutti i fattori-chiave sono interconnessi tra loro o, per meglio dire, sono il risultato dell'interazione tra caratteri endogeni ed esogeni. Per endogeni si intendono gli aspetti geometrici-spaziali, artistici, tecnici, funzionali che sono propri della disciplina e che stanno alla base di ogni progetto di architettura. Esogeni sono invece tutti quei caratteri che generano la cornice all'interno della quale il progetto prende forma, e sono propri del particolare contesto sociale, ambientale e programmatico di riferimento. L'architettura avviene e prende forma quando i caratteri di entrambe queste due categorie interagiscono tra di loro in un rapporto dinamico ed attivo.

Considerando quindi l'architettura come un sistema di fattori interconnessi, avremo bisogno di nuovi strumenti di progetto capaci di gestire attivamente tutte le sue caratteristiche e di interpretarne ogni singolo aspetto.

Sulla base di queste indicazioni il progetto dovrebbe avvalersi di strumenti flessibili capaci di gestire l'interazione delle sue diverse componenti, di diagrammi in grado di articolare le interazioni programmatiche ed, infine, di geometrie aperte che operino come sistemi reattivi.⁵

Tutti questi strumenti devono essere in grado, allo stesso tempo, sia di definire strutture generiche sia di produrre condizioni specifiche attraverso variazioni che scaturiscono dalla propria struttura geometrica. Se per la loro natura ripetitiva e ridondante possono essere considerati pattern, bisogna considerare che è proprio nella ripetizione che si innesta la variazione graduale rispondente a specifiche e determinate condizioni. È possibile quindi affermare come tali strumenti siano contrari alle leggi geometriche aprioristiche che s'impongono deterministicamente, adattandosi invece alle specifiche e particolari caratteristiche (estrinseche e intrinseche) di un determinato progetto.



2. Jitterbug , Buckminster Fuller

trasformazioni geometriche di un cubottaedro formato da aste rigide e vertici flessibili.

1.2 PROGETTO ARCHITETTONICO E MATEMATICA NELLA CONTEMPORANEITÀ

Passiamo ora a delle riflessioni più generali concernenti il modo in cui, nella contemporaneità, l'architettura si alimenta di strutture matematiche.

Come si è visto precedentemente, siamo distanti dall'approccio che si ha, talvolta, nelle facoltà di Architettura, in cui la matematica viene spesso insegnata come un mondo totalmente arido, assolutamente separato ed in contrapposizione con la creatività progettuale.

Questa distanza è fondamentalmente dovuta a due pregiudizi:

1. il progetto architettonico è un atto creativo artistico al quale far adattare, in un secondo momento, le questioni scientifiche;
2. la matematica ha un livello di astrazione e di rigore che si può difficilmente sposare con l'“arbitrarietà” dell'architettura.

Tali pregiudizi possono essere superati considerando l'architettura come una disciplina che interpreta ed integra livelli disciplinari e concettuali differenti (le relazioni spazio-temporali, l'aspetto sociale, tecnologico, ambientale, etico, artistico, etc.), coordinandoli all'interno di un progetto unico.

Ritengo estremamente interessante l'affermazione di Pickover, che sottolinea quanto breve sia la distanza tra arte e scienza, ambiti del sapere che condividono, spesso, obiettivi comuni.⁶ Questo era già valido nel mondo antico ed è ad esempio dimostrato dalla vicinanza, nell'antica Grecia, di figure quali quella di Pitagora e di Ictino. Oggi che questa distanza si è assottigliata ancora più mediante la computazione grafica, artisti e scienziati utilizzano strumenti scientifici per rappresentare con semplici algoritmi sia gli elementi naturali che quelli artistici.

È evidente come tutte le problematiche che afferiscono alla sfera architettonica non possano essere risolte in maniera, per così dire, “scientifica”: l'impegno etico, ad esempio, certamente non può confluire nella formalizzazione matematica.

L'architetto può tuttavia utilizzare la matematica per risolvere altre caratteristiche del progetto ed aumentarne le prestazioni. Certe strutture geometriche costituiscono infatti sistemi flessibili sui quali poter far aderire tutti i diversi livelli del progetto; queste strutture, che tendono alla generazione di pattern, non sono soltanto dei sistemi di riferimento con molteplici chiavi di lettura, ma sono esse stesse elementi strutturanti capaci di aumentare, ad esempio, la performance strutturale, bioclimatica od organizzativa dell'architettura.⁷

È anche grazie a queste potenzialità che tra gli architetti si diffonde una fascinazione sempre maggiore verso i pattern. Alcuni studi di architettura, come ad esempio Herzog De Meuron, Unstudio o Zaha Hadid, in virtù della

loro forte capacità d'attrazione, sono riusciti a dotare il proprio studio di un ambito di ricerca formale, indagando costantemente le potenzialità formali ed organizzative dei pattern più avanzati.

Visto il livello sempre crescente di specializzazione e complessità dei diversi ambiti disciplinari, altri studi, come quello dell'artista O. Eliasson o dello studio di ingegneria ARUP, hanno rivelato un forte carattere sperimentale, formando gruppi interdisciplinari all'interno dei quali matematici, fisici, architetti ed ingegneri collaborano verso una ricerca comune.

A tal riguardo bisogna ricordare come la ricerca di questo tipo nasca già in ambito universitario, essenzialmente in Università fortemente sperimentali e prestigiose, quali la Columbia, Harvard, Princeton, la Barlett, l'Architectural Association, che cercano di trasferire i risultati di questa ricerca ai propri studenti affinché li utilizzino concretamente per la propria professione.

Un altro elemento da sottolineare è la trasformazione progressiva degli strumenti stessi dell'architetto. È assolutamente evidente come la digitalizzazione degli strumenti aiuti la manipolazione di geometrie che altrimenti sarebbero difficili da controllare: considerando lo sviluppo vertiginoso che l'informatica applicata ha conosciuto negli ultimi anni, bisogna chiedersi quale evoluzione abbiano subito tali strumenti in relazione al metodo progettuale.

Fondamentalmente si possono individuare tre tappe basilari nell'evoluzione degli strumenti architettonici.

Inizialmente, tra la fine degli anni '80 e la metà degli anni '90 del secolo scorso, gli strumenti digitali imitavano il lavoro analogico: in altre parole il Cad riproduceva ciò che si faceva con squadre e riga, ma si continuava a progettare per piante e sezioni. Nella progettazione s'inserirono delle "perversioni" (o delle potenzialità, a seconda di come le si voglia vedere) proprie del calcolatore: il *copy-paste*, *undo*, lo *zoom*.

Fra il 1995 ed i primi anni del 2000 i programmi di modellazione 3d entrarono ancor di più a far parte della generazione del progetto, fino a che strumenti dei software arrivarono ad influenzare le genesi di alcune forme architettoniche. Anche in questo caso si trovano similitudini con il mondo analogico (basti pensare al modello fisico come riproduzione tridimensionale della realtà), sebbene la modellazione 3d permetta di effettuare verifiche costanti e rapidissime sul progetto.

Negli ultimi anni l'approccio agli strumenti digitali è completamente cambiato: l'architetto costruisce i propri strumenti entrando nella manipolazione degli script e con l'elaborazione di algoritmi matematici che traducono la geometria in spazio. Questo ha sancito l'ingresso della computazione grafica nell'architettura (e quindi lo sviluppo delle geometrie computazionali), favorendo la diffusione di frattali e di tassellature complesse. In tal modo gli

strumenti entrano in maniera attiva nel processo progettuale: l'elaborazione o la manipolazione di algoritmi per la generazione di parti architettoniche spinge l'architetto ad una sistematizzazione del progetto e dei suoi parametri, partendo dalla concettualizzazione fino alla sua realizzazione tecnica.

Alcune geometrie "avanzate", quali *voronoi*, gradienti, triangolazione *delau-nay*, frattali, spugne, sebbene siano state scoperte anteriormente, hanno trovato la loro massima espressione solo con l'avvento del calcolatore, probabilmente anche in virtù della loro ripetitività e ridondanza. Essendo geometrie facilmente gestibili attraverso il computer, sono diventate quindi oggetto della geometria computazionale, ossia quella branca dell'informatica che studia gli algoritmi per risolvere problemi geometrici al calcolatore.

Ciò che accomuna queste geometrie è la loro capacità di costituire pattern, ossia strutture che reiterano un procedimento, costituendo un sistema di relazioni variabili, un tessuto che si adatta, gestisce, si impone e cambia secondo determinate caratteristiche esterne. Senza l'uso del computer e di determinati programmi, l'uso di queste geometrie non sarebbe lo stesso.

Le elevate potenzialità dei pattern fanno sì che il loro utilizzo stia generando una sorta di *trend*, la cui diffusione è affidata anche alle numerose pubblicazioni di architettura.

È doveroso, a questo punto, chiedersi da cosa sia mosso, più in generale, questo interesse. Quello che avvicina gli architetti alla matematica è un approccio rigoroso oppure il frutto di una mera fascinazione "estetica"? È solo l'esigenza di generare una nuova estetica che spinge la ricerca architettonica a nutrirsi della matematica? E ancora, quali sono le ragioni profonde, se ci sono, che giustificano l'architetto a sfidarsi con geometrie così complesse? Personalmente ritengo che l'architetto debba fare uno studio interpretativo e non rigoroso (imitativo) dei processi matematici, senza perdere la propria indipendenza intellettuale all'interno dei processi scientifici. Le geometrie che sono state nominate più volte in questo testo hanno un carattere pratico ed intuitivo molto "naturale", tale da renderle facilmente utilizzabili in fase di progettazione.

La reale importanza dei pattern nell'architettura contemporanea e le autentiche potenzialità insite nel loro uso non hanno tuttavia impedito che la loro diffusione mediatica contribuisse a trasformarne l'utilizzo in mera "tendenza", generando progetti solo superficialmente accattivanti, per quanto esteticamente alla moda.⁸

Se, indubbiamente, c'è stata, soprattutto recentemente, una mediatizzazione eccessiva nella ricerca orientata ai pattern, è altrettanto indubbio che l'interesse che la ricerca architettonica contemporanea nutre verso la matematica sia, per le ragioni dette, assolutamente genuino.

Innovare è il miglior retaggio delle avanguardie, desiderose di rompere col

passato e con qualsiasi tradizione, un desiderio che si nutre di un'ambizione costante di portare il progetto verso l'inedito. Questa tensione verso l'innovazione, tra gli architetti, rimane costante.

Per la sua stessa caratteristica di stare nell'intersezione tra varie discipline, l'architettura, sempre attenta alle ultime novità in campo scientifico o tecnico, ma anche artistico, si nutre da sempre dell'innovazione. E spesso la ricerca architettonica si avvale delle ultime "scoperte", per così dire, geometriche.

È altresì vero che l'architettura richiede anche accurate conoscenze teoriche di tipo matematico, che non si prestino solo ad una ricerca autocompiaciuta dell'innovazione, ma che forniscano modelli in grado di migliorare autenticamente la qualità dell'architettura, permettendo di risolvere questioni strutturali, tipologiche od ecologiche.

A tale proposito è importante sottolineare come anche l'esigenza di rispondere ai problemi ambientali abbia suscitato un interesse nell'utilizzazione di regole morfogenetiche proprie della natura: i frattali consentono di interpretare queste regole, permettendo alla progettazione di avvicinarsi al mondo naturale.

Sempre a proposito di frattali, questi ultimi permettono, all'interno del progetto, anche il controllo di scale diverse con lo stesso sistema generativo. Come afferma Salingaros, occorre rivendicare l'importanza della geometria frattale come strumento concettuale ed operativo che restituisce l'architettura e l'urbanistica alla scala dell'uomo e che permette di abbracciare il gradiente di tutte le scale indispensabili alla costituzione di una città biofilica. Un altro aspetto che riguarda le potenzialità dei pattern è la loro capacità di gestire le relazioni tra le parti e quindi la proporzione che regola la dimensione di una parte in relazione con l'altra, generando, in questo modo, coerenza formale.

Tramite il raggiungimento della coerenza formale, elementi disparati sono riconoscibili come appartenenti allo stesso sistema generativo, pur declinati in un quadro di variazione.

È possibile quindi concludere affermando che la matematica non insegna a progettare, ma può certamente aiutare a progettare meglio.

1.3 CONCLUSIONI

Secondo Husserl, la geometria ha una “oggettualità ideale” che l'uomo interpreta con gli strumenti della propria cultura storica.⁹ Questo significa che non sempre c'è un sostrato culturale che permette una comprensione delle forme geometriche totalmente autoconsapevole.

Ad esempio, nei casi legati soprattutto all'architettura vernacolare, le forme si tramandano e si nutrono delle operazioni umane che consistono nel trasformare la materia in costruzione: sono quindi forme che cambiano e si arricchiscono con la tecnica ma che sono distanti da una formalizzazione scientifica.

Questo non impedisce a quest'architettura di tendere verso geometrie complesse, seppur queste non siano state sistematizzate o non facciano parte della cultura scientifica. Ed è proprio in questi casi che l'architetto è “geometra” (nel senso di inventore della geometria) e scopre gli strumenti geometrico/formali delle sue opere attraverso un metodo intuitivo, estetico-funzionale o simbolico. Non è possibile tuttavia sapere come l'architetto sia arrivato al concepimento di certe geometrie per vie considerate, a livello matematico, non ortodosse.

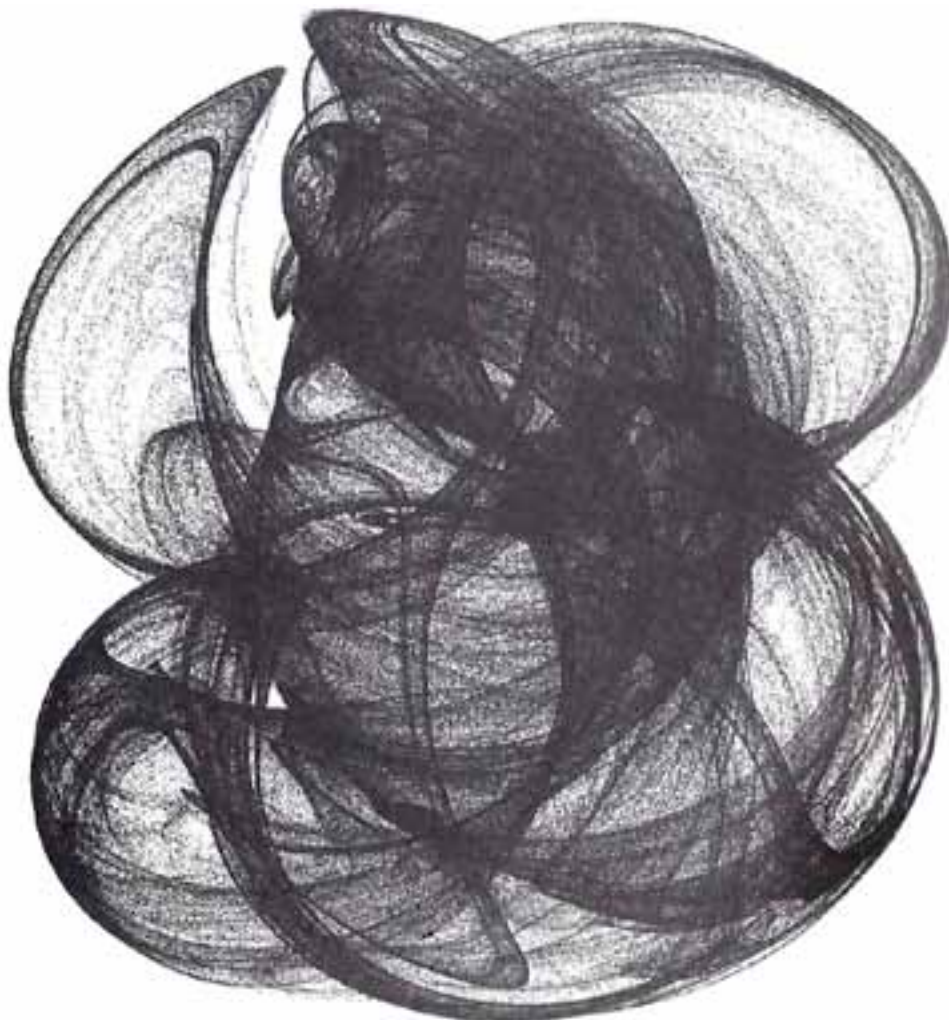
Altre volte il processo segue o ha seguito la traiettoria inversa (come ormai da secoli accade in Occidente) e quindi, in questi casi, la ricerca progettuale si fonda su geometrie già sistematizzate dal matematico professionista.

Ad ogni modo l'atteggiamento dell'architetto verso i modelli astratti, sia che faccia un uso consapevole di materiali formali già conosciuti e sviscerati, sia che si trovi ad essere “scopritore” di forme matematiche nuove, credo debba essere pensato nei termini descritti sopra.

Va ribadito e sottolineato il ruolo determinante della geometria, non solo come strumento capace di interpretare la realtà, ma soprattutto, ed è l'aspetto che ci interessa maggiormente, nel suo potere di controllare l'atto di plasmare la materia. È pertanto significativa la sua importanza nel delicato rapporto, in architettura, tra la parte artistica e quella scientifica.

A cosa serve tematizzare e sistematizzare questo sapere in ambito architettonico?

Essenzialmente, a mio avviso, a comunicarlo, per introdurre tale conoscenza in un sistema di relazioni interculturali che permettano un'evoluzione collettiva. Ciò che fa la differenza è quindi la trasmissibilità, la possibilità di evolvere un metodo su basi che spostano costantemente il loro obiettivo. Ciò che guadagneremo sarà essenzialmente l'effetto concreto nell'esperienza quotidiana dell'architetto, e cioè un maggiore e più accurato controllo sul progetto, unito ad una maggiore consapevolezza di poter diffondere metodi progettuali sempre più sofisticati.



3. C.A. Pickover, Attrattore caotico 3-D

visualizzazione di un attrattore con comportamento irregolare e imprevedibile. La figura è la proiezione bidimensionale della traiettoria governata da tre semplici funzioni di x , y e z reiterate 5 milioni di volte.

2. LA SEZIONE AUREA: GEOMETRIA E PROPORZIONE

Un numero che incontriamo sia nelle conferenze di storia dell'arte che nelle classifiche dei "numeri preferiti" dai matematici.

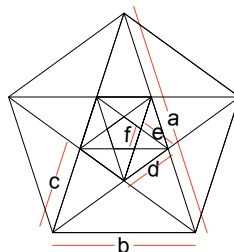
Cosa accomuna la disposizione dei petali di una rosa, l'Athena Parthenos di Ictino, la Villa Stein di Le Corbusier e la spirale del Nautilus? Sebbene possa sembrare insolito, questi esempi condividono una proporzione geometrica, ossia il numero irrazionale 1,6180339887...

2.1 Φ , STORIA E APPLICAZIONI GEOMETRICHE

Prima di illustrare due dei principali esempi riguardanti l'utilizzo della sezione aurea nella storia dell'architettura occidentale (il Partenone, realizzato ad Atene nel V secolo a.C. ed il modulo di Le Corbusier, sviluppato nel ventesimo secolo) si ritiene necessario esaminare alcuni aspetti formali concernenti la sezione aurea.

Sebbene la prima definizione del rapporto "aureo" venne formulata da Euclide nel III secolo a.C., si ritiene che la storia di ϕ sia più antica e complessa e che il suo significato geometrico sia legato a differenti figure, quali il quadrato, il pentagramma (stella a cinque punte inscritto in un pentagono) e la spirale.

Come puntualizza M. Livio, secondo alcuni ricercatori (tra cui K. von Fritz) la sezione aurea è da ascrivere alla confraternita dei pitagorici: in particolare il numero 5, che rimanda al pentagramma, simbolo della confraternita, riconduce alle origini del rapporto aureo:



$$a/b, b/c, \dots = \phi$$

4. Il Pentagramma e le relazioni auree del pentagono
i rapporti $a/b, b/c, \dots = \Phi$.

Collegando tutti i vertici del pentagono tramite diagonali si ottiene un pentagramma. Inoltre, le diagonali formano vicino al centro un pentagono regolare più piccolo. Ovviamente, il procedimento può essere ripetuto in questo pentagono, producendo un secondo pentagramma e un terzo pentagono, in una progressione che continua all'infinito.¹⁰

Passiamo ora ad osservare come i segmenti generati da questa successione di figure godano di relazioni auree, ovvero come i rapporti a/b , b/c , etc., siano uguali a φ . Si può dimostrare che la diagonale ed il lato del pentagono sono incommensurabili, ovvero che il rapporto tra le loro lunghezze non può essere espresso attraverso il rapporto tra numeri interi.¹¹

Livio, confermando gli studi di altri storici della matematica, afferma che le esperienze che i pitagorici avevano del pentagono e del pentagramma, e più in generale le conoscenze geometriche della metà del V secolo a.C., possono ampiamente avvalorare l'ipotesi secondo la quale sia stato il pitagorico Ippaso da Metaponto ad aver scoperto il rapporto aureo e l'incommensurabilità.

Tuttavia il primo a sistematizzare una definizione di rapporto aureo fu, nel 300 a.C., Euclide: nel suo trattato di storia della matematica, gli *Elementi*, egli cercò di compendiare gran parte delle conoscenze matematiche del suo tempo, discutendo più volte il numero aureo.

La **sezione aurea** (o rapporto aureo) indica il rapporto a/b tra due lunghezze a e b , tali che $a > b \neq 0$ e delle quali la maggiore a è media proporzionale tra la minore b e la somma delle due $a+b$ (come accade, ad esempio, per il lato e la diagonale di un pentagono).

In formula:

$$b : a = a : (a+b) \quad (1)$$

La sezione aurea assume un valore costante pari a $\frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,61803$

Tale valore si ricava dall'equazione (1) come segue:

- essendo ciascuna lunghezza non nulla, vale la seguente eguaglianza tra i reciproci del primo e secondo membro della (1):

$$a : b = (a+b) : a \quad (2)$$

- indicando a/b (cioè proprio la sezione aurea) con Φ , si ottiene:

$$\frac{a}{b} = \phi \quad \text{da cui} \quad a = \phi b \quad (3)$$

-sostituendo la (3) nella (2) si ricava: $\frac{\phi b}{b} = \frac{\phi b + b}{\phi b}$ (4)

-mettendo la b a fattor comune nel secondo membro della (4) e semplificando entrambi i membri per b , si ottiene:

$$\phi = \frac{\phi + 1}{\phi} \quad (5)$$

-moltiplicando infine entrambi i membri della (5) per Φ e portando tutto al primo membro, si ricava la seguente equazione di primo grado:

$$\phi^2 - \phi - 1 = 0 \quad (6)$$

che ammette come unica soluzione positiva il valore previsto pari a:

$$\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1,61803.$$

Che relazione sussiste tra questa proporzione ed il pentagono?

Ebbene, attraverso semplici passaggi di geometria elementare che si rimandano ai testi specializzati, si può dimostrare come in un pentagono regolare il rapporto tra la diagonale e il lato equivalga a ϕ ; il triangolo isoscele risultante è chiamato “triangolo aureo”; i due triangoli laterali hanno un rapporto del lato con la base pari a $1/\phi$ e vengono chiamati “gnomoni aurei”. Per i greci il principale interesse verso il numero ϕ era rivolto alle sue implicazioni geometriche e al suo utilizzo per costruire il pentagono regolare ed alcuni poliedri platonici partendo da una linea divisa secondo proporzioni auree.

La figura geometrica aurea forse più presente nell’architettura è il “rettangolo aureo”, ossia un rettangolo nel quale il rapporto tra lato maggiore e mi-

nore equivale a φ . Una proprietà peculiare di tale rettangolo è la seguente: se proviamo a sottrarre dal rettangolo aureo un quadrato di lato uguale al lato minore, otterremo un rettangolo ancora aureo, e procedendo otterremo rettangoli aurei sempre più piccoli. Ogni rettangolo aureo così ottenuto avrà delle dimensioni minori di quelle rettangolo aureo maggiore di un fattore φ .

Leonardo da Pisa, meglio conosciuto come Fibonacci, responsabile di aver diffuso nel mondo occidentale i simboli numerici indo-arabi, è anche celebre per la successione di Fibonacci, che, come vedremo, ha strette corrispondenze con φ . Formulando un problema di discendenza di una coppia di conigli, problema che a prima vista non sembrerebbe avere niente a che vedere con il rapporto aureo, egli ampliò enormemente la portata e le applicazioni geometriche di φ .

Senza addentrarci eccessivamente nella formulazione del problema, in questa sede appare fondamentale ricordare come sia il numero di coppie adulte che di coppie giovani formano la successione detta di Fibonacci (1,1, 2,3,5,8,13...), nella quale ogni termine è la somma dei due termini precedenti. Quella di Fibonacci fu la prima successione numerica ricorsiva, ossia una successione in cui la relazione tra i termini successivi può essere manifestata attraverso un'espressione matematica.

La relazione tra la successione di Fibonacci e la sezione aurea risiede nei rapporti tra gli elementi contigui della serie numerica: infatti, procedendo lungo la successione verso numeri sempre più alti, il rapporto si approssimerà sempre più al numero φ . Questa proprietà venne scoperta da Keplero nel 1611.

Sebbene nata casualmente, è evidente la straordinaria portata della successione di Fibonacci, che abbraccia i campi più disparati e impensabili (dall'ot-



5. Fillotassi

la disposizione elicoidale delle foglie, descrivibile dalla successione di Fibonacci, permette di ottimizzare la loro esposizione al sole e alla pioggia.

tica alla biologia alla botanica), generando un sistema geometrico e matematico d'interpretazione delle forme naturali e della loro morfogenesi. Si scoprì infatti che la filotassi, ossia la disposizione delle foglie nei vegetali, segue la successione di Fibonacci per permettere alle foglie di occupare posizioni che rendano massima l'esposizione al sole, all'aria e alla pioggia. Se le foglie seguissero degli schemi rettilinei si priverebbero a vicenda della luce: la successione delle foglie ha invece una componente rotatoria che, con l'avanzamento verso l'alto, permette di disegnare un'elica intorno al fusto. Persino nelle pigne, nell'ananas, nel girasole ed in alcuni particolari fiori, la disposizione a spirale segue la successione di Fibonacci; anche i quozienti di filotassi si possono esprimere come quozienti dei numeri di Fibonacci.

Secondo numerosi studi risulta assodato che la successione di Fibonacci strutturi la filotassi: ma in che modo si possono mostrarne le cause? Perché le foglie seguono esattamente questa disposizione?

Il gruppo di River spiega come le strutture naturali abbiano esigenza di omogeneità (medesima struttura) e di autosomiglianza (struttura uguale a se stessa ingrandita o rimpicciolita), evidenze che limitano drasticamente il numero di strutture possibili, giustificando la prevalenza di Fibonacci nella filotassi.

Tuttavia è la fisica la disciplina in grado di spiegarne le cause.

I sistemi fisici sono soliti assestarsi nella condizione che rende minima la loro energia. Viene perciò spontaneo inferire che le disposizioni della filotassi rappresentino condizioni di energia minima per gemme che si "respingono" reciprocamente.¹²

L'elenco delle relazioni geometriche con i numeri di Fibonacci è quasi illimitata: si proverà quindi ad elencare quelle maggiormente legate alla morfogenesi.

1. La quadratura dei rettangoli, ossia una proprietà di corrispondenza tra rettangoli e quadrati, secondo la quale un numero dispari di rettangoli con i lati uguali ad una serie dei numeri di Fibonacci coincide con un quadrato.
2. La *spira mirabilis*, così chiamata da J. Bernoulli, è una curva avvolta su se stessa, nota come spirale logaritmica (il cui raggio cresce costantemente in senso antiorario), che ha proprietà di auto somiglianza, cioè cresce senza variare forma. Ancora una volta ritroviamo questo elemento geometrico nella natura, dal Nautilo (che nella sua conchiglia cresce costruendo camere sempre più grandi abbandonando e sigillando quelle inutilizzabili perché troppo anguste) agli organismi unicellulari come i "foraminiferi", ai girasoli, gli uragani, alle spirali galattiche.

La spirale logaritmica, tanto nota anche tra gli architetti e gli artisti, fu evo-

cata più volte da Leonardo da Vinci nei suoi studi e dipinti: in particolare nell'opera sul Diluvio si trovano numerosi schizzi rappresentanti osservazioni scientifiche relative a forze distruttive che rimandano appunto alla spirale logaritmica. La relazione tra quest'ultima e il rapporto aureo è molto stretta: analizzando la proprietà sui rettangoli aurei sopra citata (secondo cui sottraendo un quadrato da un rettangolo aureo si ottiene un altro rettangolo aureo più piccolo del primo di un fattore ϕ) e provando a ripetere l'operazione indefinitamente, si otterrà un sistema di rettangoli e quadrati che si inseguono secondo elementi sempre più piccoli. Ebbene, la congiunzione dei vertici di questo vortice di quadrati, permette di ricavare proprio una spirale logaritmica.

2.2 IL RAPPORTO AUREO PER LA PROGETTAZIONE DEL PARTENONE

Si cercherà ora di verificare se il rapporto aureo è effettivamente presente nel progetto del Partenone o se, al contrario, sia il semplice frutto di forzature posteriori.¹³

La maggior parte degli studi finalizzati a scoprire se dietro la perfezione delle proporzioni del tempio ci fossero effettivamente dei principi geometrici, ebbe inizio in seguito alla dominazione turca del 1830. Nei principali testi riguardanti ϕ , si affermava che il rapporto tra la larghezza e l'altezza della facciata del tempio equivalesse ad un rettangolo aureo e che anche altre parti del Partenone godessero di queste relazioni.

Lo studioso M. Borissavlievitch, in *The Golden Number and the Scientific Aesthetics of Architecture* del 1958, invece di concentrare l'attenzione sul rapporto aureo come giustificazione della bellezza e dell'armonia del Partenone, sosteneva che queste dipendessero principalmente dall'introduzione del tema ripetitivo delle colonne.

L'astrofisico M. Livio,¹⁴ in un breve paragrafo sul Partenone, metteva in dubbio la reale presenza della sezione aurea nel progetto, avvalendosi della tesi di matematici quali G. Markowsky che, nell'articolo *Misconceptions about the Golden Ratio*, sottolineava come alcune parti della facciata del tempio uscissero dal rettangolo aureo che cercava di racchiuderla.

Bisogna inoltre considerare come gli studi non riportino tutti le medesime dimensioni, a causa delle diverse misurazioni del tempio, e come quindi simili incertezze numeriche generino terreno fertile per possibili forzature o false ipotesi. Adirittura, secondo studiosi quali M. Tracheberg e I. Hyman, il Partenone non avrebbe nulla a che vedere con la sezione aurea.

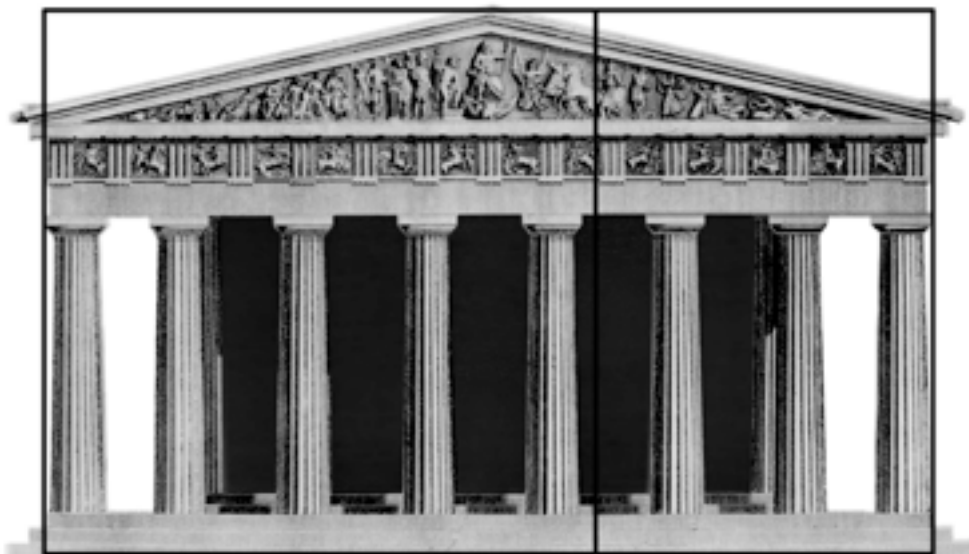
Concludiamo con le parole di Livio:

In conclusione, il rapporto aureo è stato utilizzato o no per progettare il Partenone? È diffi-

cile esserne sicuri. Anche se la maggior parte dei teoremi matematici riguardanti il rapporto aureo sembrano essere stati formulati in anni successivi alla sua costruzione, i pitagorici già da un certo tempo possedevano notevoli conoscenze al riguardo. Perciò, gli architetti possono aver deciso di basare il progetto del tempio su principi estetici diffusi in certi ambienti, e legati all'idea del rapporto aureo. Quest'eventualità è comunque molto più dubbia di quanto certi libri amino sostenere, né è suffragata in modo chiaro dalle dimensioni del Partenone.¹⁵

Tenendo a mente che la precisione della matematica è ampiamente distante dalla pratica architettonica, probabilmente solamente con i disegni originali del Partenone sarebbe possibile stabilire se gli architetti avessero voluto consciamente inscrivere la facciata del tempio all'interno di un rettangolo aureo: ad oggi ci sono troppe variabili che possono alterare le misure della base e dell'altezza del tempio, e di conseguenza ancor di più il loro rapporto.

In conclusione è possibile affermare che, se non si può verificare con esattezza la presenza del rapporto aureo nel progetto del Partenone, sembra tuttavia innegabilmente vero che qualcosa di simile a questo rapporto matematico possa aver aiutato i progettisti a raggiungere un sofisticatissimo equilibrio nella facciata del tempio.



6. Callicrate e Ictino, il Partenone, Atene, Grecia, 432 a.c.
la facciata del Partenone e il rettangolo aureo.

2.3 IL MODULOR TRA LA MUSICA, IL CUBISMO E MATILA GHIKA

Che cos'è il Modulor? Non è semplice rispondere senza fare riferimento alla musica. Si può dire che il Modulor è una scala comparabile a quella musicale, ma invece di essere una scala per i suoni, è una scala per le dimensioni spaziali. Queste dimensioni sono ricondotte a segmenti di retta e, potendo moltiplicarsi tra loro, determinano non solo segmenti di linea ma anche di superficie e di volume.¹⁶

Per la formazione di Le Corbusier fu di fondamentale importanza la figura della madre, pianista ed insegnante di musica, che lo incoraggiò a studiarla, venendo così in contatto con un mondo fatto di rapporti numerici strutturali tutta l'armonia musicale.

Trasferitosi a Parigi, egli conobbe Amédée Ozenfant che lo introdusse nel mondo intellettuale parigino dove venne influenzato dal cubismo e, grazie a Juan Gris, dalla ricerca dell'estetica e dell'uso sistematico delle proporzioni. Le Corbusier ed Ozenfant esposero nel 1918 alla *Galérie Thomas* definendosi "puristi" ed intitolando il catalogo della mostra *Après le Cubisme*.¹⁷

In questo primo momento della sua attività, Le Corbusier si manifestò scettico riguardo l'applicazione della sezione aurea nell'arte, non volendo "sostituire la sezione aurea alla mistica della sensibilità": di conseguenza fino al 1927 l'architetto non fece alcun uso del rapporto aureo.

Anche se l'interesse verso l'estetica ed i rapporti numerici avevano già trovato posto nel suo passato, ciò che fece scaturire un interesse diverso nei confronti di ϕ , furono probabilmente i libri di Matila Ghika, *Esthétique des proportions dans la nature et dans les arts* ed il successivo *Le nombre d'or: rites et rythmes pythagoriciens*. Le Corbusier presentò ad una conferenza, nel 1947, il *Modulor* (da *module*, unità di misura e *section d'or*, sezione aurea), del quale affermò:

In questi trent'anni e più, la linfa della matematica è fluita nelle vene del mio lavoro, sia di architetto che di pittore; perché la musica è sempre stata dentro di me.¹⁸

Questa linfa entrò nell'architettura con il *Modulor*, un sistema di proporzioni che assegnava "alla scala umana una misura di armonia, universalmente applicabile all'architettura e alla meccanica".¹⁹

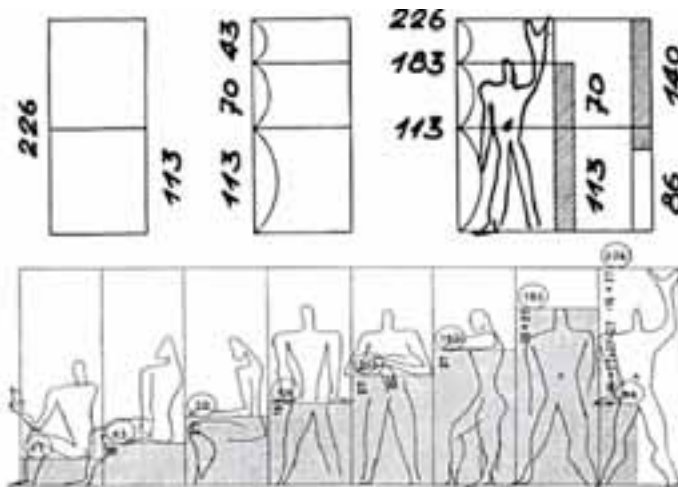
L'interesse verso i tracciati regolatori utili all'interpretazione dell'architettura antica e necessari a proporzionare i nuovi progetti, generò l'esigenza di elaborare una griglia capace di controllare tutte le misure secondo rapporti aurei. La griglia generata da Le Corbusier non era astratta e concepita secondo principi puramente matematici ma, riprendendo gli studi di Ghika, era disegnata secondo le principali dimensioni del corpo umano. Ne *Il Modulor. Saggio su una misura armonica alla scala umana universalmente applicata*

all'architettura e alla meccanica egli illustrò la sua metodologia di ricerca; nel 1955 pubblicò il secondo volume *Modulor 2* dove presentò un resoconto del metodo.

Nato dall'esigenza di generare un apparato proporzionale che, nello spirito dell'uomo vitruviano, si fondava sulle proporzioni umane, questo sistema proporzionale divenne lo strumento per regolare le dimensioni di tutti gli elementi costitutivi dei suoi progetti, permettendogli così di controllare tutte le parti della composizione a qualsiasi scala.

In sintesi, il *Modulor* è un sistema proporzionale basato su una figura umana dell'altezza di 183 cm che con il braccio alzato raggiunge i 226 cm ed i cui rapporti dimensionali sottostanno alla sezione aurea. I punti di riferimento di questa figura sono la pianta del piede, l'ombelico, la testa, l'estremità della mano alzata e la mano distesa. Per quanto riguarda le relazioni definite all'interno del *Modulor*, il rapporto tra la statura dell'uomo e l'altezza dell'ombelico equivale a ϕ , uguale al rapporto tra l'altezza della mano lasciata cadere verso il basso e la distanza tra questa e l'altra alzata. Il resto delle dimensioni sono ottenute secondo la successione di Fibonacci e sono rappresentate in due scale dimensionali: una blu, basata sull'unità 226 cm, e l'altra rossa, basata sull'unità 183 cm (i termini delle due serie si ottengono dividendo la misura di partenza e tutti i quozienti per il valore 1,618. I valori della serie rossa sono: 1,83-1,13-0,70-0,43, etc.; i valori della serie blu sono: 2,26-1,40-0,86-0,54, etc.).

Queste dimensioni si rivelarono particolarmente utili in un periodo nel quale si stava imponendo la produzione dell'*industrial design*, basato sulla



7. Le Corbusier, Proporzioni basate sul Modulor

definizione delle misure degli ambienti così come quelle degli utensili: ad esempio le sedute possono misurare a seconda dei casi 27 o 43 cm, 70 cm per il braccio, i piani d'appoggio possono essere di tre tipi (86, 113, 140 cm). Tutti gli oggetti e gli spazi trovano in tal modo una misura specifica e sempre coerente con la dimensione ed i movimenti dell'uomo.

2.3 PER CONCLUDERE, Φ E I RAPPORTI TRA LE COSE

L'impressionante presenza di Φ nei campi più disparati, quali arte, musica, architettura o natura, ha sicuramente confermato come Φ generi delle relazioni numeriche che "funzionano", ossia che sono capaci di proporzionare efficacemente, secondo la minima energia, parti che rispondono a caratteristiche fisiche di disposizione.

Talvolta il ritrovare questa proporzione nei settori più disparati ha generato un modello e delle tendenze che vanno necessariamente sfatate. Infatti, ripercorrendo la storia di questo numero, emerge come Φ si sia spesso inserito forzatamente in esempi architettonici ed artistici nei quali è indimostrabile la sua presenza, come nel Partenone, o è dimostrata la sua assenza, come nel caso della Grande Piramide di Giza.

A questo occorre aggiungere come anche il valore estetico del rapporto aureo sia stato probabilmente sopravvalutato. Ai numerosi autori che hanno ritenuto il rettangolo aureo essere l'esempio più soddisfacente di rettangolo dal punto di vista estetico, ribatte lo psicologo M. Godkewitsch dell'Università di Toronto, il quale ritiene che:

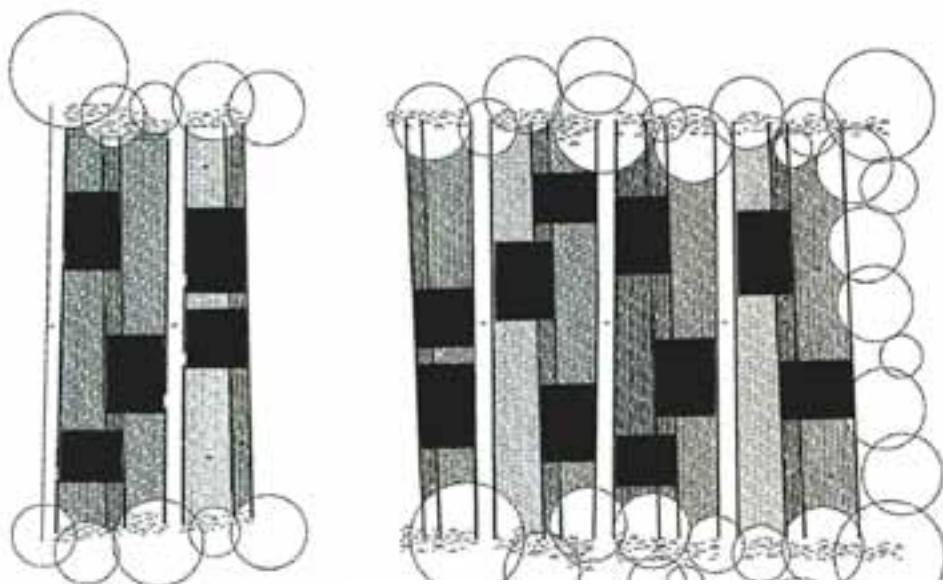
Alla questione di fondo se esista o no, nel mondo occidentale, una chiara preferenza estetica, espressa verbalmente, per un particolare rapporto tra lunghezza e larghezza delle forme rettangolari si deve probabilmente rispondere no. Non sembra esserci alcuna base razionale della teoria estetica che considera la sezione aurea un ingrediente decisivo della bellezza delle forme visive.²⁰

D'altra parte ascrivere un valore estetico a tutte le opere che contengono il rettangolo aureo comporterebbe la svalutazione di tutto ciò che non lo comprende. L'unico valore indiscusso va attribuito alla relazione dimensionale che si stabilisce tra gli elementi architettonici, ovvero la proporzione tra le cose, la quale è stata spesso controllata dal rettangolo aureo e da tutte le sue declinazioni (dal pentagramma alla serie di Fibonacci).

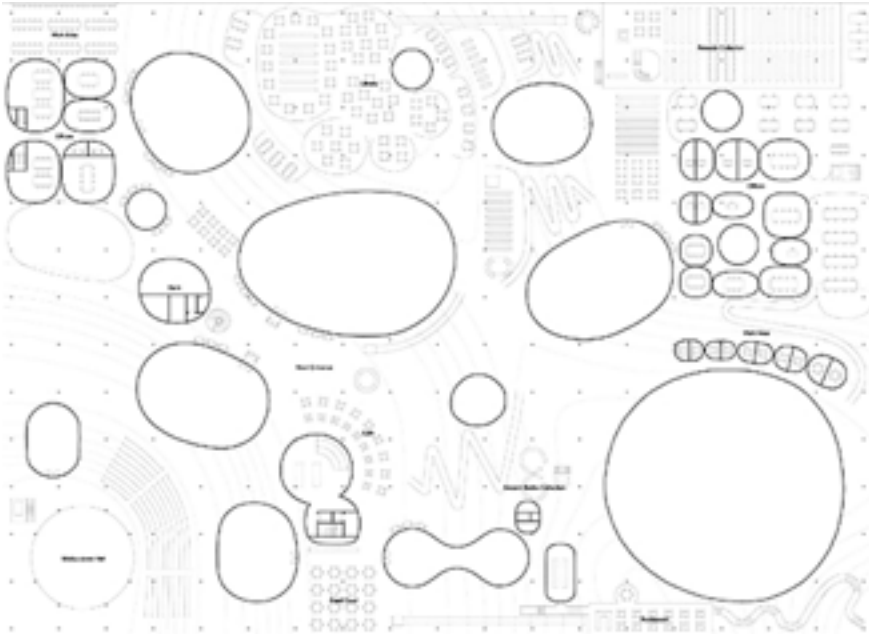
Solitamente in architettura si utilizza il termine proporzione per indicare il rapporto tra le parti di una struttura, e tra esse e la globalità di un edificio, secondo caratteri dimensionali e quantitativi; l'espressione viene anche utilizzata per riferirsi a relazioni tra cose che godono di una certa armonia. Pertanto nella proporzione non ha nessuna importanza la grandezza di un elemento in termini assoluti ma questa è sempre legata ad una comparazione relativa.

Da qui nasce in architettura l'importanza della dimensione delle cose rispetto al tutto, di dare la "giusta scala" a tutti gli elementi della composizione architettonica. I rapporti tra i diversi elementi di un'architettura non sempre sono sottoposti a leggi matematiche, bensì principalmente legati ad una capacità dell'architetto sviluppatasi con l'analisi di opere esistenti, con lo studio di tipo empirico, con il maturare, col tempo e con l'esperienza, una determinata "sensibilità".

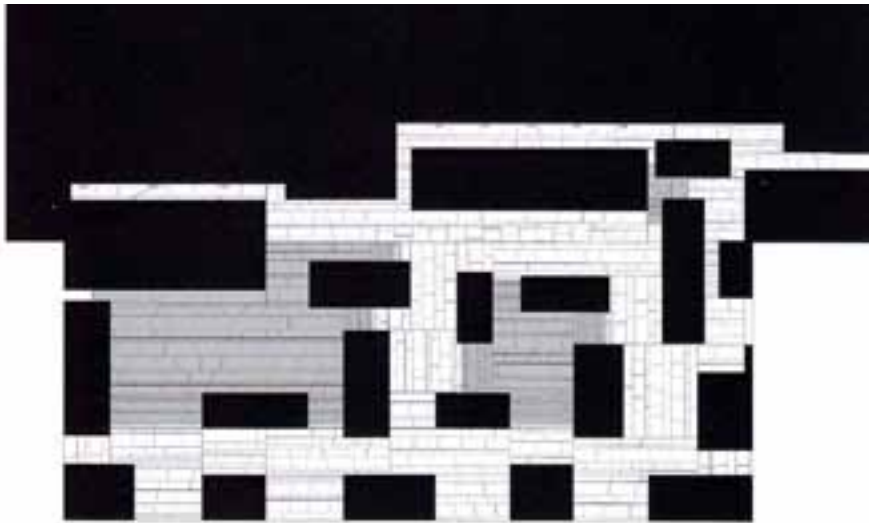
La tensione che si genera tra due elementi a seconda della loro distanza o della ripetizione di uno stesso oggetto od il loro progressivo cambiamento di scala, determina operazioni compositive che si incontrano costantemente nei progetti di architetti quali K. Sejima, R. Nishizawa, H. De Meuron, J. Nouvel, Rcr, P. Zumthor: in tutti questi casi, sebbene si possa individuare una proporzione empirica nella "costruzione formale" dei loro progetti, non si fa riferimento esplicito a proporzioni definibili matematicamente.



8. Rcr Arquitectes, Padiglioni Les Cols, Olot, Spagna, 2006



9. SANAA, Rolex Learning Center, Losanna, Svizzera, 2010



10. Peter Zumthor, Terme di Vals, Cantone Graubunden, Svizzera, 1996

3. PORZIONI E SUPERFICI: I QUASI-CRISTALLI

Numerosi scienziati hanno riconosciuto, nella complessità geometrica delle tassellature islamiche medioevali, le anticipazioni della struttura dei quasi cristalli, la cui esistenza venne dimostrata negli anni '70 del secolo scorso da R. Penrose, matematico e cosmologo dell'Università di Oxford.

In particolare P. J. Lu e P. J. Steinhardt conclusero una ricerca che analizzava le tassellature dell'Afghanistan, Iran, Iraq e Turchia, affermando come gli architetti e gli artigiani islamici avessero sviluppato tecniche “*per costruire i pattern dei quasi cristalli di Penrose pressoché perfetti, cinque secoli prima della loro scoperta nel mondo occidentale*”.²¹

Queste sono le stesse geometrie oggi utilizzate dall'artista O. Eliasson in alcuni dei suoi lavori o da FOA nella facciata del *Ravensbourne College of Design & Communication*.

3.1 LE TASSELLATURE BIDIMENSIONALI E PENROSE

Così come è scritto nell'*Esodo* e nel *Deuteronomio*, il comandamento che nella religione cristiana venne limitato a “non avrai altro Dio all'infuori di me” in realtà continuava con “non ti fare nessuna scultura, né immagine delle cose che splendono su nel cielo”. L'iconoclastia nella cultura araba ed ebraica fece sì che la ricerca artistica si sia indirizzata verso un'arte astratta e geometrica che terminò nello sviluppo di intarsi e decorazioni murali, il cui risultato più elevato è probabilmente da riconoscere nelle tassellature dell'Alhambra di Granada del XIV secolo.

In geometria le tassellature del piano rappresentano il modo di ricoprire completamente una superficie piana con una sola o più figure geometriche, senza lasciare spazi e senza sovrapposizioni. P. Odifreddi ne *La matematica del Novecento* ci ricorda che, sebbene il numero di tassellature sia illimitato, la loro tipologia è invece limitata e dipende dai possibili gruppi di simmetrie o dalle loro possibili combinazioni (ovvero da trasformazioni quali traslazioni lungo una retta, riflessione rispetto una retta e rotazioni attorno a un punto).²²

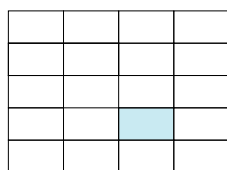
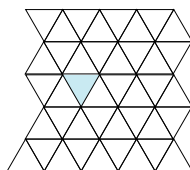
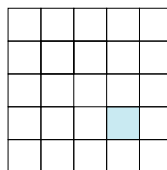
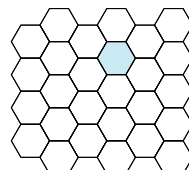
Fedorov nel 1891 classificò le tassellature rispetto ad una retta ed il piano, dimostrando che per i fregi lineari esistono solo 7 tipi diversi di gruppi di simmetria e 17 tipologie per le tassellature planari.

I triangoli, i quadrati e gli esagoni in particolare, permettono di ricoprire il piano con una sola figura geometrica, creando un tema periodico, ovvero che si ripete ad intervalli regolari. La tassellatura a triangoli equilateri ha simmetria tripla (in quanto ammette una rotazione di un terzo di angolo giro, 120°), quella quadrata ha simmetria quadrupla (non risentendo della rotazione di un quarto di angolo giro, 90°), quella rettangolare ha simmetria assiale (perché non risente di rotazioni di 180°) ed infine quella ad esagoni ha una simmetria sestupla, poiché ammette una rotazione di un sesto di angolo giro (60°). Pertanto i gruppi planari contengono solo simmetrie rotazionali di 180° , 120° , 90° , 60° , cioè di tipo assiale, triangolare, quadrata ed esagonale.

Se invece provassimo a tassellare il piano con un pentagono ci accorgeremo che, per quanto si tenti, rimarranno delle lacune: per questo motivo si è a lungo creduto che nessuna tassellatura con una simmetria quintupla potesse avere un ordine ripetitivo. Nel 1974 R. Penrose, fisico di Oxford, riuscì a ricoprire ordinatamente un piano attraverso due schemi di intarsio a simmetria pentagonale non esattamente periodici (anche se dotati, su una scala abbastanza ampia, di un'evidente regolarità).²³

Un sistema di tassellatura è composto da due tessere, il dardo e l'aquilone, che derivano entrambe dal pentagono regolare. Ricordiamo come nel capitolo precedente era stato individuato, nel pentagono regolare, il 'triangolo aureo' (in cui il rapporto lato/base è φ) e il 'gnomone aureo' (in cui il rapporto lato/base è $1/\varphi$). Penrose e Conway dimostrarono che, per poter riempire completamente il piano con due tessere, occorreva introdurre delle regole combinatorie. Una proprietà di questa tassellatura è che il rapporto tra il numero di aquiloni e il numero di dardi tende a φ col crescere della loro quantità.

Un altro sistema di tassellatura scoperta da Penrose è quella che utilizza un'altra coppia di tasselli: un rombo ottuso ed un rombo acuto. Anche in

simmetria rettangolare 180° triangolare 120° quadrata 90° esagonale 60°

11. I gruppi planari

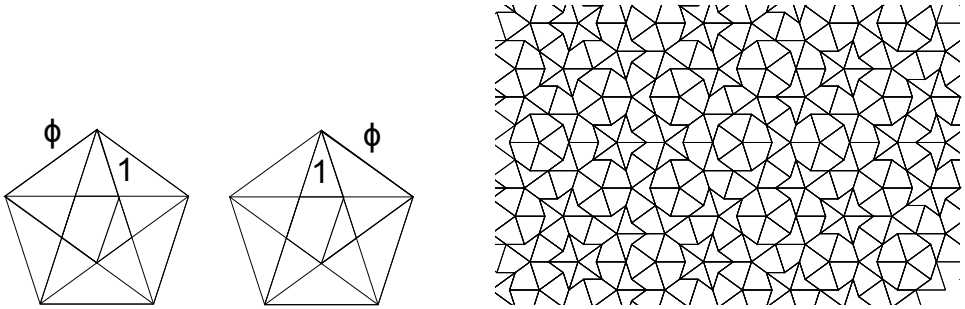
essi ammettono solo quattro simmetrie rotazionali.

questo caso ogni rombo è formato da 2 triangoli aurei e da due gnomoni: per riempire convenientemente il piano bisogna seguire delle regole combinatorie dove il rapporto rombi ottusi/rombi acuti tende a ϕ .

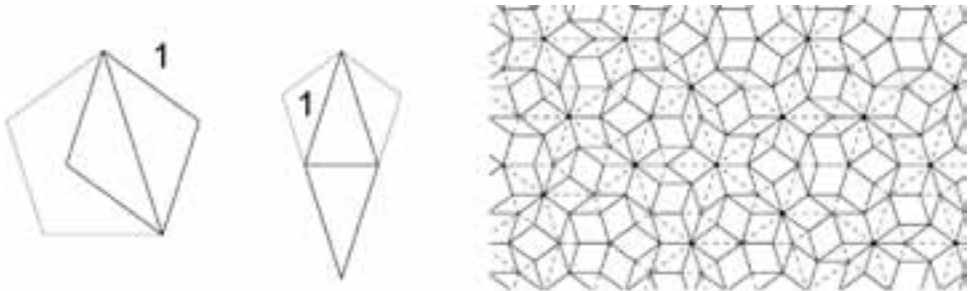
Come affermò Odifreddi:

L'esempio di Penrose è interessante matematicamente perché esibisce una simmetria di rotazione pentagonale, che nessuna pavimentazione planare simmetrica può invece esibire.²⁴

Penrose estese i suoi studi anche allo spazio tridimensionale: così come i tasselli bidimensionali possono coprire il piano, i tasselli tridimensionali riempiono un volume completandolo senza lasciare vuoti.



12. Tassellatura con simmetria pentagonale aperiodica con cometa e dardo



13. Tassellatura con simmetria pentagonale aperiodica con rombo ottuso ed acuto

3.2 TASSELLI NELLO SPAZIO TRIDIMENSIONALE, I QUASI-CRISTALLI

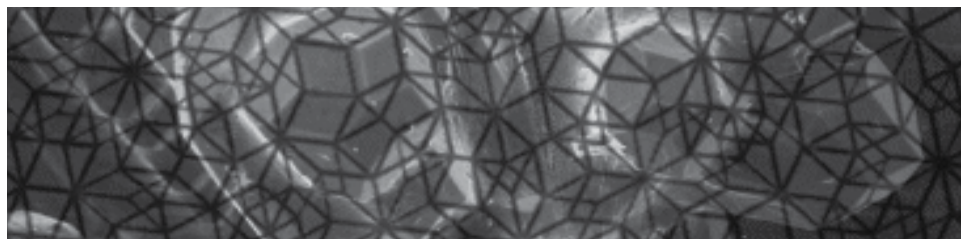
Nel 1976 il matematico R. Ammann scoprì una coppia di tasselli tridimensionali in grado di riempire lo spazio senza lasciare vuoti: due romboedri che, assemblati secondo alcune regole, generano uno schema non periodico e aventi le proprietà di simmetria dell'icosaedro, ovvero l'equivalente di una simmetria pentagonale nello spazio tridimensionale. I due romboedri sono aurei e hanno facce identiche ai rombi di Penrose.

Considerando lo spazio tridimensionale, gli oggetti spaziali simmetrici più comuni sono i cristalli: la cristallografia, per merito di A. Bravais nel 1849, fu uno dei primi campi di applicazione della teoria dei gruppi. Nel 1980 Fedorov dimostrò che esistono 230 tipi diversi di gruppi di simmetria spaziali. Per decenni i fisici e i cristallografi avevano conosciuto solamente due forme solide: quella dei cristalli, ordinata e periodica, e quella amorfa. Ad esempio nel cloruro di sodio gruppi di atomi generano delle 'celle elementari' di forma cubica, che si ripetono in una struttura periodica ed ordinata, mentre nel vetro la posizione degli atomi non ha alcun ordine e pertanto esso ha una configurazione amorfa.

Nel 1984 il cristallografo D. Schechtman fece una scoperta sensazionale, ossia una lega di alluminio e manganese che aveva caratteristiche estranee sia ai cristalli che ai solidi amorfi e che invece seguiva una struttura molecolare fino ad allora proibita, ossia che si pensava non potesse essere esibita da nessun cristallo: la simmetria pentagonale. Queste strutture sono chiamate quasi-cristalli.

Le regole della cristallografia 'classica' definivano le proprietà dei cristalli e la loro struttura formale: come per le regole per tassellare lo spazio bidimensionale, si credeva che le uniche simmetrie permesse per un cristallo fossero quelle di 180° , 120° , 90° , 60° .

Nelle tassellature aperiodiche si generano invece strutture che hanno una "quasi" simmetria pentagonale, nelle quali si possono trovare dei movimenti



14. Quasi Cristalli al microscopio elettronico

che portano la struttura “quasi” a coincidere con se stessa.

Questi nuovi cristalli, chiamati appunto quasi-cristalli per la loro non appartenenza alle categorie classiche della cristallografia, hanno le stesse proprietà degli intarsi di Penrose.

Tuttavia le regole di giustapposizione di Ammann e Penrose non spiegano il comportamento degli atomi e delle molecole.

La risposta a questo problema venne data qualche anno fa da P. Steinhardt, docente di matematica presso l'Università di Princeton, e da H. Jeong dell'Università Sjong di Seul, dando un'interpretazione fisica alla tesi del matematico tedesco Gummelt.

Gummelt provò come l'intarsio di Penrose si potesse costruire con un solo elemento, un decagono opportunamente ‘decorato’, ed una precisa regola di sovrapposizione. Si tratta di una tessera tridimensionale che, ammettendo nella sua ripetizione delle sovrapposizioni, genera tassellature non periodiche.

La dimostrazione fisica data da Steinhardt e da Jeong consiste nell'interpretare le regole matematiche di sovrapposizione tra i tasselli in ambito fisico: i tasselli non sono altro che gruppi di atomi che condividono alcuni atomi.

Secondo Steinhardt e Jeong, i quasi-cristalli sono strutture in cui identici raggruppamenti atomici (celle quasi elementari) condividono atomi con i loro vicini, in una configurazione rivolta ad ottimizzare la densità dei raggruppamenti. In altre parole la struttura quasi-periodica corrisponde a un sistema più stabile, caratterizzato da maggiore densità e maggiore energia.²⁵

Questo modello è stato verificato sperimentalmente nel 1998, bombardando una lega quasi-cristallina di alluminio, nichel e cobalto con raggi X e fasci di elettroni. La tassellatura con decagoni sovrapposti coincide notevolmente con l'immagine di diffrazione a raggi X e, sebbene tentativi più recenti abbiano dato risultati meno certi, il modello di Steinhardt-Jeong rimane ad oggi il miglior modello interpretativo.

3.3 MOSAICI ARABI, IL *PALACIO REAL DE LA ALHAMBRA* A GRANADA

Come accennato precedentemente, quella islamica non è un'arte figurativa ma deriva dall'esigenza di sostituire l'immagine antropomorfa di Dio con una sua idea astratta: considerando che la luce viene considerata l'unica immagine possibile da rappresentare, si comprende come l'arte islamica sia essenzialmente rivolta alla geometria e allo studio degli intarsi e al loro modo di modellare e filtrare la luce.

Nel 1856 *The Grammar of Ornament* di O. Jones dedicò un intero capitolo alle decorazioni dell'Alhambra:

Le nostre illustrazioni degli ornamenti arabi sono state prese esclusivamente dall'Alhambra, non solo perché è una delle opere che meglio conosciamo, ma anche perché è quella in cui il meraviglioso sistema di decorazione raggiungeva il suo culmine. L'Alhambra è all'apice della perfezione dell'arte moresca, come lo è il Partenone per l'arte greca. Non possiamo trovare lavoro più adatta a illustrare una Grammatica degli Ornamenti come questo, in cui ogni decorazione contiene una grammatica in se stessa. Ogni principio che possiamo derivare dallo studio dell'arte ornamentale di qualsiasi altra civiltà è non solo presente qui, ma è stato seguito dagli arabi nel modo più universale e vero.²⁶

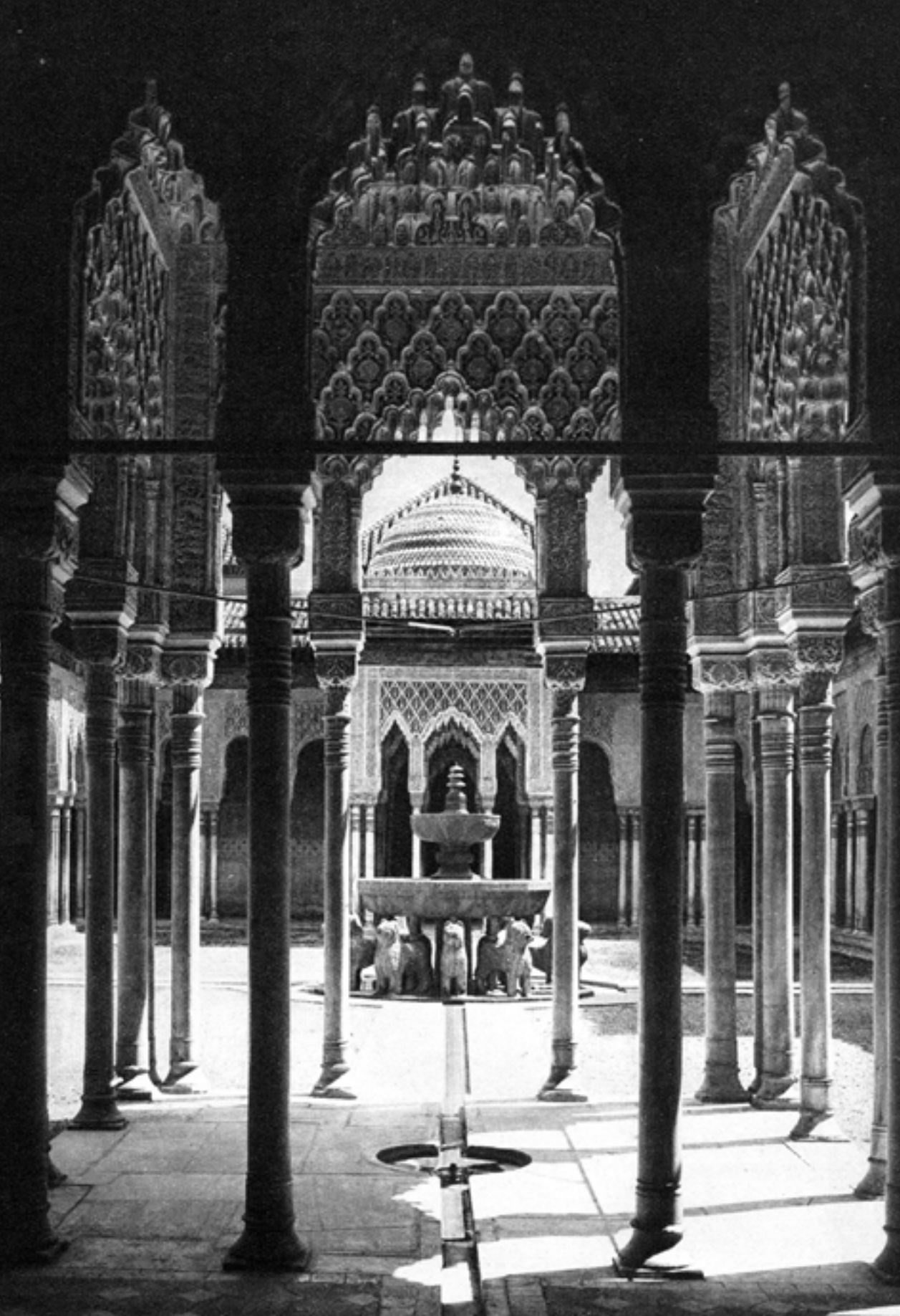
Molti secoli prima che venisse scoperta la struttura dei gruppi cristallografici, gli artisti arabi avevano sviluppato dei sistemi empirici per generare tassellature periodiche del piano: pur ritrovando esempi di decorazioni periodiche in tutto il mediterraneo, l'Alhambra, come ribadito anche da Jones, costituisce una delle architetture più interessanti riguardo ai mosaici arabi. S.J. Abas e A.S. Salman confermarono lo stesso concetto in *Symmetries of Islamic Geometrical Patterns*:

Sebbene tutte le culture, sin dai tempi più antichi, abbiano sperimentato motivi periodici e simmetrie, non vi sono dubbi che è stato con la civiltà islamica, intorno al X secolo, che questa attività arrivò al punto più alto. Quest'arte raggiunse il suo zenith nella metà del XIV secolo, portando alla realizzazione di creazioni magnifiche come quelle che si possono trovare nel palazzo dei Nasrid all'Alhambra a Granada.²⁷

L'Alhambra, 'il forte rosso', è un palazzo fortificato costruito su una collina della città di Granada, in Spagna. Le incursioni arabe nella penisola ebbero inizio nel 710; al 1237 si data un momento di svolta nella storia di Granada, quando il principe feudale Muhammad ibn Yusuf ibn Nasr prese la città, accettò la sovranità castigliana e divenne il solo rappresentante della Spagna islamica, protraendo con i suoi 22 discendenti il governo musulmano fino alla conquista cristiana nel 1492. Sebbene da un punto di vista militare e politico fosse un governo debole e instabile, esso diede vita ad un mondo economicamente ricco e culturalmente prospero ed erudito che ebbe, tra le sue maggiori rappresentazioni artistiche, proprio il progetto dell'Alhambra. Considerando il palazzo dell'Alhambra un modello sul quale studiare i pattern islamici, possiamo trarre delle conclusioni, grazie agli studi di Abas e Salman, riguardo la loro individuazione nei motivi islamici. L'intreccio di caratteri rettilinei che rimandano a "forme simmetriche che assomigliano a stelle e costellazioni [...] rifletteva l'esperienza dei musulmani di vivere in tende, che era all'origine dell'arte di tessere tappeti per coprire il terreno".

La calligrafia costituisce un altro elemento fondamentale con il quale si inverano i versi del Corano: poiché essi rappresentano la parola divina, la loro presenza aumenta il carattere dell'elemento sacro.

Un'altra caratteristica è la ripetizione, ossia la generazione di un sistema geometrico che si basa sulla ripetizione all'infinito di un elemento, senza inizio né fine, che faccia fluire le forme senza limite, tendendo all'infinito. Come afferma M. Emmer in *Visibili Armonie*, questa caratteristica determina



nello spettatore una percezione di disorientamento:

non vi è nei motivi alcun punto naturale di fuoco per l'occhio. Se si segue l'espandersi del motivo periodico, l'occhio scivola via con continuità, senza salti, seguendo le linee e osservando via via una grande varietà di strutture e relazioni complesse.²⁸

Una figura base particolarmente frequente e riconoscibile in tutte le decorazioni di matrice islamica è il *Khatem Sulemani*, una stella ottagonale che simboleggia il "Sigillo del Profeta". Questo elemento è ottenuto dalla suddivisione di un cerchio in otto archi regolari, che forniscono i vertici per la costruzione di due quadrati; un analogo risultato si poteva conseguire sovrapponendo due quadrati, ruotati tra loro di 45°, tenendo fisso il centro.

A questo punto si potrebbe affermare che i motivi periodici nel piano siano solo l'applicazione di alcune regole matematiche. Invece, come è stato già detto precedentemente, ci sono infiniti modi di combinare gli elementi base delle tassellazioni, di dare loro uno spessore ed una dimensione e di metterli in relazione con le parti murarie: è nell'interpretazione degli elementi geometrici che sta l'abilità del lavoro dell'architetto. Non è l'uso di geometrie complesse a garantire il livello artistico dell'opera, ma l'utilizzo che si fa di queste geometrie.

Senza entrare nel lungo dibattito sui rapporti tra arte e scienza, che verrà ampiamente sviluppato più avanti, ci si può limitare a considerare, per adesso, le parole di E. Gombrich nel testo *The Sense of Order*:

I cristallografi sono stati i primi ad affrontare la geometria dei solidi regolari e le possibilità intrinseche alla loro disposizione simmetrica. È nel perseguire questa linea di pensiero che il grande matematico Andreas Speiser ha studiato le leggi geometriche alla base della costruzione di pattern.²⁹

Non dobbiamo confondere l'analisi delle simmetrie geometriche con la matematica delle combinazioni e delle permutazioni. Non vi è pericolo comunque che le risorse dell'autore di pattern siano esaurite dai vincoli della geometria, perché ognuno dei gruppi e degli strumenti descritti da Speiser può essere combinato con altri in un'infinità di combinazioni e permutazioni.³⁰

Le tassellature dell'Alhambra non sono bidimensionali, come si potrebbe ricavare dalle astrazioni geometriche presenti nella maggior parte dei testi, ma presentano una rugosità ed una tridimensionalità che assorbe la luce, la filtra e la lascia penetrare, diventando un vero e proprio tessuto geometrico. In altre parole la struttura geometrica che deriva da un semplicissimo modulo base viene interpretata in un pattern più complesso, che risponde e si adatta alla morfologia della struttura per la quale è stata realizzata.

3.4 I PATTERN APERIODICI NELL'ARCHITETTURA MEDIOEVALE ISLAMICA

I pattern riconoscibili nell'architettura islamica, così come nell'Alhambra, sono pattern periodici caratterizzati da un grandissimo livello di complessità geometrica ed estetica.

L'uso della tecnologia e della concettualizzazione dei pattern costituisce la grande innovazione sviluppata dall'arte islamica a partire dal XI secolo, insieme all'introduzione, successiva al XV secolo, di geometrie quasi-cristalline, che vennero invece studiate nel mondo occidentale solamente una trentina di anni fa.

A questa tesi è arrivato il giovane ricercatore P. Lu dell'Università di Harvard con l'aiuto di P. Steinhardt, docente dell'Università di Princeton: essendo delle argomentazioni molto recenti, ci avvarremo direttamente dell'articolo *Decagonal and Quasi Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture* (Science 315, 23/02/2007, p. 1106), cercando di contrastarlo con i dibattiti aperti da altri studiosi nella pagina www.sciencemag.org.

Durante un viaggio in Uzbekistan, Lu scoprì un mosaico su una parete di una madrasa, a Bukhara, che gli ricordava i disegni di alcune strutture appena studiate, i quasi-cristalli: da qui nacque questa interessantissima ricerca che, ancora una volta, unisce architettura e scienza. L'interessantissima scoperta di P. Lu e P. Steinhardt merita quest'estesa citazione:

Il Girih è un pattern ampiamente diffuso nell'arte e nell'architettura Araba. Studi precedenti di documenti Islamici medioevali che descrivono l'applicazione della matematica nell'architettura suggeriscono che questi pattern furono costruiti attraverso delineando una rete di linee a zig-zag, con l'uso del compasso e di un regolo. L'impatto visivo dei pattern Girih è tipicamente rafforzato dalla simmetria rotazionale. Comunque, i pattern periodici creati dalla ripetizione di motivi con una singola "cellula unitaria", possono avere solo una serie limitata di simmetrie rotazionali, come dimostrato rigorosamente dai matematici occidentali nel XIX sec. Sono ammesse solo le simmetrie rotazionali doppie, triple, quadruple e sestuple. In particolare la simmetria pentagonale e decagonale sono espressamente proibite. Quindi, sebbene i motivi pentagonali e decagonali appaiano frequentemente nella tassellatura architettonica Islamica, essi solitamente adornano una 'cellula unitaria' ripetuta in un pattern con una limitata simmetria cristallografica.

Nonostante i semplici pattern periodici Girih che incorporano motivi decagonali possono essere costruiti con riga e compasso, nell'architettura medievale islamica si trovano pattern decagonali assai più complessi. Questi pattern complessi possono avere unità cellulari contenenti centinaia di decagoni e possono ripetere lo stesso motivo decagonale in diverse scale di lunghezza.³¹

Secondo Lu e Steinhardt dopo il 1200 d.C. avvenne nella progettazione e nella matematica islamica un grande cambiamento, in quanto la costruzione di questi compressissimi pattern con riga e compasso avrebbe generato un'accumulazione di deformazioni geometriche non osservabili negli arabeschi. Si individua quindi nella costruzione delle tassellature un nuovo concetto

che sostituisce il compasso e la riga con l'utilizzo di 5 tessere di tipo *giri*h tiles: queste possono ripetersi e generare differenti pattern fino ad approssimare le tassellature dei quasi-cristalli di Penrose. Le tessere *giri*h sono 5 poligoni specifici: un decagono decorato con una linea stellata $10/3$ (una stella a 10 punte generata da triangoli), un esagono allungato con una linea a forma di pipistrello, un poligono *bowtie* (farfalla) decorata con due quadrilateri opposti, un pentagono con una stella pentagonale ed un rombo con un pattern a farfalla. Il loro utilizzo è dimostrato dalla presenza delle sagome disegnate ad inchiostro nero per marcare il posizionamento delle tessere nel Palazzo Museo *Topkapi* di Istanbul.

Le caratteristiche geometriche che accomunano le cinque tessere sono le seguenti:

- i lati di ogni poligono hanno la stessa lunghezza;
- due linee decorative toccano il punto medio di ogni lato a 72° e a 108° ;
- tutte le linee a zig-zag che derivano dalla loro composizione generano linee parallele ad un pentagono regolare;
- le loro simmetrie rotazionali sono: per il decagono la decagonale (10-fold), per il pentagono la pentagonale (5-fold), per l'esagono, il *bowtie*, e il rombo la doppia.

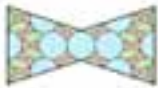
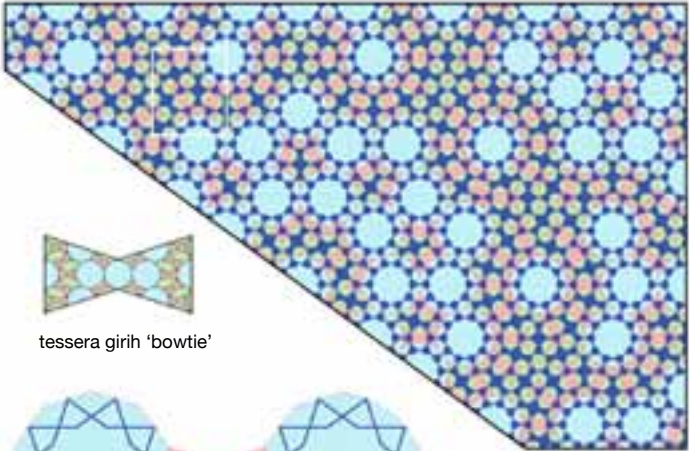
I vantaggi di tessellare con i *giri*h tiles rispetto al metodo tradizionale vanno ricercati nella maggior semplicità, velocità e precisione: Lu e Steinhardt dimostrarono inoltre come l'utilizzo dei *giri*h tiles abbia permesso di risolvere numerose soluzioni formali attraverso la combinazione di alcune o di tutte le tessere tipo. Ad esempio nell'architettura *Seljuc* come nel *Mama Hatun Mausoleum* a Tercan (1200 d.C.), è assente il decagono ma sono utilizzate le tessere ad esagono e la *bowtie*; nella torre funeraria a pianta ottagonale *Gunbad-i Kabud* a Maragha (1197 d.C.), sette delle otto pareti esterne sono tassellate con le tessere decagono, esagono, *bowtie* e rombo.

Una delle innovazioni più interessanti nell'applicazione dei *giri*h tiles consiste nell'utilizzo delle trasformazioni auto-similari (suddivisione di grandi *giri*h tiles in più piccoli) per generare pattern sovrapposti aventi due differenti scale. Esempi di questo tipo si riscontrano nel santuario *Darb-i Imam*, dove il grande pattern a linee nere, risultante dalla ripetizione di pochi decagoni e *bowtie*, è suddiviso in pattern più piccoli tassellabili con 231 *giri*h tiles.

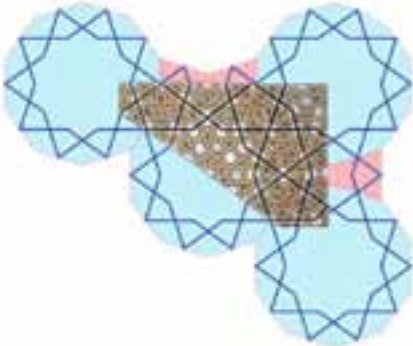
Gli autori dell'articolo sostengono inoltre:

La combinazione tra una regola di suddivisione e la simmetria decagonale è sufficiente a costruire perfettamente una tassellatura quasi-cristallina (pattern con un infinito ordine traslazionale quasi-periodico e con simmetria rotazionale pentagonale o decagonale, proibite dalla cristallografia) che matematici e fisici hanno scoperto solo nei 30 anni scorsi.

Un ordine quasi-periodico significa che tessere con distinte forme si ripetono con frequenze che sono incommensurabili, cioè il rapporto delle frequenze non può essere espresso come



tessera girih 'bowtie'



trasformazione autosimilare



tessera girih decagonale

16. Santuario di Darb-i Iman, Isfahan, Iran, 1453 D.C.
studi di P.J.Lu e P. Steinhardt.

rapporto tra numeri interi. La quasi-periodicità supera le limitazioni sulla simmetria della cristallografia convenzionale ed è pertanto possibile avere motivi pentagonali frutto di simmetrie pentagonali e decagonali.

L'esempio più celebre di ricoprimento quasicristallino è quello di Penrose, una tassellatura con due tessere che presenta un ordine traslazionale quasi periodico a lungo raggio ed una simmetria pentagonale. Le tessere di Penrose possono avere diverse forme. Per similarità con l'architettura islamica prendiamo in considerazione l'aquilone e il dardo.

Secondo Penrose, la tassellatura può essere costruita o tramite regole di corrispondenza o attraverso suddivisioni auto-similari.

Se seguiamo le regole di corrispondenza, l'aquilone e il dardo possono essere decorati con delle strisce rosse e blu in modo che quando i tasselli sono collocati, le strisce corrispondono ininterrottamente, l'unico ordine possibile è un pattern quasi cristallino con simmetria pentagonale nel quale gli aquiloni e i dardi si ripetono con frequenze il cui rapporto è irrazionale, cioè, il rapporto aureo $\varphi \equiv (1+\sqrt{5})/2 \approx 1.618$.

Non abbiamo nessun segno evidente che gli architetti islamici abbiano usato un approccio con regole di corrispondenza.

Il secondo metodo consiste nel suddividere ripetutamente gli aquiloni e i dardi in più piccoli aquiloni e dardi.

La nostra analisi indica che gli architetti islamici avevano tutti gli elementi concettuali necessari a produrre dei pattern girih quasi-cristallini, usando il metodo di trasformazione auto-similare: tasselli girih, simmetria decagonale e suddivisione.

Il pattern del santuario di *Darb-i Imam* costituisce un chiaro esempio dell'applicazione di questi principi, essendo il risultato della suddivisione auto-similare di un grande tassello *girih* in tasselli *girih* più piccoli. Anche in questo caso il rapporto tra il numero di esagoni e quello di *bowtie* si approssima a φ , un rapporto irrazionale che mostra esplicitamente come il pattern sia quasi periodico. Nella dettagliata spiegazione degli autori si mostra inoltre come il pattern di *Darb-i Imam* possa essere mappato direttamente con gli aquiloni ed i dardi di Penrose, seguendo esattamente la geometria del decagono, dell'esagono e del *bowtie*.

Come sottolineano gli studiosi, sebbene gli architetti del tempo avessero tutti gli elementi per costruire dei pattern quasi-cristallini perfetti, la loro comprensione di questi elementi era probabilmente incompleta: come prove al riguardo essi considerano il mancato utilizzo del metodo con regole di corrispondenza e la presenza di disallineamenti ed imperfezioni locali nel pattern di *Darb-i Imam* (sebbene ci siano solo 11 disallineamenti su 3700 tasselli di Penrose, facilmente rimovibili ribaltando il tassello e senza alterare il resto del pattern. Tale evidenza permette quindi di ipotizzare che possa anche trattarsi di un errore degli artigiani).

Da un punto di vista scientifico, *Darb-i Imam* costituisce un esempio eccezionale di come le scoperte di Penrose siano state anticipate già nei secoli precedenti; tuttavia il santuario risulta essere molto meno interessante da un punto di vista architettonico. L'Alhambra, per esempio, utilizza geometrie molto meno complesse ma incorpora molti più elementi architettonici (endogeni ed esogeni), così come lo spazio e la luce, creando una profondità

e complessità molto maggiore. In ultima analisi si ha quindi l'impressione che il santuario di *Darb-i Iman* rappresenti prettamente un esercizio matematico e nulla di più.

Come vedremo nel seguente paragrafo, le elaborazioni geometriche di Eliasson seguono una logica completamente diversa, dal momento che egli introduce nei suoi progetti diversi elementi architettonici collegati con lo stesso schema formale.

3.5 OLAFUR ELIASSON E I *QUASI-BRICKS*

Indubbiamente, l'industria esprime interesse per l'arte di Eliasson, da una parte perché la sua arte presenta molti punti di contatto con il mondo della tecnologia e della scienza e dall'altra perché essa ha il potenziale non solo di concepire sistemi complessi, ma anche di conferire loro una forma visiva.³²

Eliasson è un artista molto vicino alla pratica architettonica, dal momento che egli lavora con tutti gli elementi propri dell'architettura: il suo linguaggio artistico mette al centro la modulazione della luce, la ricerca di nuove spazialità e geometrie e la loro relazione con gli utenti. Eliasson utilizza gli strumenti dell'architettura per fare arte, superando il limite tra installazione artistica ed organismo architettonico e focalizzando il proprio studio sull'esperienza degli spazi collettivi.

Trattando l'architettura come opera d'arte e quindi liberandola dai suoi aspetti più funzionali, egli sviluppa, come un vero e proprio scienziato, una ricerca geometrica profonda che gli permette di sviluppare strutture, geometrie, tassellature, successivamente tradotte in padiglioni, installazioni o superfici eseguite con il perfezionismo tipico dell'artista.

Nelle sue opere architettoniche le necessità funzionali si traspongono nella ricerca costante di nuove relazioni tra architettura e natura e tra spazio ed utente, moltiplicando gli effetti sensoriali e l'esperienza visiva attraverso riflesso, trasparenza, design, luce o colore. Egli stesso, rispondendo ad una provocazione di P. Ursprung sulla relazione, nelle sue opere, tra arte ed architettura, in un mondo nel quale l'architettura sta assorbendo l'arte, risponde:

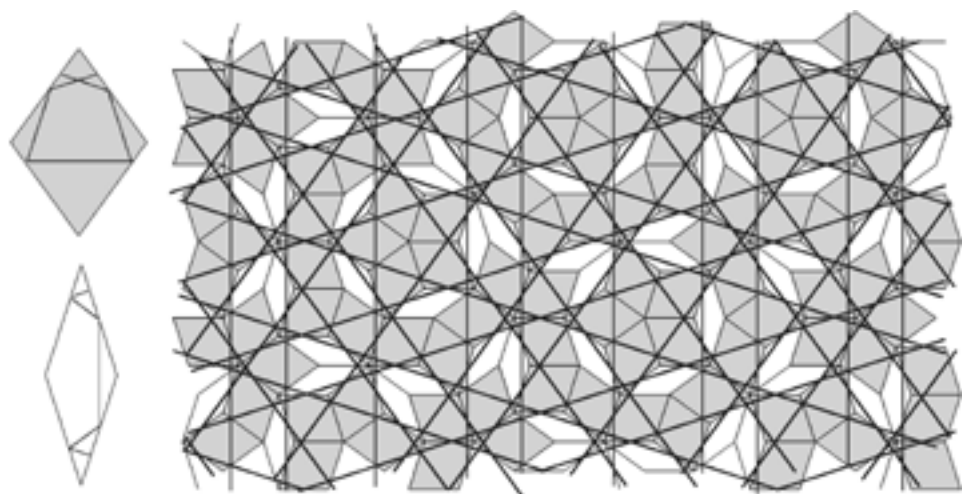
il problema non è se ciò che facciamo sia architettura o arte; non si tratta di polarizzare questi due settori trasformandoli in rivali. Si tratta piuttosto di guardare avanti e di comprendere che le conoscenze che possediamo allo studio (nel quale lavorano un gruppo di architetti) ci consentono di oltrepassare i confini dell'arte.³³

Ciò che a noi interessa maggiormente dell'opera di Eliasson, nell'ambito di questa tesi, è il suo lavoro di ricerca formale, ancora in corso, fondato sulle geometrie complesse ed in particolare sulla simmetria pentagonale: le opere

realizzate con questa geometria sono *Sphere 2003*, *The vanishing walls 2003*, *5-dimensionel pavillon 1998* e il *Five fold tunnel*.

Dalla collaborazione con E. Thorsteinn nascono una serie di padiglioni, provenienti dallo studio della simmetria pentagonale, che utilizzano la tassellatura secondo 'linee di Ammann', che, come è stato precedentemente spiegato, era riuscito a tassellare lo spazio utilizzando dei romboedri aventi facce identiche ai rombi dei tasselli bidimensionali di Penrose.

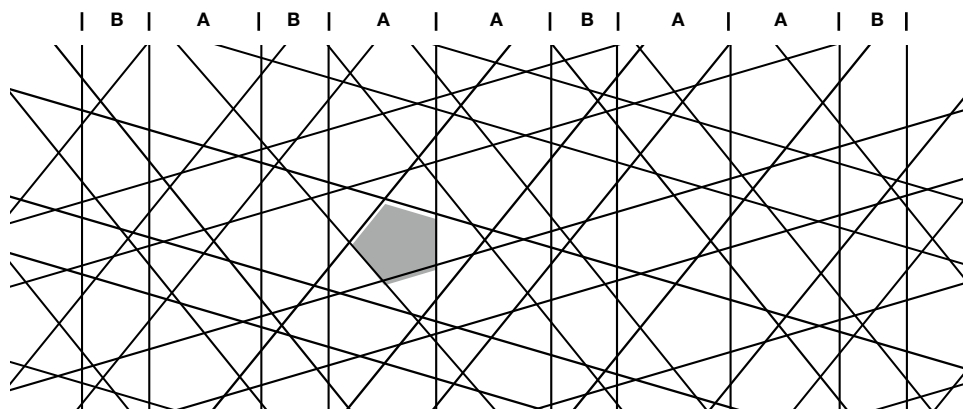
Nel caso delle tassellature del piano di Ammann si ricorre alla tassellatura non periodica tipica di Penrose, secondo rombi acuti e ottusi, ma utilizzando delle regole di corrispondenza tali da produrre una griglia di linee rette che si estendono sull'intera tassellatura. Infatti i tasselli romboidali presentano una regola di corrispondenza definita da una 'decorazione' con segmenti rettilinei: la regola è data dalla condizione che i tasselli devono disporsi in modo che i segmenti di un tassello coincidano con i segmenti del tassello adiacente. Si formano quindi 5 gruppi di linee che si intersecano ad angoli di 108° o di 72° (seguendo gli angoli interni dei rombi di Penrose). Un'altra interessante caratteristica riguarda la distanza tra le rette parallele che chiameremo **a** e **b**. Il rapporto tra la lunghezza **a** e la lunghezza **b** è φ (numero aureo) e non troveremo mai due intervalli consecutivi **b** o tre intervalli consecutivi **a**. Infatti, se consideriamo una serie di linee Ammann parallele e la trasformiamo in direzione parallela alle linee, la sequenza non coinciderà esattamente con l'originale, proprio perché si tratta di una tassellatura ad una dimensione aperiodica.



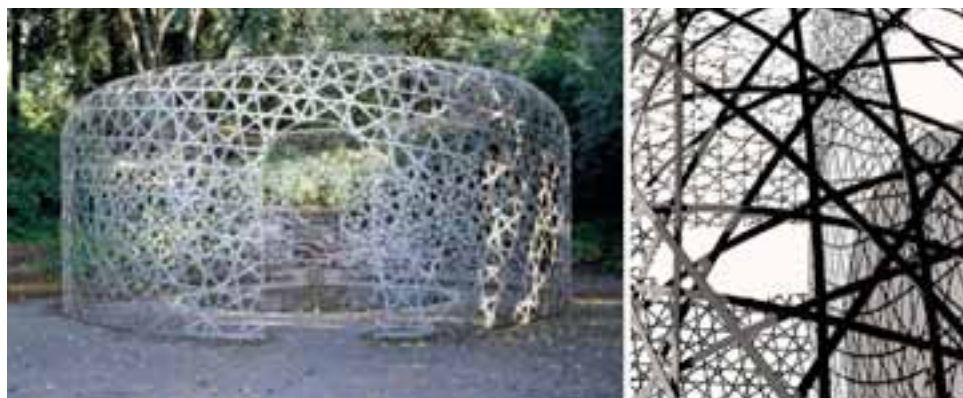
17. Simmetria pentagonale aperiodica di Ammann

tessellazione aperiodica con i rombi di Penrose e usando le regole di corrispondenza di Ammann.

A questa linea di ricerca appartengono anche i lavori sui *quasi-brick*, opere nate sempre dalla collaborazione con E. Thorsteinn, che cominciò già nel 1973 a svolgere ricerche sulle geometrie tridimensionali. Nel 1988 Thorsteinn definì, dopo 15 anni di studio, la forma *space-filling* (tassellatura tridimensionale) I5SSDO, che rappresenta un collegamento tra lo spazio a simmetria quadrilaterale e quello a simmetria pentagonale. Esso era collegato ai quasi-cristalli che si trovano in natura e che vennero definiti per la prima volta nel 1984. Nel 2002, attratti dal suo potenziale di impilatura, Thorsteinn ed Eliasson studiarono l'I5SSDO (il tassello dodecaedrico costruito sul triacontaedro rombico) con l'idea di usarlo in nuovi modi nell'ambito di opere d'arte d'influenza architettonica.³⁴



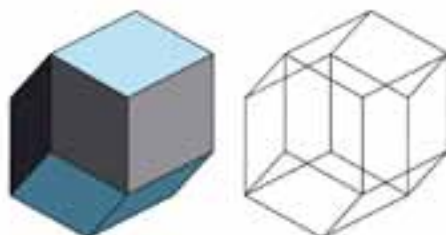
18. Gruppi di linee di Ammann
i cinque gruppi si intersecano ad angoli di 72° e 108° .



19. Olafur Eliasson, 5-dimensionel pavillon, Strandparken, Holbæk, North coast of Zealand, Denmark, 2000

La prima opera è del 2002 e prende il nome di *Quasi brick wall*; seguono il *Soil Quasi brick*, il *Negative quasi brick wall*, entrambi del 2003. Nel 2004 presso lo Studio Eliasson si effettuano numerosi esperimenti sulla forma del *quasi-brick*, che si riveleranno determinanti per la realizzazione, nel 2005-2006, della prima struttura spaziale di *quasi-brick*, la facciata del Centro Nazionale Islandese per i Concerti ed i Congressi. In questo caso i *brick* perdono la loro materialità e, mantenendo la loro geometria, trasformano la facciata in una struttura tridimensionale permeabile e sfaccettata che, nel suo spessore, contiene riflessi, trasparenze e colori.

Attualmente nello Studio Eliasson proseguono gli studi sui *quasi-brick*, con lo scopo sia di cercare di scoprire tutte le potenzialità della geometria tridimensionale dello spazio a simmetria pentagonale, sia di declinare famiglie formali legate ai quasi cristalli.



20. Henning Larsen Architects, HARPA, Reykjavik, 2005-2006

tessellazione tridimensionale della facciata utilizzando il triacontaedro rombico (a sinistra).

4. DIMENSIONE E MISURA: I FRATTALI

Il rapporto tra passato e presente ci permette nuovamente di avanzare delle riflessioni rivolte alla definizione di nuovi domini della geometria, continuamente indirizzata alla costruzione di nuove architetture.

Ricercatori come M. Batty e P. Frankhauser hanno dimostrato come esista una natura frattale e rugosa in certe architetture vernacolari o in città come Parigi, Venezia o Londra; allo stesso modo l'etno-matematico R. Eglash ha riscontrato anche nell'architettura africana la presenza di pattern frattali.

Questi esempi permettono di evidenziare due caratteristiche proprie dei frattali, quali la complessità auto simile ad ogni ingrandimento e la rugosità dei bordi o interfacce.

Osservando la struttura di alcuni centri storici è possibile rendersi conto come essi presentino delle gerarchie progressive il cui cambiamento di scala trascende il piano meramente funzionale, passando per la misura umana fino al particolare dei materiali; è possibile affermare come esista un'ampissima varietà di interfacce frattali tra le facciate e le vie. Al contrario alcuni tipi di architetture del movimento moderno sono definite in qualità anti-frattale, caratterizzate cioè da un ridotto numero di "scale" e da poche relazioni tra esse.

L'architettura degli ultimi anni sembra ritornare a studiare i rapporti tra le differenti scale, utilizzando le geometrie frattali in maniera cosciente. A tal riguardo si ricorda l'ingegnere C. Balmond, che ha contribuito alla concezione delle più straordinarie opere del secolo scorso, riuscendo a trovare la perfetta connessione tra concetto formale e strutturale attraverso una conoscenza profonda delle più avanzate geometrie ed in particolar modo dei frattali.

4.1 TRA L'ORDINE E IL CAOS SI DEFINISCE UN DOMINIO FRATTALE

Come afferma il matematico F. Dyson:

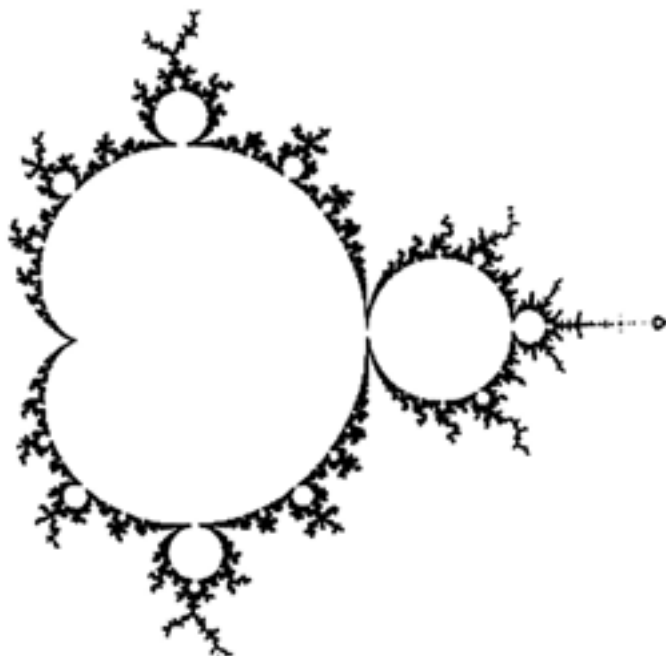
una grande rivoluzione di idee separa le matematiche classiche del 19° secolo dalle matematiche moderne del 20° secolo. Le matematiche classiche hanno le loro radici nelle strutture geometriche regolari di Euclide e le dinamiche in continua evoluzione di Newton. Le moderne matematiche cominciarono con la teoria dell'insieme di Cantor e le curve di Peano che riempiono il piano. Storicamente, la rivoluzione è stata forzata dalla scoperta di strutture matematiche che non si adattavano ai pattern di Euclide e di Newton.³⁵

Le figure geometriche euclidee non riescono quindi a descrivere la consistenza, la rugosità e la *texture* degli oggetti naturali. La natura presenta infatti un succedersi di forme auto simili estremamente irregolari, quali alberi, galassie, nuvole, linee costiere: figure quali il quadrato, il triangolo o la sfera sono astrazioni geometriche inadeguate a rappresentarne la complessità.

[...] per studiarli, ho concepito, messo a punto e largamente utilizzato una nuova geometria della natura. La nozione che fa da filo conduttore sarà designata con uno dei due neologismi sinonimi 'oggetto frattale' e 'frattale' [...].³⁶

Verso la fine dell'Ottocento appaiono in matematica delle 'curve patologiche', dei 'mostri', considerati inutili e relegati alla fine dei libri di testo; a Mandelbrot va il merito di aver rivalutato e sistematizzato questi 'mostri' all'interno di una geometria dei frattali, dimostrando la portata straordinaria delle loro applicazioni. Tra gli oggetti geometrici predecessori si ricorda l'insieme di Cantor (1877), la curva a fiocco di neve di Van Koch (1904), la curva di Peano (1890-1925), oggetti che sviluppano una struttura a partire da un algoritmo, ossia una procedura ricorsiva di accrescimento ripetuta infinitamente.

Si cercherà ora di definire la natura dei nuovi componenti che rappresen-



21. Insieme di Mandelbrot

tano il dominio frattale e che lo differenziano dalla geometria elementare, cercando di capire cosa li lega profondamente alla natura.

Se provassimo ad interpretare geometricamente le nuvole, gli alberi, le coste o il nostro sistema nervoso, ci renderemmo conto di come la geometria classica riuscirebbe solamente ad approssimare, attraverso grossolane forzature, il loro aspetto, fallendo nel tentativo di rappresentarle.

Differentemente i frattali operano come delle geometrie intelligenti che interpretano la forma seguendone il processo di generazione e penetrando quindi la loro struttura di formazione. La costruzione di un frattale segue pertanto la struttura stessa dell'accrescimento di un albero o della formazione di una costa: la sua regola di sviluppo segue algoritmi, procedure ricorsive che si ripetono all'infinito.

Il primo componente tipico dei frattali è proprio la **ricorsività**, essendo questi generati da un processo ciclico di formazione nel quale il risultato della prima iterazione diviene il punto di partenza della successiva.

La spugna di Sierpinski-Menger costituisce un esempio che, oltre ad introdurre un frattale caro all'architettura, può aiutare a rendere più chiaro questo concetto. Considerando un cubo e dividendolo in 27 cubi uguali, si avranno 9 cubi in ogni faccia: eliminando i centrali e ripetendo poi la stessa operazione su ogni cubo risultante, otterremo la Spugna di Menger, un oggetto tridimensionale ed immateriale allo stesso tempo, nel quale la tridimensionalità acquista aria e leggerezza.

La ripetizione all'infinito dell'operazione generativa introduce altri due aspetti tipici dei frattali, il **procedimento infinito** e la **dimensione frattale**.

È proprio la ricorsività nell'eseguire infinitamente un'operazione che favorisce la perdita di materia e volume, a ridurre quella dimensione pari a 3 caratteristica dei solidi (in questo caso del cubo) e ad avvicinarla alla dimensione 2 delle superfici. Nella spugna di Menger ogni faccia esterna, detta tappeto di Sierpinski, ha area nulla e perimetro delle cavità infinito e la sua dimensione è pari a 2,72: in tal modo diminuisce la dimensione dell'oggetto tridimensionale, che, riducendo il suo valore da 3 a 2,72, si avvicina a quella di una superficie.

La curva a fiocco di neve di Helge Von Koch, utilizzata da Mandelbrot come modello per descrivere la lunghezza di una costa, è esemplificativa di una curva la cui dimensione (compresa tra 1 e 2) si avvicina a quella di una superficie. La sua costruzione parte da un triangolo equilatero di lato unitario, in cui il terzo centrale di ogni lato viene sostituito con un triangolo dai lati pari ad $1/3$. Si ottiene quindi una stella di David con perimetro uguale a 4, nella quale, ripetendo infinite volte l'operazione per ciascuno dei lati ottenuti, si ottiene il fiocco di neve di Koch con $D=1,26$.

Osservando le forme che definiscono questo oggetto perveniamo ad uno dei principali componenti della geometria frattale, l'**autosimilarità**: le varie par-

ti da cui è formato il fiocco di neve, esaminate a scale diverse, si presentano simili tra loro (omotetia interna).³⁷

Lo **scaling** rappresenta una caratteristica molto comune tra gli oggetti naturali, nei quali piccole parti sono simili a parti più grandi ed infine all'intero oggetto. Ricordiamo come anche la sezione aurea, esaminata nel primo paragrafo, generi una spirale di rettangoli auto simili.

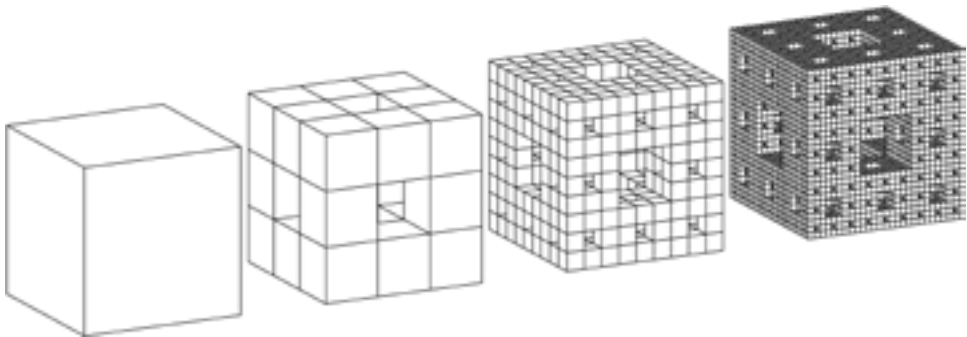
Quest'ultima è forse la caratteristica frattale che ha le conseguenze più evidenti in architettura, poiché permette:

- controllo sul cambiamento di scala;
- coerenza compositiva;
- adattabilità alla scala umana.

Tutti gli oggetti naturali citati sono dei "sistemi", nel senso che sono formati da molte parti distinte, articolate tra loro, e la dimensione frattale descrive un aspetto di questa regola di articolazione.³⁹



22. Curve di Koch



23. Quattro iterazioni della spugna di Menger

4.2 PUÒ L'ARCHITETTURA ESSERE FRATTALE?

L'architettura non può essere frattale in termini rigorosamente matematici.

Le geometrie frattali sono infatti fondate su caratteristiche, quali la reiterazione infinita, che poco si sposano con l'architettura, caratterizzata invece da una scalarità limitata. Così come accade nella natura, potremmo parlare di *fractal-like*, cioè di un'architettura che prende a prestito sistemi di generazione frattale con elementi di autosomiglianza su un rango limitato.

Il concetto di infinito separato dalla realtà fisica non è tuttavia l'unico che distanzia l'architettura (o la natura) dalla geometria.

Un albero, ad esempio, segue naturalmente un processo di crescita *branching*, che matematicamente può essere semplificato da un diagramma nel quale ogni tronco si biparte in due rami secondo semplici regole che riducono la lunghezza dei rami e ne determinano l'angolo di crescita. Ma, come sappiamo, in natura tale schema di crescita è sottomesso a tutte le condizionanti che renderanno quell'albero diverso da tutti gli altri, pur appartenendo ad una specie che segue la stessa legge di crescita frattale. La posizione del sole, il terreno, la presenza di altri alberi nelle vicinanze, la sua storia e tutti gli elementi che generano il suo contesto fisico e temporale, nonché il suo patrimonio genetico, avranno un peso determinante nella sua interpretazione del sistema frattale.

Il parallelismo nell'architettura è diretto. In generale l'architetto interpreta la geometria, modellandola alle differenti esigenze del progetto; la geometria frattale, per sua natura, si presta a gestire i molteplici livelli del progetto: interagendo con gli elementi del suo contesto, come un tessuto flessibile, genera un sistema di relazioni capaci di gestire le differenti scale di progetto.

Se interpretiamo l'architettura come il risultato di tutti i caratteri endogeni ed esogeni che determinano un progetto,⁴⁰ il progetto architettonico dovrebbe essere considerato come un sistema complesso nel quale tutti questi diversi fattori sono interconnessi fra loro.

A questo punto diventa necessario ricorrere a nuovi strumenti di progetto capaci di gestirne le caratteristiche attive e di interpretarne tutti gli aspetti sociali, economici ed ecologici: si tratta di geometrie avanzate che permettono di generare diverse condizioni attraverso le variazioni che ammettono per propria natura.

Bisogna infine riconoscere come un simile andamento, fondato su geometrie complesse, non obblighi l'architetto a perdere la propria indipendenza intellettuale, ma come sia sempre possibile uscire da tale processo attraverso una posizione critica che dia spazio ad un'evoluzione culturale.

L'ordine geometrico è un ordine scoperto dall'uomo, ed è un ordine che esaurisce tutti gli ordini possibili. Riprendiamo ora la domanda avanzata nell'introduzione della presente sezione: tenendo presente che secondo Poincaré ci sono infinite "geometrie vere" nel mondo virtuale, queste sono vere anche nel mondo reale?

La matematica scopre un mondo virtuale che rappresenta la realtà ed è l'architetto che deve interpretare tale mondo per trovare il modo di trasformarlo in progetto costruito.

4.3 QUAL È LA SCALA PIÙ IMPORTANTE IN UNA CITTÀ?

Come è stato già osservato, i frattali rappresentano un sistema geometrico che facilita il cambiamento di scala all'interno di una struttura auto-similare e ripetitiva nella quale si genera una gerarchia di scale diverse, in progressione ed in corrispondenza reciproca.

Questa struttura permette di pensare a tutti gli elementi costitutivi di un organismo e quindi anche di una città, dalla scala territoriale a quella urbana fino al rapporto tra l'architettura e l'uomo. Le grandi reti viarie che misurano le connessioni ad alta velocità si trasformano gradualmente verso comunicazioni che divengono sempre più lente, fino a sostituire le vetture con l'uomo, rivendicando in tal modo la scala umana e l'antico rapporto tra l'uomo ed i centri delle antiche città.

Seguendo una logica nella quale la città si adatta ai bisogni umani, dovremo credere ad una struttura *bottom-up*, secondo la quale dalle micro scale emerge una scala maggiore e così via, in un crescendo che risolve le esigenze via via legate alla città, al territorio, alle regioni.

In realtà nel modello urbano che si è affermato dal movimento moderno in poi è possibile osservare una depurazione delle scale minori.⁴¹ La città moderna ed il suburbio hanno perso infatti le connessioni tra le piccole scale: gli urbanisti hanno concentrato il loro sforzo sulle autostrade o sulle comunicazioni a media velocità, senza lasciare spazio alle connessioni a scala umana. In tal modo "*eliminando i percorsi pedonali dei centri storici, si perde l'interazione presente nei quartieri storici*".⁴²

Ricerche sulla connettività della forma urbana portano ad affermare che le città più funzionanti sono quelle con un gran numero di connessioni a tutte le scale, dalle pedonali alle ciclabili fino alle reti a basso traffico per finire, in numero decrescente, con le autostrade ad alta velocità, secondo uno schema ad albero frattale.

Nelle città antiche si trovano elementi di diverse scale (dalle maggiori alle

minori) e la loro quantità è inversamente proporzionale alla loro dimensione: *“ci devono essere elementi urbani più piccoli, in numero crescente, giù fino alla scala umana”*.⁴³ La gerarchia dovrebbe continuare seguendo le scale proprie dell'architettura, i portici, le aperture, fino ai materiali: *“la visione modernista di megatorri posizionate in parchi enormi rappresenta una violazione fondamentale delle leggi di scala naturali”*.⁴⁴

A questa visione si aggiungono le dinamiche dello *sprawl* suburbano, secondo le quali si generano distribuzioni uniformi di elementi della stessa dimensione. Pertanto nella città contemporanea si contrappongono due scale estreme, le grandi torri e le case unifamiliari, con la conseguente assenza di scale intermedie e minori all'elemento casa.

Tale evidenza, come afferma Salingeros, è frutto di uno scollamento tra il movimento moderno e la tradizione architettonica frattale. Le tradizionali architetture indiana, africana, araba, cinese sono tutte di origine frattale così come l'architettura romana, romanica, gotica e rinascimentale sono architetture frattali: *“il novecento ha visto crescere la filosofia dell'uomo staccato dalla natura [...] sappiamo che per staccarsi dalla natura bisogna andare contro la struttura frattale”*.⁴⁵

Salingeros rivendica pertanto l'importanza della geometria frattale come strumento concettuale ed operativo che restituisca l'architettura e l'urbanistica alla scala dell'uomo e che permetta di abbracciare il gradiente di scale indispensabili alla costituzione di una città biofilica.

Pertanto alla domanda di apertura del paragrafo (qual è la scala più importante in una città?) dovremmo rispondere nessuna, in quanto tutte le scale sono ugualmente importanti e rispondono alle diverse esigenze dell'organismo urbano.

4.4 PATTERN FRATTALI NELL'ARCHITETTURA AFRICANA

Tornando alle differenti esperienze storiche, un utilizzo altrettanto straordinario dei frattali è stato documentato dall'etno-matematico R. Eglash in Africa, dove, ancora una volta, l'utilizzo di queste geometrie anticipa temporalmente la loro sistematizzazione nel mondo occidentale.

Secondo gli studi di Eglash in alcune città africane la geometria frattale fa parte non solo dell'architettura ma anche dei rituali spirituali e delle decorazioni: egli illustra persino alcuni casi nei quali la loro applicazione non è solo frutto dell'intuizione ma vera conoscenza matematica.

Nel Sahel, ad esempio, è consueto potersi imbattere in una barriera antivenuto frattale: infatti, mentre in tutto il mondo le barriere sono “cartesiane”,

in Africa si trovano barriere non lineari con un comportamento reattivo al contesto. Queste barriere, fatte di canne, hanno un intreccio che si densifica proporzionalmente all'intensità del vento e della pioggia che le colpisce. Poiché per esperienza, più ci allontaniamo dal terreno e più aumenta la forza del vento, queste barriere sono più fitte in cima e, seguendo un gradiente logaritmico, la loro densità diminuisce quanto più ci avviciniamo verso la base. Riportando le parole di Eglash: “[...] *questa gente fa uso pratico della tecnologia scalare*”.⁴⁶

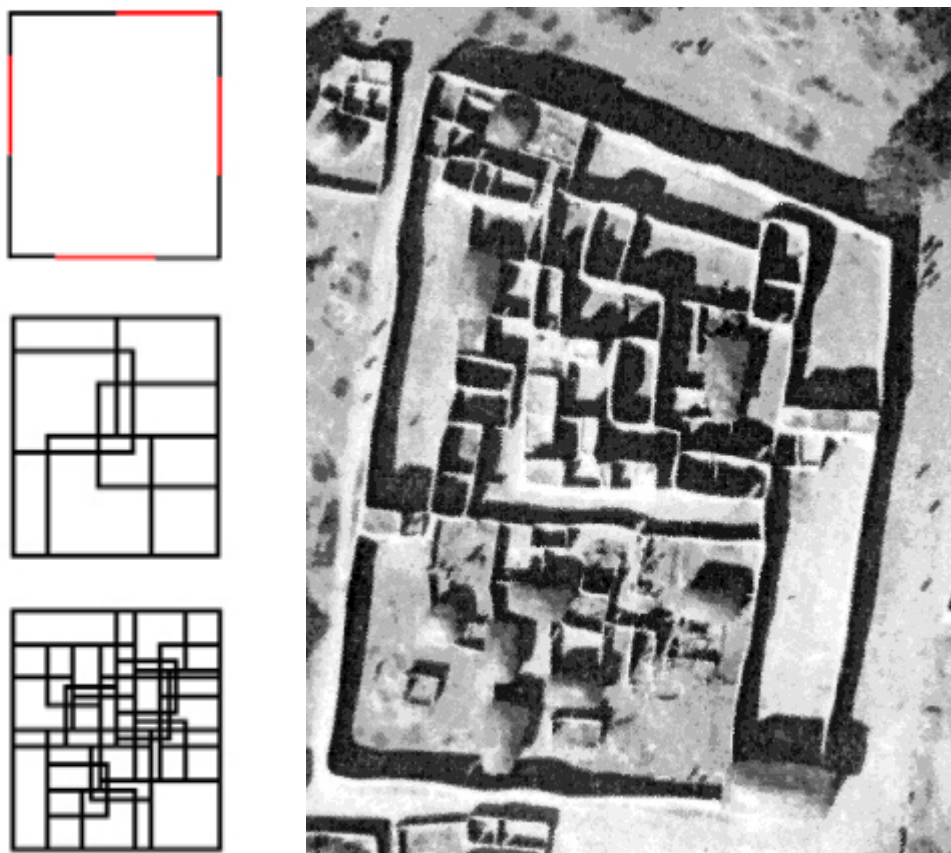
Per citare un altro esempio, il sistema di difesa del palazzo del Miarre nella



24. Barriera antivento, Sahel

città di Logone-Birni (Cameroon) è pensato secondo una logica frattale, che si adatta perfettamente al sistema socio-familiare vigente di tipo patriarcale. Questo grande complesso, costruito in argilla, si è sviluppato attraverso un processo di accrescimento, che, partendo dalla dimora paterna ‘centrale’, si va espandendo *con* le abitazioni dei figli che sorgono attorno. Nel tempo ai rettangoli preesistenti si sono aggiunti recinti rettangolari: spesso i nuovi recinti condividono una o due pareti esistenti anche per risparmiare la costruzione di nuove mura. Ciò che risulta è un frattale generato dall’iterazione di rettangoli via via più piccoli, uno dentro l’altro.

Quello di Ba-Ila (fondazione precedente al 1944) nella Zambia del Sud, è un

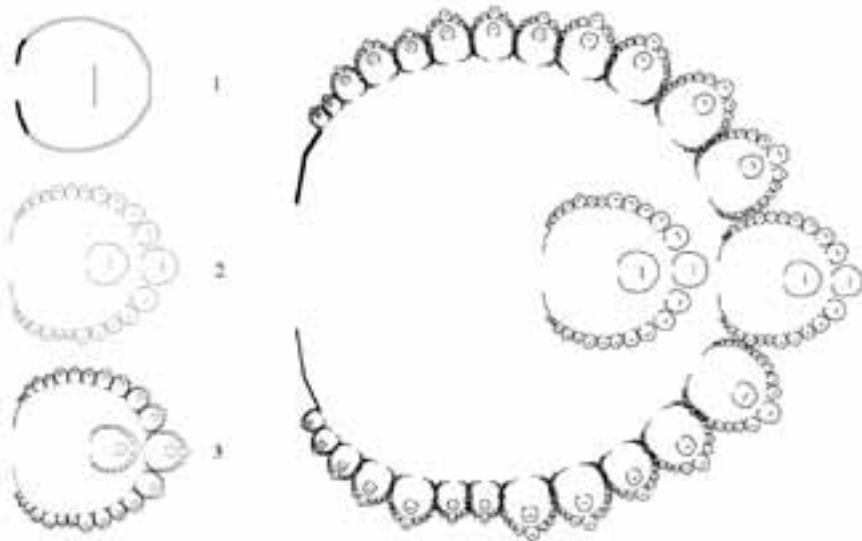


25. Città di Logone Birni in Camerun, Palazzo del ‘Miarre’
a sinistra, modello frattale del palazzo, prime tre iterazioni.

esempio di villaggio nel quale la logica frattale si accorda, ancora una volta, con la struttura sociale dell'insediamento. Il villaggio è un cerchio formato da cerchi formati a loro volta da altri cerchi: in questo modo si generano figure autosimili, che consistono in forme circolari ripetute in maniera ricorsiva a diverse scale. Nella parte frontale si trova l'entrata col muro di recinzione, poi gli stati inferiori dell'insediamento, e, seguendo un gradiente di spazi architettonici sempre più grandi, si vanno definendo i locali più puliti fino ad arrivare alle abitazioni più grandi. Al centro, isolato, c'è un altro anello, costituito dal complesso familiare del capo; in fondo a questo anello c'è la sala del capo.

In questo modo, attraverso l'uso di due elementi, la forma circolare ed un gradiente dimensionale, si dà corpo visivamente all'intricata gerarchia sociale esistente nel villaggio. È possibile quindi affermare come il villaggio di Ba-Ila integri aspetti endogeni ed esogeni: il frattale in questo caso non è solo geometria, ma è anche struttura sociale, paesaggio, sistema organizzativo funzionale.

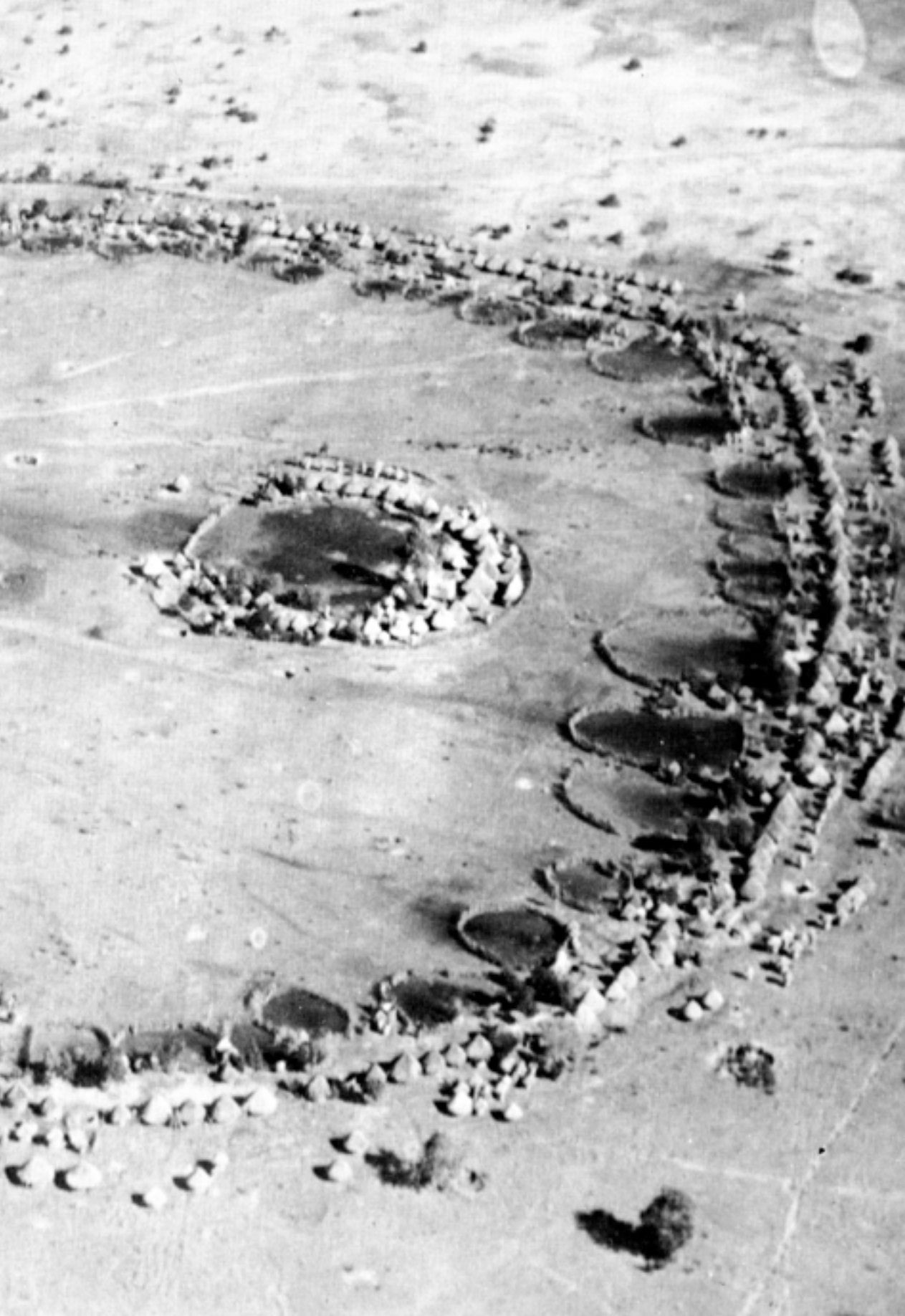
Ma è realmente frattale la configurazione di questi insediamenti? *“La loro costruzione fisica fa uso dello scaling e dell'iterazione e la auto-somiglianza è chiaramente evidente dal confronto con le simulazioni grafiche frattali”*.⁴⁷



26. Le prime tre iterazioni del modello frattale del villaggio di Ba-ila

27. (p. successiva) Villaggio Ba-ila, foto anteriore al 1944





4.5 FRATTALI NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA: CECIL BALMOND

Cecil Balmond ed il suo studio Ove Arup sono conosciuti principalmente per la loro capacità di tradurre concetti in soluzioni strutturali e geometriche. Nel 2000 Balmond fondò *Advanced Geometry Unit* (AGU), un gruppo interdisciplinare di ingegneri, architetti, matematici e scienziati che intendono applicare in architettura i più avanzati temi matematici e scientifici; tra le geometrie più studiate all'interno dell'AGU si trovano proprio alcuni modelli di frattali, quali *branching*, tappeto di Sierpinsky, etc.

Si analizzeranno ora due progetti legati a due diverse geometrie frattali che permettono di evidenziarne le caratteristiche di ricorsività e autosomiglianza.

H_edge è un'installazione labirintica che si configura attraverso la spugna di Menger, un oggetto frattale che, come già visto precedentemente, ha una dimensione pari a 2,7 con area nulla, infinito perimetro totale delle aperture e volume non calcolabile.

Inverare la spugna di Menger costituisce una sfida che lo studio Arup interpreta in maniera assolutamente interessante: la geometria viene infatti utilizzata come se fosse un nuovo materiale architettonico, un nuovo strumento per organizzare lo spazio, e la materia si dissolve nel suo modo di occupare lo spazio.

Ma come si costruisce una spugna di Menger? AGU interpreta la costruzione in modo affascinante, risolvendola attraverso l'utilizzo di catene pre-comprese sulle quali si fissano 5200 elementi di alluminio a X. La cosa sorprendente è che le catene non sono appese sul soffitto, ma gli elementi ad X, insieme alle catene, si comportano come un unico oggetto appoggiato sul suolo.

La geometria diviene struttura ed ornamento allo stesso tempo, come nell'architettura gotica, permettendo quindi la coincidenza di due elementi architettonici antitetici.

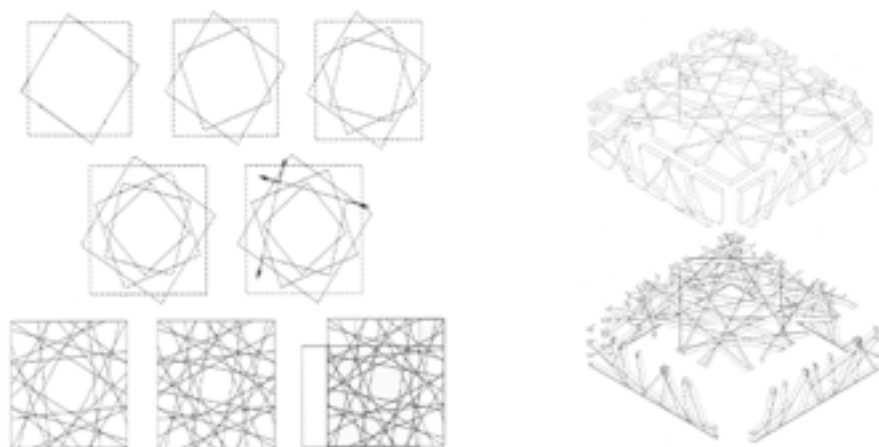
L'esempio successivo è costituito dal padiglione della *Serpentine* progettato nel 2002 con T. Ito: per usare le parole di Balmond, in questo progetto il progetto si traduce in una geometria che è struttura, struttura che è architettura.

I frattali ramificati (*branching*) si possono ottenere in due modi: o utilizzando l'algoritmo *L-System* o attraverso una suddivisione ricorsiva di poligoni. In questo padiglione si utilizza, come poligono di partenza, un quadrato: il semplice algoritmo di suddivisione consiste nel generare quadrati che connettano $1/3$ di ogni lato con $1/2$ del seguente. Ripetendo questa regola sette volte si ottiene una spirale di quadrati troncati. Successivamente si estendo-

no tutte le linee ottenute, curvandole dal tetto verso le pareti: l'estrusione di tali linee di 55 cm genera la struttura, i cui spazi risultanti sono rivestiti con pannelli di alluminio o di vetro.



28. Cecil Balmond e ARUP Advanced Geometry Unit, Hedge, 2010



29. Toyo Ito e Cecil Balmond, Serpentine Gallery, 2002
frattale *branching* ottenuto per suddivisione ricorsiva di un quadrato.

5. COMPUTAZIONE TRA REATTIVITA' ED ELASTICITA'

Oggi, in ambito scientifico, la grafica digitale è utilizzata per rivelare la grande varietà di pattern complessi in natura ed in matematica. L'ambito della grafica digitale è molto importante: 1) nel mostrare relazioni nascoste ed inaspettate (in aggiunta all'analisi numerica), 2) nel simulare la natura e 3) nel fornire una risorsa di intuizione scientifica generale. Naturalmente questi tre usi si sovrappongono.⁴⁸

L'aver studiato le implicazioni dei frattali nell'architettura ci permette ora di approfondire le relazioni tra geometria computazionale ed architettura. Se i frattali, per la loro natura algoritmica e reiterativa, hanno goduto di uno sviluppo crescente grazie alla tecnologia informatica, bisogna tuttavia considerare come non siano le uniche forme geometriche ad essere applicate in ambito architettonico grazie alla loro calcolabilità al computer.

5.1 GEOMETRIA COMPUTAZIONALE

Come afferma Odifreddi, ogni branca della matematica è stata stimolata da problemi pratici: grazie alle pressioni esterne, dovute a problemi legati ad un dato momento o un'epoca particolare, la matematica ha sviluppato campi di applicazione che hanno contribuito anche ad un ulteriore sviluppo teorico.⁴⁹

In questo senso il computer ha generato problematiche ed esigenze che hanno avuto profonde influenze sulla matematica e sulla geometria: è come se si trattasse di un favore restituito, considerando che la nascita del computer è anche il punto di arrivo di uno sviluppo matematico che va dall'algebra booleana, alla macchina di Turing, alla rete neuronale di McCulloch e Pitts, e che ha portato appunto alla nascita dei primi calcolatori elettronici negli anni '50 del secolo scorso (l'ENIAC diretto negli Stati Uniti da Von Neumann e l'ACE diretto da Turing in Gran Bretagna). È possibile affermare che se il computer è il risultato della matematica, nelle sue vene scorrerà sangue matematico: effettivamente sin dai primi momenti sono state sfruttate le sue capacità di automatizzare calcoli generando grandi risultati, con la nascita della teoria del caos e gli sviluppi della grafica al computer.

Proprio la geometria ha goduto di grandi sviluppi, sia nella scoperta di nuove superfici, come le superfici minimali di D. Hoffman e W. Meeks, sia nello sviluppo dei frattali recuperati da Mandelbrot e divenuti simbolo delle potenzialità del computer.⁵⁰

Dall'interazione tra la geometria ed il computer nasce la geometria computazionale, branca dell'informatica dedita a risolvere problemi di natura geometrica attraverso l'uso di specifici algoritmi. Questi ultimi, indipendentemente dal loro linguaggio di programmazione, stabiliscono le regole di generazione a partire da unità geometriche fondamentali: occorre quindi prima discretizzare la geometria, per poi prepararla alla computazione.

Il termine "discrete" significa qui concentrazione su una serie finita di punti, linee, triangoli ed altri oggetti geometrici, ed è utilizzato in contrapposizione con la geometria "continua", costituita ad esempio da superfici lisce. Sebbene i due tentativi si stavano sviluppando autonomamente, è stata l'interazione fra la geometria discreta e computazionale a generare il maggiore entusiasmo, con ogni progresso che avveniva in un campo a produrre un progresso nell'altro.⁵¹

Quindi i punti, le linee ed i poligoni sono alla base di applicazioni complesse gestite da algoritmi ed elaborate al computer. La geometria computazionale tratta solo il campo del 'discreto', lasciando la computazione con linee curve e superfici continue ad un'altra disciplina detta "geometric modeling";⁵² diffusasi enormemente grazie ai *software* di modellazione che stabiliscono comandi di generazione di superfici continue. La geometria computazionale genera invece complessità bidimensionali o tridimensionali a partire da elementi molto semplici e dalle regole che si stabiliscono tra essi.

Operare attraverso elementi finiti e discreti è pratica comune dell'architetto nella costante sfida di realizzazione di un'opera: la geometria computazionale può entrare in gioco sistematizzando e discretizzando superfici continue e strutture complesse in elementi bidimensionali (B. Koren) o nell'organizzazione e distribuzione nello spazio di funzioni. Alcune delle geometrie computazionali più frequenti con grandi potenzialità formali ed organizzative sono: *convex hull*, triangolazioni, *delaunay*, *voronoi*, gradienti, *packing*, i vari sistemi frattali analizzati nel capitolo scorso, le tessellazioni, la geometria delle spugne e perfino i quasi-cristalli.

Si prenda ad esempio in considerazione il *Voronoi*, una geometria (con dei precedenti negli studi di Cartesio e Dirichlet, che venne studiata nel 1908 da G. Voronoi) che permette la decomposizione del piano o dello spazio a partire da un set di punti.

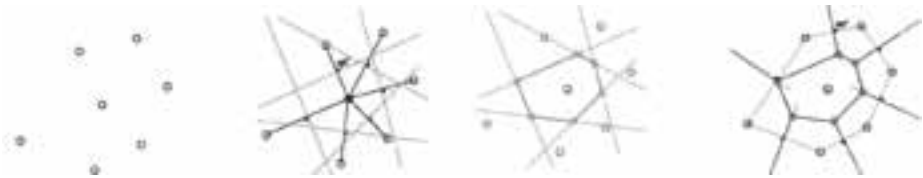
La regione Voronoi $\text{Vor}(\mathbf{p})$ di un punto \mathbf{p} in S è
 $\text{Vor}(\mathbf{p}) = \{\mathbf{x} \in \mathbf{R}^2 / \|\mathbf{x} - \mathbf{p}\| \leq \|\mathbf{x} - \mathbf{q}\| \text{ per tutti i punti } \mathbf{q} \text{ in } \mathbf{S}\}$,
 dove $\|\mathbf{p} - \mathbf{q}\|$ denota la distanza tra i punti \mathbf{p} e \mathbf{q} nel piano.

In altre parole, la regione $\text{Vor}(\mathbf{p})$ di un dato insieme finito di punti \mathbf{S} , è l'insieme di tutti i punti \mathbf{x} la cui distanza da \mathbf{p} sia minore o uguale alla distanza da un qualsiasi punto \mathbf{q} in \mathbf{S} .

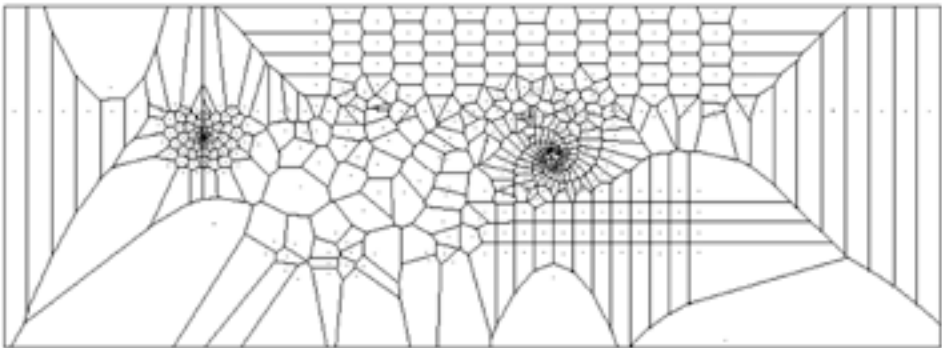
Il diagramma di Voronoi $\text{Vor}(\mathbf{S})$ per \mathbf{S} è invece, la divisione del piano che

associa una regione $Vor(p)$ ad ogni punto $p \in S$ in modo che i punti di $Vor(p)$ siano più vicini al punto in considerazione p che ad ogni altro punto di S .⁵³ La costruzione geometrica permette di visualizzare quanto detto attraverso un numero di passaggi, che come vedremo, definiscono un algoritmo:

1. preso un insieme S finito di punti
2. si considera un punto $p \in S$ e si unisce a tutti punti q_i (sempre appartenenti ad S) immediatamente vicini e si disegnano gli assi dei segmenti così ottenuti
3. la regione $Vor(p)$ è definita dall'intersezione tra gli assi
4. ripetere l'operazione per ogni punto $p \in S$.



30. Costruzione del diagramma di Voronoi
sono rappresentati i passi necessari alla definizione dell'algoritmo.



31. Diagramma di Voronoi per un insieme determinato di punti
il diagramma esprime la flessibilità del sistema nel generare svariate tessellazioni a seconda della posizione dei punti. All'interno della stessa tessellazione troviamo una reticola quadrata, esagonale, rettangolare o cellulare.

5.2 ARCHITETTURA E COMPUTER

Il computer è ormai quasi l'unico strumento utilizzato nell'elaborazione dei progetti, dove il suo livello di coinvolgimento passa dalla mera rappresentazione ad una diretta implicazione nel processo di verifica o generazione del progetto. Può inoltre entrare nel suo processo di costruzione globalmente o per parti, processo che è chiamato *digital fabrication* e che include differenti tecniche e strategie di produzione.

È evidente come il coinvolgimento di questi nuovi strumenti abbia spontaneamente stimolato la nascita di un'estetica digitale, legata prima ai comandi dei *software* e successivamente allo sviluppo di certi algoritmi ed infine alla costruzione: i *software*, ad esempio, hanno marcato un timbro riconoscibile che riconduce alle operazioni di generazione condotte sul progetto. Possiamo riconoscere un volume come il risultato di un'estrusione, una sottrazione booleana con un altro oggetto ed infine una ripartizione in costole. Il ricondurre un progetto alle operazioni che lo hanno generato provoca da una parte un'aspettativa sul livello di sofisticazione ottenuto e dall'altra una soddisfazione nel riconoscimento di un processo.

Così com'è possibile riconoscere i procedimenti digitali che la forma sottende, allo stesso modo siamo in grado di riscoprire l'impronta del *software* utilizzato per elaborare il progetto, determinando dei tratti caratteristici riconoscibili nei comandi del *Maya*, *Rhinoceros* o *3D Max* e nei differenti *plug-in* che sorgono nel mercato. I *plug-in* in particolare cercano di avvicinare le potenzialità della macchina alla libertà espressiva del progettista, superando le limitazioni che il *software* impone.

L'ultima generazione di architetti che si affianca alla programmazione si avvicina al progetto talvolta in una maniera nuova. Negli ultimi anni, grazie all'uso degli *scripting*, l'architetto è andato oltre a ciò che il *software* gli offre, passando, per usare le parole di Terzidis, da "*architecture programming*" a "*programming architecture*". L'architetto programma l'algoritmo che definisce le regole di costruzione del progetto o parte di esso, e lo fa scrivendo degli *script* nel linguaggio di programmazione del *software* che in seguito traduce l'algoritmo in disegno.

Piuttosto che fermarsi ad investigare conflitti bloccati, il termine computazionale potrebbe essere meglio spiegato con una scelta alternativa. Per la prima volta, forse, il design architettonico potrebbe non essere in linea né con il formalismo né con il razionalismo, ma con la forma intelligente ed una creatività tracciabile⁵⁴.

Non si arriva quindi al progetto attraverso il disegno, ma attraverso un discorso ed un linguaggio logico di regole che lo definisce: il disegno diviene il risultato e la prova costante del corretto funzionamento del discorso.

Se, a livello teorico, l'argomentazione di Terzidis convince, nella pratica l'ossessione verso lo *scripting* ha generato un dilagare di forme modaiole o di

progetti inconsistenti, dimostrando che lo strumento in sé non garantisce l'elaborazione di un progetto consistente.

Al centro sta la questione: dove convergono l'occhio estetico e un algoritmo? Come potrà un computer sapere quando fermarsi, e com'è tutto ciò in relazione con ciò che ci piace? Un programma sofisticato potrebbe 'apprendere' e ottimizzare questioni di tipo meccanico, quali i livelli di tensione, i gradi di stabilità, quale sia la recinzione minima per un dato numero di pareti, quale l'area specifica di un pavimento entro un certo volume ecc. Da qualche parte un 'pilota' è necessario per ottenere il risultato; l'occhio vorrà entrare e guardare da dentro [...]. Ma negare rigore alla ricerca di forme non-lineari promuoverebbe soltanto la forma architettonica come emanazione di un software. Il che potrebbe essere pericoloso, in quanto, in definitiva, privo di senso. I nostri cervelli, per quanto non-lineari, non agiscono senza connessioni interne - ci sono regole, sebbene esse ci siano ignote.⁵⁵

L'esaltazione per le nuove tecnologie può quindi condurre verso mode temporanee o false credenze che sviano dalla ricerca progettuale e contaminano aspetti del progetto che non sempre si risolvono con uno *script*.

Come spesso avviene per la tecnologia, occorre aspettare che termini il periodo adolescenziale per cominciare a raccogliere i veri frutti della ricerca, che senza dubbio incideranno in maniera sempre più contundente nel progetto. Odifreddi, parlando di matematica al calcolatore:

[...] gli effetti dell'uso del calcolatore, in matematica e altrove, non si devono esagerare acriticamente, come troppo spesso viene fatto dalla stampa divulgativa, ma piuttosto esaminare criticamente: il che permetterà di far risaltare meglio i contorni del progresso sostanziale, sullo sfondo dello sviluppo apparente.⁵⁶

5.3 POSSIBILITÀ CREATIVE DEL DETERMINISMO INFORMATICO

*Immagina il calcolo, senza misteri, creatività,
senza un sognatore umano.*

*La bellezza ed importanza dei computer risiede
fondamentalmente nella loro utilità come mezzo per
ragionare, creare e scoprire. Il computer è uno dei
principali mezzi di ragionamento al di là della nostra
intuizione.⁵⁷*

Da circa 15 anni l'architettura ha subito una profonda trasformazione dovuta all'influenza del computer come strumento facente parte del processo di progetto e disegno: quali sono le conseguenze della geometria computazionale nell'architettura?

In realtà la geometria computazionale è entrata a far parte dell'architettura, attraverso i *software*, in maniera principalmente inconsapevole. Sono pochi gli architetti, come dice Legendre,⁵⁸ in grado di lavorare dalle basi della piramide, entrando cioè nel processo di decisione totale del progetto e quindi scavalcando l'interfaccia proposta dal programma.

A mio avviso ciò non significa che occorra necessariamente entrare nei linguaggi di programmazione per ottenere un controllo assoluto del progetto, ma si possono reiterare procedimenti che, sebbene non più efficienti, conducono ugualmente agli stessi risultati.

Come ricorda Terzidis, il progetto computazionale, o meglio algoritmico può persino prescindere l'uso del computer.⁵⁹ Un processo algoritmico non dipende infatti necessariamente dal calcolatore, ma è un procedimento logico che tende a risolvere un problema progettuale individuando un numero determinato di passaggi logici: una volta individuati, questi passaggi possono essere calcolati al computer o no. Pertanto ciò che è fondamentale non è il conoscenza del linguaggio di programmazione ma una *forma mentis* capace di dedurre ed analizzare i passi che conducono al progetto. Allo stesso tempo però non bisogna sottovalutare la grande capacità del calcolatore di sviluppare soluzioni, sia in termini di rapidità che di modificabilità. Infatti una volta impostato un algoritmo, al cambiare i parametri si ottiene un controllo assoluto del risultato: il nostro progetto si adatterà alle nuove variabili senza la necessità di ridisegnare tutto daccapo.

Attraverso un modo di progettare computazionale, processando quindi i parametri del progetto logicamente, si passa da un'architettura come oggetto materiale ad una sistemica.⁶⁰ Il progetto computazionale, distinto dal computerizzato,⁶¹ implica infatti l'elaborazione di una struttura algoritmica che incapsula gli enti del progetto in una definizione logica: questi enti, parti formali, organizzative, strutturali sono interrelate e perseguono un fine comune.

Si può inoltre affermare come il progetto computazionale possa avere un comportamento adattativo complesso, proprio della cibernetica: infatti questo progetto, una volta definito, è soggetto ad un processo di variazione legato ad i parametri da cui dipende: il sistema-progetto passa quindi da uno stato di equilibrio ad un altro. Non siamo più di fronte al progetto come rappresentazione simbolica, ma ad un progetto come sistema di elementi interconnessi che interagiscono, o meglio come sistema di sistemi i cui parametri sono gestiti dal computer. Ciò sottende due caratteristiche del progetto computazionale: il progetto inteso come sistema ed il potenziamento delle caratteristiche creative.

In relazione al design, la computazione è l'elaborazione dell'informazione e delle interazioni fra elementi che costituiscono un ambiente specifico, laddove la parola centrale è "interazioni".⁶²

Ogni elemento nel progetto algoritmico è posto in relazione con gli altri in una complessa rete di interazioni. Un concetto che ci rimanda alla *Teoria Generale del Sistema* di L. von Bertalanffy che criticava la fisica classica in quanto basata su metodi deduttivi e sulla risoluzione di fenomeni isolati.

Il suo contributo è stato principalmente di aver considerato la natura come sistema complesso nel quale gli elementi interagiscono mutuamente; un sistema aperto dove esiste uno scambio reciproco tra l'ambiente e gli organismi.

In ambito progettuale è possibile gestire le interazioni tra i livelli di progetto, il contesto, l'architetto e il cliente. In realtà questo processo d'interazione è sempre esistito e non dovrebbe sorprenderci: ciò che ci sorprende è la possibilità di controllare tutti questi elementi con un sistema di regole che modifica il progetto in tempo reale, simulando il risultato finale del progetto e permettendo di avere un *feedback* costante.

La creatività è il secondo aspetto che emerge dal progetto algoritmico. Sembra assurdo poter pensare che un sistema di progetto deterministicamente stabilito possa dare spazio ad una libertà creativa. In realtà la possibilità di generare rapidamente centinaia di prove, attraverso la risoluzione di poche regole, alimenta la potenzialità creativa e la possibilità di testare idee ed intuizioni che altrimenti rimarrebbero inesplorate.⁶³ In questo senso si usano gli algoritmi per emulare metodi di progetto manuali ed eventualmente sostituirli.

Ma se questa parte creativa dell'operare algoritmicamente è piuttosto ovvia, ciò che realmente produce novità è l'inaspettato proveniente da una procedura algoritmica che studia metodologie che operano in maniera simile o complementariamente alla mente umana.

Il potere della computazione, che coinvolge una vasta quantità di calcoli, analisi combinatoria, *randomness* o ricorsione, per nominarne alcuni, indica nuovi processi di "pensiero" che potrebbero non essere mai venuti in mente all'uomo.⁶⁴

Persino la combinazione algoritmica di semplici solidi può generare forme geometriche inaspettate: si supera quindi il limite dell'immaginazione umana, producendo risultati imprevedibili. Come dice Terzidis, definito un algoritmo, questo può produrre dei risultati completamente inaspettati che non erano inizialmente legati all'intenzioni del progettista.

Mentre la sintassi del testo risultante potrebbero essere coerente con le regole grammaticali, il significato del testo risultante non è necessariamente associato semanticamente con le intenzioni del codice originale.⁶⁵

5.4 ALGORITMO, PATTERN E NAUSEA

La geometria computazionale si avvale di algoritmi, elaborati al computer, il cui campo di applicazione è più vasto e può prescindere la geometria stessa, sebbene questa sia sempre vincolata all'architettura.

Un algoritmo è un'espressione linguistica logica con una propria sintassi

e grammatica che descrive e risolve un problema in un numero finito di passaggi. Questa espressione deve parlare la stessa lingua del computer che deve recepire il messaggio e processare la sequenza di operazioni che gli si richiede di risolvere, elaborando quindi un risultato. È possibile affermare che l'algoritmo stia all'intersezione tra il pensiero umano ed il computer, essendo una struttura logica che organizza alcuni elementi del progetto attraverso l'uso del computer. Ribadisco alcuni, perché non si è arrivati a definire un algoritmo capace di gestire interamente un progetto, a meno che non si tratti di progetti con esigenze molto limitate (ad esempio padiglioni). Solitamente si risolvono separatamente aspetti isolati del progetto, anche perché ogni progetto rappresenta un mondo nel quale tutti gli aspetti cambiano (contesto, *budget*, cliente, programma), e quindi non avrebbe senso impiegare ore di programmazione cercando di definire aspetti del progetto che non sono codificabili. Comunque ciò che è assolutamente interessante è, una volta limitato l'intorno d'azione, la capacità dell'algoritmo di gestire contemporaneamente più livelli di progetto e di farli interagire in un unico sistema.

Sembra immediato poter concludere che è possibile assorbire l'algoritmo all'interno dei pattern, poiché esso contiene tutte le caratteristiche tipiche del pattern, essendo una struttura che si trova all'intersezione tra la pratica e la teoria, che dà struttura organizzativa agli elementi che compone, gestendo contemporaneamente livelli architettonici.

Lo potremmo piuttosto definire uno strumento operativo del pattern, capace di esplorare, organizzare la complessità e allo stesso tempo visualizzare. È quindi una struttura di pensiero organizzativa che compone pattern visualizzabili: è un pattern che produce pattern. Nel momento stesso in cui stiamo elaborando le istruzioni e le regole del nostro progetto, stiamo traducendo il suo processo ad un numero di pattern che verranno articolati in un algoritmo che sarà processato dal computer. Questo impone una razionalizzazione, un controllo ed una comunicabilità del processo di progetto al computer, obbligando il *designer* a sistematizzare la propria pratica e a decifrarla secondo istruzioni precise. Occorre ricordare che operare algebricamente non implica l'affrontare un problema solo in maniera deterministica.

Terzidis, parlando del processo Markov:

In quel modo un problema di design potrebbe essere affrontato non solamente in un metodo deterministico ma anche probabilistico.⁶⁶

Nel processo di progettazione occorre spesso usare sistemi non deterministici, o meglio sistemi adattativi ed euristici, che, utilizzando delle tecniche di prova errore, permettano al computer di generare un sistema di esperienze e di arrivare ad una soluzione tramite il dialogo con l'architetto.

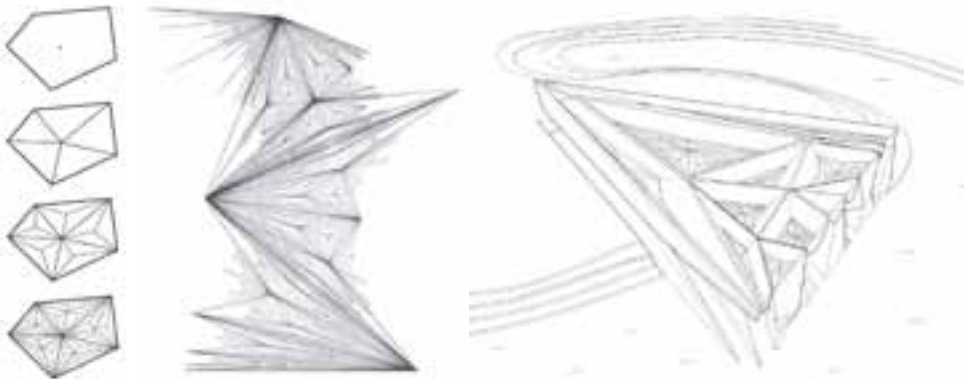
Nel libro *Tooling*, introdotto da Balmond, Aranda-Lash propongono differenti strumenti algoritmici capaci di generare pattern dalle grandi potenzialità di progetto che si offrono a molteplici interpretazioni sia di tipo dimensionale che organizzativo. Sono sette operazioni che derivano da processi naturali e biologici, sistematizzati da ricette algoritmiche che mostrano la potenzialità di ogni operazione in architettura.

Per illustrare questo, tutte le tecniche algoritmiche nell'utilizzo degli strumenti sono presentate parallelamente a 1) la ricetta, 2) forme fatte con quella ricetta, 3) un progetto che usa quella ricetta in un contesto architettonico, ed infine 4) un codice di programmazione che renda queste ricette disponibili ad un pubblico quanto più vasto possibile.⁶⁷

In questo modo è possibile ridurre le spirali, che troviamo in natura, in una serie di istruzioni; considerare le potenzialità generative della spirale per costruire superfici avvolgenti; considerare la tendenza che hanno a risolvere i flussi viari ed il problema della congestione.

Con la stessa sistematicità potremmo spiegare l'algoritmo che definisce il *Cracking*, ossia il processo di divisione per erosione che caratterizza, ad esempio, i delta dei fiumi: si sceglie una figura, si trova il suo centro, si connette il centro con ogni vertice, si ripete l'operazione per ogni nuova figura ottenuta, e si continua fino ad ottenere la configurazione desiderata.

In questo modo l'algoritmo, nella sua definizione primordiale, è uno strumento quasi svincolato dal computer, che si può tradurre in una serie di operazioni finalizzate ad uno scopo. Queste operazioni a seconda del loro grado di ambiguità producono risultati diversi, così come appare negli esperimenti di *Tooling*. E questa è una caratteristica propria dell'architettura algoritmica e del pattern.

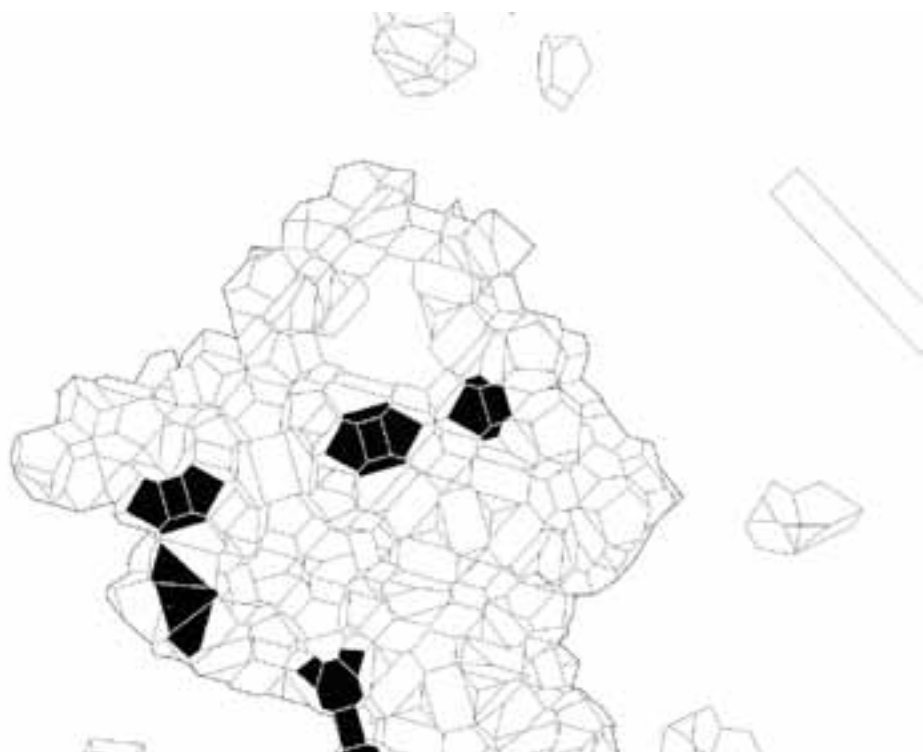


32. Aranda-Lasch, Tooling

a sinistra l'algoritmo per generare il cracking, al centro esperimenti sulla proliferazione dell'algoritmo e a destra il progetto Delta. Quest'ultimo è un museo a Busan frutto degli esperimenti precedenti.

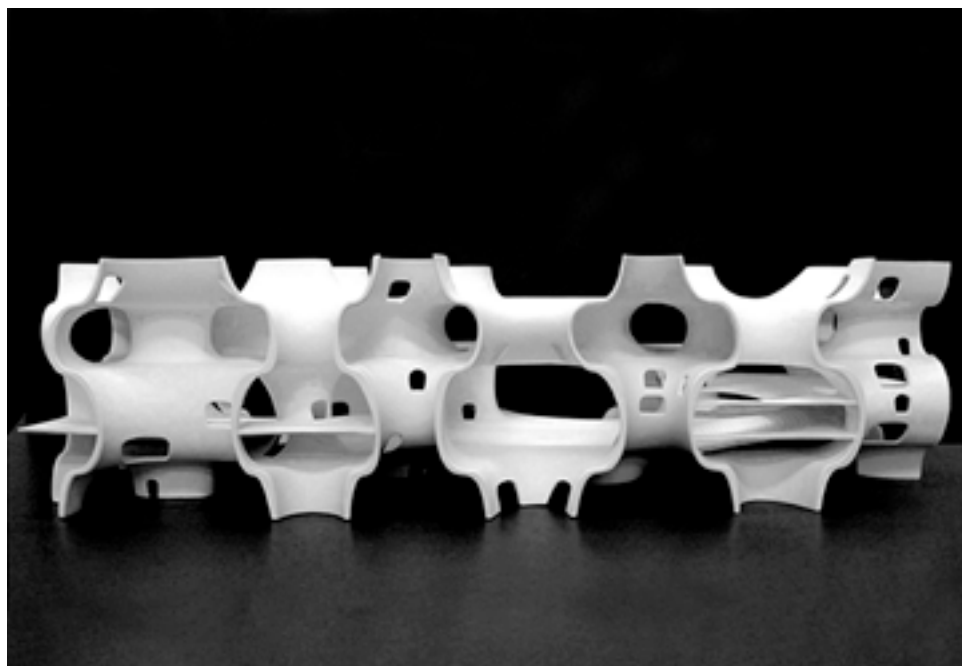
Consideriamo ora l'utilizzo della geometria computazionale in architettura. Come abbiamo visto precedentemente, il *Voronoi* è una geometria computazionale che permette di ripartire il piano e lo spazio assorbendo, all'interno della stessa geometria, tutte le forme di tessellazione (dal quadrato all'esagono) fino a generare le tipiche tessere cellulari.

Il *Voronoi* ha quindi enormi potenzialità nella tessellazione bidimensionale e tridimensionale, così come appare nel progetto *Grotto* di Aranda e Lash. Questo progetto, elaborato insieme ad Ove Arup e presentato per il concorso del padiglione PS1, si basa sulla generazione di una grotta a partire da quattro rocce-*voronoi* modulari che, aggregandosi in modalità diverse, generano un complesso tridimensionale che conferisce una sensazione di non ripetizione.



In modo diverso S. Matsukawal utilizza il *Voronoi* nel salone di bellezza Tonami, per organizzare e distribuire in pianta il programma funzionale. In tal modo fa sì che ogni cellula del *Voronoi* contenga un cliente distinto, che ogni cellula sia collegata alle adiacenti senza interrompere i movimenti degli stilisti e senza interrompere l'intimità del cliente.⁶⁸

In maniera più complessa il *Voronoi* viene reinterpretato nel 2004 da T. Ito per *Forum for Music, Dance, and Visual Culture* in Ghent. Pur organizzando sempre la distribuzione del programma per cellule, si genera in questo caso una continuità verticale ed orizzontale attraverso una struttura spugnosa.



34. Toyo Ito, Forum per musica, danza e cultura visiva, Gent, Belgio, 2004

Reiser e Umemoto usano, nel progetto *Alishan Mountain Railway* in Taiwan (2005), l'algoritmo del *Voronoi* per generare il solaio a piastra della stazione dei treni. Attraverso l'utilizzo di questo pattern si risolvono non solo i problemi strutturali ma anche questioni sullo spazio, l'organizzazione del programma e l'estetica del progetto.

La stessa geometria algoritmica si presta quindi a diverse interpretazioni, divenendo una geometria elastica che si adatta, mantenendo sempre una coerenza formale e permettendo di integrare più livelli di progetto. Il *Voronoi* si presta al concetto contemporaneo di pattern differenziato, che, diversamente dalla griglia uniforme, si adatta ai diversi aspetti del progetto. Dall'altra parte esso, così come altre geometrie, possiede un'estetica molto prepotente che è stata spesso abusata nel corso degli anni.

Si finisce spesso con l'identificare il progetto ad una geometria, non solo perché il *Voronoi* possiede un'immagine iconografica fortemente riconoscibile, ma anche a causa di un uso spesso gratuito e modaiolo che si ferma all'aspetto superficiale senza sfruttare le vere potenzialità di questa geometria.



35. Reiser e Umemoto, solaio con geometria voronoi Alishan Mountain Railway, Taiwan, 2005
il solaio in cemento armato con geometria voronoi forma il tetto della stazione dei treni.

NOTE

¹ Verranno successivamente illustrati tre esempi significativi (il Partenone, il santuario di Darb-i Imam il villaggio di Ba-ila) rispetto alla possibilità dell'architettura di anticipare sistemi matematici sconosciuti (e scoperti solo successivamente) e rispetto alla loro applicazione nella contemporaneità.

² Non è mia intenzione entrare in delicate ed intricate questioni di ontologia ed epistemologia della matematica. Dicendo che "la natura interpreta soggettivamente la matematica" non intendo minimamente alludere all'esistenza di essenze matematiche di tipo 'platonico', non spazio-temporali e fisicamente inerti che la natura incorpora in entità fisiche materiali. La mia vuole essere esclusivamente una metafora di comodo, che serve ad introdurre il mio punto di vista sull'approccio che un architetto dovrebbe avere a riguardo del repertorio di 'forme' utilizzabili in sede di progettazione.

³ Come chiarimento di questa affermazione, esattamente come nella nota precedente, devo ribadire la mia neutralità filosofica rispetto a qualunque visione della matematica, sia essa di natura platonista o, come potrei sembrare di suggerire qui, 'funzionalista'.

⁴ Bateson [1972], pp. 200-201 (traduzione mia).

⁵ Cfr. Najle [2008].

⁶ Cfr. Pickover [1995], p. 5

⁷ Per approfondimenti riguardanti queste tematiche si veda la sezione 2.

⁸ Ciò avviene per un utilizzo superficiale del pattern che, anziché integrare i diversi livelli del progetto, viene ridotto alla mera produzione di formalismi estetici.

⁹ Cfr. Husserl [2008], appendice III al § 9a.

¹⁰ Livio [2003], p. 58.

¹¹ Si veda Livio [2003], p. 59.

¹² Livio [2003], p. 173.

¹³ Si rimanda ad un'altra sede una trattazione maggiormente esaustiva riguardante il tempio vero e proprio: qui occorre solo ricordare come il progetto del tempio, realizzato sulla parte più elevata dell'Acropoli tra il 447 ed il 432 a.C. e dedicato ad Atena, fu assegnato agli architetti Ictino e Callicrate, mentre il progetto delle sculture venne curato da Fidia.

¹⁴ Cfr. Livio [2003], pp. 112-116.

¹⁵ Livio [2003], pp. 115-116.

¹⁶ Wogenschky [1983], p. XV.

¹⁷ Livio dice in proposito: "Il purismo intendeva ispirarsi a Piero della Francesca e alla teoria estetica platonica, come rivelato da asserzioni quali: *il mondo dell'arte non dev'essere accidentale, eccezionale, impressionistico, inorganico, protestatario, pittoresco, ma, al contrario generale, statico, espressivo dell'immutabile*". Livio [2003], p. 253.

¹⁸ Livio [2003], p. 254.

¹⁹ *Idem.*

²⁰ Godkewitsch [1974], p. 276.

²¹ Lu - Steinhardt [2007], p. 1106.

²² Cfr. Odifreddi [2000].

²³ Cfr. Livio [2003].

²⁴ Odifreddi [2000], p. 102.

²⁵ Livio [2003], p. 307.

²⁶ Jones [2010], p. 185 (traduzione mia).

²⁷ Abas - Salman [1995]; Emmer [2006], p. 224.

²⁸ Emmer [2006], p. 226.

²⁹ Gombrich [2006], p. 67 (traduzione mia).

³⁰ Gombrich [2006], p. 70 (traduzione mia).

³¹ Lu - Steinhardt [2007], p. 1106 (traduzione mia).

³² Lu - Steinhardt [2007], pp. 1107-1108 (traduzione mia).

³³ Eliasson - Riemschneider - Ursprung [2008], p. 28.

³⁴ Eliasson - Riemschneider - Ursprung [2008], p. 50.

³⁵ Cfr. Eliasson - Riemschneider - Ursprung [2008].

³⁶ Dyson [1978]; Bovill [1996], p. 17 (traduzione mia).

³⁷ Mandelbrot [1987], p. 7.

³⁸ Un'omotetia è una particolare trasformazione geometrica del piano o dello spazio che dilata o contrae gli oggetti, mantenendone invariati gli angoli (e quindi la forma).

³⁹ Mandelbrot [1987], p. 17.

⁴⁰ Si ricorda come per endogeni si intendono quei caratteri che stanno alla base di ogni progetto di architettura (tra cui il livello geometrico-spaziale, sociale, bioclimatico-sostenibile, artistico e tecnico) e che devono rispondere ai caratteri esogeni propri del contesto.

⁴¹ Cfr. Guarini [2009], p. 12.

⁴² Salingeros - West [1999], p. 919 (traduzione mia).

⁴³ Salingeros - West [1999], p. 920 (traduzione mia).

⁴⁴ *Idem.*

⁴⁵ Guarini [2009], p. 12.

⁴⁶ Eglash [2007], min. 10.51 (traduzione mia).

⁴⁷ Eglash [1999], p. 38 (traduzione mia).

⁴⁸ Pickover [1995], p. 10 (traduzione mia).

- ⁴⁹ Cfr. Odifreddi [2000], p. 92.
- ⁵⁰ Cfr. Odifreddi [2000], pp. 140-144.
- ⁵¹ Devadoss - O'Rourke [2011], p. IX (traduzione mia).
- ⁵² Devadoss - O'Rourke, [2011], p. 1.
- ⁵³ Devadoss - O'Rourke, [2011], pp. 98-99.
- ⁵⁴ Cfr. Terzidis [2006], p. xii.
- ⁵⁵ Balmond [2002], pp. 214-215 (traduzione mia).
- ⁵⁶ Odifreddi [2000], p. 140.
- ⁵⁷ Pickover [1995], p. 3 (traduzione mia).
- ⁵⁸ Cfr. Legendre [2011], p. 17.
- ⁵⁹ Cfr. Terzidis [2006], cap. 3.
- ⁶⁰ Cfr. Menges - Ahlquist [2011], p. 13.
- ⁶¹ Occorre distinguere tra un uso del computer finalizzato alla rappresentazione o alla mera manipolazione del progetto ed un uso computazionale nel quale la macchina entra nello sviluppo ed elaborazione del progetto per mezzo di un processo di un'elaborazione algoritmica dell'informazione.
- ⁶² Menges - Ahlquist [2011], p. 13 (traduzione mia).
- ⁶³ Si veda al riguardo Aprile - Mirti [2005], pp. 18-26.
- ⁶⁴ Terzidis [2006], p. 18 (traduzione mia).
- ⁶⁵ Terzidis [2006], p. 21 (traduzione mia).
- ⁶⁶ Terzidis [2006], p. 43 (traduzione mia).
- ⁶⁷ Aranda - Lasch [2005], p. 9 (traduzione mia).
- ⁶⁸ Cfr. Hwang - Ferré - Sakamoto - Prat - Kubo - Ballesteros - Tetas [2006], p. 32.

SEZIONE SECONDA

I Pattern dell'Architettura

NOTE INTRODUTTIVE

Dopo aver esaminato, nella prima sezione, la relazione tra matematica ed architettura (e quindi come il pattern nella sua accezione geometrica interviene nel progetto), in questa sezione si analizzerà il processo inverso, ossia il rapporto tra architettura e pattern. Si osserverà in particolare il modo in cui l'architetto, nella pratica architettonica, costruisce i pattern, strutture astratte e generali che stanno alla base di soluzioni pratiche: tale analisi permetterà anche di evidenziare come tale produzione venga fatta contemporaneamente su diversi livelli del progetto, ossia sul piano estetico, strutturale, organizzativo, tecnico, ambientale e sociale. Questo argomento permetterà inoltre di studiare alcuni tra i grandi temi dell'architettura moderna e contemporanea, che tuttavia verranno esaminati secondo una nuova interpretazione, mettendo cioè il pattern al centro del dibattito disciplinare.

Nello specifico la sezione è stata organizzata in cinque distinti capitoli:

1. Un'ampia sezione sull'estetica chiarisce il dibattito riguardante l'evoluzione del pattern, che, trasformandosi da ornamento ad osatura artistica, si dimostra capace di integrare più elementi del progetto tra cui la struttura. Si approfondisce infine la questione, propria della pratica contemporanea, relativa alla variazione e differenziazione all'interno dello stesso pattern.
2. Il capitolo successivo si focalizza sul ruolo del pattern all'interno della struttura: lo studio delle strutture naturali, topologiche, delle tessiture statiche frattali e della loro relazione con il progresso tecnologico, permette di evidenziare il lato geometrico del pattern ed i suoi diversi modi di affrontare l'efficienza strutturale.
3. Viene quindi esaminata la tridimensionalità del pattern:
 - separazione di unità funzionali e loro ricomposizione in semplici ma ridondanti distribuzioni tridimensionali;
 - individuazione di unità intercambiabili che modulano serialmente l'architettura aderendo a strutture permanenti;
 - rivendicazione dell'individuo e della sua unità abitabile nella com-

posizione di organismi che promuovono il dialogo tra spazio pubblico e privato:

- griglie indifferenziate e paesaggistiche che riducono ogni tentativo formale alla tecnologia della pelle.
4. Il pattern viene successivamente considerato come struttura organizzativa e strumento di comprensione dell'ambiente costruito: a tal fine si esamineranno le tassonomie di Alexander, confrontandole con le posizioni più recenti di Habraken. Vengono quindi ipotizzati i motivi del fallimento del linguaggio dei pattern, riconoscendone tuttavia gli aspetti positivi, quali la sistematizzazione degli elementi costitutivi del progetto e la loro interdipendenza nelle diverse scale del costruito.
 5. Nell'ultimo capitolo si vogliono mettere in luce i rapporti tra pattern, tecnologia, rappresentatività e contesto. A tale scopo si studierà in particolare l'involucro esterno dell'edificio, che costituisce peraltro un pretesto per capire i nuovi metodi di approssimazione nella costruzione di superfici complesse e di fabbricazione digitale.

Un'analisi comparativa e tematica permetterà inoltre il confronto fra pattern diversi che abbiano svolto lo stesso ruolo o di esaminare come uno stesso pattern possa essere impiegato in ambiti diversi; infine, ed è il caso più interessante, si esaminerà il modo in cui un pattern riesce a far interagire diversi livelli architettonici fra loro. Un'altra caratteristica che potrà emergere da questo studio riguarda l'evoluzione del pattern, ed in particolare come questa sia stata influenzata dai nuovi strumenti matematici e tecnologici, che probabilmente hanno permesso la rinascita di interesse verso quel pattern che poco successo riscosse con Christopher Alexander.

Lo scopo di questa sezione è tendenzioso. Non si tratta di un'analisi critica ed esaustiva degli ultimi cento anni né tantomeno di una raccolta completa di autori secondo tematiche, ma vuole essere una lettura dei principali livelli che si relazionano nella complessa produzione architettonica. Tale lettura, essendo finalizzata all'individuazione di pattern, seleziona quindi determinati autori chiave, spesso trascurati dalla critica: pertanto questo studio non pretende di dare una visione completa degli autori citati, che vengono invece analizzati solo in merito all'apporto che conferiscono al tema analizzato. In tal modo, se da una parte si rischia di svalutare l'opera di alcuni architetti, dall'altra si facilita un'analisi comparativa che aiuta alla concezione di una precisa metodologia di progetto.

1. PER UNA NUOVA ESTETICA DEL PATTERN

Per prima cosa occorre assolutamente introdurre il concetto di “affetto”, così come definito da Deleuze. A tal fine si riporta la citazione di F. Moussa-vi proveniente da *The function of Form*:

Gli affetti, nella definizione di Deleuze, sono le intensità pre-personali trasmesse dalle forme. Dal momento che essi non sono mediati dall'esperienza precedente o da altri sistemi di rappresentazione, essi instanziano delle forme che hanno l'abilità di essere percepite in molti modi. La percezione di una forma costruita implica, dunque, due fasi. All'inizio, si instaura una relazione affettiva pre-personale fra un essere umano e una forma. Gli affetti sono poi elaborati dai sensi in maniera tale da produrre percetti e pensieri, sentimenti, emozioni, umori. In questo modo, le forme si possono diffondere in persone diverse, e, nello stesso tempo, legare queste persone insieme connettendole ad una causa comune. In ogni istanza, gli affetti consentono a una forma architettonica di funzionare come una singolarità - come una 'funzione' specifica che connette esseri umani.

Gli affetti esaminati in questo studio includono l'ottico e l'acustico, ma non il tattile, un'altra proprietà sensoriale dello spazio. Dal momento che gli affetti precedono il linguaggio, persone diverse potrebbero scegliere parole diverse per descrivere queste sensazioni, ma, in vista dei nostri scopi, noi abbiamo assegnato un nome a ciascuno.

L'affetto ottico è condizionato dalla geometria che risulta dalla tassellazione dell'unità di base, che influenza le nostre percezioni visive. Per esempio, una cupola che ha base ottagonale, superficie a stella, e tassellata asimmetricamente trasmetterà una sensazione e un affetto che sono interamente differenti da quelli di una cupola che ha base circolare, superfici ad arco e tassellata simmetricamente. La prima trasmetterebbe affetti di sfaccettatura, gradazione e diffusione, mentre l'altra trasmetterebbe affetti di curvatura, rotondità e diffusione. L'affetto acustico è condizionato dalla natura delle superfici circostanti, che possono riflettere il suono in tre modi principali: speculare, diffusivo e convergente [...].¹

1.1. VERSO UNA TEORIA DEL CRIMINE E DELLA DELIZIA.

Come si è visto precedentemente, l'uso del pattern permette non solo di integrare più livelli di progetto, ma può anche limitarsi a delineare solo la parte espressiva, rappresentativa o simbolica dell'architettura. Chiaramente risulta a volte complicato riuscire a scindere i diversi livelli di progetto che sono spesso inestricabilmente intrecciati tra loro: siamo tuttavia in grado di individuare nella storia dell'architettura atteggiamenti, nei confronti della decorazione, che si ripetono ciclicamente.

Il deliberato rifiuto di una grande quantità di ornamento è sempre stato un segno di influenza classica.²

Ricordiamo innanzitutto l'affermazione di Gombrich, secondo il quale sia nel Rinascimento che nel Neoclassicismo il rifiuto verso la decorazione coincide con una maggiore attenzione verso la forma: ciò si riscontra ad esempio nella chiesa Badia a Fiesole, dove l'Alberti concentrò tutti i suoi sforzi sui rapporti proporzionali, immaginando gli interni bianchi proprio per evidenziare le proporzioni della composizione.

Tuttavia, nonostante sia indubbio che determinate epoche artistiche abbiano rifiutato la decorazione in modo estremo, si vedrà come spesso la teoria sia stata poi contraddetta dalla pratica.

Da Cicerone a Vitruvio, la coerenza estetica funzionale

Cicerone (106-43 a.C.), grande studioso di cultura greca, anticipò nei suoi scritti sull'oratoria il concetto di estetica funzionalista che venne sviluppato più ampiamente soltanto nel XX secolo.³ Egli argomentò con alcuni esempi la sua difesa verso l'essenziale e la liberazione di ogni fronzolo ed abbellimento da ciò che è realmente indispensabile nel progetto. Ad esempio, descrivendo una nave, ne enfatizzava il carattere funzionale indissolubilmente legato all'eleganza, dove ogni sua parte sembrava essere stata inventata non solo per ragioni di sicurezza ma anche per conferire piacere visivo; egli ravvisava la stessa coesistenza tra il piano funzionale ed estetico nei frontoni dei templi, la cui finalità non era esclusivamente la bellezza ma anche la necessità strutturale oltre che il bisogno di drenare l'acqua attraverso l'inclinazione delle due falde.

Ben più energici sono gli attacchi di Vitruvio (80-15 a.C. circa), rivolti principalmente verso l'irrazionalità di certe forme di decorazione muraria che ai tempi di Augusto cominciavano a essere influenzate da un certo capriccio e da un certo "decadimento dei principi della critica". In particolare, come afferma Gombrich, egli si riferiva alle pitture murarie del secondo stile pompeiano, sebbene nessuna di queste inveri la combinazione di caratteristiche che Vitruvio espone nel testo a seguire.

Anziché rifarsi ad immagini tratte dalla realtà naturale si preferisce dipingere l'intonaco ricorrendo a soggetti fuori dall'ordinario. Al posto di colonne troviamo ad esempio raffigurati calami striati e fregi a foglie crespe, e viticci al posto dei frontoni ed inoltre candelabri con figure di tempietti sui cui frontoni spuntano, come dalle radici, tra le volute, dei teneri fiori che senza alcuna giustificazione portano su di sé delle statuine sedute ed ancora steli con mezze statuine, alcune antropomorfe altre teriomorfe.

Tutte queste cose non sono mai esistite e mai esisteranno. Infatti come potrebbe una canna reggere davvero un tetto o un candelabro i fregi di un frontone o un esile stelo portare una statua seduta, o com'è possibile che da steli e radici spuntino ora dei fiori ora dei busti?

La gente però, pur constatando la pretestuosità di tutto ciò, non lo critica, anzi se ne compiace e non si chiede neppure se qualcuna di queste cose abbia riscontro o meno nella realtà.

A tal punto le nuove mode inducono a sottovalutare ciò che invece ha un innegabile valore artistico; di conseguenza le menti disorientate da questi fasulli criteri di giudizio non sono in grado di cogliere ciò che ha valore e decoro. Non sono degni di apprezzamento quei dipinti che non rispecchiano la realtà né li si deve valutare positivamente per il semplice fatto che rivelino eleganza e abilità tecnica se non hanno una reale e comprensibile motivazione.⁴

L'attacco di Vitruvio non è rivolto alle rappresentazioni murali fittizie in generale, che al contrario venivano apprezzate quando avevano un senso architettonico, ossia nel caso in cui gli elementi architettonici contribuivano a generare illusioni spaziali: la decorazione assumeva in questo caso un carattere architettonico e contemporaneo. Essa può pertanto costruire un mondo virtuale che interagisce con quello fisico: l'architettura è lo spazio percepito che ne deriva.

I testi di Vitruvio divennero, nel corso della storia, dei veri e propri manifesti contro tutto ciò che in architettura si distaccava da una logica "razionale" e vennero usati nella critica contro il Gotico, il Barocco e soprattutto contro il Rococò.

Ad esempio N. Cochin, nella sua pubblicazione anonima *Supplication aux Orfèvres* del 1754, considerò le considerazioni funzionaliste di Vitruvio per criticare la moda Rococò francese, mettendo in luce l'irrazionalità e l'esagerata incoerenza figurativa delle sue decorazioni. In questo modo egli rivendicava il ritorno alle linee rette e alla bellezza degli angoli a 90° che portavano vantaggi estetici, tecnologici e costruttivi.

Critica al Rococò: il Neoclassicismo

È una coincidenza interessante che, nello stesso periodo in cui Cochin attaccava la sinuosità del Rococò, si cominciasse ad imporre e considerare il Neoclassicismo come qualcosa di immune alle mode e quindi, in un certo senso, atemporale.

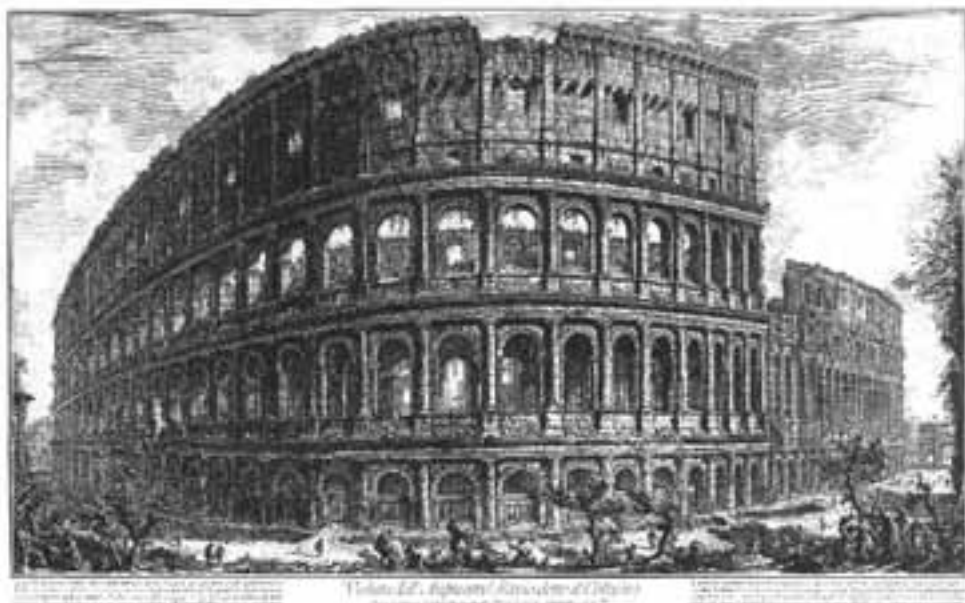
Pare che la nascita del Neoclassicismo si debba a due evoluzioni interrelate che hanno cambiato i rapporti tra uomo e natura.⁵ Da un lato una nuova capacità dell'uomo di imporre il suo controllo sulla natura come conseguenza dello sviluppo scientifico e dall'altro un declino dell'aristocrazia e l'ascesa della borghesia. In questo periodo si viveva, contemporaneamente ad una proiezione verso il futuro, un ritorno al passato: se i cambiamenti tecnologici portavano ad uno sviluppo di infrastrutture come ponti, canali, strade, dall'altra parte le discipline umanistiche ed archeologiche inducevano la scoperta del mondo classico.

Quindi possiamo considerare l'apparizione del Neoclassicismo come il frut-

to di molteplici fattori, tra cui l'insoddisfazione verso un'architettura frutto di una degenerazione barocca e la nascita di una nuova classe sociale bisognosa di nuove forme di rappresentazione: in questo quadro, la ricerca di una nuova identità coincide con la fascinazione verso le sconvolgenti scoperte archeologiche quali Pompei, Ercolano, Grecia e Sicilia.

Gli architetti del XVIII secolo ricercarono un nuovo stile attraverso lo studio e l'applicazione dei principi dell'architettura antica: da qui nacque il dibattito per stabilire quale delle culture antiche potesse essere indispensabile per la determinazione di uno stile autentico.

Ad esempio Piranesi, nella sua opera *Della Magnificenza ed Architettura de' Romani* (1761), esaltò gli alti vertici di raffinatezza raggiunti dall'architettura etrusca e romana, superiori persino a quella greca; in altre sue pubblicazioni si concesse inoltre delle stravaganti manipolazioni storiciste, articolando insieme motivi classici ed egizi.



1. Veduta dell'Anfiteatro Flavio detto il Colosseo. Giambattista Piranesi, 1757
è un'interpretazione che aggiunge teatralità e drammaticismo attraverso l'uso del chiaroscuro, della prospettiva e di elementi naturali quasi selvatici.

In Germania si verificò invece un fenomeno quasi di convivenza tra i due differenti stili: mentre il Neoclassicismo definiva l'identità nazionale della classe media, l'aristocrazia ammirava gli eccessi linguistici del Rococò. Questi ultimi venivano criticati da Reiffstein, Winckelmann e Krubsacius sia per il loro carattere modaiolo (e quindi temporaneo) sia per l'irrazionale composizione decorativa legata al capriccio. In particolare Winckelmann, nel suo testo *Thoughts concerning the imitation of greek works*, faceva leva sulle argomentazioni di Vitruvio, criticando l'irrazionalità della decorazione e la sua mancanza di significato (che occorreva invece nutrire introducendo un carattere simbolico) ed imponendo la superiorità della linea retta rispetto alla curva testimoniata dal tempio greco dorico.⁶

In Inghilterra il Rococò non si diffuse mai pienamente ed è probabilmente per questo motivo che assunse grande forza il recupero dell'antico, ed in particolar modo il palladianismo, l'architettura etrusca, greca e romana.

Cordemoy e Blondel: espressione e carattere sociale dell'architettura

Anche in Francia si diffuse il Neoclassicismo, accompagnato da uno sviluppo teorico fondato sul pensiero di Vitruvio. Se C. Perrault distingueva tra bellezza positiva e bellezza arbitraria,⁷ l'abate Cordemoy nel *Nouveau Traité de toute l'architecture* del 1706 cambiava la trinità vitruviana *utilitas, firmitas e venustas* con "*ordonnance, distribution e bienséance*". Le tre caratteristiche fondamentali dell'architettura divennero pertanto la proporzione degli ordini classici, la loro disposizione e correttezza: per Cordemoy quest'ultimo concetto era legato alla coerenza tra la parte funzionale e quella rappresentativa dell'architettura e preveniva, ad esempio, l'inappropriata applicazione di elementi classici nell'architettura commerciale.⁸

Venivano quindi anticipate le riflessioni di Blondel sul rapporto tra espressione formale ed il carattere sociale dell'architettura: in particolare Cordemoy ricercava, anticipando Loos, la purezza geometrica che lo spinse a rifiutare in molti edifici l'uso dell'ornamento.

Blondel venne considerato il maestro della generazione di architetti 'visionari': egli aprì un'importante scuola d'architettura dove ebbe l'occasione di sistematizzare ed approfondire la teoria di Cordemoy, esponendo concetti quali composizione, tipo e carattere. Egli, ritenendo che l'architettura dovesse rispecchiare nel suo aspetto e nella sua identità un determinato carattere sociale, introdusse i concetti di carattere ed espressione di un edificio: tali caratteristiche, mostrando un carattere semplice o elegante, permettono quindi di percepire la differenza tra architetture dello stesso tipo. Blondel, oltre a promuovere un'architettura capace di rappresentare il carattere sociale, evocava anche la purezza geometrica priva di ornamento.

Queste preoccupazioni ebbero sul piano teorico risvolti in un'architettura geometricamente intatta e priva di ornamento, come nel caso del cenotafio di Boullée per Isaac Newton (1784), ossia un'opera di mattoni in grado di filtrare la luce del sole per mezzo della sua immensa sfera, attraverso un sistema di perforazione che generava l'illusione del firmamento. Questo esempio permette di osservare come l'ornamento, così com'era concepito a quel tempo, venne soppresso e sostituito dal pattern dei fori, che, attraverso una geometria priva di riferimenti storicisti, generava un'interazione tra il livello simbolico e quello ambientale.

Dopo circa venti anni Ledoux progettò la *Città ideale di Chaux*, il cui centro era occupato dalla fabbrica del sale, considerata come il primo esempio di architettura industriale che integrava la parte produttiva con le abitazioni dei lavoratori. Ciò che sembra particolarmente interessante è la volontà di contraddistinguere il contenuto di ciascuna architettura con caratteri che ne rispecchiavano la propria natura sociale. Come Blondel, anche Ledoux lavorò sul concetto di 'fisionomia architettonica' attraverso l'uso dell'ornamento, di simboli convenzionali o per isomorfismo (come nel caso del peniforme Oikema).⁹

Pugin, Ruskin e Semper

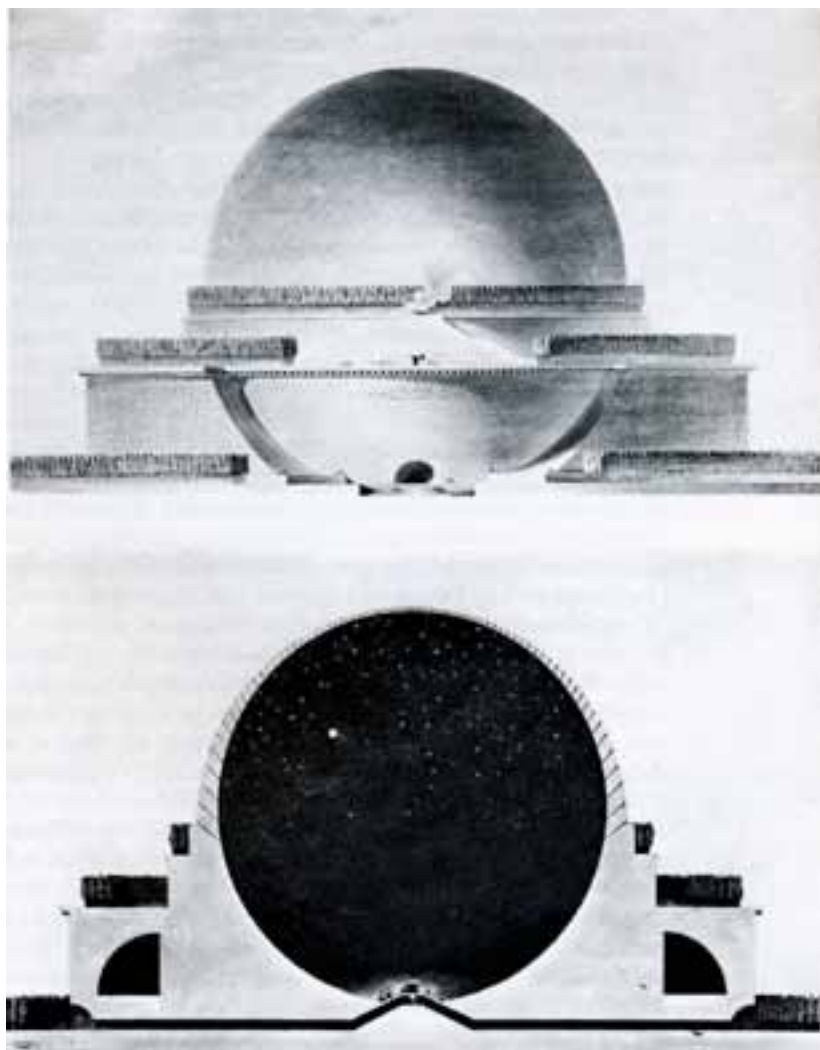
In un'epoca caratterizzata da un continuo riferirsi al passato, la critica spesso conduceva gli architetti a sposare le posizioni di un periodo storico più che un altro.

In quest'ambito trovarono spazio le posizioni di Pugin (1812-1852) sull'illusionismo dei motivi decorativi: se Vitruvio appoggiava la generazione, negli interni, di pattern virtualmente tridimensionali, Pugin ne rilevava al contrario l'irrazionalità, preferendo alla ricerca di effetti tridimensionali, la pratica medievale di tassellare con elementi multicolori.

Parallelamente Ruskin, in *Seven lamps of architecture* (1849), denunciava l'uso della macchina nella produzione di motivi ornamentali, affermando che l'unica risorsa per ottenere la bellezza fosse la natura e definendo orribili le forme non derivanti da essa. Si affiancava inoltre alle critiche di G. Blount nei confronti del pattern matematico in quanto privo di espressività,¹⁰ criticando, per questa ragione, le forme d'arte nelle quali fossero espliciti i motivi geometrici, come è il caso dell'architettura araba o indiana.

Anche Semper partecipò al dibattito sull'ornamento vittoriano, con un punto di vista sempre focalizzato nel ricercare la relazione tra la decorazione e la sua funzione. Qual è la funzione dell'ornamento? I requisiti funzionali e strutturali di un edificio erano subordinati alle finalità semiotiche e artistiche dell'ornamento.

Sebbene le sue intenzioni fossero distanti dall'idea di funzionalismo, in una lezione sulla decorazione del corpo (1856) egli fece delle precisazioni molto interessanti riguardo le finalità estetiche di ciascun ornamento corporeo.



2. Étienne-Louis Boullée, Cenotafio di Newton, 1780-93

il cenotafio è una grande sfera che rappresenta la terra e le scoperte di Newton e malgrado le sue dimensioni solamente una parte esigua della sua superficie può essere fruita. Entrando all'interno un pattern sapientemente perforato sulla superficie lascia entrare la luce diurna ricostruendo poeticamente, un'immagine del cielo stellato. Inversamente di notte una grande luce artificiale al centro, raffigurava un'immagine diurna. Mentre la luce rappresenta Newton, l'illuminazione rivela il conoscimento dell'umanità.

I 'pendenti', giocando con la gravità, enfatizzano il movimento del corpo; anelli, bracciali, corone e cinture sottolineano le forme del corpo, mentre gli ornamenti direzionali accentuano solo una dimensione, facendo apparire il corpo più slanciato.

Semper, pur essendo interessato alla natura, rispetto a Ruskin non parlava di imitazione ma dell'applicazione delle sue leggi, quali simmetria, proporzione e direzionalità.¹¹

Il pattern, fin dagli inizi del secolo scorso, si impose quindi come forma d'arte indipendente. Così come R.G. Hatton annunciava nel 1902, si cominciava a diffondere il gusto verso la semplicità, priva di complicazioni formali, orpelli, decorazioni od ornamenti e tesa a valorizzare le proporzioni delle cose. E continuava Hatton dicendo che *"contemporaneamente alla crescente richiesta di oggetti semplici, belli nella forma e nel colore è emersa una profonda considerazione verso i pattern"*.¹² Quindi, secondo Hatton, i pattern costituivano delle forme d'arte ritmiche caratterizzate da una carica simbolica maggiore della stessa arte pittorica; per Gombrich l'emancipazione del pattern come arte indipendente anticipava la divisione tra funzione e decorazione.

Si cominciava a definire, dunque, una forma d'arte indipendente con una forte connotazione simbolica ma strettamente relegata al mondo dell'ornamento.

Ventesimo secolo. La trasformazione del pattern

Adolf Loos, il pattern si sposta dall'ornamento al raumplan.

Nello stesso decennio A. Loos, col suo saggio *Ornament und Verbrechen* (1908), divenne il maggiore responsabile della spaccatura, in architettura, tra il piano ornamentale e quello funzionale. In realtà chi anticipava un'idea di architettura totalmente scevra da ogni tipo di ornamento fu Sullivan, il quale già nel 1892 affermava che:

sarebbe grandioso per il nostro bene estetico astenersi completamente dall'uso dell'ornamento per un periodo d'anni in modo che in nostro pensiero si possa concentrare acutamente sulla produzione di edifici ben fatti e attrattivi nella loro essenzialità.¹³

A Loos va tuttavia il merito di aver influenzato in maniera determinante il movimento moderno. Riconoscendo nell'umanità una tensione verso l'arte, Loos riusciva a tollerare l'utilizzo dell'ornamento solo da parte di quella classe sociale incolta che non aveva la possibilità di accedere ad altre forme d'arte. Gli artigiani, ad esempio, potevano creare ornamenti proprio per trovare quella soddisfazione estetica che non avrebbero potuto raggiungere con

l'ascolto di una sinfonia o fruendo di altre forme artistiche. Non era invece giustificato colui che, pur avendo la possibilità di accedere all'arte, si dedicava alla progettazione di motivi ornamentali.

Loos non solo condivise con Ruskin il rifiuto verso l'ornamentazione di architetture funzionali (come stazioni dei treni, ventilatori, etc.) ma promosse un'estetica neo-classica che considerava volgare l'eccesso di ornamento, il cui superamento costituiva una forma di emancipazione della civiltà contemporanea ormai entrata in crisi d'identità. La presa di coscienza che, nell'architettura dei tempi, esisteva una frustrazione dovuta all'incapacità di produrre nuove forme ornamentali, significava che la cultura non ne aveva bisogno e che si era arrivati ad una liberazione dal superfluo. D'altra parte l'ornamento era anche un mezzo di differenziazione sociale che mal si adattava ad una società moderna che non necessitava di enfatizzare l'individualità, ma al contrario, sopprimerla. Pertanto l'ornamento, persa la sua funzione sociale, diviene inutile.

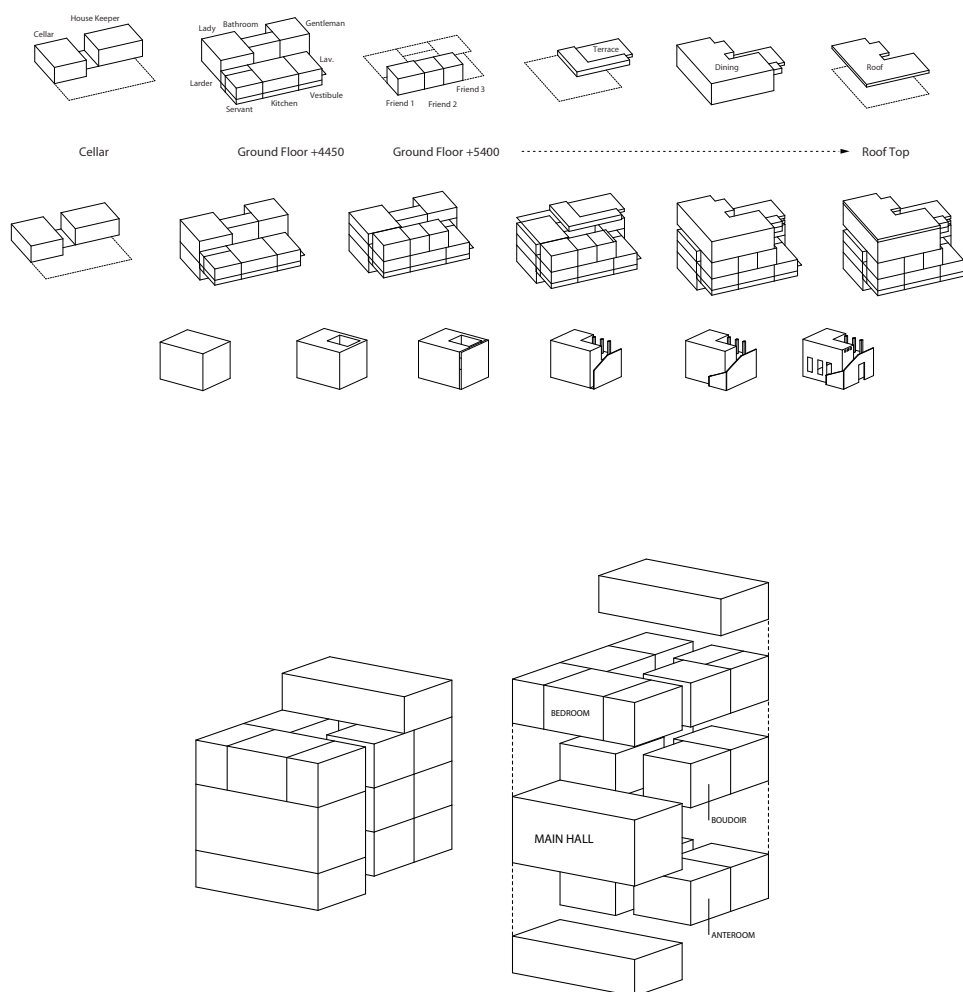
Loos mosse una guerra spietata agli architetti della Secessione Viennese che generavano una nuova forma di ornamento: infatti, pur accettando in *Ornamento e delitto* un uso eclettico dell'ornamento archeologico, ne escludeva l'invenzione di una nuova tipologia.

Venne inoltre sancita da Loos la scissione tra arte ed architettura: solo una parte esigua dell'architettura, come tombe e monumenti, appartiene al mondo dell'arte; il resto dell'architettura ha delle finalità precise che non possono sottostare alle leggi artistiche.¹⁴

Per quanto riguarda gli interni, egli affermava che il progetto degli architetti doveva riguardare gli elementi fissi, le pareti ed i mobili che non si possono muovere: tutto il resto poteva essere fabbricato dagli artigiani e comprato dal cliente secondo i propri gusti.

Anche se i testi di Loos appaiono molto retorici e dogmatici, dobbiamo pensare alla grande rivoluzione che operò arrivando, in controtendenza, alla definizione di opere architettoniche pioniere. *La Casa Steiner* è una prova di ciò che già Sullivan suggeriva, ovvero il distanziarsi dall'ornamento per concentrarsi su altre parti dell'architettura. Il *Raumplan* è un esempio di come il pattern si sposti dal piano ornamentale a quello organizzativo, caratterizzando casa *Ruffer*, casa *Moller* (1928) e casa *Muller* (1930), e generando una libertà in facciata che non sottostava ad un ordine estetico imposto ma era frutto di una libertà organizzativa interna. Il *Raumplan* consisteva proprio in questa corrispondenza tra un pattern di aperture esterne ed i volumi interni liberamente disposti nello spazio.

L'architettura contemporanea ha ereditato tre caratteristiche del *Raumplan*, ossia la corrispondenza dentro-fuori, la differenziazione funzionale e l'articolazione plastica. Dall'altra parte, la soppressione della decorazione ha favorito la nascita dell'arte astratta, caratterizzata dal rifiuto verso tutto ciò che è figurativo o decorativo.¹⁵



3. Adolf Loos: Moissi House, Venezia, 1923. Müller House, Prague 1930
 analisi critica degli elementi architettonici di casa Moissi (sopra), Müller (sotto).

1.2 MODERNITÀ E TABÙ

Con *Ornamento e delitto*, Loos pose le basi per la nascita del movimento moderno, decretando la fine dell'ornamento e di tutto ciò che fosse superfluo e decorativo. L'architettura moderna mise quindi fine ai suoi rapporti col passato e, attraverso un'operazione di depurazione, decise di rinnovarsi ricominciando da capo. Con il movimento moderno gli edifici cominciarono ad esprimere il loro contenuto interno, diventando trasparenti: il vetro e l'acciaio, protagonisti della rivoluzione industriale, furono completamente metabolizzati, trasformandosi nel manifesto tecnologico di una trasparenza concettuale. L'esterno divenne il frutto dell'interno, ossia una rappresentazione della struttura, dello spazio e del programma. Si superò in tal modo l'ipocrisia borghese di mascherare le funzioni architettoniche attraverso la decorazione: le funzioni (definite dall'espressione *form follows function*)¹⁶ contribuirono a generare un'architettura intellegibile.

Da questo momento in poi il pattern trovò nuove forme di manifestarsi senza scomparire dall'architettura, ad esempio come modulo architettonico per la definizione di una pianta o come sistema proporzionale di una facciata o di tessitura di una struttura. A tal riguardo dobbiamo ricordarci dei pattern urbani della *Ville Radieuse* di Le Corbusier, del *Modulor*, dei pattern della facciata della *Unité d'Habitation* di Marsiglia, delle bucaie della *Rochamp*.

In Mies van der Rohe, il pattern divenne struttura. Le sue declinazioni gli permisero di generare una concezione estetica globale che include la casa *Farnsworth* (Plano, Illinois, 1950); il *National Theater* (Manheim, 1952); *Crown Hall* (Illinois Institute of Technology, 1956); *50x50 House* (Convention Hall, Chicago, 1953); *Bacardi Office Building* (Santiago de Cuba, 1957); *Neu National galerie* (Berlino, 1968).¹⁷ Anche il suo sistema di distribuzione funzionale seguiva delle semplici griglie rettangolari sulle quali modulava, secondo determinate sotto-regole, le partizioni esterne, introducendo ad esempio pilastri cruciformi e partizioni interne. Persino nella combinazione delle venature dei marmi del Padiglione Tedesco di Barcellona è possibile ravvisare la presenza di pattern.

Con F.Lloyd Wright, il pattern assunse tutte le possibili configurazioni, dalla generazione della sala ipostila del *Johnson Wax Administrative Building* (Racine, 1936-1939), alla distribuzione della *Palmer House*, organizzata secondo un pattern frattale¹⁸ o nel sistema *textile block* usato nella *Millard House* (Pasadena, California, 1923).

Nell'architettura sovietica il pattern divenne il risultato dell'applicazione di geometrie non euclidee per la concezione di strutture complesse come la *Shukhov Tower* (1922) o il *Monumento alla Terza Internazionale* di Tatlin (1919-20).¹⁹

In particolare Melnikov utilizzò il pattern sia come sistema d'organizzazione (ritmando le isole commerciali del mercato Sucharevez, Mosca, 1924-25) sia come organismo permeabile, trasformando delle finestre convenzionali in un tessuto esagonale illuminante gli interni della sua casa.



4. F. Lloyd Wright, Johnson Wax Administrative Building, Racine, 1936-1939



1.3 POSTMODERNISMO, IL PATTERN RITORNA ALLA DECORAZIONE

Il rapporto tra interno ed esterno è uno dei concetti che l'architettura contemporanea ha ereditato dal movimento moderno, ed è stato uno dei paradigmi che ha dominato l'architettura fino al 1960.

Nelle decadi successive si è però generata non solo una separazione tra la sostanza interiore e l'involucro esteriore, ma anche un rifiuto da parte della forma esterna della sua origine costruttiva.²⁰

Ad esempio, l'*Edificio Portland* di Graves in Oregon (1979-82), con il suo pattern quadrato e continuo di finestre, costituisce un esempio di incoerenza formalista tra il dentro ed il fuori, dal momento che alcune finestre sono in realtà lastre di vetro scuro collocate come rivestimento di pareti di cemento armato cieche.

In realtà con l'avvento del Postmodernismo si mosse una critica feroce alla rigidità e agli assiomi del movimento moderno, ritenuto disumano, e più in generale alla modernizzazione sociale e alle pressioni del progresso. In architettura questo coincise con un rifiuto dell'estetica razionalista e con la ricerca del risultato scenografico, spesso affiancato da una ricerca nella storia del passato e di frammenti ornamentali. Non si cercò una falsificazione storica come nell'Ottocento, ma una reinterpretazione, a volte ironica, post-moderna.

In ogni caso la trasparenza venne nuovamente sostituita dalla decorazione, e la decorazione rese l'architettura postmoderna populista e di facile comunicazione. Venturi e Scott-Brown proclamarono una rottura tra funzione e rappresentazione, ammettendo però la superficialità dell'architettura in una società mossa soltanto da stimoli economici.²¹

La brillante riflessione di Frampton sul Postmodernismo merita una citazione estesa:

Oggi giorno la divisione del lavoro e gli imperativi di una economia 'monopolizzata' sono tali da ridurre la pratica architettonica alla creazione di involucri a grande scala; e per lo meno un architetto postmoderno, Helmut Jahn, ha ammesso che così che intende in proprio ruolo attuale. Nella sua condizione più predeterminata, il Postmodernismo riduce l'architettura ad una condizione nella quale 'l'offerta globale' che fa il costruttore-promotore determina la carcassa e la sostanza essenziale dell'opera, mentre l'architetto si limita a contribuire con una maschera adeguatamente seduttrice. Questa è la situazione attuale che predomina nella costruzione dei centri urbani americani, dove i grattacieli si riducono al 'silenzio' dei propri involucri totalmente vitrei e riflettenti, o, in alternativa, si vestono di ornamenti storici svalutati di un tipo o di un altro.²²

Relativamente alla relazione tra pattern, progetto e Postmodernismo, è interessante anche considerare l'opinione di A. Zaera Polo:

Il Postmodernismo abbandonò il progetto della coerenza (consistenza) incorporato nelle ultime sperimentazioni tardo Moderniste e approfondì l'esplorazione sull'autonomia dei livelli di linguaggio, coerenza materiale e relazioni tra la parte ed il tutto.

L'unica consistenza rimasta si trovava all'interno della varietà più storicista del Postmodernismo impegnato a preservare i tessuti urbani ed i pattern delle finestrate e ornamenti.

Se il Modernismo esplorava l'autonomia dell'oggetto dal suolo, il Postmodernismo esplorava l'ulteriore autonomia tra le parti ed il tutto come un indice di culture apparentemente frammentate e ibridate, dando luogo al collasso del progetto Moderno e alle sue ambizioni di coerenza (consistenza) e di riscatto collettivo. Tecniche come il collage ed il montaggio furono prioritari strumenti di composizione contro la caratteristica modularità del pattern della revisione Strutturalista del Modernismo, e le deformazioni topologiche con le quali l'informalismo ha tentato di iniettare nuova energia al progetto moderno.²³

Comunque il Postmodernismo divenne velocemente obsoleto: in assenza di un linguaggio o di un sistema di comprensione comune, il tipo di comunicazione proposto non poté raggiungere il pubblico più vasto. I simboli ereditati restarono quindi dipendenti ad un particolare momento o contesto culturale e non poterono sopravvivere a condizioni mutate.

Poiché l'architettura è una disciplina connessa alla cultura, essa necessita la costruzione di meccanismi per mezzo dei quali la cultura possa costantemente produrre nuove immagini e nuovi concetti piuttosto che riciclarne gli esistenti.

Cercando stili alternativi alla trasparenza, il Postmodernismo usò la decorazione, mentre il Decostruttivismo utilizzò la geometria del collage: tuttavia lo stile difficilmente può adattarsi ai cambi culturali.

1.4 IL NUOVO MILLENNIO E LA NASCITA DEL PATTERN AVANZATO

Non è stato fino alla metà del 1990 che il discorso sul generico riemerse, spinto principalmente dal lavoro teorico di R. Koolhaas, così come il suo lavoro sullo spazio generico e gli effetti architettonici della globalizzazione.

Questo ha aperto il campo ad un intervallo di esplorazioni da una generazione di architetti più giovani, volti a superare l'opposizione tra il generico e la complessità come dispositivi compositivi e strutturali per investigare nuove tecnologie e sensibilità. Teorizzate sotto le etichette di "*Intensive Coherence*", "*Folding Architecture*" e così via, queste sperimentazioni sono tornate al pattern come organizzazione materiale adatte ad incarnare le nuove forme del generico.²⁴

L'utilizzo e la diffusione del pattern su distinte scale d'intervento si è manifestata come ricerca sulla complessità e, allo stesso tempo, sulla coerenza. Il pattern permette di gestire differenti livelli di progetto pur mantenendo un ordine generale riconoscibile: questo è reso possibile anche dalle nuove tecnologie, sia di progetto che di realizzazione.

Contemporaneità. Oltre l'Ornamento

Appurata la scomparsa degli ordini architettonici e degli stili, l'ornamento è invece mai veramente scomparso dall'architettura? O è semplicemente stato metabolizzato da altri livelli di progetto? O ha cambiato nome?

Prima di addentrarci nel dibattito dovremmo chiarire il significato dei termini ornamento e decorazione. Sebbene i due termini siano sempre stati usati indifferentemente con un significato legato alla possibilità di incarnare il valore rappresentativo di un'opera e di contribuirne allo sviluppo estetico, è possibile tuttavia differenziarli. L'ornamento, dal latino "ornare", ovvero fornire, corredare una persona o un edificio, implica un destinatario che debba ricevere l'ornamento.

Questa è una condizione combinatoria in cui alcune cose che hanno avuto origine fuori dal corpo lavorano assieme ad alcune cose che hanno avuto origine dentro, in maniera tale da costituire il lavoro completato.²⁵

Esso, pur essendo uno strato inestricabilmente connesso col suo substrato, al quale si coordina attraverso ricorsi formali (quali, ad esempio, la proporzione o la scala), nasce tuttavia secondo un vincolo col suo contesto. Invece la decorazione, anche se non sempre conserva l'indipendenza fisica dal destinatario, riesce a mantenere quella concettuale: essa infatti si sviluppa secondo delle regole compositive interne che non si adattano al contesto.²⁶

In base a queste definizioni possiamo dedurre la diversa natura di due fenomeni simili: da una parte un sistema formale che interagisce con il supporto, dall'altra un sistema che si impone ad esso. Considerando che il nostro mezzo concettuale è il pattern avanzato, ossia uno strumento in grado di gestire contemporaneamente più livelli di progetto che interagiscono tra loro, preferiremo parlare in questa sede di ornamento,²⁷ considerandolo non come un elemento posticcio, ma come un livello progettuale artistico-espressivo che interagisce con i livelli funzionali del progetto.

Nel corso della storia dell'architettura moderna e contemporanea il termine "ornamento" è stato un tabù tra gli architetti. Possiamo dire che le ambizioni estetiche dell'architettura si sono concentrate maggiormente sull'articolazione spaziale, sulle tessiture strutturali o sugli elementi di rivestimento. Quindi, fatta eccezione per il post modernismo, si è interrotto ogni rife-

rimento stilistico col passato: l'ornamento si è scollato dallo stile o dagli ordini architettonici, diventando altro. In tal modo questa parola, essendo stata demonizzata per tempo, è divenuta proibita e si è dissolta entrando a far parte della materialità stessa dell'architettura.

L'ornamento appartiene alla geometrizzazione delle superfici architettoniche, alla tridimensionalità dei materiali, alla permeabilità dei paramenti murari, ma come unicità e non come un livello posticcio; appartiene alla concezione progettuale stessa, alla sua espressività, divenendo parte indissolubile dei suoi aspetti antitetici quali la struttura.

Tuttavia negli ultimi dieci anni i termini decorazione/ornamento hanno ricominciato ad apparire nelle pubblicazioni di architettura contemporanea. C'è chi ne parla in maniera meno evidente (ad esempio in *Glamour: Fashion, Design, Architecture*²⁸ o in *Elegance*,²⁹ edito da A. Rahim e H. Jamelle) e chi invece tratta il tema più esplicitamente, come P. Zellner in *Sign as Surface*.³⁰ Ma ecco che il termine proibito comincia ad apparire direttamente anche nei titoli dei testi: nel 2004 il numero 65 della serie OASE (pubblicato dalla NAI ed edito da C. Grafe, M. Pimlott e M. Stuhlmacher) è intitolato *Ornament*. Nel 2006 F. Moussavi, M. Kubo e l'Università di Harvard editano *The function of ornament*, un libro che analizza la funzione dell'ornamento in esempi di facciate accuratamente selezionate nel corso del ventesimo e ventunesimo secolo. Nello stesso anno viene pubblicato da E. Abruzzo e J.D. Solomon *Decoration* (306090 Books, vol. 10), un libro che esplora il ruolo contemporaneo della decorazione, della sua relazione con le nuove tecnologie e della sua inestricabilità con la struttura o la sostenibilità. Nel 2008 O. Domeisen scrive un articolo dal titolo *The quest for ornament*:³¹ la ricerca dell'ornamento è la questione che accompagna il disegno delle facciate nell'architettura contemporanea, quali il *Caixa Forum* di Madrid o il *Ricola* di Herzog e De Meuron.

È sempre del 2008 l'articolo *Contemporary Ornament, The Return of the Symbolic Repressed* di R. Levit,³² nel quale l'autore sottolinea come il pattern sia tornato nell'architettura contemporanea e con esso una delle sue principali manifestazioni, appunto l'ornamento. Questi critica le posizioni di *The function of ornament*, considerate un paradosso, poiché non è possibile ridurre il termine ornamento solamente al suo aspetto funzionale privandolo del suo aspetto simbolico. Secondo l'autore sarebbe più giusto affermare che "l'ornamento può funzionare", ma le ragioni della sua forma non possono essere ridotte a questioni materiali né funzionali. Per Levit l'ornamento rimane sempre relegato alla superficie ed impregnato di un significato simbolico: i nuovi pattern, spesso influenzati dalla geometria computazionale, suggeriscono diversi significati che vanno dall'ambito sociale a quello naturale.

Innanzitutto, secondo l'autore, occorre prendere coscienza di come la variazione geometrica delle celle dei pattern contemporanei abbia sostituito l'uniformità della griglia indifferenziata del movimento moderno. Questo suggerisce un parallelismo nell'immaginario sociale, marcato dalla mancanza di abilità dei diversi individui ad immaginare se stessi in relazione con la società. Inoltre la variazione delle celle simbolizza persino la personalizzazione di massa, ottenuta da una flessibilità senza fine legata ad i nuovi sistemi di produzione parametrici. Levit riconosce tuttavia non solo delle metafore sociali ma anche naturali: la preoccupazione verso la sostenibilità spinge infatti l'architettura ad allinearsi e riconciliarsi con la natura. È per questo che si riconosce l'applicazione di pattern organici, quali il *Voronoi*, indispensabili a far rientrare l'architettura all'interno della tassonomia della natura.³³



6. Herzog De Meuron, Caixa Forum, Madrid, 2008

A volte può sembrare forzato interpretare con metafore delle forme che sono state progettate senza nessuno dei simboli menzionati. Chiaramente l'architettura è la manifestazione di una cultura, di un periodo storico, scientifico e sociale, ma i significati che l'architetto accumula nel suo progetto sono quasi sempre inconsci e legati ad un concetto progettuale e non simbolico. Il significato e l'interpretazione fanno parte di una sfera soggettiva, di chi percepisce l'architettura, ma non sempre appartengono alla volontà espressiva dell'architetto. È allora più credibile parlare non di simbolismo, ma piuttosto di un'estetica che si va affermando attraverso le pubblicazioni, internet e le università d'architettura.

Oggi, spesso, gli architetti utilizzano pattern generati da formule algoritmiche, influenzando notevolmente l'espressività dell'architettura: se ne ricava come l'uso di geometrie computazionali derivi non solo dall'introduzione di *software* che ne permettono l'uso ma anche dall'affermarsi di un'estetica che rappresenta la civiltà della computazione, nella quale la matematica si fonde con il mondo organico.

Ma quali sono le ragioni che hanno stimolato la progettazione di pattern in facciata?

Sicuramente la proliferazione di pattern in facciata deriva da questa crescente attenzione verso il guscio esterno degli edifici che, come si è visto, ha i suoi precedenti nel postmodernismo. La separazione tra interno ed esterno, insieme all'affermarsi di un'economia basata sulla separazione e la specializzazione dei ruoli, fa sì che si concentrino tutte le ambizioni architettoniche nella facciata, lasciando ad altri progettisti il resto. Si verifica quindi uno scollamento fra interno ed esterno, ossia tra ciò che succede in facciata e ciò che accade all'interno dell'architettura: in questo senso la facciata costituisce un dispositivo di attrazione e di manifesto comunicativo che non tiene in considerazione l'interno.

Infatti, l'architetto non si occupa più della progettazione e dell'elaborazione dell'intero complesso (e quindi dei suoi esterni ed interni): chi progetta la facciata non coincide con l'architetto che successivamente si occuperà degli interni. Questo perché, essendo i proprietari diversi, il cliente incarica un architetto solamente della progettazione dell'esterno, vendendo le diverse porzioni a clienti che affideranno poi, a loro volta, la loro parte ad altri designer. Risulta quindi evidente come, sin dall'inizio, il progetto si sviluppi tenendo essenzialmente conto della commerciabilità del progetto.

F. Moussavi a queste problematiche aggiunge anche il crescente numero di tipologie edilizie *Blank*, ovvero grandi magazzini, centri commerciali, multicinema, librerie e musei che non richiedono alcun rapporto tra esterno ed interno.³⁴

Un altro fattore che contribuisce alla proliferazione di pattern in facciata deriva dai nuovi regolamenti ambientali nati per ottimizzare l'efficienza energetica: poiché la trasparenza del movimento moderno non è efficiente da un punto di vista energetico, occorre introdurre sistemi di controllo ambientale che operano per stratificazione di diversi pannelli, *curtain-wall* o densificando aree più opache secondo l'orientamento solare. È anche per questo motivo che molte volte l'espressione degli edifici non potrà avere alcuna relazione con l'interno.

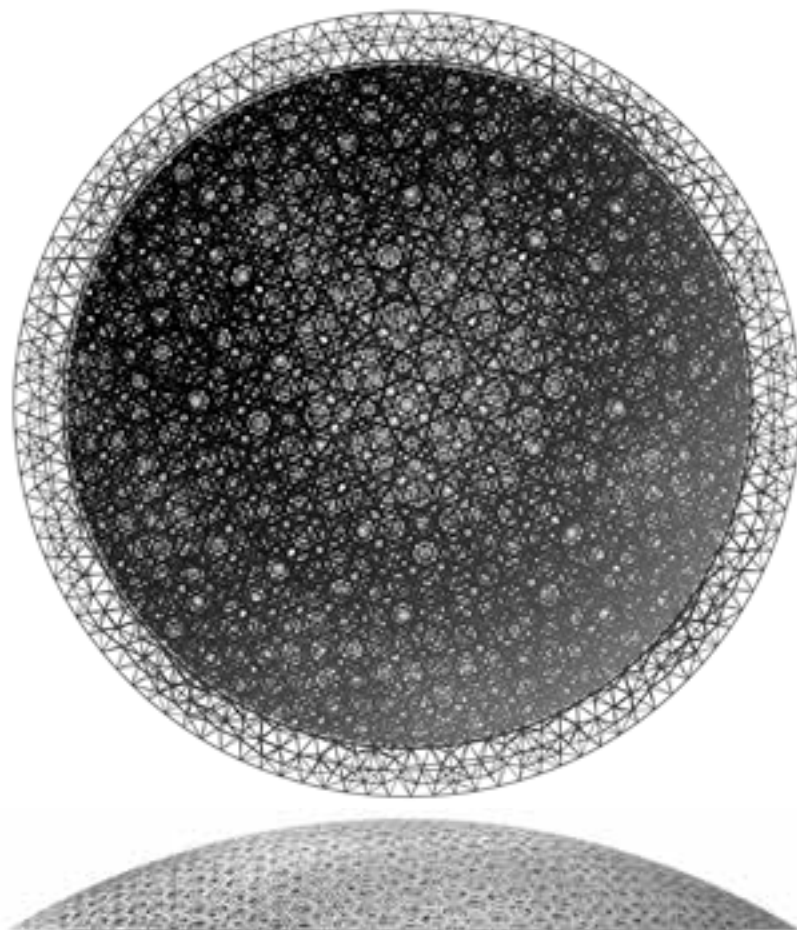
Quindi da una parte abbiamo delle ragioni assolutamente pragmatiche che spingono l'architetto a sfogare tutte le proprie ambizioni creative sull'involucro esterno: in questi casi il pattern reagisce come un sistema geometrico finalizzato alla generazione di elementi di rivestimento che possono integrare, ad esempio, la ventilazione o l'illuminazione. È questo il caso del *Young Museum* e del *Dominus Winery* di Herzog & de Meuron, del *Raven-sbourne College* e del *John Lewis Department Store* di FOA, dell'*Espacio de Creación Artística Contemporánea* di N. Sobejano, l'*Institut du Monde Arabe* ed il *Louvre Abu Dhabi* di J. Nouvel, l'Aeroporto internazionale a Jeddah di OMA, l'*Omotosando Commercial Complex* di Unstudio e molti altri.

Ci sono altri casi dove ancora esiste una forte relazione tra interno ed esterno e ancora più spesso tra struttura, pattern e facciata. Il *Federation Square* dei Lab Architecture Studio, il *CCTV* di OMA, *The Water Cube* di PTW architects, l'edificio *TOD's* di Toyo Ito, il *PRADA* di Herzog & de Meuron, la *0-14 Tower* di Reiser + Umemoto a Dubai, sono tutti esempi nei quali non esistono limiti tra struttura ed ornamento. In questo senso N. Rappaport parla di *deep decoration*,³⁵ in quanto vede un emergente interesse nella struttura come generatrice di forme, che non si nascondono dietro le facciate ma contribuiscono alla loro definizione. Così come avveniva nelle architetture di F. Candela o di P. Nervi, la struttura entra a far parte degli aspetti formali dell'edificio. Possiamo pertanto affermare che la struttura diventa "ornamentale", dal momento che partecipa attivamente alla definizione dell'estetica dell'edificio.

A questo riguardo, risulta interessante la posizione di J. Reiser, professore di Architettura alla Princeton University e partner di Reiser+Umemoto RUR Architecture PC. Partendo da un'analisi dell'opera di Mies van der Rohe egli deduce per differenze ed analogie le sue considerazioni sul tema.³⁶ Reiser studia in particolare le relazioni strutturali tra sette edifici di differente scala a "luce libera". Come si possono mantenere invariate le leggi compositive estetiche al variare della scala degli edifici? Il punto della questione, secondo Reiser, è come mantenere stabile la relazione, nelle diverse scale di progetto, tra le esigenze strutturali ed "un'estetica universalizzante", operazione non

così semplice come scalare proporzionalmente la geometria degli elementi. Per soddisfare una certa coerenza proporzionale, alle differenti scale, invece di incrementare la dimensione delle parti strutturali, Mies cambia la geometria e la topologia spaziale delle varie ipotesi: in altre parole il pattern che definisce la struttura. L'esistenza di una profonda equazione tra struttura ed ornamento rende necessario questo sforzo.

[...] Esiste una parità fra ornamento e struttura così come una nuova comprensione della decorazione in relazione a tipologie spaziali. Per Mies la decorazione occorre in due posti: nello spazio negativo della struttura e nella feticizzazione dell'ombra, rivelate dalle articolazioni e dal meticoloso dettaglio delle strutture tra loro.³⁷



7. Jean Nouvel, Louvre Abu Dhabi, in costruzione

8. (a seguire) Jean Nouvel, Louvre Abu Dhabi, in costruzione

Nell'architettura di Mies emerge una separazione dialettica tra le zone di tamponamento, ovvero il negativo della struttura, e l'articolazione stessa della struttura. Partendo dallo studio di questi esempi di Mies, Reiser ricerca il tema della differenza e della variazione, considerando in questo processo la struttura come sottoinsieme dell'ornamento.

Quindi per noi, la decorazione è un effetto, un'espressione ambientale del complesso struttura/ornamento.³⁸

Per Reiser, sebbene esista la separazione tra struttura/tamponamento e struttura/ornamento, queste possono generare, attraverso l'uso di geometrie complesse, delle relazioni mutue in grado di produrre differenziazioni progressive. Ciò non vuol dire difendere l'eterogeneità, ma considerare la differenziazione come un principio attivo che funziona attraverso la ripetizione, capace di moltiplicare le conseguenze architettoniche programmatiche, strutturali e spaziali. Questa concezione materialistica dello spazio può, secondo l'architetto, essere ottenuta attraverso la ripetizione o degli stessi elementi (inserendo variazioni) o di elementi simili che cambiano progressivamente. Ognuno dei due metodi di variazione produce determinate conseguenze decorative.

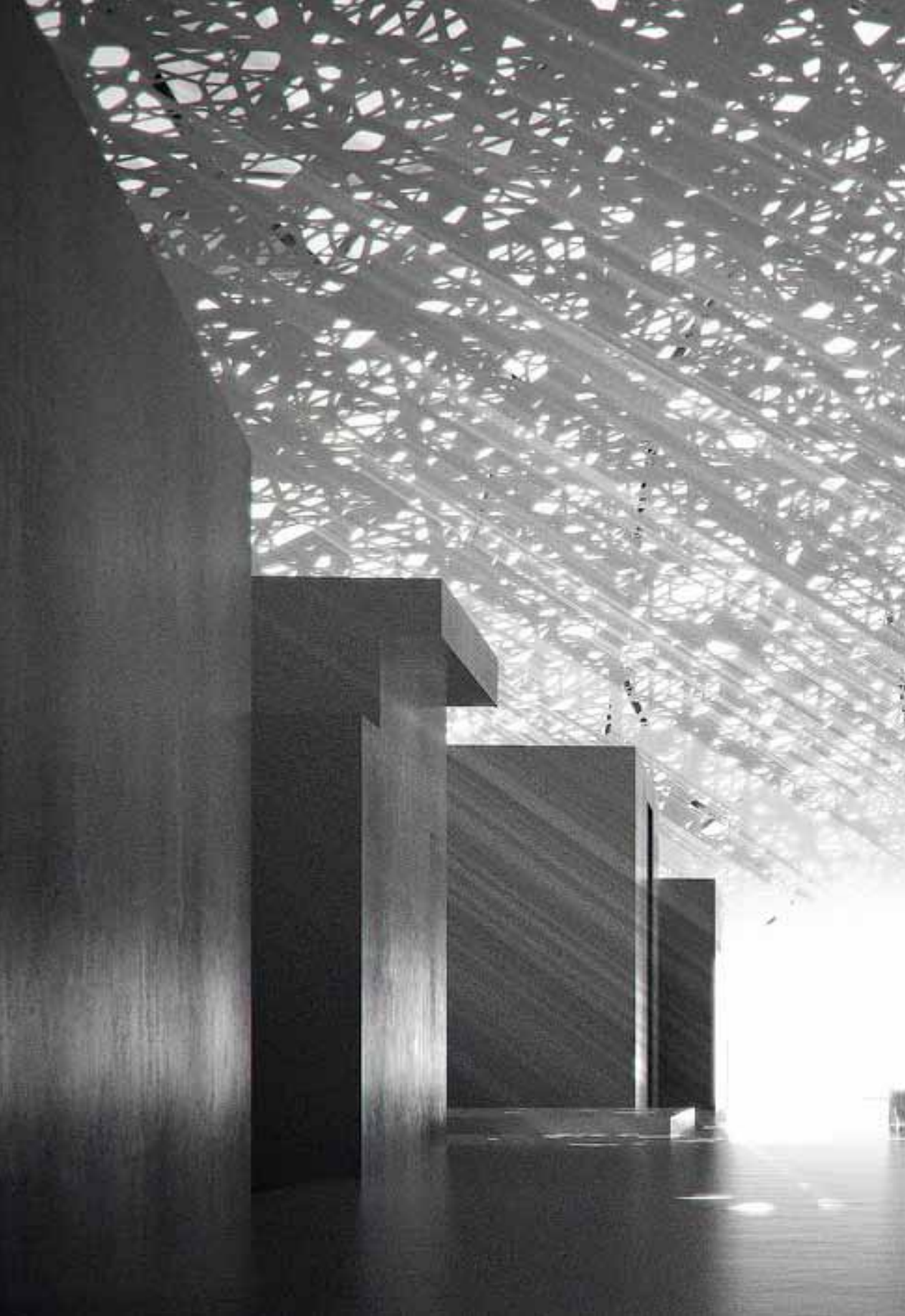
Questo procedimento, chiamato da Reiser "*ubiquitous difference*", ha il vantaggio di operare sui livelli dell'architettura, producendo gerarchie che hanno una coerenza globale ed una differenziazione locale. E questo ha come conseguenza che i limiti tra la struttura, i tamponamenti e l'ornamento non sono predeterminati ma contingenti.

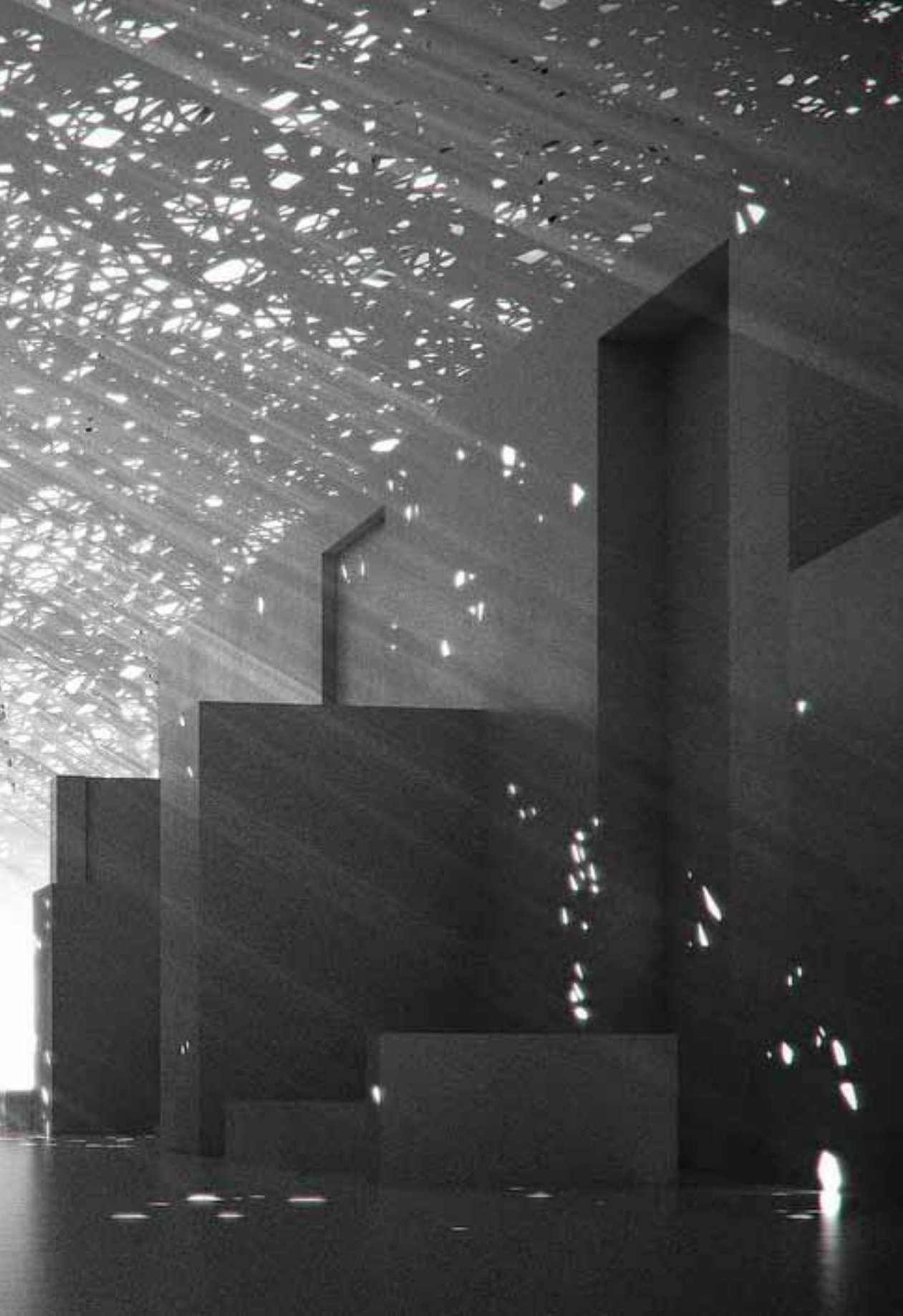
L'autore conclude affermando che non si oppone all'interpretazione di questo processo come una nuova forma di espressionismo, sempre e quando l'espressione si consideri nella sua storica relazione con la soggettività. In altre parole l'espressionismo non appartiene solo alla sensazione che i materiali provocano ma allo stesso comportamento della materia.

È un espressionismo materiale devoto non solo alla sensazione dei materiali ma anche nel comportamento della materia stessa.³⁹

P. Schumacher parla invece di eleganza come caratteristica estetica riguardante un'architettura nella quale siano integrati tutti i sotto-sistemi che la compongono, adattandosi gli uni agli altri: tale eleganza sta nel non mostrare alcuna forzatura in questa integrazione, come se fosse una cosa naturale. Si tratta quindi di un'eleganza distante dalla semplicità e vicina alla complessità.

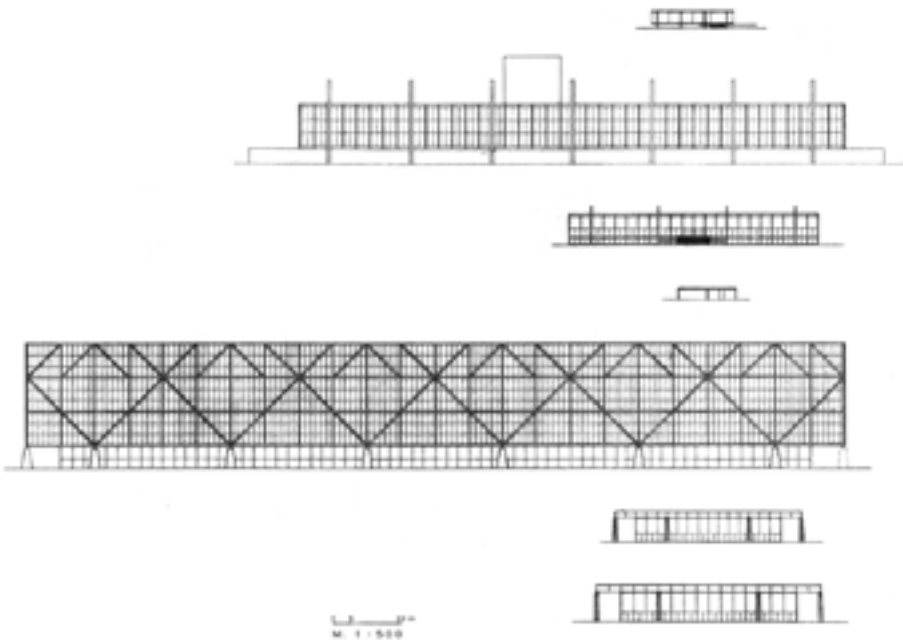
Un edificio elegante dovrebbe implicare una struttura elegante and entrambi insieme dovrebbero essere in grado di spazializzare una considerevole complessità organizzativa senza ridursi al disordine visivo.⁴⁰





Secondo Schumacher questa integrazione è senz'altro agevolata dagli strumenti digitali di modellazione e dai nuovi pattern organizzativi, che, insieme ad un certo valore stilistico ed estetico, hanno contribuito a promuovere lo slogan nello studio Zaha Hadid Architects: *"Total fluidity across all scale"*. Tale fluidità è garantita dall'inter-articolazione organica di tutti i requisiti tecnici e funzionali che generano sottosistemi materiali:

L'inter-articolazione organica potrebbe essere ottenuta tramite affiliazione o inflessione geometriche reciproche, o stabilendo correlazioni regolate tra i vari pattern di differenziazione che sono specifici per ciascun sottosistema.⁴³



9. alzati di sette edifici a luce libera di Mies van der Rohe

Casa Farnsworth, Piano; National Theater, Manheim; Crown Hall, Chicago; casa 50x50; Convention Hall, Chicago; Bacardi building, Santiago de Cuba; New National Gallery, Berlino.

Un caso

Un esempio di pattern avanzato, capace di integrare più livelli dell'architettura, è quello usato da C. Balmond nel progetto di Libeskind per l'ampliamento del *Victoria and Albert Museum* di Londra (1996-2004).

Questo progetto potrebbe in realtà rientrare contemporaneamente in diversi capitoli del presente lavoro: infatti non solo rappresenta un utilizzo contemporaneo della tessellazione aperiodica, ma contiene anche il numero aureo e frattale, ed in esso il pattern integra allo stesso tempo ornamento e struttura. Costituisce quindi un interessante esempio dell'uso, in epoca contemporanea, delle tessellazioni aperiodiche, dei frattali e di pattern, integrando estetica e struttura. Ciò dimostra che, sebbene per questioni didattiche siamo tenuti a separare gli argomenti per temi o ad analizzare aspetti per ambiti separati, in realtà nella buona architettura questi temi convivono insieme.

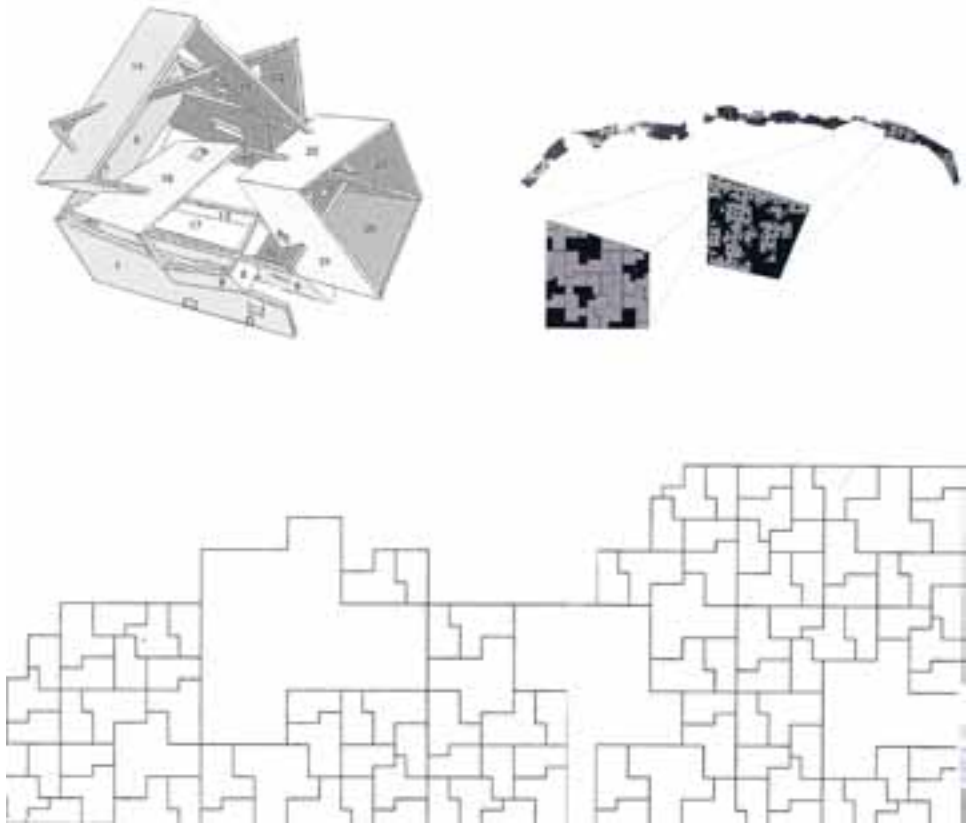
Ritorniamo al caso del *V&A Museum*: lasciando al capitolo successivo la concezione strutturale di questo progetto, ci concentriamo in questa sede sul rivestimento esterno di questa spirale verticale. Libeskind e Balmond ricercarono per la tessellazione di questo edificio non qualcosa che lo completasse ma che lo ricoprì, come *“un tipo di mobilità che non completerebbe mai l'edificio ma lo manterrebbe incompiuto”*.⁴²

Si cominciarono quindi a studiare serie di tessellazioni che non fossero omogenee e ripetitive ma che permettessero cambiamenti di scala con effetti dinamici: questa ricerca condusse a Robert Ammann, il matematico (già citato nel capitolo sulle tessellazioni aperiodiche) che aveva scoperto una tessellazione composta da tre piastrelle diverse ad incastro, le cui forme erano in stretta relazione tra loro. Seguendo semplici regole di composizione (*matching rules*, linee nascoste che compongono una maglia ortogonale che connette i vertici delle tre figure) si costituivano tassellazioni aperiodiche che, come si è visto, non si ripetono mai allo stesso modo.

Se questo pattern permette di ricoprire completamente il piano senza lasciare alcuno spazio libero, Balmond sviluppò invece una strategia per generare vuoti a diversa scala: sfruttando i principi ricorsivi su cui è basata la geometria di questo pattern, si generarono dei vuoti auto simili semplicemente eliminando alcune delle piastrelle. Ne deriva un pattern frattale di dimensione 1,77, che non ricopre completamente la superficie ma lascia dei vuoti a differenti scale: se fosse stato costruito, questo *fractile* (combinazione tra *tiling* e *fractal*) adesso rivestirebbe le pareti della spirale del *A&V Museum*.

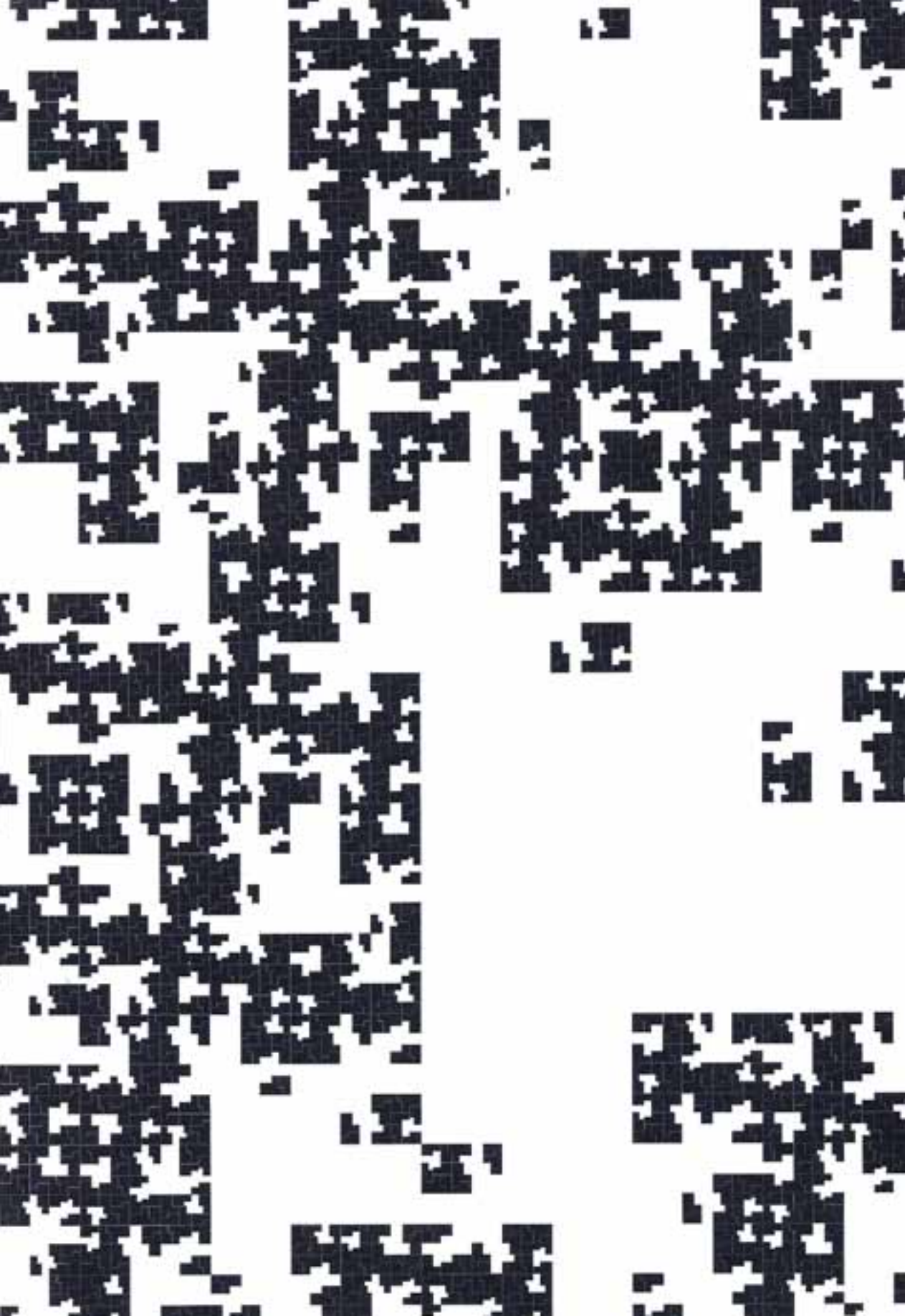
L'importanza di questo studio sta anche nel non occuparsi solo della super-

ficie dell'architettura e della sua decorazione, ma nel tentativo di penetrare al suo interno: le linee di Ammann costituiscono infatti un pattern ortogonale che funziona come reticolo portante. Se ne ricava come il pattern abbia più livelli di interpretazione a differenti scale: mentre la piccola dimensione del pattern assume caratteri ornamentali, la grande scala copre l'aspetto strutturale.



10. Daniel Libeskind e Cecil Balmond, Ampliamento Victoria and Albert Museum, Londra, 1996-2004

11. (p. a fianco) tessellazione aperiodica frattale del rivestimento esterno



2. VISIONI STRUTTURALI: TENSIONE E TOPOLOGIA

La materia della poesia è la parola, quella della musica il suono; la struttura, la maniera in cui si assemblano queste parole o questi suoni. Ciò che vogliamo sottolineare qui è l'importanza del rapporto tra la forma e la resistenza fisica che è proprio dell'architettura.⁴³

2.1 PATTERN STRUTTURALI, EFFICIENZA MECCANICA

La struttura fornisce numerosi pretesti per parlare di pattern: spesso abbiamo intercambiato le parole “struttura” e “pattern” proprio per esprimere l'idea di coesione che relaziona e lega le diverse parti del progetto. In questo ambito la struttura assumerà l'accezione statica del termine, anche se risulta difficile separare il significato fisico da quello concettuale, dal momento che allo stesso tempo e nello stesso pattern convivono più livelli, incluso quello statico.

I pattern rappresentano la distribuzione dei flussi di forze che attraversano l'architettura: essi possono costituire sistemi geometrici omogenei ed indifferenziati, griglie rigide e riduzioniste, oppure possono avvicinarsi ad un'idea di pattern avanzato reattivo che ammette variazioni e singolarità.

La storia dell'architettura ci mostra un'evoluzione di sistemi strutturali composti da invenzioni statiche che si trasformano poi in pattern strutturali.

Ad esempio il trilito, già noto nelle costruzioni megalitiche, divenne con i Greci un sistema ripetitivo per la costituzione degli ordini classici, dove le colonne costituivano gli elementi verticali e gli architravi quelli orizzontali; ognuno di questi elementi era poi suddiviso in sub-strutture, quali base, fusto, capitello. Nei templi la ripetizione di questi elementi generava dei pattern sia in alzato che in pianta, dove la diversa reiterazione delle colonne dava luce a diverse tipologie planimetriche. Ciò che scandiva la distribuzione dei piedritti era la lunghezza massima che un architrave in marmo poteva assumere: così, nel Partenone come nella sala ipostila di Karnak, il denso pattern di colonne era dovuto più a ragioni tecniche che all'intenzione degli architetti.⁴⁴

Nell'antica Roma il trilito venne sostituito dall'arco che permetteva la continuità tra i piedritti e la copertura di luci molto più estese. Dalla sua ripetizione, unendo gli archi nella stessa direzione, nascevano le volte, funzionali alla copertura degli spazi; affiancando invece un arco accanto all'altro si ottenevano le strutture dei ponti e gli acquedotti. Se ne ricava come la ripetizione riaffermi, consolidi e generi dei sistemi, dove il tutto è maggiore della somma tra le parti.

Rimanendo a Roma, dalla rivoluzione dell'arco nacque la cupola, che possiede le sue stesse caratteristiche applicate però alle tre dimensioni. Questo elemento diventerà pattern a partire dal VI secolo, a Roma come in Oriente: nella chiesa di Santa Sofia, così come nelle moschee, la cupola diventò il tradizionale elemento per la generazione delle coperture.

Nelle cattedrali gotiche le nervature e le costole snelle presero il posto delle pesanti murature romane in un gioco di spinte e contropinte. A *Notre Dame* di Parigi o nella cattedrale di Bristol, le intersezioni delle volte a crociera erano evidenziate dalle nervature che, sebbene non fossero staticamente indispensabili, generavano dei pattern che seguivano le linee di forza. Configurazioni ancora più complesse furono realizzate a Exeter o alla *King's College Chapel* di Cambridge, dove le nervature generarono pattern più decorativi ma sempre ispirati a raffinate intuizioni statiche.⁴⁵ Le nervature infatti non erano il risultato di ragioni meramente strutturali, ma anche costruttive: erano costruite su centine di legno ed utilizzate come telai per la realizzazione di complesse superfici voltate, che poi venivano posteriormente riempite, risparmiando sulla costruzione di ulteriori centine.

Gaudí, nella sua immensa sfida strutturale, si propose di superare l'imperfezione dei sistemi gotici, criticati per i contrafforti, di cui disse "è un corpo invalido che si poggia alle stampelle".⁴⁶ Egli, nelle sue opere, fece emergere la forma-struttura attraverso il sistema delle catenarie, determinando un pattern strutturale perfettamente resistente alla tensione e che quindi, se invertito, possedeva una configurazione perfetta per reagire completamente alla compressione: "tutti gli elementi resistenti si fondano sulle linee funcolari delle forze in gioco".⁴⁷ In questo Gaudí precedette gli esperimenti di F. Otto e di tutti quegli ingegneri, che, in mancanza di programmi di simulazione, testarono la propria struttura su modelli fisici. Se fino ad allora l'architettura aveva utilizzato forme basate sul piano, l'arco, la volta o la cupola, Gaudí incorporò geometrie molto più complesse, come l'iperboloide di rivoluzione, il paraboloide iperbolico o le superfici rigate in genere. Anche quando gli elementi appartenevano alla tradizione degli archi, la loro configurazione assumeva sempre pattern singolari ed originali, come è il caso degli archi

catenari nel sottotetto della *casa Milà* e della *casa Batlló*, dei pilastri inclinati che supportano il viale nel *Parc Güell*, della distribuzione delle nervature che formano la griglia bidirezionale nella copertura della chiesa della *Colònia Güell*. Nelle *Escuelas Provisionales* della *Sagrada Familia*, Gaudí generò delle superfici rigate conoidali sia per il tetto che per le pareti.

Queste soluzioni semplici ed economiche richiedevano un materiale minimo, e le pareti ed il tetto si fecero di mattone. La curvatura del tetto aumentava notevolmente la resistenza di questa leggera costruzione, e assicurava il drenaggio perfetto del tetto[...].⁴⁸

Parallelamente alle sperimentazioni di Gaudí, che cercava la forma nella matericità, il mondo sperimentava la leggerezza dell'acciaio che, già nel 1851, aveva fatto la sua prepotente comparsa con il *Crystal Palace* di Londra e, nel 1889, con la *Torre Eiffel*. Sebbene l'acciaio fosse già conosciuto per la costruzione delle connessioni delle strutture in legno, solo con la rivoluzione industriale la sua produzione divenne così estesa da permettere la costruzione di strutture delicate e dalle grandi dimensioni. A questo si aggiunse l'avanzamento della matematica per il dimensionamento delle strutture e l'esigenza di costruire grandi opere per l'avvento delle ferrovie, quali ponti, stazioni e fabbriche. Le strutture cominciarono a svilupparsi sotto forma di reticoli spaziali modulari che, con il tempo, cominciarono ad emanciparsi dai retaggi classici, fino all'invenzione delle griglie spaziali con unità ottaedriche e tetraedriche di A.G. Bell che, nel 1907, costruì la torre d'osservazione a Beinn Bhreagh (USA).

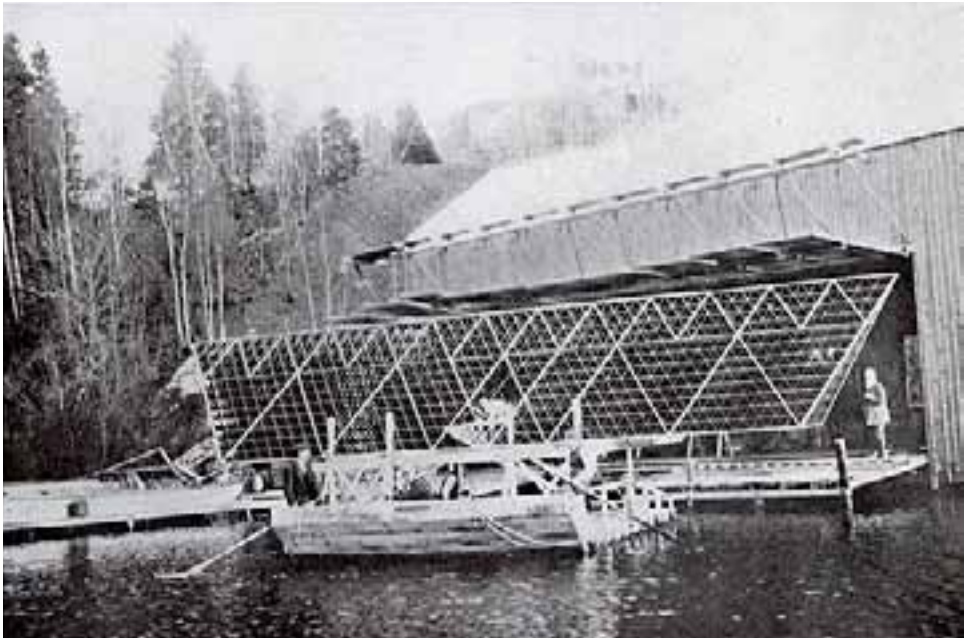
Mies apportò le innovazioni della produzione industriale nell'architettura moderna: la trasparenza e la leggerezza presero il posto del peso e dell'opacità, mentre la prefabbricazione entrò nel sistema di costruzione architettonica per generare componenti di metallo. Il lavoro di Mies si potrebbe riassumere nella creazione di spazi ideali attraverso "la ripetizione e la variazione di un sistema a intelaiatura di acciaio".⁴⁹ Ne sono esempi il *Seagram Building* o la *New National Gallery* (1962-1968), dove la struttura generava un pattern quadrato nel solaio a cassettoni, ottenuto dalla semplice ripetizione di un'unità.⁵⁰ Egli perseguiva un'idea classica di bellezza universale, che dipendeva dall'uso logico dei materiali e dalla funzionalità: la struttura, mostrata nella sua logica ripetizione, produceva un'estetica della razionalità e dell'ordine classico.

I pattern strutturali presentano una connessione intima con la tecnologia dei materiali e con la scienza: per questa ragione ad un avanzamento scientifico corrisponde sempre uno sviluppo della concezione strutturale.



Il modo convenzionale di generare le strutture è stato vincolato per secoli ai solidi platonici (tetraedro, cubo, ottaedro, dodecaedro ed icosaedro) o di *Phileban* (sfera, cubo, cono, piramide, cilindro e prisma), ma la natura ci mostra come esistano differenti organizzazioni della materia. Nel 1867 l'ingegnere Culmann, durante un convegno scientifico nel quale l'anatomista Von Meyer presentava dei disegni sull'orientazione trabecolare nel femore, trovò delle sorprendenti corrispondenze tra la configurazione delle linee di forza di una gru e quelle delle trabecole di un femore.⁵¹ Ciò significa che, per una questione di efficienza, le fibre delle ossa seguono la direzione delle linee di forza: se ne ricava come, utilizzando il materiale dove serve, si ottengano strutture più leggere e performative. La struttura di una trave che segue proprio questo principio, colloca la struttura lungo le linee di forza ottenendo la configurazione più leggera e resistente possibile.

Ecco come la natura ci suggerisce pattern altamente performativi, tant'è vero che molti ingegneri, da Fuller a Ricolais ad Otto, per le loro ricerche ricorsero allo studio di strutture naturali; lo stesso Nervi concepì progetti in cui la struttura seguiva le linee isostatiche.

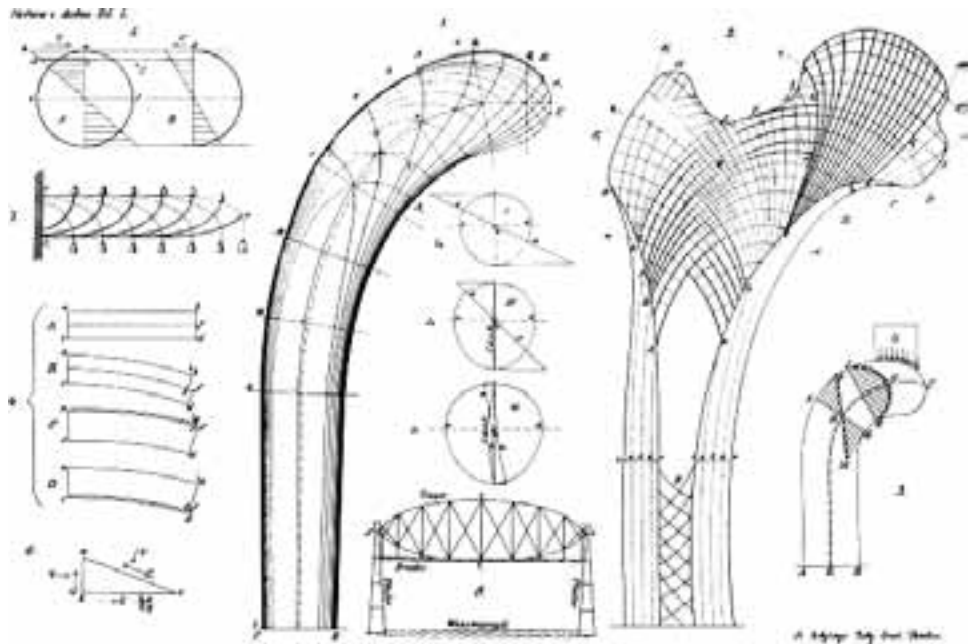


13. Alexander Graham Bell, Aliante scatolare, 1903
il principio del tetraedro nella struttura di un acquilone.

Jencks fa riferimento al premio Nobel P. Anderson quando si riferisce alla sua frase “*more is different*”:

si riferisce alla proprietà ubiqua in natura dell'emergenza, del cambiamento di fase. Si aggiunge maggiore energia, o informazione, o massa, o qualunque altra cosa ed un sistema raggiungerà un punto critico ed entrerà in un nuovo regime. l'idea basilare, non più vecchia di venti anni, è che sotto queste condizioni possono emergere spontaneamente nuovi pattern di organizzazione.⁵²

In natura emergono pattern frattali, dinamici ed imprevedibili: come si è visto, il computer incoraggia il loro uso. Sono questi i pattern usati dalla generazione di ingegneri contemporanei quali Balmond o Kara: pattern che sottendono le nuove scoperte scientifiche, legati quindi ad una concezione estetica contemporanea, figlia delle nuove tecnologie; pattern che, stimolando l'immaginazione, provocano intellettualmente, lanciano sempre nuove sfide.



14. Wolff, la struttura delle ossa si adatta alle condizioni dei suoi carichi

le due immagini principali rappresentano a sinistra l'analisi statica grafica delle forze interne in una gru di Faibairn caricata verticalmente dall'alto, a destra, le traiettorie trabecolari femorali.

2.2 REITERAZIONE OSSESSIVA, TRIANGOLAZIONE E SCOPERTE STRUTTURALI. LOUIS KAHN, BUCKMINSTER FULLER, KONRAD WACHSMANN

La preoccupazione di Mies di esprimere la logica strutturale dell'architettura ebbe un importante seguito tra gli anni '50 e '70 del secolo scorso. L'architettura di Fuller e Kahn si sviluppò all'indomani del *New Deal*,⁵³ in un'era che si apriva agli entusiasmi tecnocratici: mentre il primo adottò una postura avanguardista, Kahn stabilì una monumentalità americana post bellica.

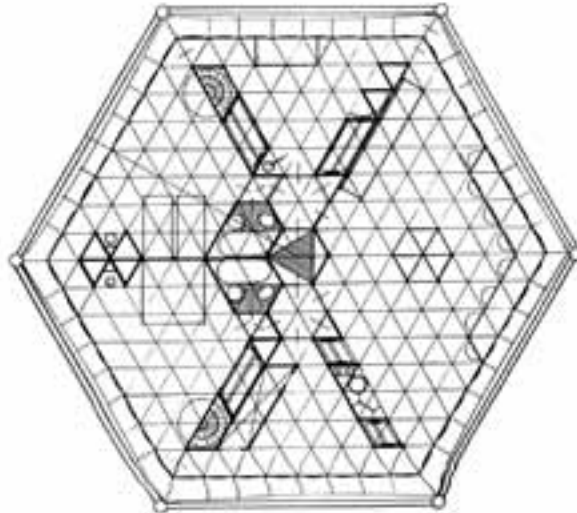
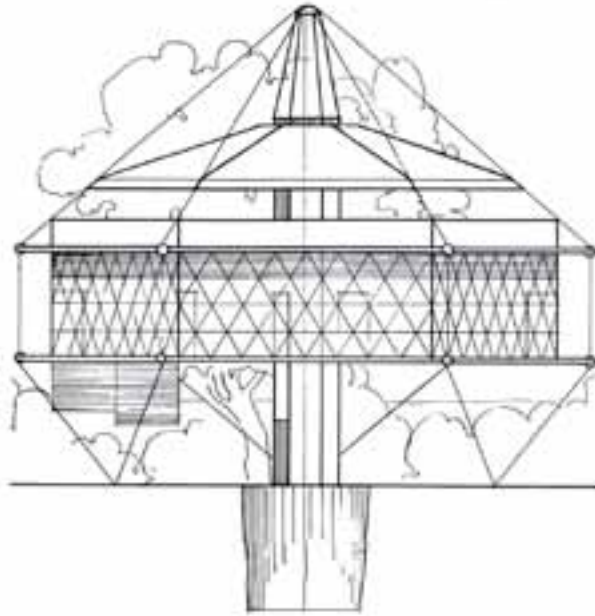
Nel 1950 Khan venne incaricato di progettare la *Yale Art Gallery*, terminata nel 1954, che si basava sulla sottile trasposizione dell'estetica miesiana.

[...] una specie di spazio post miesiano, un'architettura asimmetrica del 'quasi niente', che ormai non dipendeva dalla manifestazione della struttura come cornice, ma dalla manipolazione della superficie come agente definitivo per la rivelazione della luce, spazio, supporto.⁵⁴

Questa superficie del solaio, che segnava indifferentemente gli spazi della galleria, era definita da un pattern tetraedrico strutturale: si trattava di una soletta reticolare dalla tessellatura triangolare che permetteva di coprire vaste luci, liberando in tal modo la pianta dai pilastri. La struttura, che per Mies rappresentava ciò che vertebrava l'oggetto architettonico e che marca i vuoti dell'involucro esterno, in Khan prese forma di superficie continua interna, di pattern uniforme che si ripete nei diversi ambienti della galleria. Questo pattern strutturale si manifestava inoltre con una scala micro, di architettura d'interni, che, nella sua ripetizione tridimensionale, si differenziava in ciò che contiene, introducendo, lì dove occorre, l'illuminazione, assorbendo il suono, o integrando nella sua spazialità interna il sistema di ventilazione. Pertanto le superfici orizzontali sono geometricamente definite da un pattern che integra esplicitamente o implicitamente (ad esempio occultando i tubi delle installazioni) tutti gli elementi necessari alla definizione del solaio. Il pattern, in questo caso, è una tessitura che non subisce alcuna variazione rispetto le differenti aree della galleria, marcando invece una vibrazione costante e generando quasi una nuova condizione materica del calcestruzzo a vista che incorpora componenti non strutturali. Siamo quindi di fronte al primo caso nel quale il pattern integra contemporaneamente struttura, luce, installazioni ed ornamento.

Poco prima Fuller aveva già anticipato, con la *Dymaxion House* '27 o con il *Bagno Dymaxion* del 1938-40, quelle capsule prefabbricate che si ritroveranno in seguito negli Archigram. Ciò che risulta essere di particolare interesse è tuttavia il suo contributo alle strutture reticolari spaziali⁵⁵ e geodesiche.

Occorre ricordare come le strutture spaziali iniziarono ad essere sviluppate



15. Fuller, Dymaxion House, 1929

intorno al 1900 da A.G. Bell, nell'ambito della progettazione di telai rigidi applicati all'ingegneria navale ed aeronautica: gli esperimenti da lui condotti si basavano sulla composizione di strutture spaziali generate a partire da unità tetraedriche e ottaedriche. Sebbene questa scoperta risalisse agli inizi del secolo scorso, la sua applicazione nell'architettura avvenne solo nel 1943, con l'introduzione del sistema MERO, la prima struttura spaziale commercializzata (dall'ingegnere tedesco M. Mengerlinghausen), costituita da elementi metallici in connessione tra loro tramite nodi sferici. Nel 1950 Denings of Chard sviluppò il sistema *Space Deck*, ampiamente utilizzato nella costruzione dei solai, che consisteva nell'imbullonare tra loro elementi prefabbricati, modulari e piramidali.⁵⁶

Fuller coltivò lo stesso interesse di Bell per le strutture spaziali, applicandole tuttavia all'ambito architettonico: infatti, seguendo i suoi esperimenti sull'impacchettamento delle sfere, arrivò alla definizione del sistema che egli definì *octet truss*⁵⁷ e che brevettò tra il 1940 ed il 1943.⁵⁸ Alla domanda se fosse a conoscenza degli studi di Bell sull'*octet truss*, Fuller rispose:

No, non lo ero. Fui stupefatto quando ne venni a conoscenza dopo. È il modo con cui la natura si comporta, quindi entrambi abbiamo scoperto la natura. Non è qualcosa che si inventa. Si scopre [...]. Non venni a sapere di Bell fino a dopo la cupola geodesica, e la cupola geodesica viene un bel po' dopo quello che io chiamo la matematica sinergetica -- il modo in cui le sfere di raggio unitario si impacchettano in maniera compatta. Basta prendere due sfere che si toccano l'una con l'altra, è tutto. Se ne inserisce una terza fra le due e si ottiene un triangolo. Poi se ne inserisce un'altra sopra e si ottiene un tetraedro. Ora, se si prendono due serie triangolari di tre sfere di raggio unitario e se ne inserisce una sull'altra, si otterrà un'unità ottaedrica. Alla fine, se si formano due strati di sfere in un impacchettamento quanto più compatto possibile, le sfere diventano i vertici della capriata ottaedrica-tetraedrica. L'unione di molti strati di sfere di raggio unitario, impacchettate nella maniera più compatta possibile, appoggiate l'uno sull'altro, produce i vertici di ciò che è noto in fisica come la "matrice vettoriale isotropica". Ho scoperto che è il modo con cui gli atomi sono impacchettati. Così sembra essere fondamentale per la natura. Assolutamente fondamentale per la natura.⁵⁹

Fuller si riferisce alla natura poiché l'*octet truss* deriva dalla configurazione che gli atomi del gas assumono quando si "impacchettano" insieme.

La *Ford Rotunda Building* (1953) utilizzava proprio questo pattern geometrico, costituendo una vera e propria rivoluzione strutturale, se si considera che una cupola di 28.4 m di diametro pesava solo 8.15 tonnellate, invece delle 145 tonnellate che avrebbe pesato una struttura tradizionale delle stesse dimensioni; era inoltre molto più economica e resistente.⁶⁰

Dopo le fallite esperienze del *Black Mountain College* (1947) e del giardino del Pentagono (1949), la Ford Motor Co., per coprire la corte della Rotunda vicino il fiume Rouge a Dearborn (Michigan), si avvale dell'ultima innova-

zione di Fuller, la “cupola geodesica”. I materiali: lega di alluminio, nastro *scotch* e plastica traslucida. I tempi di costruzione: 42 giorni. L’unità base costruttiva era costituita dal montante di alluminio di 1 m di lunghezza, marcato da tre pezzi di *scotch* colorato in maniera che l’operaio riconoscesse gli elementi corrispondenti secondo il colore. I montanti venivano poi rivettati per formare i triangoli, con cui si costruivano sei tetraedri e tre ottaedri che insieme formavano una capriata triangolare trasportabile da un solo uomo. Gli elementi venivano quindi fissati tra loro senza ulteriori nodi. I piccoli moduli triangolari generavano dei moduli triangolari sferici più grandi che venivano fissati ad un supporto centrale e poi innalzati con pistoni idraulici. Una volta fissata sulla struttura muraria esistente, la cupola doveva essere rivestita con materiale plastico traslucido. Purtroppo l’intero edificio fu distrutto durante un incendio provocato dagli addetti alla manutenzione.

Nel 1954 Fuller registrò il brevetto; nel 1958 costruì la cupola per la *Union Tank Car Company* a Baton Rouge, che, con un diametro di 118 metri, costituiva l’esempio più grande della storia dell’architettura progettata. Anche in questo caso si operò per ripetizione di moduli tridimensionali prefabbricati ed unificati, che strutturalmente provoca una ripartizione degli sforzi sulle aste in modo da ottimizzare il comportamento di tutta la cupola. I moduli, in questo caso, erano diversi rispetto a quelli della Rotunda: infatti, sebbene la concezione geometrica fosse la stessa (derivante dal tronco-icosaedro),⁶¹ la sua generazione era totalmente distinta. Una cupola fatta di esagoni e pentagoni ha la proprietà di aumentare o ridurre il proprio diametro in funzione del numero di pentagoni: aumentando il numero di esagoni e riducendo quello dei pentagoni, è possibile accrescere il diametro della cupola. Le enormi dimensioni rendevano necessario aumentare la rigidità ai carichi asimmetrici, come il vento: per questa ragione il modulo generativo era costituito da un doppio ordine, in modo da formare due reticoli che ne aumentassero notevolmente la stabilità. L’elemento base della costruzione era pertanto un elemento con un traliccio a Y esterno ed un esagono tridimensionale interno, con le facce di lamiera piegate per aumentarne la rigidità.⁶²

I due reticoli essendo collegati e irrigiditi da aste oblique e verticali, formano un sistema si può considerare come una trave spaziale (forgiata ad arco, con lo spessore di m 1,20) nella quale il reticolo interno (formato dalle lamiere d’acciaio curvate e saldate) lavora come elemento teso; quello esterno (formato dagli esagoni tubolari) lavora come elemento compresso.⁶³

Siamo di fronte ad un pattern tridimensionale che definisce l’aspetto costruttivo, quello strutturale, il rivestimento e l’ornamento dell’architettura. Non c’è un solo elemento del pattern che sia superfluo e che allo stesso tempo non abbia una carica estetica predominante.

Il riconoscimento universale del lavoro innovativo di Fuller arrivò con il *Padiglione degli USA* nella *Expo 67* di Montreal che ebbe come conseguenza la proliferazione di cupole geodetiche in tutto il mondo. In questa occasione egli tornò alla reticola strutturale per progettare, in collaborazione con Shoji Sadao, Geometrics Inc., Simpson, Gumpertz e Henger Inc., una cupola di tre-quarti di sfera della dimensione di 76 m di diametro. L'involucro era costituito da un doppio strato reticolare con una griglia triangolare esterna ed una esagonale interna; le parti esagonali erano completate con delle cellule in materiale acrilico che presentavano un sistema di regolazione della luce interattivo alle condizioni climatiche interne.



16. Fuller, Padiglione USA Expo 67, Montreal

Gli esempi di Fuller che abbiamo illustrato rappresentano una piccolissima parte della sua opera ma sono significativi di una metodologia progettuale che agisce secondo variazioni sul tema. Si è visto infatti come lo stesso elemento, la cupola, abbia trovato soluzioni distinte nell'attacco a terra, nelle soluzioni costruttive, nella definizione geometrica strutturale del suo pattern.

Il pattern, per Fuller, integra tutti gli elementi funzionali che definiscono l'involucro architettonico (struttura, costruzione, clima, espressività) senza differenziazione alcuna: c'è ripetizione senza variazione.

Un uso idealista della geodesica consiste in due cose: una geometria globale ideale nella forma di emisfero, e l'auto-somiglianza di tutti i moduli. Il risultato: esclusione estrema ed omogeneità - persino una porta è difficile da aggiustare a questa prospettiva.⁶⁴

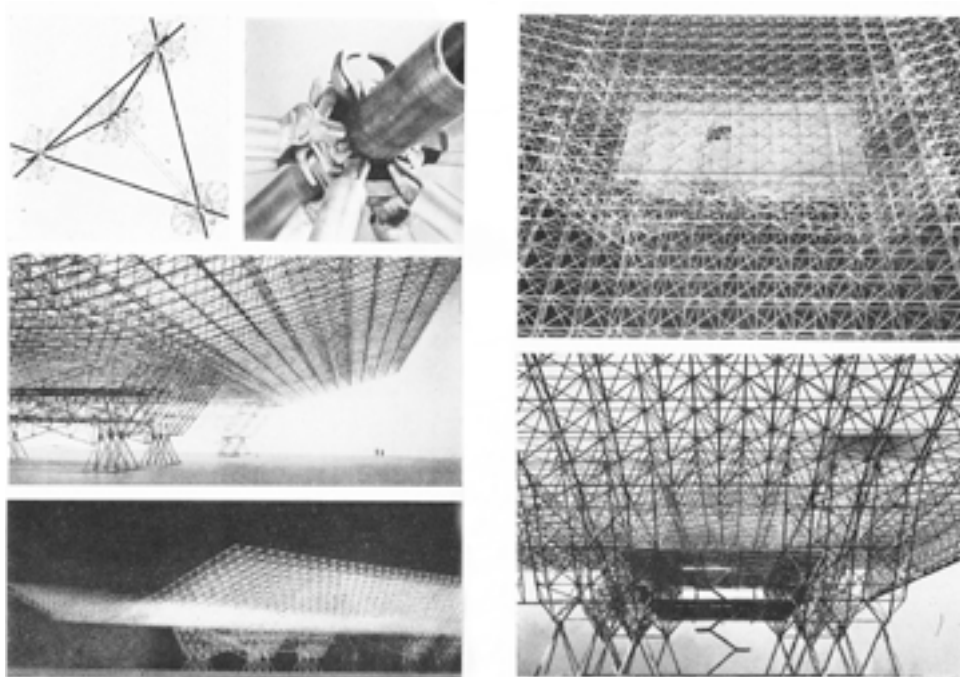
È quindi un pattern uniforme, geometricamente costante e ripetitivo, ma che si confronta con la complessità tridimensionale e costruttiva. È il pattern della leggerezza e della tecnologia, che inverte la geometria complessa per tornare alla forma archetipica. Un tessuto impalpabile, quasi effimero, ma con caratteristiche tecnologiche innovatrici che impongono l'estetica dell'auto-similarità. I moduli costruttivi reiterano infatti gli elementi triangolari che si ritrovano a differenti scale, esacerbando la manifestazione strutturale di Mies. La struttura viene ostentata, costituendo l'involucro dell'architettura, un'architettura manifesta della tecnica. Dall'altra parte siamo di fronte ad un pattern che si impone rigidamente sull'architettura, sia nella scala generale (imponendosi sempre con lo stesso oggetto architettonico, la cupola) che nel tessuto strutturale che non ammette nessuna variazione né inclusione. Al contrario le strutture geodesiche, che si potevano già osservare nelle loro applicazioni aeronautiche, hanno la capacità di variare ed adattarsi in diversi modi, densificandosi o cambiando la dimensione degli elementi e la loro distanza.⁶⁵

La *Mobiliar*, struttura simile a quella tetraedrica fulleriana, fu sviluppata da K. Wachsmann nella metà degli anni '40 del secolo scorso, in seguito all'incarico della Atlas Aircraft Corporation per la progettazione di una tettoia per il ricovero degli aerei. Si trattava di un graticcio formato da due famiglie di travi tubolari ortogonali; il nodo di congiunzione era studiato in modo tale che:

[...] mentre nelle costruzioni convenzionali in certi punti viene ad accumularsi molto materiale a causa delle piastre nodali, questa congiunzione rimane libera e aperta. I tubi stessi non vengono a contatto, ma rimangono ad appropriata distanza dal centro del nodo, la cui funzione di mediazione e contemporaneamente di divisione non è tuttavia compromessa. È quindi possibile ogni combinazione di giunzioni, naturalmente solo nell'ambito bidimensionale.⁶⁶

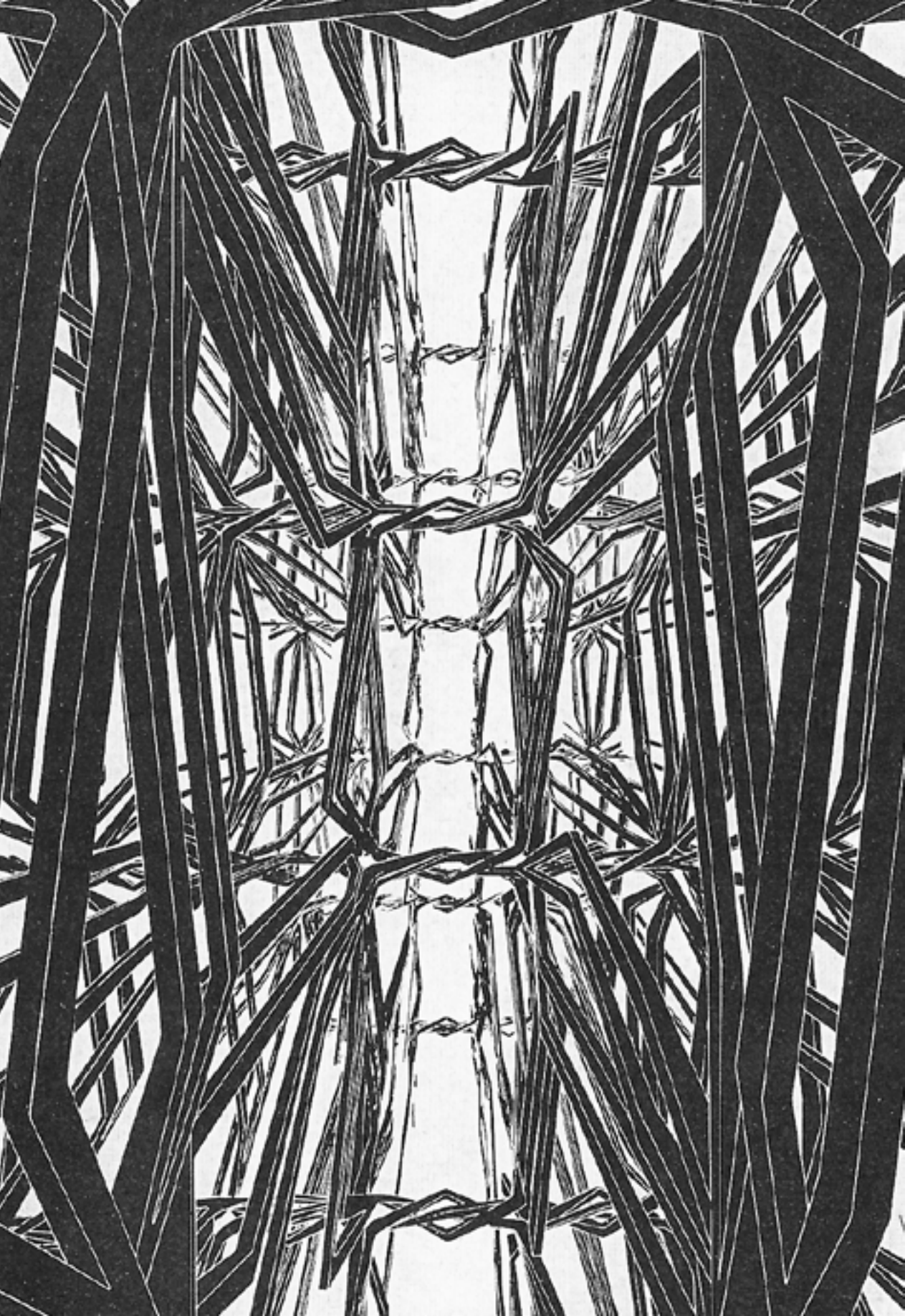
I due mondi strutturali entrarono in contatto negli anni '50 del secolo scorso a Chicago, quando Fuller e Wachsmann si conobbero.⁶⁷

Wachsmann nel 1959⁶⁸ venne incaricato di progettare, per le forze aeree Americane, un *hangar* di notevoli dimensioni: si richiedeva una grande flessibilità geometrica e tipologica ma soprattutto costruttiva, visto che le parti sarebbero dovute essere smontabili e riutilizzabili in altre situazioni. Wachsmann elaborò quindi una struttura spaziale tridimensionale fondata sull'invenzione di un nodo-connettore universale in grado di connettere venti elementi tubolari; furono utilizzati tubi con un diametro maggiore per le barre inferiori e superiori della stereo-struttura e tubi di minore sezione per le diagonali.



17. Konrad Wachsmann, Hangar per le forze aeree Americane, 1959

18. (p. a fianco) Konrad Wachsmann, illustrazione
prospettiva di una struttura di cinque piani formata con un elemento di costruzione standard.



È difficile resistere al fascino di un progetto le cui immagini ci manifestano una dimensione architettonica nuova, smaterializzata. Le visuali si moltiplicano continuamente in un sovrapporsi di piani immateriali che definiscono un'architettura marcata da una sezione trasversale ad X. Il pattern assume la valenza strutturale della micro-scala, costituendo un tessuto continuo che si adatta alle differenti situazioni. Ogni elemento progettuale entra dentro una coerenza straordinaria sia nella piccola scala che nella grande scala, fino alla definizione degli appoggi a terra. Siamo di fronte ad un'architettura 'infinita', la cui sezione potrebbe reiterarsi nello spazio *ad infinitum*, ma con l'utilizzo di elementi finiti e standardizzati. In quest'ultima frase si condensano almeno due anticipazioni che si ritroveranno nell'architettura successiva: la prefabbricazione e la megastruttura; si anticipano anche le mega-dimensioni che succederanno qualche decennio dopo.

P. Cook sottolinea che:

In un certo senso Konrad Wachsmann fu persino più importante per [Archigram] che Bucky. Perché Wachsmann era un formalista: e la pura qualità estetica dei suoi progetti per intrecciare giunture ci dice quali sono le sue preferenze. Allo stesso modo c'è un'ostinazione nelle sue gigantesche capriate [...].⁶⁹

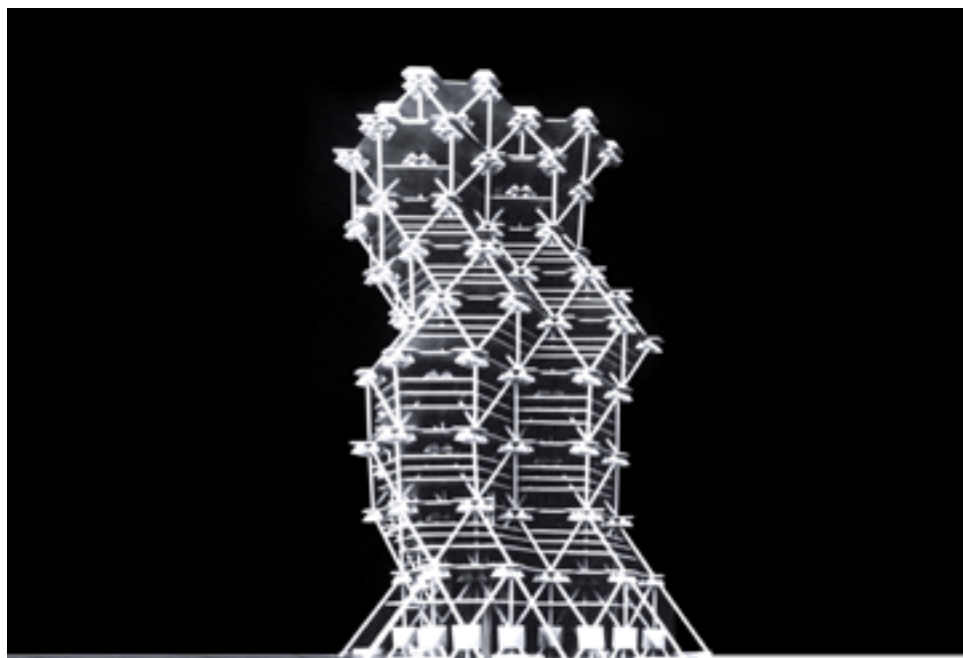
Probabilmente nell'architettura di Wachsmann, Cook ritrovò una flessibilità maggiore che trascende la cupola e si presta da supporto alle sperimentazioni degli Archigram.

Dopo la sua apparizione nei solai dell'*Art Gallery* dell'Università di Yale, il pattern triangolare, stavolta stereo-strutturale, ritornò nell'architettura di Kahn con il progetto della *City Tower* di Philadelphia, sviluppato tra il 1952 ed il 1957. Il modello, che risentiva del contributo fortemente geometrico dovuto alle ricerche teoriche della sua collaboratrice A. Tyng, rappresentava una struttura in calcestruzzo prefabbricato e precompresso che cresce a zig-zag, secondo una modulazione di 2-3-2-2, attraversata da pochi nuclei verticali. Sebbene la *City Tower* abbia risentito, nella sua concezione strutturale, dell'ottimismo tecnologico fullariano riguardante la generazione di una struttura tridimensionale di stampo tetraedrico, la natura architettonica dell'edificio è tuttavia più vicina a Wachsmann. Infatti, nonostante sia gli elementi lineari che i nodi, sovradimensionati, avessero acquisito importanza materica a scapito dell'impalpabilità, si suggeriva uno schema di edificio che avrebbe potuto continuare a crescere. Manca ogni forma di terminazione, di strombatura; la torre potrebbe continuare oltre i 180 metri previsti, così come l'*Hangar* di Wachsmann potrebbe continuare a crescere longitudinalmente. È come se il pattern strutturale abbia definito delle regole di crescita autoreferenziali.⁷⁰

Si potrebbe quindi affermare che per la *City Tower* il pattern è struttura, impianti, coerenza formale, rivestimento in dialogo con l'ambiente, organizzazione funzionale e crescita. Il progetto sembra rispettare una coerenza geometrica che relaziona tutti gli elementi spaziali che lo definiscono: il pattern strutturale tetraedrico gestisce il rivestimento in facciata marcato da un sistema di rombi e, allo stesso tempo, si innesta nella tassellazione esagonale che articola la pianta. Tutti i condotti e gli impianti scorrono all'interno della struttura; i nodi ospitano, invece, gli spazi di servizio, quali magazzini, bagni, manutenzione.

Il modernismo richiedeva la separazione della struttura di una torre dal suo involucro - entrambi gli elementi dovevano essere puri nella loro funzione. Invece Kahn concepì l'involucro dell'edificio come un elemento intermedio tra interno ed esterno - l'inizio della reazione strutturale contro le forze dei venti e di gravità.⁷¹

La *City Tower* è quindi il risultato di una struttura tridimensionale: il progetto prevedeva anche un'intelaiatura di alluminio che doveva rivestire l'intero edificio, permettendo l'integrazione di pannelli di vetro, sistemi di protezione solare e di ventilazione. Si aggiungeva quindi una complessa pelle che interagiva sia con la struttura che con l'ambiente esterno.



19. L. I. Kahn e Anne Tyng, *City tower*, Philadelphia, USA, 1952-1957
modello della versione finale del progetto. Grattacielo geodesico stabilizzato da solai di cemento armato.

2.3 LE RICOLAIS, NERVI, MUSMECI, OTTO

E da un punto di vista ingegneristico, Le Ricolais e Nervi esplorarono la possibilità di deformare topologicamente i pattern col fine di adattare i diversi comportamenti delle strutture.⁷²

Ciò che riunisce i nomi che compaiono nel titolo di questo capitolo è una ricerca formale fondata su processi di articolazione materica efficienti dal punto di vista statico. Così come abbiamo visto nel caso di Fuller e di Wachsmann, la ricerca strutturale fondata sulla determinazione di pattern performativi causò la nascita di una nuova estetica. Allo stesso modo gli esempi seguenti permetteranno di dimostrare come l'interazione tra la forma ed il suo comportamento fisico si sia materializzata con pattern geometrici dalle potenti conseguenze estetiche: sono casi nei quali i livelli tecnico ed artistico si corrispondono, causando la deformazione tipologica del pattern. La regolarità che aveva caratterizzato l'opera di Fuller e Wachsmann adesso soffre punti di alterazione, momenti nei quali la ripetizione deve modificare le sue regole intrinseche per adattarsi ai diversi comportamenti della struttura. Alla perfezione della forma geometrica e alla ricerca del modulo perfetto e ripetibile si oppone il concetto di deformazione topologica: la struttura supera la rigidità di una morfologia concepita aprioristicamente, ma esprime le linee di forza che la percorrono.

Nel caso di **Le Ricolais**⁷³ questa ricerca deriva dallo studio della natura, che permetteva di stabilire relazioni tra strutture artificiali e naturali. Lo studio di quest'ultime non condusse mai a conclusioni formalmente mimetiche ma alla comprensione di processi e principi secondo cui la forma costruita *"deve obbedire però non imitare la natura"*. Probabilmente per questa ragione il suo lavoro fu costantemente influenzato dal matematico H. Poincaré, dal biologo e naturalista H. Haeckel e dal biologo-matematico D'Arcy Thompson. Secondo Le Ricolais la forma è un concetto fluido che implica movimento, pura matematica; allo stesso tempo egli prese le distanze da un approccio sistematico, ammettendo le ipotesi scientifiche come il punto di partenza dell'immaginazione.

Una tendenza nuova, probabilmente di origine astratta o matematica, vuole farci considerare la forma come pura geometria di occupazione dello spazio, sostituendo così le impressioni sensoriali imprecise, per una nozione più valida di organizzazione o di disposizione, in certi casi particolari di misura.⁷⁴

Lo studio dei cristalli, dei radiolari, delle bolle di sapone, delle ossa, lo portò a scoprire i modelli di organizzazione materiale che governano la natura. Ancora più importante dell'elemento in sé è, infatti, la disposizione degli elementi nello spazio: la cristallografia è piena di esempi che dimostrano queste riflessioni, quali le celle elementari che adattano la loro disposizione in condizioni limite.

Il suo approccio topologico lo portò ad uno dei suoi paradossi più celebri, secondo il quale gli spazi risultanti tra gli elementi strutturali sono importanti quanto la stessa struttura:⁷⁵ l'arte della struttura è anche l'arte di collocare i buchi. Gli organismi che secondo Le Ricolais risultavano essere ben rispondenti a questo concetto sono detti radiolari, costituiti da un'intelaiatura triangolare in cui la disposizione topologica dei fori genera una sintesi straordinaria tra struttura ed organizzazione spaziale.

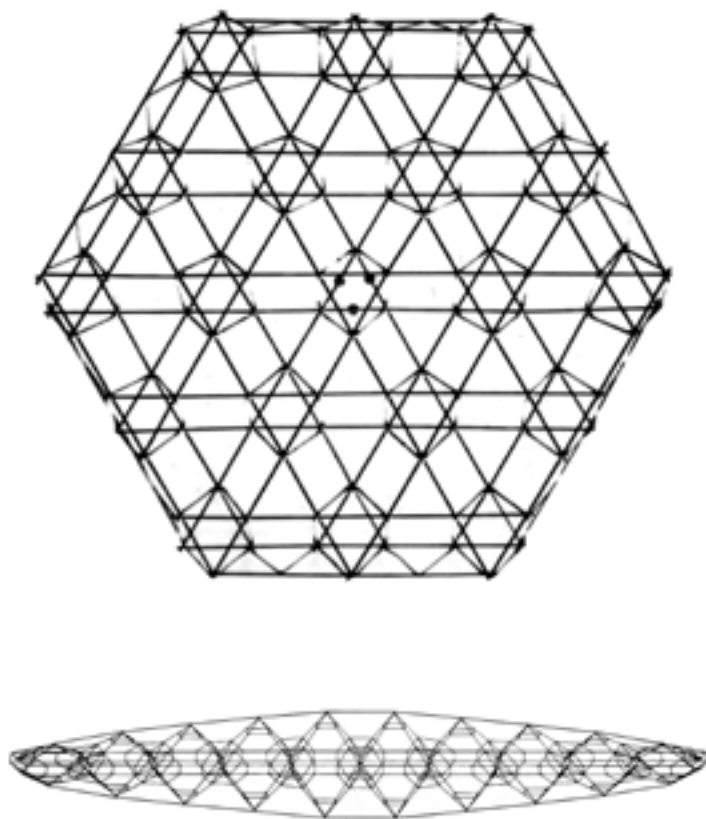
Il suo processo di ricerca aveva sempre lo stesso percorso: studiato un elemento naturale si determinava un pattern geometrico derivante da un'azione meccanica; una volta stabilita la relazione tra la meccanica e la geometria, Le Ricolais proponeva diverse configurazioni strutturali derivanti dai principi prima scoperti.⁷⁶

Ancora più straordinario appariva il mistero dello scheletro umano, così leggero ma assolutamente resistente, in grado di sostenere più di venti volte il suo peso. L'analisi di una microfotografia del tessuto osseo permetteva di capire il segreto della sua complessità formale interna: il pattern che costituisce la spugnosità del tessuto è costituito da buchi di diversa forma e dimensione. Si tratta quindi di un pattern, di un'organizzazione materiale che varia rispetto ai carichi, concentrando più o meno materia per produrre leggerezza o densità là dove occorre. Ancora una volta la struttura si basa sull'arte di disporre i buchi, un'arte topologica nella quale ciò che cambia è la disposizione e la dimensione dei buchi.

Questi studi portarono Le Ricolais a lavorare sui sistemi triangolari tridimensionali, su strutture che prevedevano la separazione tra elementi a compressione ed elementi a trazione e su strutture geodesiche.

L'attrazione delle fibre verso i pattern lo portò anche a studiare materiali intrecciati come il vimini o i tessuti, forme che stabiliscono "connessioni tra la prima e la seconda dimensione". Questi studi determinarono a loro volta l'ideazione del *FPR*, *Funicular Polygon of Revolution*, nel quale un tessuto di cavi sottoposti a tensione generava superfici minime modellate attorno a diaframmi circolari compressi, lungo un elemento compresso assialmente. Anche in questo caso l'arte della struttura consiste nel dove e come collocare i buchi, e risiede quindi nella generazione di un pattern che genera elementi leggeri e resistenti. L'interesse verso l'intreccio di materiali ad una dimensione lo portò anche allo studio della tecnologia delle corde, da lui definite "le migliori strutture": l'ossessione di entrare dentro una corda, ovvero aumentare la scala della corda per renderla vuota ed abitabile, diede origine ad una serie di prototipi basati sull'intreccio di cavi tesati lungo anelli concentrici.

Potremmo sintetizzare la ricerca di Le Ricolais come una ricerca di pattern sempre più performativi. Anche in ambito urbanistico il tema della circolazione venne affrontato senza pregiudizi, attraverso l'ideazione della rete *Trihex*: si tratta di un pattern teorico semi-irregolare di esagoni regolari e triangoli che, comparato ad una rete stradale ortogonale, permette la riduzione del 18% delle intersezioni, una riduzione della lunghezza delle strade del 13,5% e del percorso medio del 12%. La trasversalità del pattern *Trihex* dimostrò la sua efficienza anche in ambito strutturale, dando luogo a cupole e telai per torri di trasmissione elettrica.



20. Robert Le Ricolais, Strutture leggere con elementi pesanti

in alto: Ottagrid, struttura che sperimenta sistemi quasi senza giunti. Si riduce l'unione ad un semplice anello posto ad ogni vertice degli elementi di connessione, 1970-1971;

in basso: modello di un ponte trihex a doppia parabola, 1967-1968

L'ondulazione, la ripetizione della forma periodica, è un altro pattern che Le Ricolais prese in prestito dalla natura per tradurlo in nuovi modelli d'efficienza statica. Le superfici ondulate sono più rigide di quelle lisce poiché l'ondulazione incrementa il momento d'inerzia: queste conclusioni lo portarono a concepire i sistemi *isoflex*, ottenuti tramite sovrapposizione di pannelli di metallo ondulato incrociati a 90°. Lo stesso sistema venne utilizzato per la costruzione di una tipologia di tubi molto rigidi per la Marina francese, che, rispetto a quelli tradizionali, sono più leggeri e riducono le vibrazioni. Le Ricolais ritornò al pattern ondulato quando cominciò a ricercare la forma ottimale per un elemento a compressione assiale e peso minimo. In questo caso l'ondulazione deriva dal comportamento di adattabilità del sistema alle forze imposte: infatti, analizzando il modello di rottura,⁷⁷ apparivano curvature convesse nel fascio interno di tubi e concave in quello esterno. Dato che queste deformazioni permettevano alla maggior parte della sezione di lavorare a compressione, se ne ricava come il sistema materiale, prima del limite di rottura, si adattasse alla sua configurazione statica migliore. Da questa deriva la configurazione finale del pilastro, che già prevede l'andamento sinusoidale dei tubi longitudinali.

Anche le bolle di sapone costituirono un campo di ricerca finalizzato alla definizione delle superfici minime.

Qualsiasi intorno racchiuso da cavi e immerso in una soluzione di sapone e glicerina genera una pellicola di superficie minima o spazio minimo.⁷⁸

Uno dei risultati derivanti da questi studi fu il *Monkey saddle*, una superficie a doppia curvatura e con proiezione esagonale.

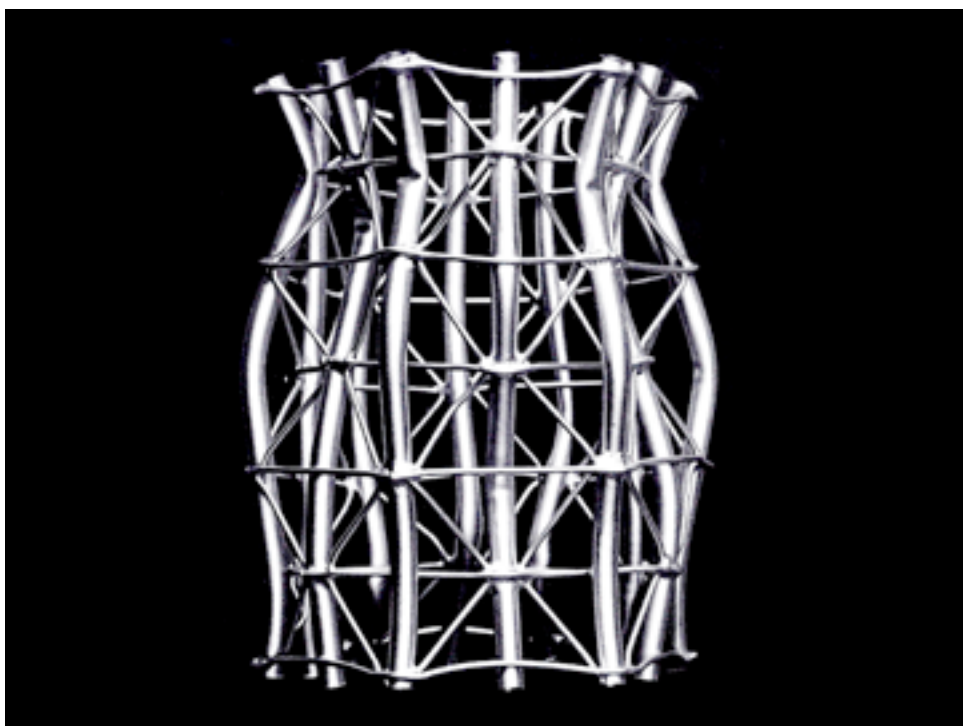
A volte la sperimentazione nasceva dallo studio di sistemi strutturali consolidati, come le travature *Queen Post*, dove egli utilizzò barre di metallo per la parte superiore compressa e cavi d'acciaio per gli elementi tesi, in modo da ridurne notevolmente il peso. Ma la cosa più interessante è il modo in cui egli interpretò il *Queen Post*, come un elemento generativo auto simile: infatti, attraverso un processo ricorsivo di auto-morfismo, si sostituiva ogni elemento risultante dalla suddivisione del *Queen Post* con un *Queen Post*, ottenendo in tal modo una suddivisione quasi frattale.

La sperimentazione fece parte dell'opera di Nervi sia come progettista che come costruttore:⁷⁹ la sua ricerca mise insieme funzione, struttura ed estetica, producendo invenzioni statiche che si basavano non solo su un pensiero progettuale ma anche costruttivo, su una vera e propria etica della costruzione. L'impresa Nervi-Bartoli fu il laboratorio dove l'architetto formò professionisti con i quali discutere e pensare le soluzioni di progetto.

L'attività di Nervi comprende un arco cronologico che va dalla fine degli anni '20 (progettazione dello stadio di Firenze) sino agli inizi degli anni '70 del secolo scorso (epoca a cui risalgono i progetti in America): in tutto questo periodo egli introdusse innovazioni strutturali di immensa portata, mettendosi alla prova con diversi sistemi costruttivi, metodi di prefabbricazione e pattern strutturali, sempre nel rispetto di una logica economica propria di un costruttore.

La resistenza per forma è *“conseguenza di curvature o di corrugamenti dati ad una superficie il cui spessore resta sempre molto piccolo rispetto alle dimensioni del complesso”*.⁸⁰ come diceva lo stesso Nervi, foglie, insetti, conchiglie, vasi, sono tutti esempi di resistenza per forma, casi di superfici che per la loro configurazione geometrica aumentano le proprie caratteristiche meccaniche. Questo è riproducibile alla scala dell'architettura grazie all'uso del calcestruzzo.

I pattern strutturali che emergono nella ricerca di Nervi riguardano principalmente la generazione di superfici piane o curve (costituite da reticolati di nervature) e le superfici pieghettate.



21. Robert Le Ricolais, Tubo automorfico, 1961-1962

Già nell'*Hangar* di Orvieto (1935), Nervi realizzò un solaio cassettonato con una configurazione di volta a botte: si tratta di un pattern continuo quadrato che, ruotato di 45° rispetto alla direzione rettangolare dell'*hangar*, produceva un sistema di nervature portanti che integravano forma e struttura in un unico elemento. Lo stesso sistema cassettonato venne riutilizzato nell'*Industria del Tabacco* a Bologna (1952), dove, all'interno di una distribuzione di pilastri e travi secondo una griglia quadrata, si innestò una tessellazione di moduli 6x3. In questo caso, nonostante il solaio fosse orizzontale, il pattern non era un reticolo di quadrati uniformi, ma i quadrati sul perimetro di ogni unità presentavano un arrotondamento dei vertici. Già si anticipavano le deformazioni del pattern secondo le linee isostatiche elaborate nel *Lanificio Gatti* di Roma (1953), dove si ripeteva, su una maglia quadrata, un'unità strutturale costituita da nervature che si dipartivano a raggiera dal pilastro, generando un solaio che inverava le tensioni statiche materializzandole in una piastra nervata. Questo schema venne ripetuto nel *Palazzo del Lavoro* di Torino (1961): in questo caso i piloni assunsero una mega-dimensione senza provocare nessuna deformazione nelle nervature a raggiera se non la riduzione della sezione. Il complesso risultava così scandito da 16 elementi quadrati indipendenti (di 40 m per lato) ad ombrello che lasciavano spazio per lucernari lineari continui.

Se nel *Lanificio* la ripetizione del modulo costituiva una tessellazione che generava un tessuto strutturale continuo, nel *Palazzo del Lavoro* la ripetizione del modulo produceva discontinuità, permettendo così l'introduzione dei lucernari: in questo caso quindi l'unità è riconoscibile come elemento isolato strutturalmente ed è evidenziato come tale dalla luce.

La luce e la struttura si integrarono tuttavia indissolubilmente nei pattern ottenuti dai sistemi ondulati ad elementi prefabbricati, capaci di coprire vaste coperture voltate: si tratta di una delle invenzioni di Nervi più interessanti, brevettata nel 1949. Essa consisteva nell'uso di unità prefabbricate allungate e sottili con una sezione trasversale a V, caratterizzata da aperture sui lati per permettere il passaggio di luce o di installazioni. Queste "barre" sagomate venivano collegate nella direzione longitudinale da armature e getti in opera e nell'altra direzione erano fissate da diaframmi ad onda, ossia elementi prefabbricati che irrigidivano la struttura nell'altra direzione: la successione di tali minuscole nervature generava la sensazione di un tessuto attraversato dalla luce. Questo sistema, nelle sue diverse declinazioni, determinò diversi progetti, quali il *Palazzo delle Esposizioni* a Torino, il *Palazzo dello Sport* a Roma, la *Sala Agnelli* o le *Aule delle Udienze Pontificie*.

La tecnologia rivestì sempre un ruolo fondamentale nella ricerca di Nervi.

L'aver unito prefabbricazione al ferro cemento, due cose già esistenti ma mai usate insieme, gli permise di generare superfici complesse molto sottili, leggere e resistenti per forma. Il ferro cemento, inoltre, si dimostrava un materiale più economico poiché non necessitava l'uso delle onerose casseforme, che in questo caso venivano sostituite da maglie metalliche sottilissime sulle quali veniva gettata una malta cementizia di cemento e sabbia, premuta su una faccia della superficie fino a farla affiorare sull'altra faccia. La finissima rete metallica veniva così incapsulata, costituendo un tutt'uno.

Nel Salone B di Torino Esposizioni (1947-48), una volta a botte di oltre 90 metri di luce viene realizzata saldando in sito piccoli "conci d'onda" in ferro cemento dello spessore di tre centimetri, prefabbricati a piè d'opera; i solai nervati, quelli a trama ortogonale della Manifattura Tabacchi di Bologna (1951-53) o quelli a nervature isostatiche del Lanificio Gatti a Roma (1951-1953), sono realizzati con casseri a perdere in ferro cemento eseguiti a terra a partire da forme di mattoni; le cupole dei Palasport costruiti per le Olimpiadi romane (1956-1957; 1958-1960), la cui forma sembra impressa da un colossale stampo, in realtà sono anch'esse ottenute saldando in opera casseri a perdere prefabbricati; nell'Aula delle Udienze Pontificie nella Città del Vaticano (1963-1971), infine, le superfici delle strutture ondulate longitudinali, che convergono, infittendosi, verso il trono papale, sono composte da piccole semionde confezionate precedentemente con un prezioso impasto di cemento bianco e graniglia di marmo di Carrara.⁸¹

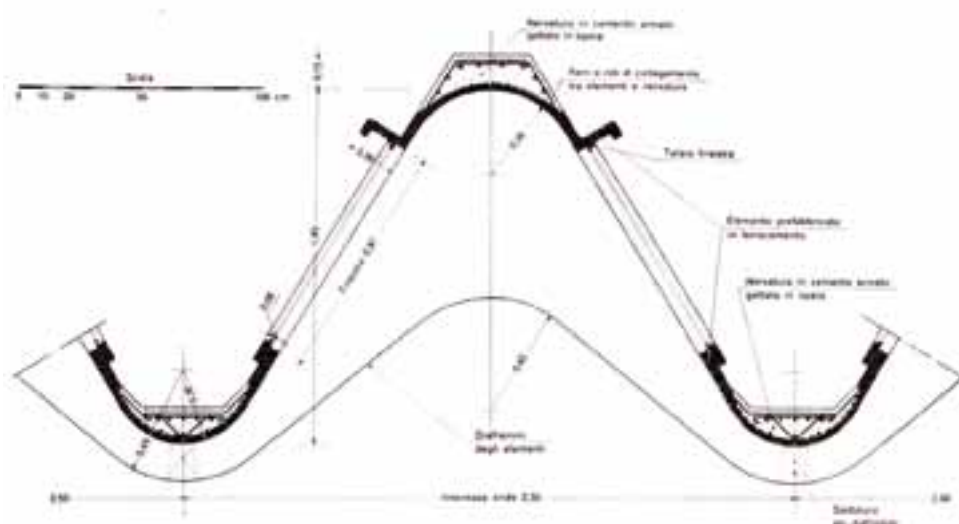


22. Pier Luigi Nervi, lanificio Gatti, Roma, 1953
il pattern del solaio segue le linee isostatiche.

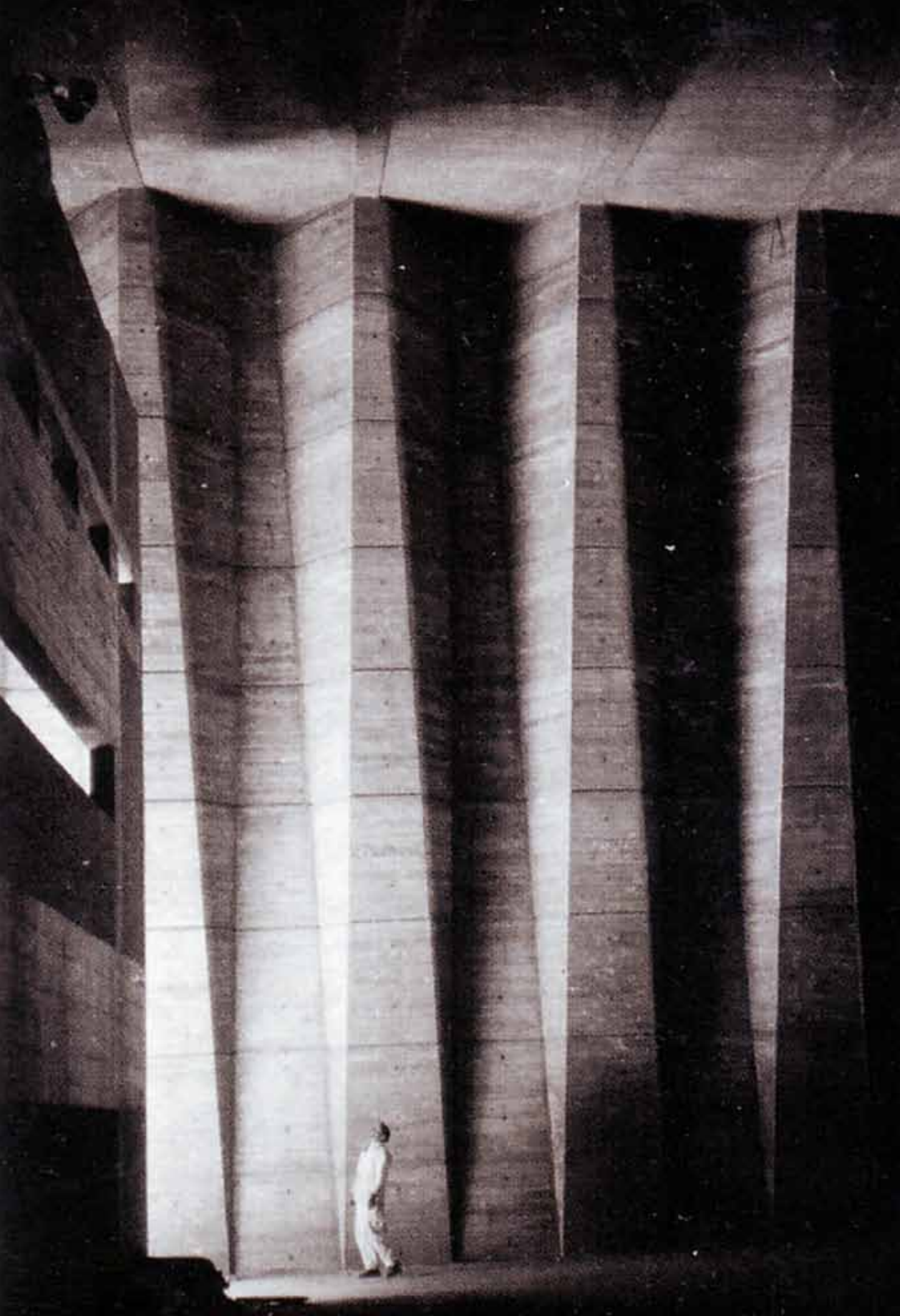
Queste superfici ondulate derivarono dalla costante ricerca di strutture resistenti per forma: si tratta delle stesse ondulazioni delle conchiglie, dove si ripete un sistema primario “voltato” ed uno secondario micro-ondulato. In tal modo, come nel caso delle superfici ondulate strutturali, si determina una combinazione quasi-autosimilare tra un pattern a grande scala, che genera la forma resistente generale, ed un pattern a piccola scala (costituito da piccole nervature-onda).

Per quanto riguarda le pieghettature, egli lavorò con strutture resistenti per forma attraverso la piegatura che, come avviene negli origami, permette di aumentarne le caratteristiche meccaniche, mantenendo inalterata la leggerezza della struttura.

Dalla collaborazione tra Breuer, Nervi e Zehrfuss nacque il controverso progetto della *Sede dell'Unesco* a Parigi (1952-58),⁸² dove la struttura divenne vera e propria espressività scultorea. Gli elementi di stampo Nerviano sono: “[...] i pilotis a V su cui poggia il monolite del Segretariato, travi che si intersecano in diagonale per creare l'imponente soffitto scultoreo della Sala Plenaria, il solaio a nervature isostatiche per la pensilina d'ingresso su place de Fontenoy e infine la variante del paraboloide iperbolico del monumentale accesso coperto [...]”⁸³ L'apporto principale di Nervi riguardò la sala delle Conferenze, in cui le superfici delle pareti e del tetto vennero pieghettate sotto un'unica campata, facendo vibrare contemporaneamente interno ed esterno senza l'uso di sostegni



23. Pier Luigi Nervi, Palazzo delle esposizioni, Torino, 1947-1948
disegno esecutivo del concio d'onda.



interni. In questo progetto architettura ed ingegneria risultano quindi assolutamente integrate fra loro, con la creazione di un unico sistema corrugato in calcestruzzo armato che avvolgeva due spazi separati da un salone.

Questa struttura venne ripetuta nel progetto dell'*Abbazia di Saint John* (Collegeville, Minnesota, 1953-61), progetto incaricato a Breuer che vide anche la collaborazione di Nervi. Anche in questo caso si elaborò una proposta trapezoidale con una struttura *folded plate* in calcestruzzo armato: pareti e tetto costituirono nuovamente un'unica superficie pieghettata, integrante la struttura, il rivestimento ed il programma, permettendo in tal modo il superamento dell'idiosincrasia fuori-dentro. Tutto il sistema può essere inteso come una ripetizione orizzontale di campate, costituite da membrane pieghettate a V che cambiano dimensione progressivamente, dall'entrata all'altare.⁸⁴

Sergio Musmeci, brillante strutturista probabilmente non celebrato come meriterebbe, considerava l'opera del suo maestro Nervi di derivazione ottocentesca, "perché il dato scientifico veniva introdotto a posteriori nel processo progettuale e non come fondamento iniziale".⁸⁵ Laureato in Ingegneria civile ed aeronautica agli inizi degli anni '50 del secolo scorso, Musmeci orientò la sua ricerca verso l'efficacia della forma, ovvero verso il minimo utilizzo di materia per risolvere un problema strutturale. Questa economia materiale non si rivelò mai semplicistica e non limitò le potenzialità espressive e poetiche dell'autore: al contrario egli, attraverso l'eliminazione della materia superflua, puntò sempre ad una ricerca formale performativa. Così come avviene in natura, nell'opera di Musmeci si osserva il principio della minima energia che portò a concepire pattern strutturali intesi come materializzazione delle stesse tensioni statiche. Non per questo i suoi progetti possono essere criticati come generici, ma al contrario ogni sua opera è frutto di un atto di sintesi delle situazioni specifiche del contesto, dell'ambiente, della distribuzione delle forze, delle tecnologie. Una volta conosciuto il sistema di forze esterne e quindi tutti i pesi e le sollecitazioni che la struttura dovrà sopportare, si determina una configurazione univoca riassunta nelle "equazioni cardinali della statica" che rappresentano le necessità logiche della struttura.

Negli anni '50 del secolo scorso Musmeci progettò coperture in calcestruzzo armato pieghettato, che, finalizzate alla riduzione degli sforzi flessionali, anticiparono di circa 50 anni il concetto di *folding structure* proprio, ad esempio, del *terminal di Yokohama* di Foa (2002)⁸⁶. Ne sono esempi il *Cinema Araldo*

24. (p. a fianco) Pier Luigi Nervi, Sede dell'UNESCO, Parigi, 1957
veduta interna della Sala della conferenza.

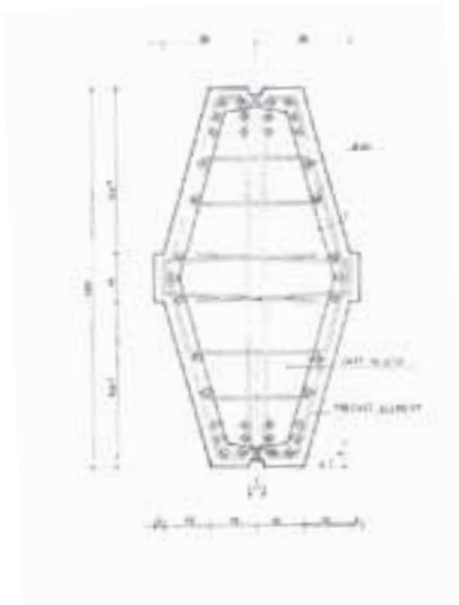
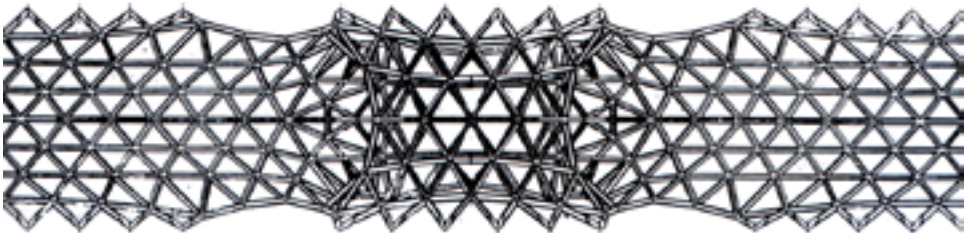
a Roma, la cappella dei ferrovieri a Vicenza (1958), lo stabilimento industriale a Pietrasanta ed il *Teatro Regio* a Torino con C. Mollino (1966).

Rispetto ai suoi maestri Maillart, Morandi e Nervi, che utilizzavano la forma come il frutto di un'intuizione da verificare ed implementare, Musmeci utilizzò la scienza delle costruzioni come strumento necessario all'invenzione e non alla verifica. Questo lo portò a scoprire le geometrie ottimali (rispondenti quindi nel modo più efficiente possibile al sistema di forze) che costituivano le ipotesi del progetto: in tal modo la forma delle sue strutture segue le linee di forza e niente più, rinunciando ad ogni utilizzo superfluo e accessorio della materia.

Questo processo progettuale di Musmeci è molto affine a quello che noi pensiamo sia l'operare della natura. Nella loro estrema varietà, infatti, le specie viventi esprimono sempre con chiarezza la loro funzione e la loro genesi formale utilizzando quantità indispensabili di materia. Questa è anche la ragione del loro spontaneo approdo a oggetti di intrinseca bellezza.⁸⁷



25. Sergio Musmeci, struttura a nodo tetraedrico



26. Sergio Musmeci, Ponte sul Niger, Ajaokuta, 1977
il ponte di ventiquattro campate è un sistema triangolato costruito con
aste prefabbricate in cemento armato.

Musmeci, una volta identificato il sistema di forze esterne a cui era sottoposta l'opera, iniziava il suo processo di ricerca formale teso a soddisfare condizioni di minimo ingombro e minimo uso di materia: in tal modo egli sviluppò le forme-limite, esercizi nei quali trovava la forma che col minimo uso di materiale meglio rispondeva ad un sistema esterno di forze.

Tutti questi studi lo portarono a sviluppare la sua opera più celebre, il *Ponte sul Basento*: l'intero progetto va concepito come un processo che si va avvicinando verso la forma ideale. Il progetto si generò grazie ad un insieme di prove e di studi eseguiti su modelli fisici di sapone, gomma e *perspex*: si tratta quindi di un processo empirico che portò al perfezionamento di una forma strutturale fino alla verifica che precede la costruzione, attraverso la costruzione di un modello in microcemento ed armatura metallica di 14 m in scala 1:10. Il risultato fu una superficie tridimensionale di calcestruzzo armato a compressione uniforme, dello spessore di 30 cm: questa membrana si articolava nello spazio aprendosi verso l'alto (sostenendo l'impalcato) e verso il basso con appoggi sul terreno.⁸⁸

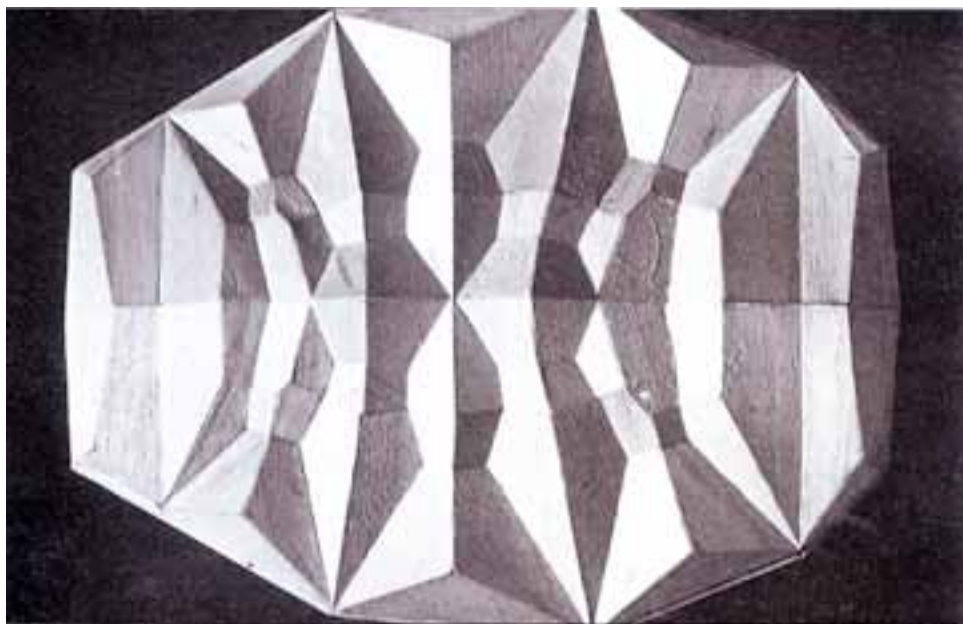
La ricerca di Musmeci non si esaurì con lo studio delle superfici limite e dei sistemi continui ma seguì anche nei pattern strutturali discreti. Abbiamo esaminato nello scorso capitolo le strutture reticolari spaziali di metallo, casi esemplificativi dei sistemi strutturali discreti: sia nelle opere di Wachsmann che di Fuller i reticoli spaziali erano costituiti da moduli con facce rappresentate principalmente da triangoli e da aste confluenti nei nodi, i



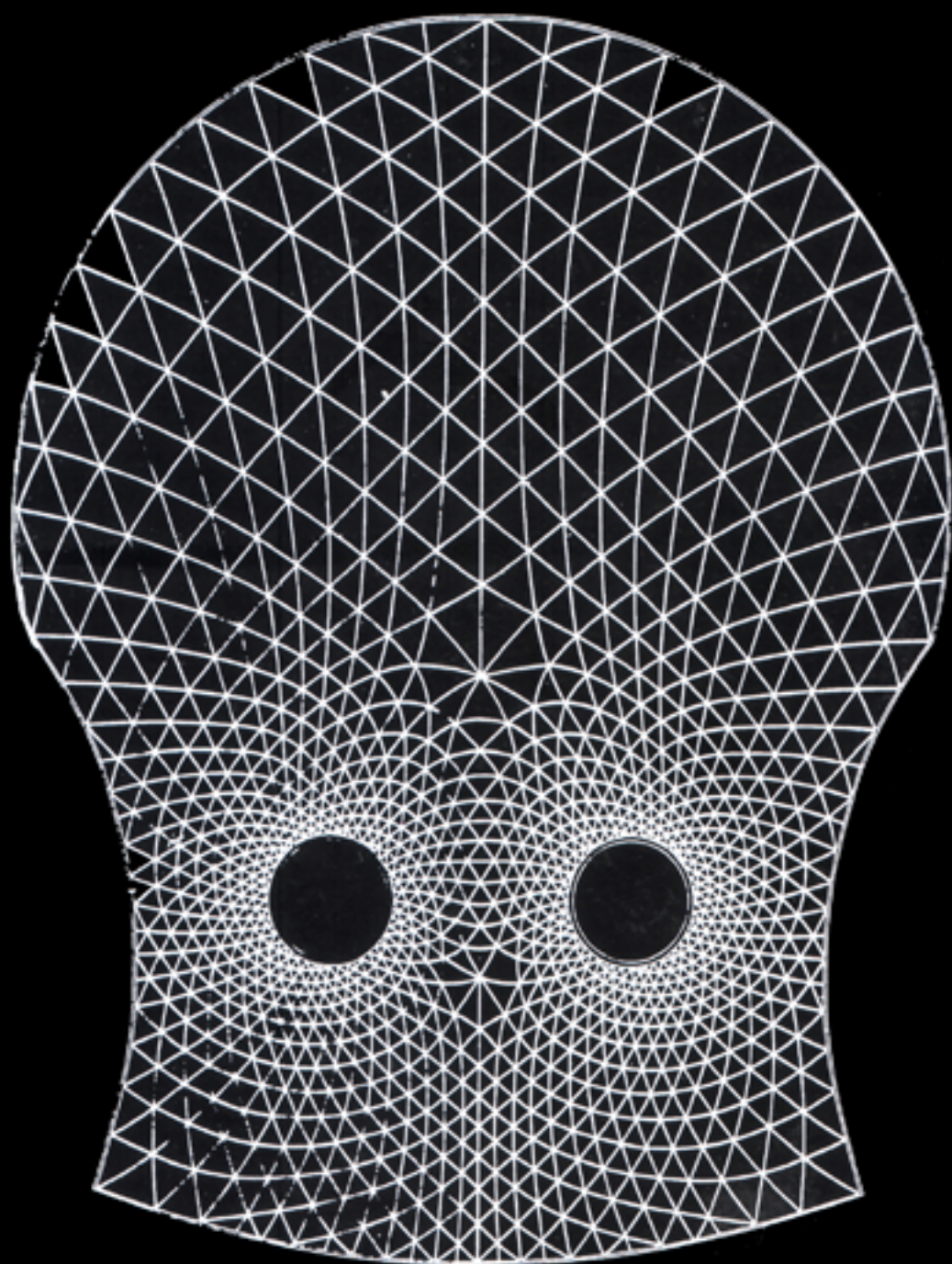
27. Sergio Musmeci, Ponte sul Basento, Potenza, 1967-1969

fulcri di distribuzione degli sforzi. La sperimentazione di Musmeci nel campo dei *space frame* permise l'introduzione di due varianti, ossia la sostituzione delle aste di metallo con calcestruzzo polimerizzato e l'eliminazione dei nodi. Le aste cave, che aumentano di sezione e combaciano alle estremità, furono saldate fra di loro con il calcestruzzo, generando sistemi reticolari rigidi e corrispondenti a sistemi cristallografici. Il nodo venne sostituito con la combinazione di poliedri regolari (come il tetraedro, l'ottaedro ed il cubo) ed irregolari (come la bipiramide triangolare e il rombododecaedro).⁸⁹

Questi studi vennero applicati nella progettazione del ponte sul Lao in Calabria e del ponte sul Niger. In questi casi la struttura reticolare spaziale generò superfici equi-compresse che si articolavano integrando l'impalcato e gli appoggi in un unico tessuto flessibile e reattivo. Rispetto alla geodetica di Fuller, uniforme e rappresentativa di una geometria ideale, siamo di fronte alla nascita di pattern che emerge da un nuovo ordine, costituito dal sistema di forze, dalla geometria, dal materiale e dalle funzioni. È come se un sistema generico ed ideale si adattasse alle condizioni del contesto per produrre un'alterazione della sua omogeneità a favore dell'imprevisto, del nuovo, che nasce dalle condizioni sempre diverse del progetto. Si tratta quindi di un esempio di pattern avanzato.



28. Sergio Musmeci, Cinema Araldo, Roma, 1955



Tutta la ricerca di Frei Otto ebbe come obiettivo lo studio di pattern e forme di massima efficienza. Attraverso semplici esperimenti di fisica egli cercò di interpretare le dinamiche che si verificano in natura per poi poterle astrarre ed utilizzare in architettura: “*la natura non viene copiata, ma resa comprensibile attraverso sviluppi tecnici*”.⁹⁰ Ciò che egli chiamava *reverse path* consiste proprio in questo, ossia nel riconoscere processi di formazione naturali ed estenderli all’artificialità. È chiaramente un metodo prima di osservazione e raccolta di pattern nel mondo inanimato ed animato e poi di analisi scientifica, messa a fuoco con esperimenti dalle grandi potenzialità: campi di applicazione furono principalmente i sistemi di organizzazione ed occupazione dello spazio ed i sistemi strutturali.

Tutta l’attività di Otto fu permeata da prototipi, alcuni dei quali trovarono grandi sviluppi nella pratica architettonica, mentre altri rappresentano tutt’ora campi inesplorati: la sua vera forza stava proprio nell’imprimere una forte carica didattica al lavoro, aprendo campi, esplorandoli e suggerendo nuove vie di interpretazione, scoprendo pattern, sistemi, modelli. I suoi non sono progetti conclusi, ma configurazioni formali efficienti, analizzate in tutte le possibilità che il sistema permette. Ad esempio quando egli studiò il *branching*, scoprì tutte le possibilità che questo pattern poteva produrre, sia a livello di flussi viari che di potenzialità strutturali, esprimendo pienamente in questo senso la capacità che il pattern ha di coniugare l’astrazione con la pratica e di aprire sempre nuove possibilità. La forma, così come la concepiva Otto, non è mai superficiale, non è moda o formalismo autoreferenziale, ma risultato di un processo che genera molteplici interpretazioni.

Nel suo libro *Finding Form*, Otto mostra una serie di esperimenti ai quali seguono delle applicazioni in campo architettonico, presentate prima come sistemi generici o proto-strutture e dopo, quando possibile, come progetti e casi specifici costruiti. Ad esempio, riguardo al *branching*, egli mostrava in un primo momento degli esperimenti con pattern di fili di lana bagnati finalizzati all’ottimizzazione di sistemi di comunicazione minimi: ridotta distanza e minima superficie occupata. Gli stessi esperimenti funzionano per generare strutture ad albero: infatti, considerando la proprietà secondo cui l’acqua genera una tensione superficiale che raggruppa i fili in fasci, trovando la forma ottima di distribuzione delle forze si possono ottenere delle configurazioni minime ad albero. I vantaggi di una struttura ramificata sono la riduzione dei punti di appoggio in pianta, una distribuzione delle forze più efficace, la riduzione della quantità di materiale:⁹¹ considerando ad esempio 4 punti di applicazione delle forze ed un punto di appoggio, prima

29. (p. a fianco) Sergio Musmeci, progetto per il concorso del Palazzetto dello Sport, Firenze 1965

si uniscono i 4 punti con il punto di appoggio lasciando i fili lenti, poi si bagna l'insieme e si ottiene una configurazione ramificata. Questi studi, a cui Otto lavorò fin dal 1974, portarono all'elaborazione di prototipi di strutture arboree tridimensionali, strutture frattali con un sistema di generazione autosimile. È molto interessante osservare come Otto abbia lavorato su sistemi frattali ancora prima che il termine "frattale" fosse stato coniato.⁹²

Un altro campo di ricerca fu quello delle tenso-strutture: si tratta delle stesse strutture delle tende, ovvero costruzioni realizzate tensando superfici come tessuti o reti su uno o più supporti caricati a compressione. Anche in questo ambito la ricerca si sviluppò a partire da semplici esperimenti di fisica che gli permisero di scoprire la forma minima che deve assumere una superficie per essere tesa uniformemente in tutte le direzioni: *"le superfici minimali sono formazioni curve a forma di sella con l'area più piccola possibile entro un perimetro chiuso"*.⁹³ A tal fine Otto inventò esperimenti basati sullo studio delle membrane liquide ottenute con il sapone, per sviluppare un catalogo di superfici minime: vele, tende appuntite, ad arco, gobbe, ondulate. Una volta definito il perimetro della superficie con un telaio di filo metallico sottilissimo, questo veniva immerso in una soluzione di acqua distillata e sapone e poi tirato fuori: la pellicola che si formava seguendo il contorno del telaio aveva una tensione uniforme in ogni suo punto e rappresentava sempre la superficie minima possibile, ovvero quella che, seppur seguendo il perimetro del telaio, aveva l'area minore. Seguendo gli stessi principi Otto



30. Frei Otto and Bodo Rasch, Esperimenti strutturali su configurazioni ad albero. 1974

realizzò progetti con tele e con maglie tese: queste ultime riuscivano a coprire superfici maggiori ma necessitavano solitamente di un rivestimento, come nel caso del progetto del *Padiglione Tedesco* a Montreal. Anche qui la sperimentazione continuò nel progetto specifico con un esteso numero di modelli, configurazioni e prove eseguite su modelli di pellicole saponate, tulle e reti metalliche: le foto dei modelli di studio permettono di capire come il progetto sia stato un processo di sviluppo di un pattern che si andò diversificando da un sistema aperto indifferenziato e generico ad uno reattivo e sensibile al programma sottostante. Il pattern relativo a picchi e vallate si amplifica e si contrae seguendo la natura di una membrana sorretta da supporti verticali.

Un pattern invece generico, ottenuto attraverso la tessellazione di un'unità, è quello della tensostruttura per l'Esposizione per l'Orticultura ad Amburgo: in questo caso il modulo base era costituito da una membrana voltata tesa su due aste, mentre il sistema complessivo era generato dalla ripetizione di sei unità.

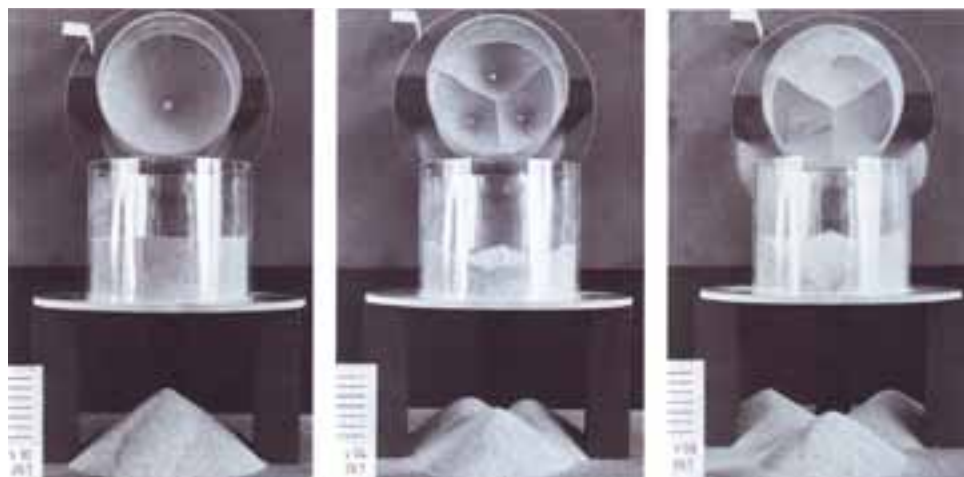
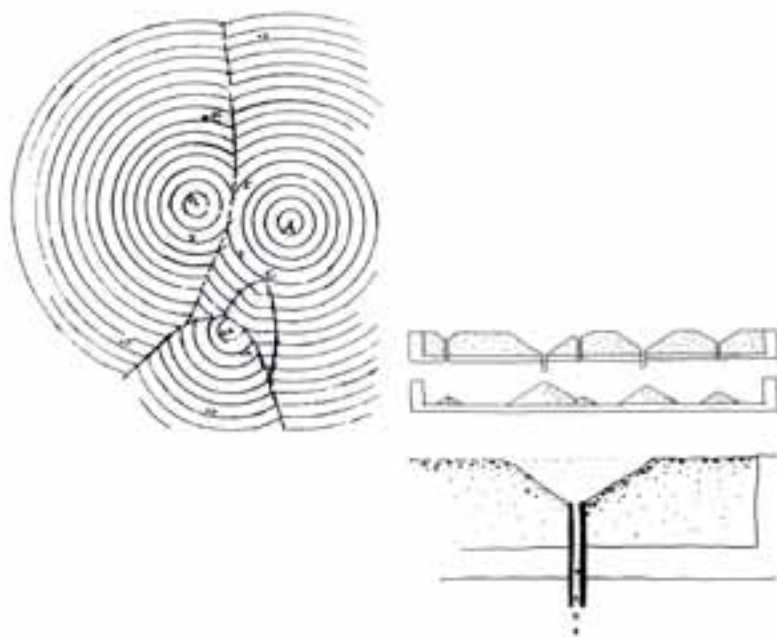


31. Frei Otto and Bodo Rasch, Esperimenti con fili di lana bagnati. 1958

Un altro campo di sperimentazione nel quale Otto fu pioniere è quello delle costruzioni pneumatiche, ossia membrane sottili tesate dalla pressione interna dell'aria, che furono brevettate da W.Lanchester nel 1917. Ignari della presenza di questi studi preliminari, W.Birded Otto, negli anni '50 del secolo scorso, svilupparono parallelamente in America e in Germania costruzioni pneumatiche. Mentre Bird lavorava alla protezione dei *radar* con strutture gonfiabili, Otto sperimentava gonfiando membrane di alluminio, fino a quando si rese conto che le tenso-strutture potevano prescindere da ogni supporto incrementando la pressione dell'aria da esse contenuta: la pressione interna poteva essere mantenuta invariata da ventilatori o turbine che, collegate alla membrana, la tenevano gonfia. I primi progetti cominciarono nel 1956 con la realizzazione di una fabbrica industriale coperta da tre cupole; seguì un progetto non realizzato per l'*Expo* del 1958 a Floriade (Rotterdam), nel quale la membrana veniva rinforzata da una maglia con pattern esagonale. Dietro la semplicità delle costruzioni pneumatiche si nasconde in realtà una sperimentazione che va dai modelli in laboratorio alle realizzazioni, dove le intuizioni assumono una scala diversa e necessitano di ulteriori accorgimenti.

La cellula basilare, tutti gli organi e tutte le creature viventi derivano dallo "pneu", o struttura pneumatica [...]. Il "pneu" in quanto sistema strutturale rende possibile spiegare le forme della natura vivente.⁹⁴

Anche in questo caso lo studio della forma veniva sottoposto ad innumerevoli prove con film di sapone, membrane di acrilico o pvc gonfiate con aria compressa, pellicole di gomma riempite con intonaco. Così come negli studi delle tensostrutture, una volta definito il perimetro, che poteva essere di qualsiasi forma, la superficie della membrana gonfiata assumeva una forma determinata ed univoca. Questi studi aiutarono Otto a trovare la forma ottimale per le costruzioni pneumatiche: dall'intersezione e la compenetrazione di forme semplici emersero pattern a schiuma, con bolle legate trasversalmente, superfici increspate con drenaggio interno. Un altro campo di sperimentazione fu costituito dalle membrane a bassa pressione: strutture miste, usate ad esempio per le serre, nelle quali si associava una bassa pressione interna ad un sistema di supporti interni.⁹⁵



32. Frei Otto and Bodo Rasch, *Esperimenti con la sabbia*. 1974
le formazioni di sabbia dipendono dal pattern dei buchi.

2.4 OLTRE LA TOPOLOGIA. STRUTTURA E COMPUTAZIONE: CECIL BALMOND E AKT

Il nuovo umanesimo riconoscerà il potere del pattern, a più strati e catalizzante, perché noi ne siamo parte. Il pattern è geneticamente programmato nella nostra coscienza in molti modi, dalla semplice aggregazione di strutture molecolari alle torsioni spaziali nei paesaggi naturali. Quando noi progettiamo, produciamo un'eco di archetipi formali nascosti in profondità [...].

La struttura è architettura. Gli elementi della struttura ricorrono nello spazio – essi creano episodi. Essi creano movimenti per gli occhi.

La struttura è organizzazione – sciolta e rilassata, o rigida e fissata in simmetrie dure. Un elemento strutturale non è solo una trave o una colonna, può essere una siepe in un paesaggio, una serie di accordi in un pezzo musicale, un guizzo di vita in un'installazione. Qualunque sia il riferimento, il risultato di un lavoro è governato dal pattern – una struttura base per l'ordine e l'equilibrio primario, segni più ricercati di ornamento per una dinamica più ricca.

Il progetto procede tramite il riconoscimento di pattern. La scelta di uno spazio o elemento in relazione ad un altro è guidata da un senso di equilibrio.⁹⁶

Sembra più semplice poter parlare di pattern quando c'è un sistema geometrico forte, quando, seppur ammettendo delle variazioni, possiamo riconoscere un ordine che si ripete: nella struttura, dove questo ordine viene imposto da leggi statiche, la geometria fa da padrona, tessendo reticoli resistenti indifferenziati o nervature secondo le linee isostatiche. Il campo strutturale è pertanto di facile approssimazione all'analisi e allo sviluppo del pattern perché è geometria, è meccanica ed architettura.

Si ricorda la definizione di pattern chiarita da Balmond in *Informal*: “una serie di segni che hanno un potere astratto”.⁹⁷ Come è stato più volte ripetuto, il pattern ha la capacità di mettere in relazione il mondo astratto con quello pratico: nell'architettura i segni che mettono in relazione i due mondi sono proprio quelli della geometria.

C'è una relazione fortissima tra l'evoluzione della geometria e della scienza e l'ingegneria dei materiali e soprattutto con il calcolo strutturale.

Nella sezione I abbiamo visto come l'avvento del computer abbia stravolto alcuni aspetti della professione. Anche nel calcolo delle strutture la computazione ha permesso un ulteriore salto: infatti mentre prima il progetto derivava da intuizioni che venivano poi verificate con i modelli fisici, adesso il computer non solo verifica ma entra nel processo di ricerca della forma strutturale.

Schumacher afferma che il computer ha generato una rottura tra l'ingegneria strutturale tradizionale e quella contemporanea. Prima si tendeva a se-

parare e decomporre le strutture nei loro sottosistemi indipendenti dove *“ciascun sottosistema aderisce a concetti standard, quali colonne, travi, cornici, arco, lastra, volta, etc.”*,⁹⁸ nella contemporaneità si tende invece a considerare l'architettura non formata da sistemi separati ma da un continuo di sistemi integrati: in questo contesto il computer ha permesso un' *“analisi degli elementi finiti”* che esamina la struttura nelle sue particelle e non nelle sue parti. L'ingegnere può simulare al computer un modello e verificare la struttura nella sua globalità, analizzando l'andamento delle forze, punto per punto. Questo permette ovviamente una grande libertà formale, che Schumacher chiama *“fluidità strutturale”*.

Dall'altra parte sappiamo quanto il computer influenzi l'estetica del progetto che, come afferma Balmond, *“è dipendente dal software, a differenza della ricerca della forma che deve essere un'esplorazione dell'istinto contro il preconconcetto”*.⁹⁹

Allo stesso tempo, il computer ha permesso di avvicinarsi a geometrie complesse e pattern auto-simili che altrimenti non sarebbero mai potuti entrare nel calcolo strutturale.

L'attività di Cecil Balmond è stata sempre affiancata dai grandi nomi dell'architettura, quali Stirling, Van Berkel, Siza, Isozaki, Koolhaas: questa forma di lavorare, intellettualmente molto feconda, gli ha permesso di sviluppare invenzioni strutturali che non sempre sono state egocentriche o espressive. Rispetto ad altri grandi ingegneri, Balmond non manifesta sempre la struttura, ostentandola, ma ha una sottile abilità di tirare il meglio dal progetto, un progetto che nasce appunto da uno scambio fortissimo con gli architetti con cui collabora. Uno scambio che, come dice C. Jencks, si basa su un nuovo paradigma dell'architettura che deriva dalla scienza della complessità, chiamato da molti *“non-lineare”* e da lui detto *“informale”*: *“il modo “informale” che illumina il territorio sta nel mettere in risalto pattern che emergono da nuovi presupposti”*.¹⁰⁰ Balmond si apre quindi a nuove strutture della scienza, ossia ai frattali, nuovi pattern che emergono spontaneamente.

È nella ricerca continua verso l'incerto, il nuovo e l'inaspettato che i progetti di Balmond prendono forma.

Nella villa a Bordeaux di R. Koolhaas, in cui la struttura doveva far volare il suo volume, si assiste ad un processo che si allontana progressivamente dalle soluzioni convenzionali che avevano da sempre risolto questo problema e che possono essere riassunte con il *“sostenere un volume con dei sostegni”*. In questo processo complesso e non lineare prima venne creato un catalogo di sostegni diversi, obliqui, rotondi, strutture a ponte: un elenco con diverse possibilità che tuttavia restavano in qualche modo concettualmente convenzionali. La scelta innovativa doveva al contrario derivare da un'idea di

instabilità, di concepire l'edificio come un momento meccanico che imprime alla villa precarietà e tensione, dinamismo: la soluzione consisteva nel variare il semplice pattern convenzionale dei pilastri collocati in prossimità dei vertici del volume, trasformando un pilastro in un tirante. Slittando due pilastri all'esterno del volume si ottenevano due appoggi sulla diagonale del volume: uno era il grande nucleo in calcestruzzo per la piattaforma elevatrice e il secondo costituiva un cavalletto insieme al pilastro esterno al perimetro. Se ne ricavano tre punti di appoggio; sul quarto punto veniva fissato un tirante che controbilanciasse il momento del volume.

Il processo di Balmond è se stesso un pattern di variazioni su tema, un insieme di prove che, allontanandosi dalla convenzionalità e approssimandosi a risultati 'informali', provocano sorpresa ed ambiguità.

Balmond spiegò la differenza tra i termini *informal* e *formal*, comparandoli a due diverse interpretazioni del concetto fisico di forza. Secondo la visione classica e deterministica di Newton, una forza è un'azione rappresentata da una freccia che unisce due punti A e B, secondo una linea retta. La visione moderna invece suggerisce l'esistenza, tra i punti A e B, di un campo di azione ed un percorso minimo ricercato, che può variare a seconda delle condizioni locali.

Nell'informale non ci sono regole distinte, non ci sono pattern fissi che debbano essere copiati in maniera cieca. Se c'è un ritmo risiede nelle connessioni nascoste che sono inferite e implicite e non necessariamente rese ovvie.¹⁰¹

L'*informal* è un processo generico che fa emergere nuovi pattern attraverso l'influenza dello specifico: è per questa ragione che le sue caratteristiche (locale, giustapposizione, ibrido)¹⁰² influiscono nella generazioni di pattern la cui complessità è irriducibile.

Balmond sviluppò la maggior parte delle sue opere all'interno di Ove Arup, dove iniziò a lavorare del 1968 fino a diventarne vicepresidente: nel 2010 ha deciso di separarsene per fondare il suo Balmond studio, dedicato alla ricerca nel mondo dell'arte, dell'architettura, della struttura e della consulenza.

Come è stato già esaminato nel capitolo riguardante i frattali, nel 2000 Balmond fondò AGU, un gruppo multidisciplinare accomunato dall'interesse verso una visione olistica del progetto, che ricerca la forma attraverso le dinamiche interiori: "considero AGU come un'indagine nella nuova estetica".¹⁰³ La forma è un edificio, un *masterplan* o una struttura. Agu ha condotto una profonda ricerca nella generazione formale, derivante non da *software* prestabiliti ma direttamente dallo studio di geometrie complesse: si ricordano le tessellazioni aperiodiche per la facciata del *V&A Museum*, Londra (1996-2004),

le tessellazioni di Danzer e Voronoi nel *Grotto*, New York (2005) progettato con Aranda Lash. Anche *reciprocal networks, branching, folding, knotting* sono tutte operazioni dalla forte natura geometrica, che funzionano come sistemi di generazione formale; sono prototipi in attesa di sviluppo progettuale.

Nel *V&A Museum*, progetto a cui si è accennato in merito all'estetica, svaniscono i limiti tra architettura e struttura, materializzando il dentro ed il fuori in un unico gesto geometrico, la spirale: non si sono quindi pareti né pilastri, ma un unico elemento a spirale, una striscia di calcestruzzo armato che si avvolge appoggiandosi su se stessa. Anche in questo caso la spirale è un pattern aperto che diventa campo di esplorazione. Infatti, mentre la *spira mirabilis* o la spirale di Archimede sono spirali dal centro conosciuto e dallo sviluppo prevedibile, Balmond ricercò una nuova definizione, una spirale imprevedibile e non lineare. Le spirali di Balmond nascono dall'incrociare spirali segmentate derivanti dalla connessione di punti di circonferenze una dentro l'altra, analizzando la forma che deriva con il cambiare dei centri, dei punti di connessione, etc. Queste spirali portarono alla definizione di una striscia piegata che si avvolge, i cui lati si incastrano con quelli superiori: lo sviluppo di questa forma viene resa possibile attraverso algoritmi che permettono di studiare il modo in cui questa spirale cresce nello spazio e come si distribuiscono gli sforzi sulle superfici e la sua stabilità.

Si potrebbe affermare che, mentre gli esperimenti di Otto ricercavano la formalizzazione del minimo, gli esperimenti di Balmond cercano il pattern del caos e dell'inaspettato.

Il pattern per Balmond può nascere anche da una semplice griglia geometrica e dal modo in cui essa viene interpretata:

[...] Può connettere differenti polarità [...]. La griglia potrebbe trasformarsi in pattern di ritmo, multipli incorniciati di quadrato, così come strutture reciprocamente portanti si dispongono nello spazio in forme piane alternate.¹⁰⁴

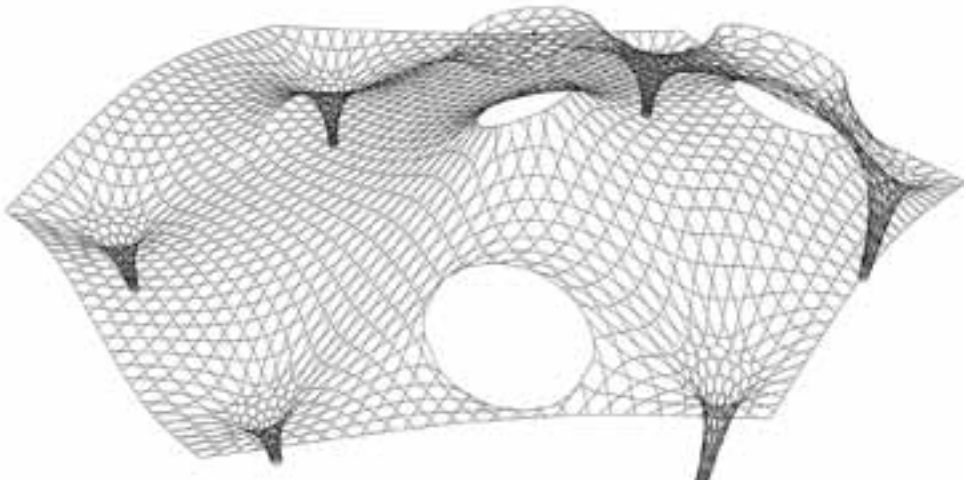
Ecco come dalle griglie possono derivare tre progetti diversi: la *Serpentine Gallery*, Londra (2005), il *Forest Park Pavilion*, San Louis, Missouri (2004-2007), il *Centre Pompidou*, Metz (2004-2009).

Il primo è un progetto di A. Siza con S. de Moura, nel quale Balmond collaborò elaborando una griglia strutturale dinamica in legno: dinamica perché ogni elemento non si congiunge assialmente al seguente ma fa un salto dello spessore della trave e così via. Tagliando elementi a controllo numerico e semplicemente assemblandoli in cantiere, si ottiene un pattern che altera la griglia quadrata dilatandola e deformandola sui quattro lati.

Per il *Centre Pompidou*, progettato da S. Ban, Balmond sviluppò il concetto della copertura in legno, che da sola riassume le ambizioni espressive del progetto. La soluzione è un intreccio che si dispiega in sei direzioni, costituendo un macro-tessuto strutturale che si deforma nello spazio: il pattern esagonale si adatta ampliandosi e contraendosi in funzione della geometria che costituisce la superficie, ed infine si infittisce generando le colonne d'appoggio.

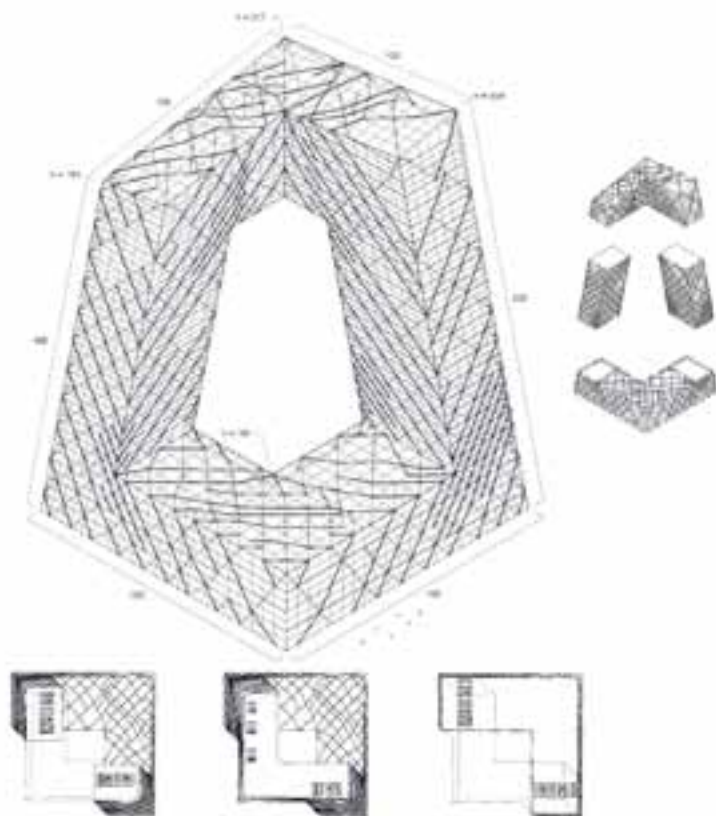
Balmond sviluppò infine il concetto strutturale del *Forest Park Pavilion*, un progetto ancora di S. Ban: si tratta di un guscio ottenuto con un griglia di elementi di *bamboo* laminato. Anche in questo caso Balmond propose un pattern inteso come tessuto strutturale: si alternano quadrati grandi e piccoli, formati dalla sovrapposizione adeguata degli elementi di *bamboo*.

Una griglia spugnosa, capace di separare gli spazi verticalmente ed orizzontalmente, costituisce la matrice formale del *Taichung Metropolitan House*, Taichung, Taiwan (2006-2009) di ToyoIto. La superficie integra il controllo acustico, la luce e la distribuzione dell'aria; la geometria, una volta modellata poligonalmente, viene ammorbidita e resa continua in una seconda fase attraverso un *software*, in un processo interattivo finalizzato a controllare il programma, la sostenibilità e l'efficienza strutturale.



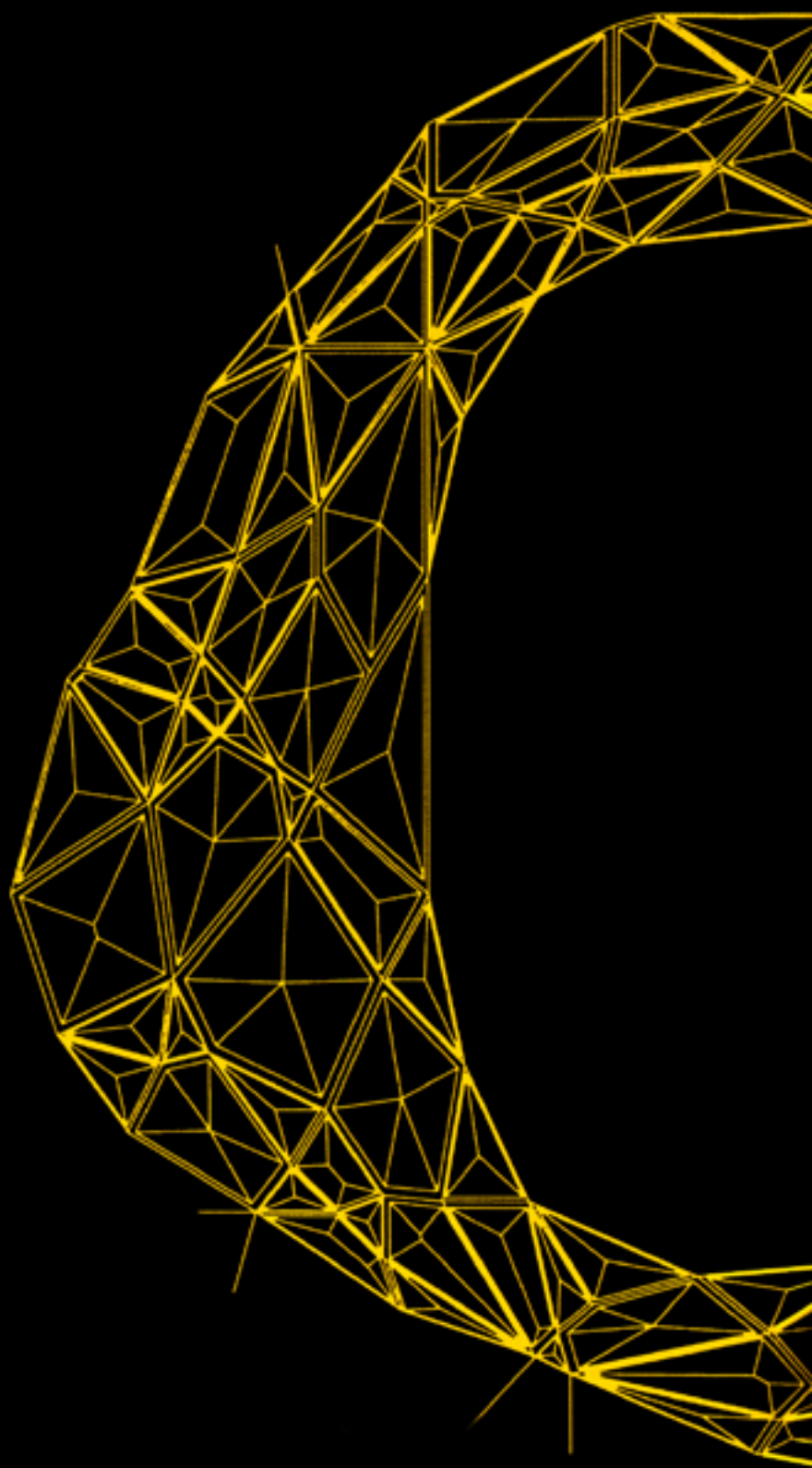
33. Peter Kulka, Cecil Balmond, Ulrich Konigs, Chemnitz Stadium, Germania, 1995

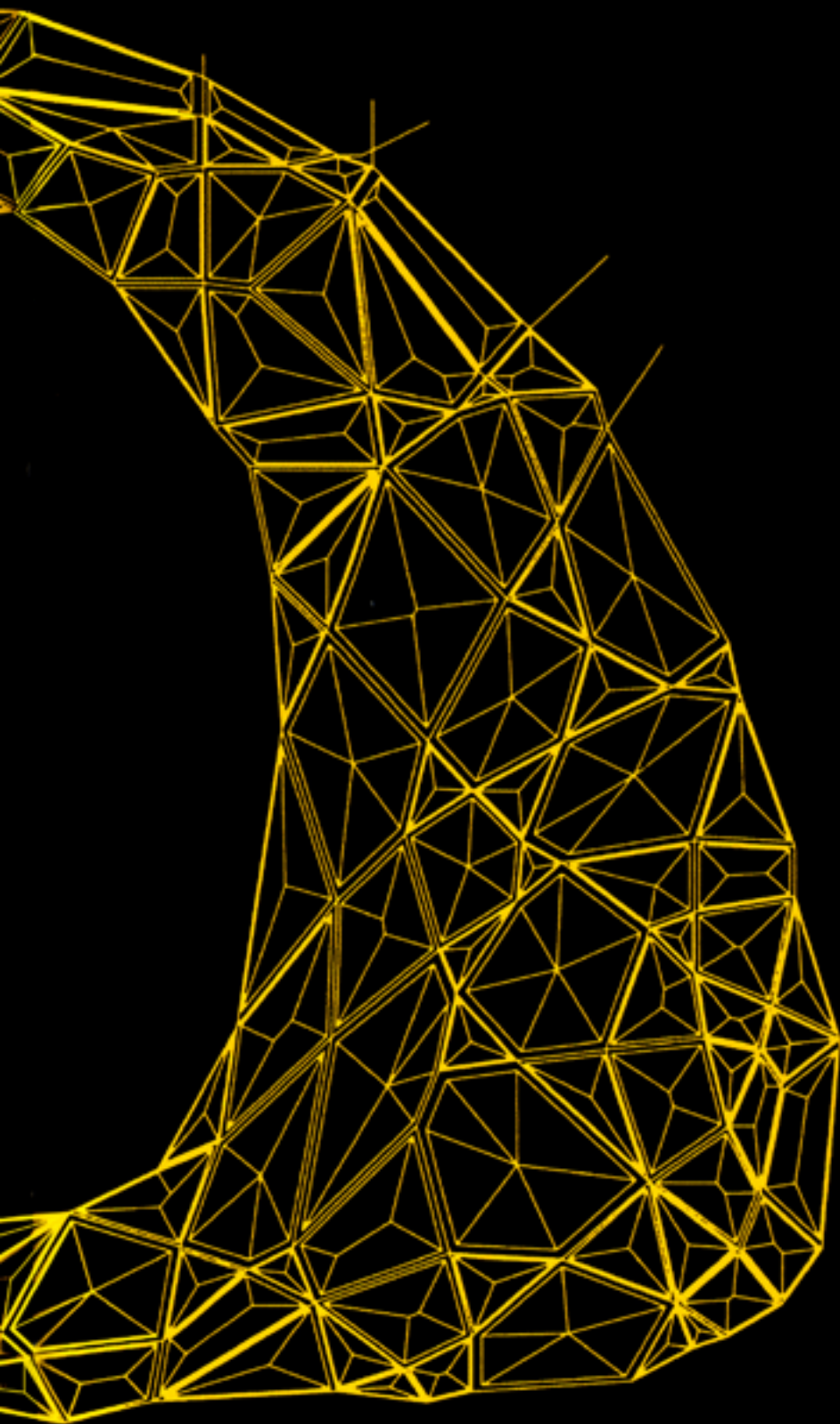
Un progetto emblematico dell'uso del pattern reattivo è il *CCTV New Headquarter*, Beijing (2003-2008): questo progetto, vincitore nel 2002 del concorso per la nuova sede della China Central Television (principale emittente statale), venne progettato da OMA lavorando in stretta collaborazione con Arup. L'edificio possiede una tipologia inedita, che potrebbe essere definita un anello spaziale poligonale di attività interconnesse: il *CCTV*, che possiede 450.000 mq ed un'altezza di 234 m, può essere schematizzato come composto da due elementi verticali, inclinati e connessi alla base e alla sommità con due braccia ad L invertite. In particolare la parte in alto possedeva una complessità non indifferente, considerando lo sbalzo e la dimensione dell'edificio: venne quindi concepito un concetto strutturale di "tubo", un anello con una grande resistenza la cui superficie potesse assorbire gli sforzi migranti all'esterno. A tal proposito si è generato un pattern strutturale a



34. OMA, CCTV New Headquarter, Beijing, 2003-2008

35. (p. successiva) Shigeru Ban, Cecil Balmond and AGU, Centre Pompidou Metz, France, 2004-2009





diamante che avvolgeva tutte le facciate in maniera continua, rinforzando e irrigidendo la pelle esterna. Il comportamento a “tubo” della struttura gli permetteva di assorbire tutti gli sforzi permanenti e temporanei con grande forza e rigidità, trasmettendoli alla base dell'edificio. Il sistema strutturale prevedeva anche un sistema di pilastri, i nuclei di scale ed ascensori, e delle “strutture di trasferimento” a trave reticolare dello spessore di due piani che supportano la L a sbalzo. Ritornando alla pelle strutturale esterna, questa possiede due livelli: un pattern posteriore regolare di metallo o calcestruzzo armato come perimetro delle travi e nei pilastri verticali; un secondo livello costituisce un pattern strutturale irregolare che si manifesta in facciata, ottenuto dalla deformazione ed alterazione di un pattern regolare a diamanti, fino ad una configurazione che risponde in maniera specifica alle esigenze strutturali del progetto. Ecco la capacità del pattern di superare la condizione statica, e genericamente convenzionale, per adattarsi e rispondere specificatamente alle località e alla singolarità del progetto. Aver esposto il pattern in facciata vuole affermare proprio questa capacità non lineare dell'architettura contemporanea, e lo fa attraverso un pattern che ricama le tensioni strutturali e le mostra in facciata come ornamento. Dietro a questo ricamo c'è quindi uno sviluppo ed un lavoro di ottimizzazione che risponde non solo all'estetica del rivestimento ma anche alla configurazione delle forze.

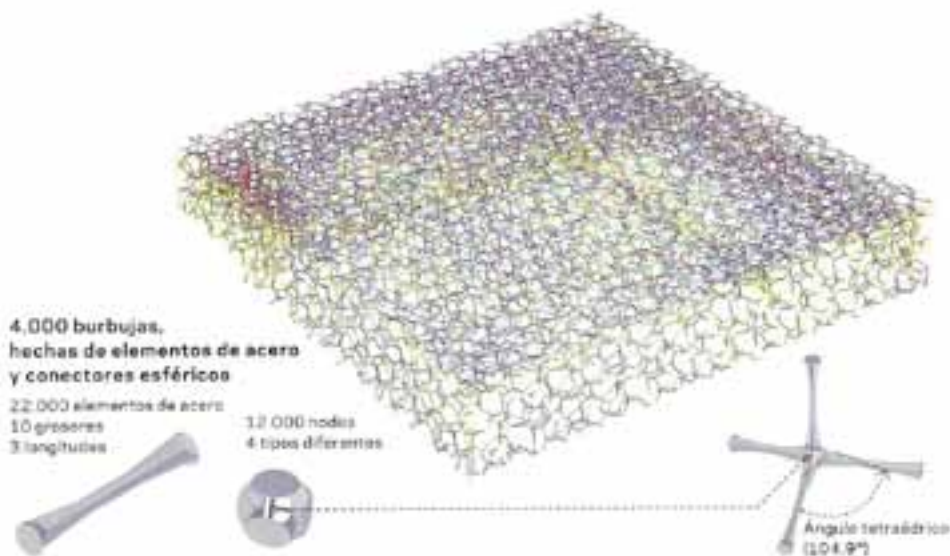
Il pattern connettivo fu determinato attraverso un'intensa analisi iterativa ed in stretta collaborazione con l'architetto. La struttura principale dell'edificio fu modellata in Oasys GSA e fu applicato un carico rappresentativo, che includeva un carico statico equivalente ad un terremoto di livello 1.¹⁰⁵

L'approssimazione al pattern definitivo avviene attraverso un processo iterativo: si comincia con un pattern generico a diamante, uniforme, e lo si sottopone a sforzo con una simulazione al computer, in modo da analizzare le barre più o meno sollecitate. In questo modo si altera il pattern aggiungendo barre, quindi densificando la maglia, oppure eliminando degli elementi, quindi rarefacendola o lasciandola uguale: lo scopo è ottenere un pattern nel quale tutti gli elementi rispondano agli sforzi nello stesso modo. In altre parole otteniamo un pattern che è il risultato di approssimazione al comportamento fisico dell'edificio.

La maglia diviene griglia spaziale tridimensionale nel *Watercube* di Beijing, centro di nuoto progettato per le Olimpiadi del 2008 da PTW Architects e Arup. Anche se in questo progetto non lavorò Balmond, si percepisce tuttavia la sua posizione concettuale sui pattern, sebbene, in questo caso, troppo letterale e figurativa. La configurazione geometrica della schiuma, racchiusa in un parallelepipedo di base quadrata, viene tradotta in una struttura leg-

gera di metallo che definisce gli spigoli delle cellule; le membrane di ETFE chiudono le facce: un unico sistema definisce in modo coerente e consistente tutte le parti del progetto, quali struttura, spazio architettonico e facciata. L'acqua sotto forma di schiuma diventa metafora e struttura allo stesso tempo. Viene elaborato un algoritmo per controllare la geometria di Weaire-Phelan,¹⁰⁶ come risposta matematica ai fenomeni che occorrono nelle formazioni delle bolle di sapone. Sebbene le bolle siano tutte diverse nelle schiume, nell'interpretazione di Weaire-Phelan sono considerate come costituite solo da due cellule poliedriche con lo stesso volume: si genera quindi un pattern tridimensionale formato per il 75% da poliedri con 14 facce e per la restante parte da poliedri con 12 facce.¹⁰⁷ Di questi poliedri vengono materializzati solo gli spigoli, in modo tale da enfatizzare il carattere permeabile del sistema. La configurazione del sistema geometrico viene ottenuto nel seguente modo:

1. si tessella una porzione di spazio con i due poliedri;
2. si ruota l'insieme di un angolo;
3. si taglia la spuma secondo il parallelepipedo che racchiude l'edificio.



36. PTW Architects e Arup, water cube, Beijing, 2008

Il risultato è una geometria che appare organica ed aleatoria seppur derivata da una tessellazione regolare. Ne segue una struttura di *Vierendel 3d*, formata da 22.000 membri a sezione cava e da 12.000 nodi, dalle sorprendenti capacità statiche.

T. Carfrae, Direttore di Arup Project, dice:

la struttura pesa solo 100 kg/mq, che è assolutamente insolito per edifici cinesi larghi 120 m, ed il modo in cui si tiene insieme significa che è forte ma veramente poco flessibile. Questo era molto importante per Beijing, essendo questa una zona a rischio sismico.¹⁰⁸

Tutto il processo, dalla modellazione all'analisi, è stato seguito attraverso la programmazione al computer, che ha permesso la distribuzione di ogni elemento nello spazio ed il dimensionamento esatto degli elementi, in modo da non essere né troppo pesanti né troppo deboli.

Un ingegnere che ha seguito lo stesso percorso di Balmond è H. Kara: come Balmond, Kara lavora con i più celebri architetti, quali Z. Hadid, Foster + Partners, Foreign Office Architects, Future System, studiando l'applicazione dei pattern nella struttura. Egli stesso in un'intervista disse:

[...] è importante dare merito al lavoro di Cecile Balmond che è stato per un certo periodo legato [...] all'uso di pattern nell'ingegneria strutturale. Questo ci ha incoraggiati a prendere l'iniziativa di comprendere pattern che ci consentono di collaborare con architetti e scuole che stanno sperimentando con questo soggetto, non solo per condizionare la concettualizzazione della forma, ma anche nell'uso e nella natura dei materiali a micro/macroscale.¹⁰⁹

Per Kara la natura e la biologia sono fonte inesauribile di pattern dalle straordinarie proprietà estetiche e performative: è lo studio della natura che può portarci a scoprire nuovi pattern, ovvero nuovi strumenti per l'organizzazione della materia. In questo senso le nuove tecnologie e l'analisi computazionale aiutano a visualizzare i campi di tensione che attraversano un corpo sollecitato: è quindi possibile, attraverso il FEM (*Finite Element Method*), un sistema computazionale di analisi delle tensioni, definire, anche se in maniera incompleta, un pattern che mostra la distribuzione delle sollecitazioni interne del materiale. Questo può influire sul modo di concepire la forma architettonica, così come abbiamo visto in merito al *CCTV* di OMA.

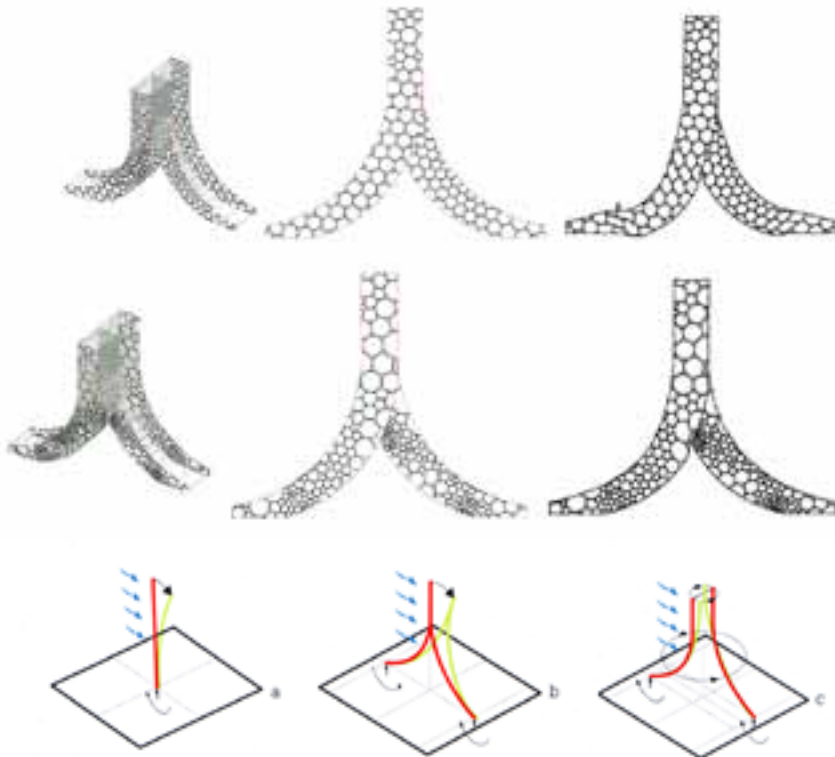
Questi strumenti sono stati applicati da Kara ad esempio nell'ottimizzazione della struttura in acciaio della *torre REN Peoples*, sviluppata con Big a Shanghai nel 2006. In questo caso era importante ottimizzare il pattern strutturale in facciata che seguiva un "impacchettamento" (*packing*) di circonferenze: occorre una opportuna configurazione delle circonferenze, in modo tale da essere tutte tangenti fino ad ottenere un *packing* con le caratteristiche frattali proprie dell'*Apollonian Gasket*. Attraverso algoritmi che

hanno permesso il dialogo tra il FEM ed il modello digitale architettonico, si è arrivati ad un'ottimizzazione delle circonferenze.

Insieme a Z. Hadid, Kara ha sviluppato *Urban Nebula* per il South Bank di Londra. In questo progetto, interamente realizzato in pietra, si è sviluppato un pattern che permetteva un uso totalmente a compressione del materiale ed una configurazione scultorea dell'oggetto, che integrava funzioni di mobilio, rifugio ed icona urbana. La variazione nella forma dei blocchi di pietra generava inoltre un pattern di aperture differenziate.

Concludiamo con una domanda: Cosa dei pattern che si trovano in natura attrae gli ingegneri? L'efficienza? La loro performance?

Kara afferma che ciò che lo affascina, oltre a queste due caratteristiche, è anche la loro bellezza.¹¹⁰



37. BIG e AKT, REN peoples, Shanghai, Cina, 2006
studi sull'ottimizzazione del pattern strutturale.

3. I PATTERN TRIDIMENSIONALI. IDENTITÀ INDIVIDUALE E UTOPIA

3.1 ESTENDIBILITÀ E SERIALITÀ. METABOLISMO E STRUTTURALISMO. DA TANGE A MAKI, DA VAN EYCK A HERTZBERGER

In questo capitolo si vedrà come il fallimento delle strategie urbanistiche del movimento moderno abbia avuto come conseguenza il distanziamento dall'oggetto architettonico autonomo (ed in particolare dal blocco residenziale ad alta densità, responsabile dell'omologazione sociale postbellica), a favore di un'architettura flessibile, seriale e modulare, tesa a rappresentare l'individuo. In quest'ambito la ricerca sui pattern è diventata un pretesto per la sperimentazione in campo urbano e costruttivo, essendo attratto, quest'ultimo, dai recenti studi sulla prefabbricazione.

Si vedrà come la necessità di rivendicare l'identità dell'individuo, rispondere alle nuove esigenze di crescita urbana, insieme al concetto di flessibilità come reazione alla staticità e all'impenetrabilità dell'urbanistica dei CIAM, ebbe come conseguenza la nascita del Team X e quindi la risposta degli strutturalisti olandesi da una parte e del metabolismo giapponese dall'altra.

Metabolismo

Il concepimento di strutture leggere e straordinariamente resistenti rappresentò una risposta ad ambizioni visionarie quali le tendenze megastrutturali: la possibilità tecnologica aveva generato, insieme alla possibilità di coprire dimensioni che trascendevano la scala architettonica, un'estetica della diagonale e dell'estensibilità. Così com'è stato rilevato nel precedente capitolo a proposito dell'*hangar* di Wachsmann o della *city tower* di Kahn, emerse un'architettura dalla struttura tetraedrica, prolungabile, ampliabile indefinitamente, senza inizio e senza fine, in cui si imponeva un codice formale fatto di tutte le innovazioni tecnologiche del momento, ossia il calcestruzzo a vista, le strutture tetraedriche, la prefabbricazione, gli elementi pneumatici.

Come afferma Banham, si generò una "moda intellettuale", un concetto progressista, dominante nell'architettura e nell'urbanistica, che permetteva riflessioni tra permanente e transitorio, tra ciò che è grande e ciò che è piccolo.¹¹¹ All'innovazione tecnologica si affiancò una ricerca diametralmente opposta, ossia lo studio verso il passato o verso ciò che esiste e può essere reinterpretato con luce nuova, mega-strutturale. Alcuni tra i riferimenti furono il

Ponte Vecchio, il palazzo di Mesa Verde in Colorado, *Sant'Elia*, i progetti della NASA, i moli portuari, i pozzi petroliferi, lo *Shivering Sands Fort*, la *Wohnberg* di Gropius. Non importa se le associazioni, ad esempio, tra Ponte Vecchio di Firenze e la megastruttura sembrano adesso forzate o assurde,¹¹² perché in quel momento di trasformazione era necessario trovare appigli e riferimenti nella storia che potessero giustificare scelte progettuali tanto ardite.

Un'architettura di stampo mega-strutturale si sviluppò parallelamente in Italia, in Francia ed in Giappone, fino a fondersi, dopo il 1964, nel mega-strutturalismo; in particolare in Giappone il rapporto con la megastruttura assunse, come vedremo, caratteri metabolici.

A partire degli anni '50 del secolo scorso, per rispondere al sempre maggiore incremento demografico, gli architetti giapponesi cercarono soluzioni tese all'occupazione del mare e alla concentrazione della popolazione in strutture urbane 'mega', tridimensionali.

F. Maki precisa quella che era la realtà urbana degli anni '60, caratterizzata dall'eterogeneità di istituzioni ed individui, dalla rapidità di trasformazioni sia fisiche che sociali, da rapidi sistemi di trasporto e da una tecnologia in crescita. È questo il contesto nel quale si sviluppa il Metabolismo.

Ormai dobbiamo vedere la nostra società urbana come un campo dinamico di forze in relazione reciproca. È un insieme di variabili reciprocamente indipendenti all'interno di una serie infinita che si espande rapidamente. Qualunque ordine introdotto nel pattern di forze contribuisce ad uno stato di equilibrio dinamico.¹¹³

La prima esposizione del progetto metabolista fuori dal Giappone avvenne ad Otterloo, in occasione del CIAM X: in questa occasione K. Tange presentò i suoi progetti e quelli di K. Kikutake, tra cui la *Città del Mare*, un progetto che condensava progetti anteriori quali la *Città Marina* e la *Città delle Torri*, e che terminò nel 1962 con il progetto della *Città Oceanica*. Oltre a mettere in scena progetti metabolisti, Tange sottolineò quelli che erano i punti chiave del Metabolismo: si prese coscienza che la città, con tempi diversi, metabolizza gli eventi, e che al suo interno ci sono parti più resistenti (permanenti) e parti che hanno un carattere più effimero, transitorio. Quindi si identificava una parte strutturale permanente alla quale poter collegare elementi temporanei che cambiano a seconda delle necessità del momento. Tange spiegò questo concetto con la metafora dell'albero, dove il tronco costituisce con i rami la parte permanente, mentre le foglie rappresentano la parte temporanea.

All'interno di questa struttura gli edifici possono crescere, scomparire e tornare a crescere, però la struttura permane.¹¹⁴

I mega-edifici vennero intesi come strutture permanenti alle quali connettere pattern di cellule abitabili prefabbricate. Il pattern che già si era imposto nella definizione della struttura, ossia della parte permanente, adesso diventa uno strumento per ottimizzare la collocazione delle unità temporanee legate al proprio metabolismo. La stessa *Città Oceanica*, Kiyonori Kikutake (1962), si sviluppò secondo questi principi: un sistema di pattern circolari aiuta a definire ogni elemento dell'intera composizione, dalle isole, alla buca, alla determinazione delle torri, fino alla contaminazione di quest'ultime secondo un alternarsi di residenze individuali anch'esse cilindriche (le foglie). Il pattern che definisce l'involucro esterno è quindi il risultato di un'alternanza di cellule cilindriche che contaminano, uniformemente o selettivamente, parte delle torri cilindriche.

Il progetto di Tange che tuttavia manifesta meglio tutta la retorica metabolista è quello della *Baia di Tokio* (1960): una megastruttura fatta di megastrutture. È un'opera di proporzioni megalomane che attraversa tutta la baia della città secondo un sistema di crescita urbana strutturata tramite la sovrapposizione di diversi ordini di progetto. Lungo una catena longitudinale, composta da circuiti di traffico tangenti, prendono posto le attività permanenti: il centro degli affari, gli uffici, edifici pubblici e commerciali. Da questo asse si diparte ortogonalmente un sistema di linee secondarie sulle quali si struttura la parte estendibile del progetto, costituita quindi dagli elementi più temporanei, come le pagode residenziali, anch'esse trattate come megastrutture. Si tratta di un progetto che, nonostante l'uso di una scala non umana, rivelava una coerenza ed un pieno controllo formale su ogni aspetto, da quello architettonico a quello urbano.

Contemporaneamente, in Francia, si sviluppava un'idea mega-strutturale più *naïve*, ma altrettanto attrattiva, detta *urbanisme spatial*, basata sull'elegante immagine di strutture reticolari estensive, nei cui interstizi prendevano posto pacchetti funzionali. All'estetica brutale del calcestruzzo e della reiterazione modulare si rispondeva con una leggerezza strutturale che trovava i suoi riferimenti nell'opera di Fuller o di Ricolais, ma con un'ingenuità e un'irrealizzabilità sia sul piano tecnico che funzionale. Y. Friedman, energica figura in campo internazionale, fondò l'urbanismo spaziale basandosi sui temi del cambiamento e della mobilità, invocando il nome di Huizinga per interpretare la megastruttura come terreno di gioco. La trasformazione era, per Friedman, condizione indispensabile dell'uomo contemporaneo sia a livello architettonico-personale che urbanistico-collettivo.

Nel 1964 Maki scrisse *Investigations in collective form*, nel quale apparì ufficialmente, per la prima volta, il termine Megastruttura. Maki individuò tre forme che strutturano le collettività.

La prima è la forma compositiva, un approccio legato alla composizione di elementi concepiti separatamente e messi in relazione tra loro bidimensionalmente, come ad esempio Chandigarh o Brasilia. Su questa forma Maki non si dilungò e non espresse nessun tipo di giudizio se non la semplice accettazione di un procedimento.

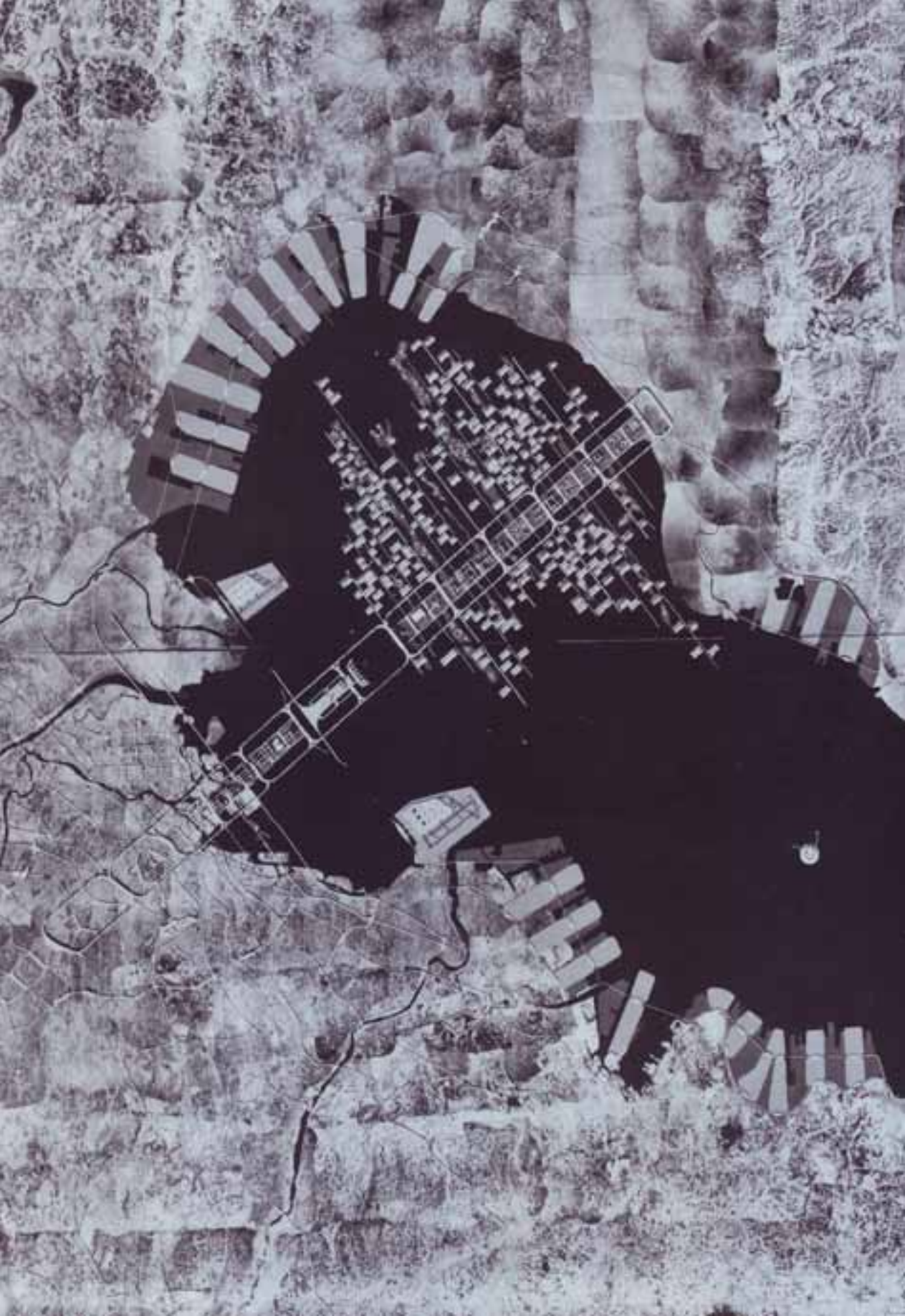
La seconda forma segna la presa di coscienza di un fenomeno che si andava affermando, un punto di partenza; si tratta della mega-struttura qui definita con le parole di Maki:

La megastruttura è una grande cornice in cui sono ospitate tutte le funzioni di una città o di una parte della città. È stata resa possibile dalla tecnologia dei giorni nostri. In un certo senso è una caratteristica del paesaggio dovuta all'uomo. È come la grande collina su cui furono costruite le città italiane.¹³⁵



38. Kiyonori Kikutake, la città Oceanica, 1962

39. (p. successiva) Kenzo Tange, Baia di Tokio, 1960



Questo genere di architettura urbana prevede l'esistenza della mega-forma, ossia un elemento resistente, permanente e quindi vincolato al sistema di comunicazione e alle unità funzionali intercambiabili che gli si connettono. Questa definizione, che potrebbe sembrare semplicistica, si arricchisce di intenzionalità sistemiche.

D'altro canto l'ideale non è un sistema in cui la struttura fisica della città è alla merce di cambiamenti imprevedibili. L'ideale è una sorta di forma maestra che può procedere verso stati di equilibrio sempre nuovi e tuttavia mantenere coerenza visiva ed un senso di ordine persistente a lungo termine. Questo suggerisce che la megastruttura, composta da diversi sistemi indipendenti, che si può espandere o contrarre con il minore fastidio verso altri, sarebbe maggiormente preferibile ad una dotata di un rigido sistema gerarchico.¹¹⁶

Maki sviluppò nelle pagine successive la propria idea di megastruttura, concepita come un insieme di sistemi indipendenti e flessibili che si espandono o contraggono: si tratta di un sistema formato da sottosistemi con una forte identità che entrano in relazione tra di loro senza essere influenzati da altri. Questo delicato equilibrio può verificarsi scegliendo sistemi funzionalmente indipendenti e fornendo adeguati punti fisici di interdipendenza.

Egli proponeva infine la forma-gruppo, un approccio sequenziale che ha molti esempi nella storia delle città medievali, nei villaggi nord africani ed in quelli giapponesi, che si basano sul rispetto della scala umana, sull'utilizzo di materiali e metodi costruttivi semplici che riducono la diversità tra le unità urbane. Sono esempi che rivelano un uso sapiente della topografia, nella quale si insediano secondo uno sviluppo sequenziale, con l'uso cioè di un pattern ripetitivo di elementi essenzialmente residenziali. I principi di generazione della forma collettiva, come rilevava Maki, sono particolarmente stimolanti: c'è sempre una relazione chiara tra l'unità-casa e l'intero villaggio. Parlando della classica struttura urbana dei villaggi giapponesi posti lungo una strada di campagna, egli affermava:

Qui l'unità abitativa è un generatore della forma del villaggio e viceversa. Un'unità può essere aggiunta senza cambiare la struttura basilare del villaggio. La profondità e la facciata dell'unità o la dimensione della corte o del fienile possono differire da unità ad unità. Ma prevale una comprensione di strutture basilari nel realizzare il villaggio.¹¹⁷

Si tratta di pattern urbani che sono frutto dell'esperienza umana accumulata nel corso degli anni, di una lenta sofisticazione che, arrivando a creare un determinato sistema di organizzazione, fissa delle leggi di crescita nel tempo.

La considerazione di Maki riguardante la *geometric form* implica il rischio che l'architetto possa inventare un pattern geometrico urbano, definendolo, equivocamente, forma-gruppo. La geometria è uno strumento indispensabi-

le per interpretare le necessità del territorio, ma di per sé non è sufficiente a generare una forma di gruppo: “*la geometria é solo uno strumento di ricerca per la forma-gruppo*”.¹¹⁸

Nel capitolo *Linkage in collective form*, Maki spiegò l'importanza, nell'urbanismo, della connessione tra elementi discreti. Per connessione si intende un'attività invariante della forma collettiva: negli esempi vernacolari essa, evolvendosi insieme alle unità che collega, genera un complesso coordinato. Spesso negli interventi contemporanei questo livello di connessioni fallisce, soprattutto nella relazione tra città contemporanea e città antica. La città come pattern di eventi: “*connettere è assemblare pattern di esperienza nelle città*”. Il termine pattern viene utilizzato per marcare i diversi livelli che compongono la città (sociale, temporale, spaziale); questi pattern di esperienze hanno bisogno di connessioni che avvengono attraverso delle ‘categorie operative’ e che generano altre famiglie di pattern: mediare, definire, ripetere, generare percorsi funzionali, selezionare.

Sebbene siano stati realizzati solo pochi dei tentativi metabolisti e sebbene sia criticabile la loro dimensione a volte inumana, non possiamo rimanere indifferenti di fronte alla potenzialità generativa propria del progetto metabolista e alla capacità di gestire la complessità urbana attraverso l'architettura e la tridimensionalità. In questo senso la ricerca sui pattern, capaci di interpretare la forma collettiva, diventa un'opportunità per incidere sulla scala urbana e, introducendo la dimensione temporale, per superare l'idea di *master plan* a favore del *master program*.



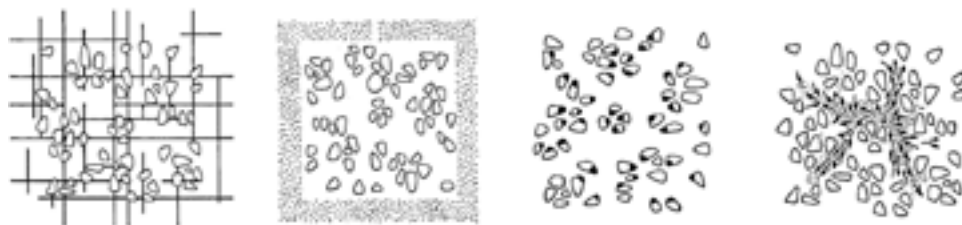
40. Manarola, paesaggio urbano uniformato dalla ripetizione di edifici che condividono dimensioni, materiali e orientamento. 1964

In opposizione alla concentrazione sull'oggetto architettonico in sé, propria del movimento moderno, si articolano relazioni spaziali tra più oggetti: è come se il pattern, incorporando la sfera spaziale, cambiasse scala. Il pattern diventa in questo modo uno strumento per articolare elementi funzionali, per determinare la loro comunicazione, per stabilire gli elementi permanenti e temporanei di una costruzione.

La tecnologia diventa spesso il motore della sperimentazione, e la prefabbricazione diventa anch'essa un pretesto per la modularità delle unità funzionali: la funzione di queste unità è prevalentemente temporanea e quindi residenziale. Generalmente i pattern sono, dal punto di vista geometrico, semplici, e prendono forza nella ripetizione dell'elemento matrice, nella serialità: si genera in tal modo un'estetica nuova, fondata sulla ridondanza, pretesto per generare sistemi dotati di un'apparente flessibilità, versatilità o prolungabilità.

Tuttavia l'idea, fortemente affascinante, di individuare nell'architettura e nelle città elementi con differente metabolismo rimase solo una metafora formale che non subì mai reali trasformazioni nel tempo: dei pochi edifici realizzati, nessuno subirà nel tempo modifiche o trasformazioni delle unità temporanee.

Non bisogna tuttavia dimenticare le raccomandazioni di Maki riguardo i rischi del generare sistemi geometricamente autoreferenziali privi di relazioni con l'intorno: il pattern deve avere infatti una relazione continua con il territorio, che deve interpretare e con il quale deve continuamente interagire.



41. Fumiko Maki, Città come pattern di eventi, 1964

da sinistra a destra. a) mediare: connettere con elementi intermedi; b) definire: racchiudere all'interno di una stessa barriera strutture diverse; c) ripetere: dare ad ogni elemento una caratteristica comune in modo da rendere tutti gli elementi parti dello stesso ordine; d) percorso sequenziale: disporre più elementi costruiti lungo percorsi con attività che catalizzano nuovi sviluppi.

Strutturalismo

Il congresso di Otterloo del 1959, oltre a proclamare il Metabolismo, gettò le basi dello Strutturalismo, un contesto architettonico ed urbanistico che godeva di un certo fervore, essendo considerato una reazione alle dichiarazioni ormai obsolete del CIAM.

In particolare, nel 1933, in occasione del IV CIAM, si firmò la carta d'Atene, con la quale si stabilivano i principi per rispondere ai problemi della città, che si basavano su una rigida segregazione funzionale ed una concentrazione della popolazione in blocchi residenziali ad alta densità, ampiamente spazati tra loro. A partire dagli anni '50 del secolo scorso ci si accorse del limite di questi principi: al 1953, con il CIAM IX, si data la nascita di una nuova generazione critica, diretta da Alison e Peter Smithson, Aldo Van Eyck, Georges Candilis, Shadrack Woods, Jacob B. Bakema.¹¹⁹

Dopo aver organizzato il CIAM X (1956), questo gruppo di architetti sciolse, nel 1959 a Otterloo, il CIAM, proclamandosi ufficialmente come TEAM X. Contrari ai principi del funzionalismo e della segregazione funzionale, essi investigarono i principi strutturali della crescita urbana e la relazione tra forma fisica e necessità socio-psicologica: all'omologazione dei blocchi residenziali vollero rispondere con un'architettura capace di incarnare le qualità individuali oltre quelle sociali. Il pensiero strutturalista di De Saussure nella linguistica e di Levi-Strauss in antropologia era apparso anche in architettura, la quale condivideva, con le altre discipline, l'idea di una "struttura profonda": si trattava di una struttura che, come aveva studiato Levi-Strauss, definiva la forma sociale delle culture tradizionali così come la l'organizzazione dell'ambiente costruito.

Queste riflessioni influenzarono profondamente il pensiero di architetti come Van Eyck, la cui ricerca riguardava principalmente le relazioni tra l'architettura vernacolare e quella contemporanea. Egli vedeva nella perdita del vernacolo l'origine di un vuoto culturale che, per soddisfare le esigenze di una società di massa, aveva causato un'inadeguatezza sia estetica che strategica.¹²⁰ L'importanza dei valori insiti nel vernacolo si rivelò ad esempio nella progettazione di G. Candilis delle residenze in Marocco ed in Algeria, nella mostra fotografica di N. Henderson (organizzata dagli Smithson) che ritraeva la vita urbana di Londra e che spinse Van Eyck alla documentazione dei nuovi insediamenti scoperti nel Sahara.

In questo contesto la rivista olandese *Forum* divenne la piattaforma intellettuale dove criticare le rigidi posizioni del CIAM e ricercare le relazioni tra le strutture sociali e le forme vernacolari costruite. Nello stesso anno del CIAM di Otterloo, l'editoria passò quindi al gruppo presto conosciuto come

Forum group, nel quale spiccarono figure quali A. Van Eyck, J. Bakema ed il giovane H. Hertzberger. Nel primo numero della rivista apparirono nuovi concetti in merito alle “relazioni tra le persone e le cose”,¹²¹ che, come diceva Bakema, ci rendono consapevoli di una vita piena.

Questi affascinanti concetti divennero più espliciti nel secondo numero *Threshold and encounter: the shape of transition*, in cui venne dato risalto allo spazio di passaggio tra interno ed esterno e a tutte le possibilità progettuali che questa transizione può offrire. Hertzberger mostrò, assemblando tra loro più unità abitative secondo differenti pattern organizzativi, la trasformazione di tutti gli elementi nel dialogo tra privato e pubblico. Questo genera una certa approssimazione dell'unità abitativa rispetto alla scala umana, la dotazione di spazi esterni di qualità e la differenziazione degli elementi di transizione, posizionando l'architettura residenziale all'intersezione tra la casa unifamiliare ed i blocchi residenziali. Ciò dimostra anche la potenzialità di un'operazione che divenne, per intere generazioni di architetti olandesi, metodo disciplinare: attraverso la separazione delle unità funzionali e la loro riformulazione secondo semplici pattern distributivi, si generarono situazioni tipologiche, a volte insperate. Questo è forse il risultato più esplicito dello strutturalismo e di come la struttura intrinseca delle cose possa prendere forma: un'architettura organizzata secondo pattern che gestiscono la distribuzione di moduli chiaramente articolati. La nozione di “chiarezza labirintica” di A. Van Eyck si basava sugli stessi principi, ovvero sulla sequenza di unità mutuamente relazionate.

Fu proprio Van Eyck a progettare l'icona dello strutturalismo ed il manifesto del *Forum*, con la progettazione dell'orfanotrofio di Amsterdam (1955-1960), progetto che anticipa il successivo *Frankfurt-Römerberg* di Candilis, Josic e Woods (1963) e l'ospedale di Venezia di Le Corbusier (1965).

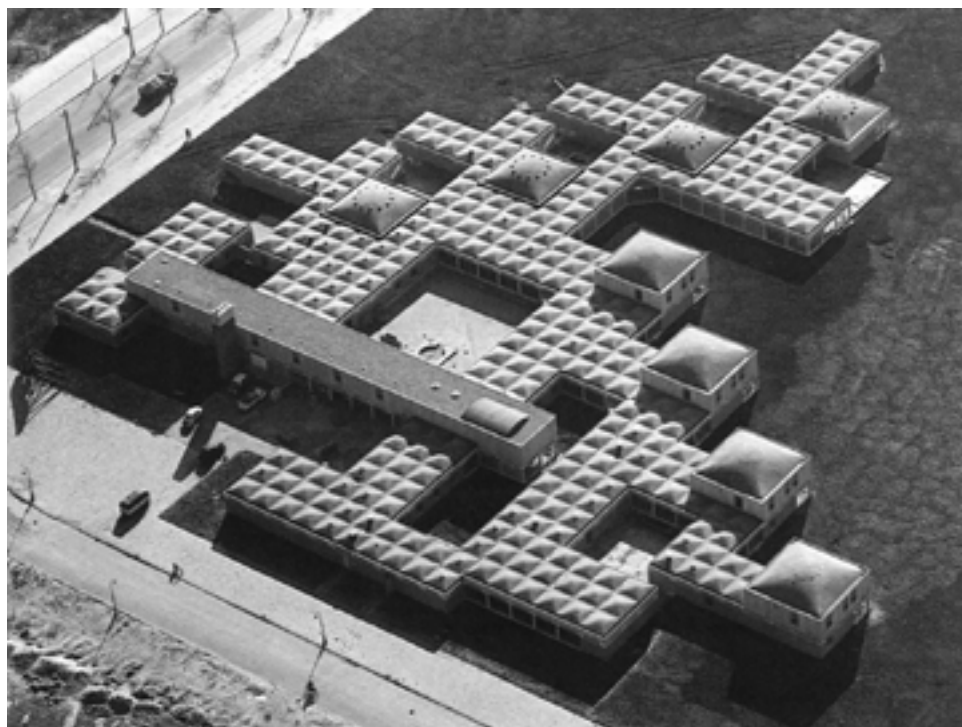
Un edificio di culto degli anni '60, l'orfanotrofio di Van Eyck fece emergere un'interpretazione molto particolare delle moderne idee architettoniche arricchite dai pattern, distribuendo e ripetendo i padiglioni in maniera uniforme.¹²²

Si tratta di un progetto che segnò la tipologia “a tappeto”, ovvero un'architettura che si sviluppava in maniera estensiva secondo proporzioni orizzontali e che introduceva l'illuminazione e la ventilazione attraverso delle bucaure a patio. L'orfanotrofio può considerarsi come la sintesi tra l'individuo ed il gruppo: la residenza per 125 bambini venne infatti interpretata da Van Eyck come uno spazio di socializzazione nel quale si alternano spazi intimi con spazi comuni, in un'articolazione continua tra l'interno e l'esterno. Il tutto veniva generato da un'alternarsi di unità autonome residenziali che crescono attorno a un'asse di comunicazione interna, come una piccola città indipendente che ha una strada con le sue piazze e le sue unità costruite.

In questo modo Van Eyck volle riconciliare una struttura centralista con una decentralizzazione sparpagliata [...] Le numerose piccole cupole ed alcune più grandi mostrano come la molteplicità sia riconciliata con l'unità e l'unità con la diversità tramite la ripetizione della forma base.¹²³

All'interno dell'edificio dialogavano inoltre elementi apparentemente opposti tra loro (come piccolo-grande, dentro-fuori, costanza-cambiamento, molteplicità e singolarità, etc.), che lo stesso Van Eyck definì fenomeni duali. Egli stesso affermò su *Forum*:

Nella città contemporanea tutto è troppo grande e troppo piccolo, troppo distante e troppo vicino, troppo e troppo poco, troppo e troppo poco identico, troppo e troppo poco diverso. Quindi tutto è stato finalizzato al tentativo di costruire questo orfanotrofio come una piccola città, in base al presupposto che la città dovrebbe essere come una grande casa. Qui ad una molteplicità di elementi era stato consentito, per così dire, di formare un pattern non rigido e complesso. Questi sono stati poi soggetti ad un unico principio strutturale e costruttivo, in maniera tale da rendere il pattern riconoscibile ed omogeneo, ed inoltre aggregati da un tema umano generale dotato di significatività individuale/comunitaria: la strada interna con l'aggiunta di case esterne.¹²⁴



42. Aldo van Eyck, Orfanotrofio, Amsterdam, 1960

Si delineò in tal modo un concetto sociale che si trasformava in forma ed in organizzazione e che si strutturava tramite un pattern generante l'estetica del progetto. È per questo che i principi strutturali e costruttivi vennero ridotti al minimo, proprio per enfatizzare e rendere ben riconoscibile il pattern, ossia "la struttura" intrinseca e non statica che vertebrava il progetto.

Costruttivamente il progetto è basato su una griglia di pilastri circolari sui quali prendono posto gli architravi, che permettono la realizzazione di grandi aperture, interne od esterne (queste ultime vetrate); su questa struttura poggiano le cupole quadrate di calcestruzzo prefabbricato (3,60 x 3,60 metri) che determinano il modulo del progetto.

Un altro progetto pertinente alla fase iniziale dello strutturalismo è la proposta finalista di J. van Stigt, che consisteva in un villaggio per bambini per il *Prix* di Roma. Attraverso la ripetizione di un'unità basica, si otteneva, per sovrapposizione tridimensionale, un sistema articolato di parti interrelate: come chiarì lo stesso Van Stigt, l'insieme, altamente complesso, era generato dalla ripetizione e dalla concatenazione di "elementi di piccolo ordine", differenziati dalla funzione e coincidenti con la struttura portante.

Questo progetto anticipò gli studi di Hertzberger inerenti a due concorsi per il *Town Hall* (a Valkenswaard e ad Amsterdam), che si materializzeranno nella creazione degli uffici per la compagnia di assicurazioni *Centraal Beheer* ad Apeldoorn. L'edificio doveva accogliere mille impiegati: oltre alle funzioni di ufficio si prevedevano zone di relax e convivenza. Così come l'orfantrotorio, anche questo progetto rivelava un 'ordine', definito dallo stesso Hertzberger:

In termini semplici, si potrebbe dire che l'ordine di un edificio è l'unità che sorge in un edificio quando le parti prese insieme determinano il tutto e, viceversa, quando le parti separate derivano da quel tutto in una maniera altrettanto logica.¹²⁵

Potremmo dire che l'ordine è proprio uno dei concetti fondamentali dello strutturalismo: ordine inteso non in termini classici, ma come famiglia di elementi in relazione tra loro, dove resta riconoscibile l'elemento generatore della totalità.

L'esempio di Hertzberger sul linguaggio è chiarificatore: in una frase il significato è reso dalle parole da cui è composta, ma allo stesso tempo il significato di ogni parola dipende dalla frase nella sua interezza. Quindi le parole del *Centraal Beheer* sono delle unità spaziali parallelepipediche che costituiscono un insediamento globale.

Il complesso genera una montagna artificiale di elementi scalinati ed alternati, che, nonostante l'ingente massa occupata in planimetria, permettono

l'illuminazione di ogni unità. L'alternarsi dei blocchi nelle tre dimensioni permette inoltre la generazione di spazi con diverse altezze all'interno e l'uso dei tetti dei blocchi inferiori come terrazze. Il risultato è un paesaggio artificiale che avrà probabilmente ispirato la più recente *Mountain Dwellings* di Bjarke Ingels.

Il pattern che genera il *Centraal Beheer* è costituito da una griglia non gerarchica di blocchi di m 9x9, separati da vuoti di 3 metri che assicuravano un'illuminazione naturale. Questo pattern, nel progetto, non costituiva un a-priori dal quale il progettista non può sfuggire: il modulo viene accuratamente scelto secondo le funzioni interne che esso deve ospitare. Per ogni modulo quadrato si designava una parte centrale cruciforme di circolazione che, oltre a ricucire l'unità spaziale, marcava quattro aree angolari utilizzate per soddisfare tutte le esigenze funzionali del complesso: postazione di lavoro differenziate, sala riunione, sala d'aspetto, bar, servizi. Il sistema di generazione venne quindi modulato, interpretato e piegato alle esigenze di Hertzberger.

Il *Centraal Beheer*, se considerato nel suo contesto storico, è senz'altro un progetto rivoluzionario, in quanto cambiò totalmente l'idea di pianta libera, portando la modulazione al livello di progettazione spaziale e sociale. L'individuo, in questo progetto, viene riconosciuto come unità singola e allo stesso tempo come parte di un insieme riconoscibile del gruppo sociale: ciò, insieme alle condizioni ambientali ottenute all'interno dell'edificio, generò un'umanizzazione dello spazio di lavoro senza precedenti.

È possibile affermare che questo progetto, insieme all'orfanotrofio di Van Eyck, condensi gli elementi principali dello strutturalismo. Così come affermava W. van Bodegraven, l'architettura strutturalista si fonda sulla generazione di forme o strutture capaci di ulteriori sviluppi nel tempo, in grado di mantenere la coerenza tra le parti come in un tutt'uno, sia prima che dopo la crescita.¹²⁶ L'idea di mostrare la struttura ed il sistema costruttivo è un aspetto significativo dello strutturalismo, che spiega la natura dell'edificio, i suoi ritmi, la ripetizione degli elementi e aiuta a comprenderne la coerenza dell'insieme oltre alla possibilità di espansione ed intercambiabilità.

Il grande contributo dello strutturalismo all'interno dell'architettura contemporanea risiede nel considerare il progetto come un pezzo di città. Esso non è caratterizzato da un interesse particolare verso la facciata o verso l'oggetto architettonico di per se, ma nei confronti della forma sociale, dei rapporti tra pubblico e privato. I progetti strutturalisti sono dei sistemi aperti senza contorni definiti che non limitano lo spazio esterno, ma lo assorbono con un tessuto spugnoso fatto di spazi di transito, di incontri. La gente rap-

presenta infatti un aspetto centrale del progetto: questo si manifesta attraverso la creazione di spazi destinati agli incontri, sia all'interno degli edifici, sia all'esterno, nei rapporti tra pubblico e privato. L'aspetto sociale, però, non riduce l'individualità del soggetto, che è sempre riconoscibile all'interno dell'architettura, sia nello spazio di lavoro che nell'edificio residenziale.

Il limite del pattern strutturalista, così come accade nel metabolismo, è che la sua adattabilità è limitata alla sola possibilità di aggiungere o sottrarre elementi: si tratta di un'architettura che si basa sull'individuazione di una cellula madre che si ripete in maniera estensiva secondo pattern tridimensionali, senza per questo perdere la riconoscibilità della cellula di partenza. Ma questo di per sé non è stato sufficiente ad assicurare l'umanità dell'architettura: molto spesso si degenerava in una metafora che si distanziava dalla scala umana.

La reazione ai blocchi residenziali funzionalisti postbellici spinse infatti verso una ricerca che, nonostante gli interessanti risultati sperimentali, determinò la produzione, secondo Van Eyck, di nuovi edifici inabitabili: la difficoltà risiedeva nel trovare la "struttura" significativa e flessibile alle esigenze di tutti gli abitanti.¹²⁷



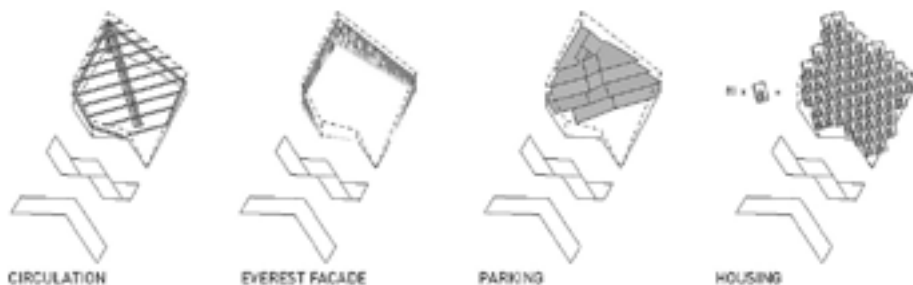
43. Herman Hertzberger, Centraal Beheer, Apeldoorn, Olanda, 1967-1972

3.2 PLOT E IL NEO-STRUTTURALISMO

L'utilizzo del pattern tridimensionale trova spazio nella contemporaneità nelle opere di Big e Jds: questi lavorano con un nuovo concetto di densità che si radica nelle tipologie mega-strutturali, introducendo tuttavia quella qualità di vita ed umanità che mancava all'architettura degli anni '60 del secolo scorso. Sebbene a volte la concettualizzazione del progetto sia troppo diretta e spiegata in maniera quasi deterministica, l'idea di densità è sempre modellata sulle caratteristiche ambientali e sociali del contesto. Per questa ragione la massa costruita perde peso in funzione di spazi aerati o verdi, che introducono intimità e luce all'interno o aggiungono spazi di transizione semipubblici.

Lo studio di architettura Plot, fondato dal danese Bjarke Ingels e dal belga J. De Smedt, sembrava proporre, in alcuni dei suoi progetti, un certo neo-strutturalismo Hertzbergeriano. In seguito alla separazione avvenuta nel 2006 (dopo 5 anni di intensa collaborazione), i due soci fondarono rispettivamente Big Group e Jds: pur essendo due studi indipendenti, i loro progetti continuano a ripetere dinamiche e strategie progettuali comuni. Come nel caso dei progetti di Hertzberger, essi rivendicano l'importanza dell'unità abitativa a scala umana, promuovendo elementi di dialogo tra spazio pubblico e privato anche attraverso l'integrazione di aree verdi. Tramite semplici griglie reticolari producono situazioni tridimensionali che inseriscono luce, visuali e favoriscono la permeabilità dell'utenza.

Il *Mountain Dwellings* è uno dei loro progetti più celebri. La volumetria del lotto è occupata per 1/3 da abitazioni e per 2/3 da parcheggi. I due programmi si distribuiscono su due strati in modo da generare una superficie inclinata orientata a sud: su questa prendono posto le unità abitative e le terrazze che si alternano a scacchiera. Questa montagna artificiale permette



44. PLOT, *Mountain Dwellings*, Copenhagen, 2007

la topografia a gradoni è il risultato dell'interazione di più fattori: circolazione, orientamento, programma funzionale, vegetazione.

di godere della qualità di vita di una “casa unifamiliare” di periferia e dell’intensità e vicinanza del contesto urbano. I vantaggi di questa semplice disposizione tridimensionale sono la *privacy* nelle visuali, l’orientamento degli 80 appartamenti, la disponibilità di uno spazio verde privato. Così come nel caso del *Centraal Beheer* di Hertzberger, si produce un paesaggio artificiale tridimensionale e modulare nel quale l’individuo è riconosciuto come unità singola.

La frammentazione e la serialità della loro architettura supera, nei progetti successivi, la coincidenza tra unità abitabile ed unità costruita: infatti una delle linee di progetto proposte da Big e JDS suggerisce una costruzione del progetto per unità o *pixel*, in modo da interpretare diverse condizioni del progetto.

A volte il pattern a scacchiera è semplicemente un sistema di perforazioni che permette la realizzazione di terrazze nel blocco architettonico (come nel caso del *World Village of Women Sports* a Malmö, Sweden, progettato da Big) oppure costituisce un sistema di aperture rettangolari che interpretano geometricamente una superficie (come nel caso del *Tirana Mosque, Islamic Cultural Centre and Museum of Religious Harmony* di Tirana, Albania, proget-



45. PLOT, Mountain Dwellings, Copenhagen, 2007

tato da Big).

In altre occasioni, tra cui il *Mountain Dwelling*, la scacchiera diventa pretesto per un sistema scalinato. Nella *Lego Tower* di Copenhagen (Big) o nel *Bratislava City Center* (Jds) si genera una topografia che segue una griglia principalmente quadrata che varia nella terza dimensione a seconda delle funzioni, passando da rilievi pubblici facilmente percorribili a prominente più scoscese e private. Questa composizione montagnosa è il risultato dell'integrazione fra spazio pubblico verde, orientamento solare e accessibilità degli utenti.

La scalinatura degli edifici è quindi un altro pattern utilizzato da Big e Jds, che permette di costruire topografie che lasciano penetrare la luce, danno visibilità e creano spazio pubblico all'interno dello stesso sistema formale. *The Battery* (Copenhagen) di Big e Jds è il loro primo tentativo di proporre una topografia abitabile: anche in questo caso è possibile riconoscere un precedente nell'architettura mega-strutturale, ed in particolare nel *The Mountain City* (esposizione di Trigon, 1969) di H. P. Schlosser, dove tutte le unità abitate generano una città topografica.

Nel caso di Big e Jds la scala dell'intervento è umana, la topografia è il risultato di parametri urbanistici, connessioni, accessi, parametri ambientali come visuali e luminosità: è sempre una topografia pensata per integrare la



46. PLOT, scala tower, Copenhagen, 2003

vita sociale.

Interessanti sono anche i casi nei quali la topografia-scalinata diventa un modo per vivere la superficie dell'architettura trasformandola in spazio pubblico. È questo il caso dello *Stavanger Concert Hall* (Stavanger, Norvegia) e della *Scala Tower* di Copenaghen: in quest'ultimo caso la torre è pensata per ospitare attività pubbliche come commercio, centro conferenze, una libreria nella parte bassa ed un hotel di lusso nella parte alta. Le due differenti esigenze sono state risolte utilizzando lo stesso ricorso, attraverso una superficie a gradini che permette l'accesso alla parte bassa e allo stesso tempo produce delle lame per l'ombreggiamento interiore.

Per concludere, il duo Plot ha creato una connessione diretta con l'epoca mega-strutturale degli anni '60 del secolo scorso, recuperando la coerenza tra le parti, il ritmo e la ripetizione di elementi, la relazione tra pubblico e privato, tuttavia con una nuova interpretazione. Si rinuncia infatti all'ingenua idea di espansione o di trasformabilità nel tempo e, a volte, alla dimensione poco umana dei progetti metabolisti: al contrario questi architetti propongono un'architettura anti elitista, facile da capire, verde e più prossima all'uomo.

3.3 IL PATTERN UNIFORME DEL PROGRESSISMO, SFONDO STRUTTURANTE DELLA DIFFERENZIAZIONE UTOPICA. ARCHIGRAM, SUPERSTUDIO, ARCHIZOOM

Frampton, nel quarto capitolo del suo libro *Storia Critica dell'Architettura Moderna*, si dimostrava critico rispetto al ruolo contraddittorio che la professione aveva rivestito a partire dalla metà degli anni sessanta del secolo scorso: si trattava, secondo il critico, di un'architettura contraddittoria, che da una parte professava l'interesse pubblico, mentre dall'altra appoggiava un estremo fanatismo tecnologico.

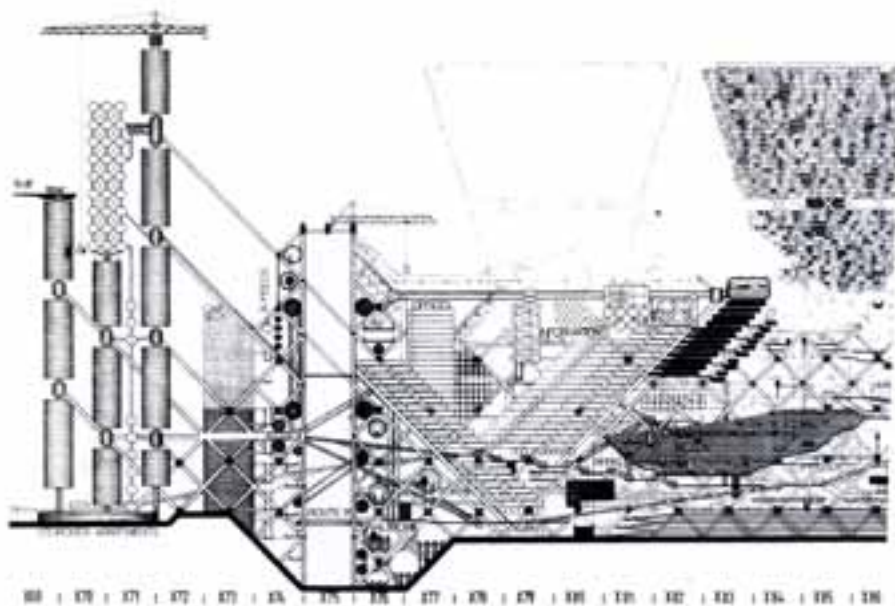
Inoltre molti esponenti del periodo avevano abbandonato la pratica tradizionale per dedicarsi all'azione sociale o ad un'architettura visionaria come forma d'arte.¹²⁸ Occorre infatti annoverare, tra le reazioni alla rigidità del movimento moderno, una ricerca di stampo utopico e visionario che prese forme diverse in tutto il mondo.

Negli Stati Uniti si parlò di *Funk Architecture*, un'autocostruzione legata al movimento *hippy*: il maggior esponente di tale movimento è riconosciuto nel gruppo Ant Farm, fondato nel 1968 da C. Lord e D. Michels, due giovani architetti che incarnavano lo spirito rivoluzionario dei tempi, ai quali successivamente se ne aggiunsero altri. Più che uno studio di architettura, Ant Farm era un collettivo che spingeva i limiti dell'architettura verso quelli

dell'arte, dei video, delle installazioni, trasformando il lavoro architettonico in uno stile di vita. Non dobbiamo dimenticarci che si trattava degli anni del liberalismo sessuale, delle droghe psichedeliche e degli ideali utopici: la loro architettura voleva inverare le inquietudini del tempo, cercando un'alternativa al sistema esistente e rispondendo con una vita nomade costruita con strutture pneumatiche leggere, trasportabili ed in contrapposizione con la pesante architettura brutalista.¹²⁹

In Europa si misero in discussione i precetti della professione attraverso una sperimentazione visionaria che rimase tuttavia sul piano teorico e virtuale.

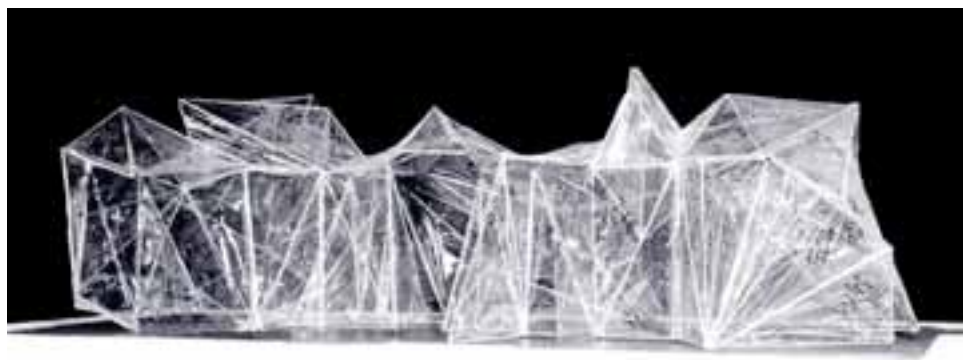
In Inghilterra la progettazione 'utopica' degli Archigram assunse proporzioni mega-strutturali nella sua prima fase, fino alla progettazione della *Walking City*, *Computer City* e della *Plug-in City* (1964). In quest'ultimo caso il pattern strutturale continuava a possedere quelle virtù mega-strutturali alle quali agganciare le unità funzionali indipendenti; l'elemento futurista da un lato manifestava un carattere fantascientifico, dall'altro si arricchiva di dettagli quasi costruttivi, come a conferire una calcolata parvenza tecnica e scientifica. In realtà si trattava di un piacere maniaco verso la rappresentazione e la generazione di un'estetica del disegno. Gli Archigram accettarono con entusiasmo le possibilità del consumismo contemporaneo. *Plug-in City*



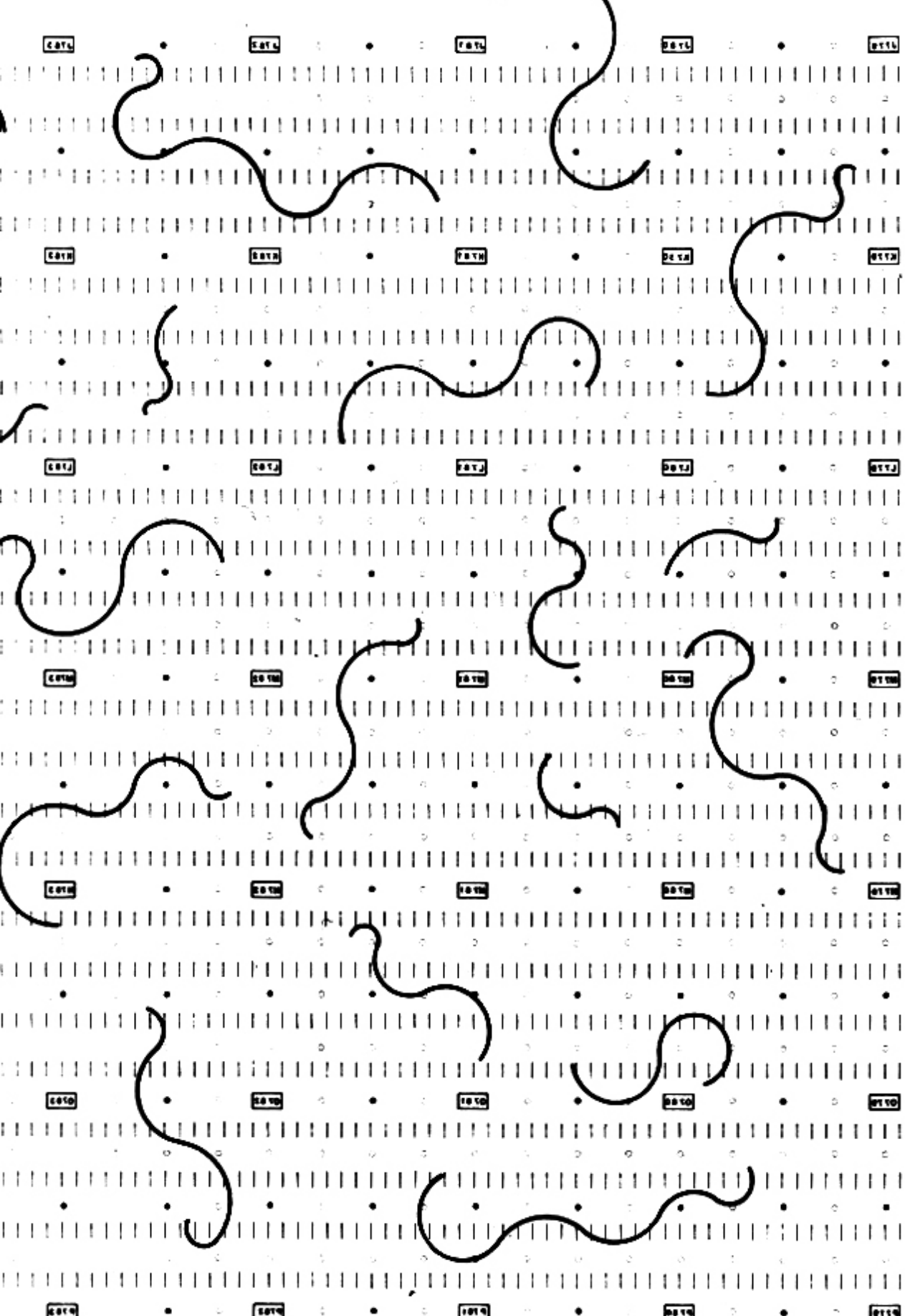
47. Peter Cook, *Plug-in City*, 1964

puntava alla libertà dell'individuo, e, su questa base, ad una flessibilità urbana che rompeva con qualsiasi forma anteriore di città. È per questo che ogni elemento del progetto venne finalizzato ed estremizzato per rendere chiara tale flessibilità: gru che spostano capsule di uffici o di residenze, tubi di comunicazione inclinati, capsule intercambiabili. Su una macrostruttura 'diagonale' permanente, nella quale si sviluppavano le infrastrutture e le principali opere di urbanizzazione, si collegavano le unità funzionali temporanee prefabbricate. L'estetica di questa città è l'estetica della versatilità, del movimento, di un pattern omogeneo sul quale le capsule possano parasitare nelle tre dimensioni, liberamente.

A partire da questo progetto, Archigram abbandonò l'idea di sistema strutturale permanente, concentrando la propria ricerca verso unità residenziali altamente flessibili e adattabili.¹³⁰ Questa idea di città era già apparsa in maniera più poetica ed incerta nell'esposizione *Living city* presso l'Institute of Contemporary Arts (ICA) di Londra. Attraverso un coinvolgimento sensoriale fatto di immagini, suoni e testi si avvolgeva l'utente con i concetti radicali della nuova "città vivente", fondata sull'interazione, sulla dinamicità e contraria all'immutabilità dei monumenti storici.¹³¹ L'interessante operazione geometrica spostava l'estetica dalla "capsula" alla triangolazione geodesica, ma con una libertà formale che esulava il rigore di Fuller. Una massa amorfa veniva cristallizzata secondo pannelli triangolari che funzionavano sia come elementi di definizione strutturale dell'installazione che come supporto alla grafica interiore. Il pattern triangolare che ne risultava non era particolarmente raffinato, dal momento che vi erano alcuni triangoli privi di nesso geometrico con l'insieme: infatti la pannellatura non sempre seguiva una triangolazione rispondente alle variazioni formali e strutturali del



48. Archigram, modello dell'esposizione *Living City*, 1963

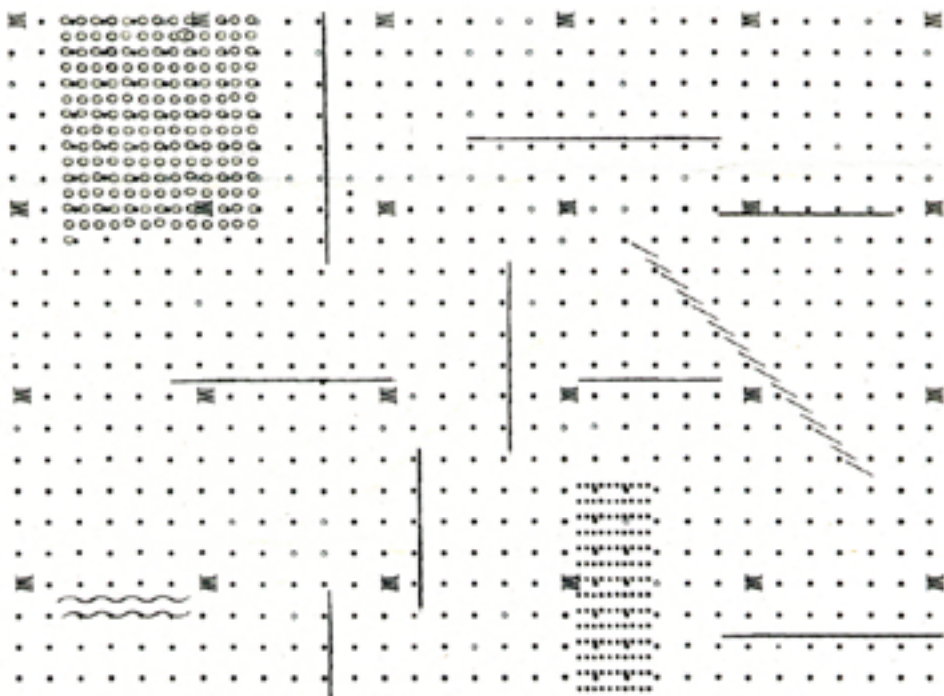


padiglione, ma alcuni vertici dei triangoli insistevano sui lati di altri rendendone impossibile l'articolazione.

Le "radicali" sperimentazioni americane ed inglesi influenzarono i gruppi fiorentini Archizoom e Superstudio, che le manifestarono in maniera ancora più concettuale e teorica. Il rifiuto verso un'architettura tradizionale, l'attenzione verso il luogo come contesto pubblico degli abitanti, l'atteggiamento positivo nei confronti della tecnologia, l'idea di una vita ludica e libera dall'oppressione del lavoro, costituirono la base ideologica espressa dai due gruppi italiani nella mostra *Super Architettura*, da loro organizzata nel 1966 a Pistoia e nel 1977 a Modena. Nelle dichiarazioni della locandina:

L'architettura della superproduzione, del superconsumo, della superinduzione al consumo, del supermarket, del superman, della benzina super. La superarchitettura accetta la logica della produzione e del consumo e vi esercita un'azione demistificante.¹³²

I progetti di entrambi gli studi generavano immagini, evocando situazioni sociali totalmente insperate: il nomadismo, solitamente collegato a forme sociali primitive, veniva ora invece associato all'alta tecnologia e ad un con-



50. Archizoom, "No-stop city", 1970

49. (p. a fianco) Archizoom, "No-stop city", 1970

cetto di città totalizzante. I pattern di *No-stop city*, di *Endless-grid* o di *Monumento Continuo* risultano essere indifferenziati e contaminano indifferentemente il paesaggio: qualsiasi luogo può essere abitato, senza limiti o senza confini. Siamo di fronte al pattern omogeneo della libertà e della uniformità che ci rende tutti uguali, dando a tutti le stesse opportunità. I pattern 'radicali' sono quelli che generano modulazioni astratte e simboliche, che giustificano l'idea di infinito e di ripetibilità ed inglobano la realtà esistente con paesaggi artificiali cablati e climatizzati; sono strumenti geometrici generici, indifferenziati, orientati alla riduzione di ogni tentativo formale; orientati al puro concetto e alla tecnologia della pelle, dello schermo che isola, protegge e informa.

Nella mostra al MOMA, *Italy: The New Domestic Landscape* (1972), Superstudio presentò il *Monumento Continuo*, un parallelepipedo orizzontale e continuo che si sviluppava lungo la Fifth Avenue inglobando tutti i basamenti degli edifici. L'oggetto, di colore bianco e marcato da un pattern quadrato, diviene quasi simbolico, rievocando la purezza monolitica ed il minimalismo tecnologico.

Archizoom partecipò alla stessa mostra presentando una stanza completamente vuota, nella quale si sentivano solo rumori:

La città del futuro non deve ricorrere né ai messaggi codificati né alle gerarchie del potere. Sarà invece un grande spazio neutro e disponibile, esattamente come una stanza vuota, nel quale è possibile esporre qualsiasi cosa, svolgere qualsiasi attività.¹³³

Con una scala che superava le più ardite ambizioni mega-strutturali, Archizoom progettò nel 1970 *No-stop city*, un edificio che trascendeva la scala dell'architettura per superare persino quella dell'urbanistica. Si trattava di uno spazio vuoto, interiore, occupabile dagli abitanti in maniera totalmente libera. Nella presentazione del progetto, sezioni di dimensioni senza fine contrastavano l'orizzontalità del progetto, che conteneva nella sua profondità i trasporti (nella parte inferiore), una ripetizione di livelli "abitati", servizi, magazzini ed il piano naturale. In nessun elaborato apparivano i limiti ed i confini del progetto, che in realtà non esistevano, non erano pianificati e comunque erano considerati di nessun interesse.

I ruoli dell'occupazione dello spazio vengono quindi affidati alla libertà di chi lo occupa: per questo motivo i fotomontaggi esprimono una condizione spontanea, quasi di accampamento in uno spazio interno, con tende da camping, elementi rocciosi inglobati, scatole di prodotti commerciali. Per permettere questo tipo di libertà ed imprevedibilità era tuttavia necessario imporre un ordine (o meglio un pattern) che definisse modulatamente e reiteratamente gli elementi di questa tipologia di città. La serializzazione fa

parte della critica alla perfezione dei modelli abitativi del razionalismo.¹³⁴

Parallelo a questa concezione urbana, aperta e priva di forma è il concepimento di Superstudio della *Endless-grid* (1969). Anche in questo caso il pattern regolare infinito venne usato come elemento che ordina la libertà. Si tratta di uno strumento regolatore, una tessellazione quadrata, che funziona a qualsiasi scala, da quella degli oggetti a quella architettonica, fino alla scala urbana, mostrando quindi la versatilità di una modulazione che, come in un gioco di costruzioni, riesce a soddisfare ogni situazione. A scala territoriale si tradusse in una superficie modulata intelligente, inseribile nel paesaggio come un'opera di *Land art*, sulla quale la vita collettiva può auto organizzarsi.



51. Superstudio, *Endless Grid*, 1969

4. ORGANIZZAZIONE E TASSONOMIE. ALEXANDER, HABRAKEN

Alexander fu il primo architetto ad introdurre nel 1977 il termine pattern relativamente alla sistematizzazione dell'architettura che scompone gli elementi strutturanti del progetto per ricomporli in linguaggio. Dopo ventitré anni di silenzio sul pattern, Habraken riscatta la sua importanza e lo inserisce, comparandolo con il concetto di sistema e di tipo, in un ambito molto più ampio.

Sia Alexander che Habraken concepiscono il pattern come uno strumento per interpretare e descrivere l'organizzazione dello spazio. Questa analisi, più sistematica e dettagliata nel primo caso, deriva da uno studio profondo dell'architettura esistente e della sua decomposizione negli elementi costitutivi che la determinano. Tali elementi vengono poi reinseriti in un contesto gerarchico di dipendenza: ogni livello (nel caso di Habraken) o pattern (secondo le parole di Alexander) rimanda ad uno superiore e ad uno di ordine inferiore. Alexander costruisce un linguaggio, dove le parole sono i pattern che il progettista può liberamente usare o modificare al momento del progetto, costruendo il proprio discorso. Habraken si limita invece all'analisi di opere non d'autore, spiegando i principi che producono l'ambiente costruito e come gli utenti interagiscono con esso: egli vuole capire l'ambiente costruito ma, a differenza di Alexander, senza dare giudizi e senza suggerire quale sia il pattern migliore per una determinata situazione. Per Habraken i pattern sono configurazioni che descrivono relazioni: questa definizione sarà ripresa nella sezione III relativamente alla teoria dei sistemi esaminata da F. Capra.

Cerchiamo di approfondire adesso le posizioni di entrambi gli autori per poi terminare il capitolo con delle considerazioni finali.

4.1 IL LINGUAGGIO DI C. ALEXANDER

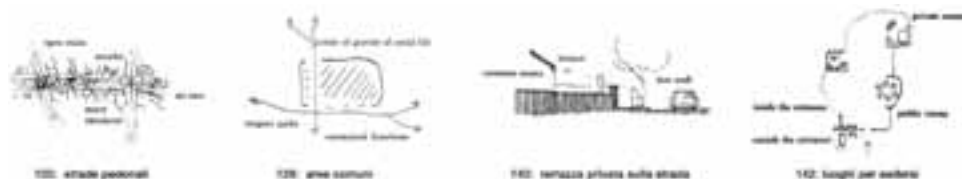
I due testi di Alexander, *A Pattern Language* e *The Timeless Way of Building*, riguardano rispettivamente il linguaggio inerente l'urbanistica, l'architettura e la costruzione (fornendo i pattern dettagliati per ogni circostanza) e la teoria necessaria all'utilizzo di questo linguaggio.

Nel secondo testo si spiega infatti la natura che sta alla base della formazio-

ne delle città e degli edifici, organismi inanimati che diventano vivi grazie alla gente che condivide un linguaggio di pattern. La formulazione di questo linguaggio scaturisce da un'attenta analisi degli edifici e delle città esistenti, durata otto anni, che portò alla definizione di uno strumento pragmatico nel quale ogni pattern risolve uno specifico problema di progetto: i pattern definiti da Alexander rappresentano quindi elementi di un linguaggio.

Lo schema del libro *A Pattern Language* consiste in una breve introduzione che spiega il contesto del pattern rispetto ad altri di scala diversa; segue una descrizione del problema da risolvere e quindi una soluzione che descrive gli aspetti fisici e sociali necessari a chiarirlo. Il testo è corredato da un diagramma che sintetizza formalmente il pattern e da un paragrafo finale che relaziona il pattern analizzato con pattern più piccoli necessari al suo completamento. Consideriamo, ad esempio, il pattern n° 140: terrazza privata sulla strada. Innanzitutto l'autore mette il pattern n° 140 in relazione con altri pattern di scala diversa, riguardanti le aree comuni (n° 129), i luoghi per sedersi (n° 142) o le strade pedonali (n° 100). Segue una spiegazione del problema nello specifico, che consiste nel generare un elemento di relazione tra la strada e la casa, che sia sufficientemente aperto sulla strada ma altrettanto protetto e riparato per la *privacy* degli abitanti. La soluzione consiste nella progettazione di una terrazza sulla quale si affaccino le aree comuni della casa, sollevata dal livello della strada da uno o due metri e protetta da un muretto: in questo modo la terrazza è allo stesso tempo aperta alla strada ma riparata dalla vista dei passanti. Un diagramma in sezione aiuta a comprendere la soluzione al problema. Vengono infine introdotti ulteriori pattern per completare gli altri elementi del progetto.

Il linguaggio che l'autore propone è composto da 253 pattern, che, come le parole di un discorso, sono interrelati tra loro, permettendo infinite combinazioni e possibilità. *A Pattern Language* ha la struttura di un rete nella quale si intrecciano pattern di scala differente, che permettono al fruitore di tracciare la propria sequenza linguistica. Come afferma Alexander, presentando il problema e la soluzione di ciascun pattern, il progettista può giudicarlo e modificarlo senza perderne l'essenza.



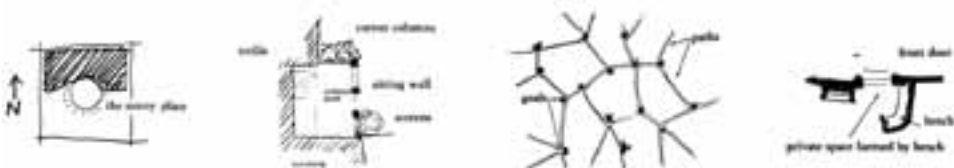
52. Christopher Alexander, *A Pattern Language*, 1977

la progettazione della terrazza è il risultato di 4 pattern in relazione tra loro.

Il testo è diviso in tre sezioni: la prima riguarda le città o le comunità in generale, categoria che può essere progettata o costruita solo per passi attraverso il contributo di ogni individuo; la seconda riguarda la scala degli edifici in gruppo o individuali: i pattern definiscono gli edifici, gli spazi interstiziali, gli spazi verdi e quelli interni nelle loro principali dimensioni. L'ultima sezione appartiene alla scala del dettaglio, ed esamina problematiche quali la costruzione di una struttura efficiente o la tipologia di materiali da adottare; la configurazione del tetto, del soffitto, dei pavimenti, i pilastri, il riscaldamento, l'ornamento e le sedute, sono solo alcuni dei pattern che Alexander propone nel suo saggio.

L'utente è in questo modo libero di creare il proprio linguaggio, selezionando adeguatamente una sequenza di pattern. Riportando l'esempio dell'autore, si considerano dieci pattern: terrazza privata sulla strada (140), luogo soleggiato (161), stanza all'aperto (163), balcone di 6 piedi (167), percorsi ed obiettivi (120), varietà di altezza dei soffitti (190), pilastri angolari (212), panca sulla porta anteriore (242), fiori rialzati (245), sedie distinte (251). L'insieme di questi pattern costituisce un linguaggio specifico per la progettazione di una veranda di fronte ad una casa, conferendo contemporaneamente un preciso carattere al progetto. In questo modo si cerca di dimostrare quanto vario sia il sistema, essendo molteplici le combinazioni tra i pattern; a questa apparente versatilità si aggiunge l'idea del sistema aperto, avendo l'utente la possibilità di aggiungere altri pattern.

I pattern sono infatti proposti come ipotesi che occorre migliorare attraverso la pratica ed il contributo di chi li usa. In una società sana, ogni individuo dovrebbe possedere un linguaggio che è individuale ma allo stesso tempo simile e compartido: sebbene il linguaggio proposto in questo libro possa essere utilizzato dagli altri, l'intenzione dello scrittore è che ognuno diventi cosciente del proprio linguaggio e lavori al suo sviluppo. *A Pattern Language* può essere considerato quindi il punto di partenza per lo sviluppo di nuovi e personali linguaggi. Occorre tuttavia considerare, come puntualizza l'autore, che molti dei pattern proposti, come i portici e le alcove, sono archetipici e appartengono quindi alla cultura dell'uomo.¹³⁵



53. Christopher Alexander, *A Pattern Language*, 1977
una sequenza di pattern costituisce un linguaggio per il progetto.

Ma è possibile fare architettura utilizzando questo linguaggio? O meglio, basta utilizzare questi pattern per assicurare la riuscita del progetto?

Alexander chiarisce questo dilemma con un capitolo sulla poesia del linguaggio.

Questa lingua, come l'inglese, può essere un medium per la prosa o un medium per la poesia. La differenza fra prosa e poesia non consiste nel fatto che si usano linguaggi diversi ma che lo stesso linguaggio è usato in maniera differente [...]. In una poesia il significato è decisamente più denso. Ogni parola contiene diversi significati; e la frase nella sua interezza contiene una densità enorme di significati intrecciati, che insieme illuminano il tutto [...].¹³⁶

Lo stesso accade nell'architettura, se si riesce ad articolare i pattern in un certo modo, generando densità, compressione, sovrapposizione e profondità.

Avverte inoltre Alexander:

Si potrebbe pensare al processo di compressione di pattern come un modo di costruire l'edificio meno costoso possibile con i necessari dentro di esso. È anche l'unico modo di usare un linguaggio di pattern per fare edifici che sono poesie.¹³⁷

Quindi "la compressione dei pattern" è un procedimento che appartiene tanto alla lingua parlata quanto alla poesia o all'architettura. Essa avviene quando, tra le cose, cominciano ad avvenire più significati e corrispondenze, quando i livelli del progetto cominciano a intersecarsi e ad interagire tra loro. Quando, ad esempio, nel soffitto dell'*Art Gallery* di L. Kahn, struttura, luce ed aria interagiscono nella stessa geometria. È questa l'interpretazione del testo che vogliamo conservare, insieme all'analisi di situazioni che scandagliano il modo di vivere dell'uomo e la traduzione della sua vita in spazio.

È evidente una sistematizzazione e sintetizzazione dell'architettura in pattern che fanno parte di pattern di ordini superiori o si completano con pattern di ordini inferiori. Tutto il sistema è quindi fondato su interrelazioni tra distinti pattern: le relazioni che si stabiliscono sono di dipendenza o di approfondimento di scala. In altre parole per ogni situazione-pattern esistono n modi di completarla o approfondirla con altri pattern e così via: quindi si stabilisce da una parte una corrispondenza funzionale e dall'altra una corrispondenza scalare. Tutta l'operazione progettuale a seguire si trasforma in una traduzione di un discorso in un insieme di diagrammi, come se la sintesi del dialogo tra il cliente e l'architetto si possa riassumere in un insieme di punti chiave ai quali corrispondono determinate soluzioni tipologiche.

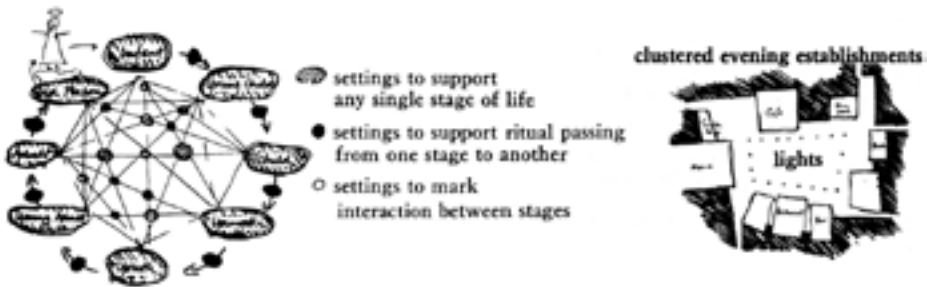
Il metodo di Alexander ha la forza della sistematizzazione di un processo, quello progettuale, che tuttavia è difficilmente comunicabile. Ciò che occorre conservare del metodo è la capacità di riconoscere problemi ricorrenti

nell'architettura e di arricchirli con l'esperienza della storia e dei grandi maestri dell'architettura. Egli riconosce nell'architettura la presenza di strutture emergenti, ovvero di pattern frutto dell'interazione delle parti coinvolte, che, come sappiamo, sono più della somma delle loro parti, poiché queste parti interagiscono provocandone l'ordine.

Questa qualità degli edifici e delle città non può essere creata, ma solo generata, indirettamente, dalle azioni ordinarie delle persone, esattamente come la vegetazione non può essere creata, ma solo generata, dai semi.¹³⁸

Quello di Alexander è forse il primo tentativo di astrazione sistemica del processo di progettazione architettonica. Attraverso la riduzione del procedimento progettuale alle sue invarianti, alle "monadi" costitutive del progetto, si elabora un elenco di pattern che raffigurano non solo elementi tipologici dell'architettura ma anche situazioni sociali. Ciò avviene ad esempio nei pattern n° 8 ("mosaico di subculture"), n° 18 ("rete dell'apprendimento"), n° 26 ("ciclo di vita"), n° 33 ("vita notturna"), etc.

La sua capacità di snocciolare gli archetipi architettonici era già manifesta in *Notes on the Synthesis of Form*, tesi di dottorato in architettura discussa presso l'Università di Harvard. Attraverso questo testo Alexander dichiarava di voler creare edifici capaci di trasmettere la stessa bellezza delle architetture antiche e che, per fare ciò, occorreva definire un processo che arrivasse all'origine della forma. La sua formazione di matematico lo aiutò a sistematizzare con precisione il processo di progettazione, derivante dall'analisi di progetti esistenti, per arrivare all'estrapolazione delle radici formali, in modo da generare una nuova architettura ugualmente "bella". Il procedimento si rivelò eccessivamente meccanico e forzato, cosicché egli, durante un'esperienza in India, capì che era molto più efficace utilizzare direttamente quelli che chiamò pattern, ossia diagrammi per i sottosistemi di for-



54. Cristopher Alexander, *A Pattern Language*, 1977
alcune tra le situazioni sociali rappresentate dall'autore.

ze.¹³⁹ Per Alexander i pattern, capaci di rappresentare le relazioni funzionali e le interazioni tra le diverse variabili di un progetto, rimasero strumenti, ossia un mezzo e non un fine.

Egli aveva la stessa opinione in merito alla relazione tra progetto e computer:¹⁴⁰ il computer è, secondo Alexander, uno strumento che equivale ad un “esercito di impiegati”, in grado di accelerare enormemente i processi di calcolo. Egli inoltre avvisa sul pericolo che implica l’uso dei computer: la preoccupazione che riguarda il loro uso può infatti impedire di raggiungere una conoscenza teorica sulla forma e la funzione.¹⁴¹

Gli studi ed i processi sistematizzati da Alexander non porteranno a successivi sviluppi nel campo dell’architettura, in quanto considerati formalistici ed esotici. Godranno invece di notevole interesse nel campo dell’informatica:¹⁴² dieci anni dopo la pubblicazione di *A Pattern Language*, gli scienziati informatici K. Beck e W. Cunningham applicarono le teorie di Alexander a problemi di ingegneria del software. Nel 1994 il “linguaggio dei pattern” fu applicato nell’informatica da E. Gamma che, insieme a R. Helm, R. Johnson e J. Vlissides, pubblicò *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*.

Bisogna allora chiedersi il motivo per il quale *A Pattern Language* non abbia avuto nessun seguito nell’architettura, pur avendo goduto invece di notevole successo nel campo dell’informatica.

È possibile che il termine “pattern” sia stato spesso confuso con l’ornamento o che il processo di Alexander abbia forzato l’architettura ad una sistematizzazione che non aveva alcun precedente nella pratica degli altri architetti o che apparisse come un metodo che volesse ridurre il pensiero creativo dell’architetto a un numero limitato di possibilità.

Nonostante la rigidità dell’approccio, non possiamo parlare di un sistema unico e deterministico. Alexander sottolineò, nell’articolo ‘A’ che precedeva *A Pattern Language*, di proporre uno tra gli innumerevoli linguaggi di pattern che altri architetti avrebbero potuto elaborare nel futuro. Questa sua speranza non ebbe tuttavia seguito, né il metodo di Alexander ebbe esito nel mondo dell’architettura; il suo sforzo venne piuttosto considerato un riduzionismo della pratica architettonica all’applicazione di tipologie da manuale.

Il limite che ha reso impopolare *A Pattern Language*, provocando a mio avviso pregiudizi nei confronti del pattern, consiste nel proporre risposte progettuali specifiche a problemi risolvibili in differenti modi. Ritorniamo ad

esempio al pattern n° 140 (terrazza privata sulla strada), problema che viene risolto da Alexander univocamente con una soluzione derivante dagli studi della *Robie House* di Wright e dell'architettura vernacolare greca. Il pattern risolve lo schema e la sezione del problema, e, attraverso gli altri pattern che introduce (ad esempio muro del giardino n° 173), va specificando il destino degli altri elementi. In tal modo si definiscono sempre più gli elementi di un pattern attraverso altri pattern, riducendo le possibilità di scelta del progettista, come se il progetto e la capacità dell'architetto possano essere sintetizzate da 253 pattern. Il limite di questo studio, assolutamente affascinante, risiede pertanto nella presunzione di elevare un metodo a teoria generale.

Ad ogni modo sembra che, dopo quarant'anni e proprio grazie all'informatica, le teorie di Alexander siano ritornate ad essere di interesse nell'ambito architettonico. Il computer permette infatti di gestire in maniera intelligente una quantità di "informazione architettonica" sempre crescente. La progettazione di modelli parametrici consiste nella progettazione della logica del progetto, riducendo il progetto all'informazione necessaria e alla relazione tra le parti ed omettendo tutta l'informazione superflua. Poiché una delle operazioni fondamentali della progettazione parametrica diviene la scelta dei parametri da cui dipende il progetto, il processo di individuazione di tali parametri è simile a quello di riconoscimento dei pattern che determinano il progetto. Per concludere, è possibile affermare che il linguaggio dei pattern di Alexander sia tornato all'architettura, non come strumento di progetto ma come un processo che definisce gli elementi costitutivi di un progetto parametrico.¹⁴³

4.2 L'ORDINE DI N. JOHN HABRAKEN

Habraken risponde ad Alexander con *The structure of ordinary*. In questo testo si parla di come la comprensione stia alla base del progetto; non si discute di metodologie di progetto, ma di analisi e studio delle strutture che governano il costruito: le forme decifrate dall'autore costituiscono la base comune sulla quale proporre un'architettura che può persino innovare. Come Alexander, anche Habraken crede che l'innovazione possa prodursi solo avendo piena coscienza degli elementi che strutturano l'ambiente costruito: questi elementi, che per Alexander erano i pattern, possiedono con Habraken una classificazione dai bordi più diffusi.

The structure of ordinary pretende di studiare "l'ambiente costruito" ed i principi che stanno alla base della sua struttura: il soggetto di studio non è l'architettura d'autore ma ciò che ci circonda e ci è familiare. Il metodo utilizzato consiste nell'analisi di casi che ci procura la storia sottolineando la rela-

zione tra continuità e trasformazione: ci sono parti dell'ambiente costruito che si conservano e continuano nel tempo ed altre che subiscono invece delle trasformazioni. L'ambiente costruito, sostiene l'autore, è organico ed in continua crescita ma, nonostante le continue trasformazioni, mantiene la propria identità per millenni;¹⁴⁴ è un organismo ed è reso tale dalla presenza degli esseri umani.

Le persone lo riempiono di vita e di spirito del luogo. Fino a quando essi sono attivamente coinvolti e trovano un certo ambiente costruito che vale la pena di rinnovare, alterare ed espandere, esso resiste. Quando se ne vanno, l'ambiente muore e crolla, riportato nuovamente a terra, dall'ineluttabile forza di gravità. L'interazione intima ed incessante fra le persone e le forme che essi abitano è un aspetto fondamentale ed affascinante dell'ambiente costruito.¹⁴⁵

L'azione dell'uomo sull'ambiente costruito è trasformazione che si manifesta attraverso "una gerarchia complessa di pattern di controllo".

Il controllo può manifestarsi nella chiusura di una porta comunicante fra due stanze, o nel demolire un edificio vicino.¹⁴⁶

Per capire l'interazione tra gli utenti e l'ambiente costruito occorre analizzare i tre ordini che sottendono le svariate forme che ci circondano: ordine fisico, ordine territoriale ed ordine culturale.

Ordine fisico

L'organizzazione fisica dell'ambiente costruito può essere definita in diversi modi: solitamente si basa sulla distinzione degli elementi costitutivi che vengono poi raggruppati in configurazioni complesse. Questo tipo di analisi può essere esteso a diverse scale, da quella urbana (dove si identificano piazze, strade, blocchi edilizi), a quella architettonica (considerando pareti, tetto, suolo, aperture, etc.), fino alla scala domestica (dove si distinguono le stanze o i mobili che la definiscono).

Così come avveniva nella strutturazione dei pattern di Alexander, dove ogni pattern era compreso tra uno di ordine superiore ed uno di ordine inferiore, anche in questo caso si identificano strutture che possiedono caratteristiche di interrelazione a diverse scale. Ogni livello ha un ruolo dominante sul livello inferiore, ovvero la sua forma condiziona quella inferiore ma non viceversa: la posizione di una parete influenzerà la posizione e la concezione dell'armadio, ma l'armadio raramente influenzerà la parete.¹⁴⁷

Quindi possiamo affermare che la fisicità dell'ambiente costruito si organizza per livelli e che a questi livelli corrispondono attori diversi che interagiscono in maniera diversa: individui, organizzazioni od istituzioni ai quali corrispondono figure professionali diverse, che vanno dall'urbanista, all'ar-

chitetto, fino all'*interior designer*. Habraken riconosce i pattern sia dal punto di vista dell'organizzazione dello spazio che di interazione con gli utenti.

Chiaramente il modo in cui la società agisce nell'ambiente costruito è altamente complesso perché intervengono moltissimi attori su diversi livelli ed in periodi di tempo molto estesi: l'equilibrio tra le diverse voci che entrano in gioco è la condizione indispensabile per assicurare un ambiente armonioso. La città spesso ci mostra come alcuni attori rimangano fuori dal gioco, determinando in questo modo enormi problemi: un esempio è dato dalle *favelas*, dove persone private dei diritti civili cercano di prendere il controllo delle proprie configurazioni.¹⁴⁸

La qualità dell'ambiente costruito dipende quindi sia dall'azione degli attori e dalla loro capacità di interagire, comunicare e cooperare, sia dall'intorno socio-economico.

Osservando la scala residenziale, a quest'ordine appartengono diverse forme: le facciate, il numero di piani, le aperture, i cortili interni, le strade. La storia ci presenta diversi modi in cui il singolo cittadino o la comunità hanno risposto ed interagito con queste forme: a volte la creazione o la trasformazione di questi elementi è dipesa da una sola voce, generando in tal modo risultati più efficienti ed omogenei, altre volte è stata sottoposta alla diversità corale dei diversi abitanti. Ad Hong Kong ci sono esempi di estensione dello spazio privato alla facciata dell'edificio, a dimostrazione di come a volte il livello inferiore del singolo appartamento, con le sue stanze ed i suoi servizi, possa incidere nella composizione di un livello superiore, com'è il caso della facciata dell'edificio stesso.¹⁴⁹ In casi totalmente diversi, come a *Place Vendôme*, l'unitarietà della facciata è il risultato della demolizione e della ricostruzione secondo i principi imposti da Mansart.

Habraken evidenzia l'importanza del "recinto" tra le forme che caratterizzano l'ordine fisico. Vincolando il recinto all'ambito dell'abitazione, egli identifica 5 livelli di controllo:

- 1-tessuto stradale;
- 2-gli edifici;
- 3-le partizioni murarie;
- 4-il mobilio;
- 5-corpo e gli utensili.

A questo punto egli identifica nove tipi di abitazione a seconda dei livelli che essa implica: ad esempio in una casa affittata si può avere controllo solo sul livello 2 ed 1, in un hotel solo sul livello 1, etc.¹⁵⁰

Ci sono casi in cui l'architettura diventa un'entità che integra più livelli, come nel caso di F. Lloyd Wright che impone una progettazione totale che va dall'involucro esterno fino agli interni e agli arredi. È chiaramente una manifestazione di controllo sul progetto che incorpora più competenze col fine di ottenere un risultato coerente. È anche vero, dichiara l'autore, che con la diffusione sempre maggiore dei sistemi industrializzati, la libertà creativa del progettista si riduce e che il controllo verticale Wrightiano diventa obsoleto. Questo concetto viene ripreso nell'epilogo finale del libro:

Le profonde correnti di forme, luoghi e flussi, determinano come la professione funzionerà. Essi potrebbero, per esempio, causare l'abbandono dell'idea del controllo progettuale integrato verticalmente a favore di una modalità di responsabilità sparpagliata.¹⁵¹

Il livello del mobilio è comunque quello che permette una maggiore interazione con l'utente ed è allo stesso tempo quello che soffre di una minore durabilità. Tra le diverse forme appaiono persino gli impianti elettrici, telefonici, di approvvigionamento idrico o le acque reflue: queste assumono sempre la forma ramificata detta *branching*, che collega al tronco principale rami sempre più sottili fino a raggiungere la singola casa.

Una forma ad albero può distribuire o collegare, a seconda della direzione del flusso.¹⁵²

Questi impianti, sottolinea l'autore, influenzano la forma dell'architettura che li ospita, e anche se la maggior parte di queste reti finiscono per essere nascoste all'interno delle pareti, nel controsoffitto o nel pavimento, il problema rimane nella coordinazione tra le diverse parti che confluiscono nella costruzione finale.

Le strutture ad albero supportano comunque una distribuzione dei flussi unidirezionale che si presta male alla circolazione del traffico: in quest'ultimo caso si prediligono le reti, ortogonali o radiali, che attraverso nodi ed incroci permettono di cambiare continuamente direzione. Allo stesso modo la gerarchia delle vie di comunicazione è fondamentale per passare dalla velocità dell'automobile alla scala umana.

Ordine territoriale

Analizzare il controllo territoriale significa esaminare come l'essere umano imponga ed eserciti il proprio controllo sullo spazio, ossia come lo chiude, lo occupa, lo difende, in quale modo organizza il territorio.

Il controllo del territorio può persino prescindere una forma spaziale e può essere attuato dalla presenza di un solo attore, così come avviene in spiaggia, dove la gente si distribuisce generando dei "confini" virtuali da rispettare.

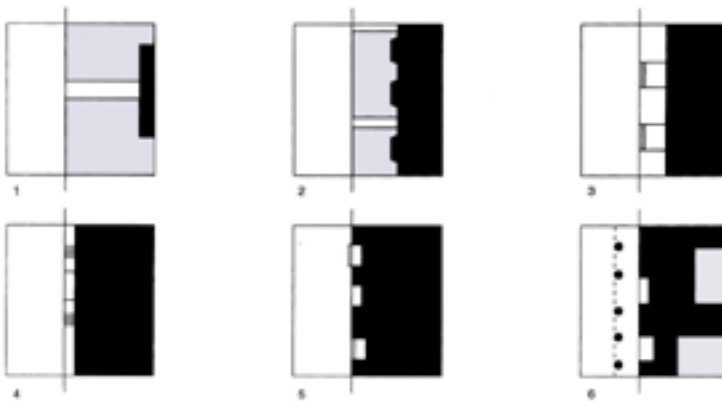
Questo permette di introdurre il fondamentale concetto relativo allo spazio personale che cambia a seconda delle culture.¹⁵³

Poiché il linguaggio ed i gesti non sono sufficienti a mantenere un controllo sullo spazio, occorrono dei dispositivi. I più semplici sono dei segni: delle pietre possono essere sufficienti a delimitare i limiti di una proprietà ma costituiscono un limite debole da superare. Lo scopo difensivo determinò la nascita di cinte murarie che circondavano le città difendendole dagli attacchi nemici; altre volte i limiti del territorio sono legati ad elementi naturali quali fiumi o montagne: in questo caso i limiti coincidono sempre con quelli imposti dall'uomo.

Questi limiti regolano gli equilibri tra lo spazio privato e pubblico.

Da ciò dipende, ad esempio, il modo in cui le case si mettono in relazione con i loro limiti territoriali. Le case con giardino hanno uno spazio verde che le separa dalle strade, ma quanto più ci avviciniamo ad un intorno urbano quanto minore è la distanza tra edificio e strada. Le case inglesi *terraced* hanno un'area compresa tra l'edificio ed il marciapiede che gli permette di dare aria ed accesso al seminterrato; gli edifici porticati bolognesi possiedono uno spazio di transito; ci sono altri esempi privi di zone di transito, determinati dalla coincidenza tra edificio e limite.

Persino quando il limite è già definito, la forma di occupare il recinto cambia: questo avviene sia nel caso di edifici a bassa densità, dove possiamo variare la distanza tra le unità o persino accorparle, sia nei blocchi urbani o ad



55. Habraken, *The Structure of Ordinary*, 2000

relazione tra gli edifici e i loro limiti territoriali: 1) casa suburbana con giardino; 2) casa urbana con giardini antis-tanti; 3) casa inglese 'terraced' con piccola area di accesso al seminterrato; 4) casa olandese con una zona per le scale tra il marciapiede e l'edificio; 6) coincidenza tra limite territoriale ed edificio; 7) Portici italiani nei quali il limite territoriale è oltre il limite della facciata.

alta densità. I pattern di organizzazione riguarderanno gli accessi, la circolazione o la creazione di uno spazio centrale a corte comune. Il modo in cui si definiscono i limiti può essere frutto di una negoziazione tra le diverse parti o di imposizione forzata: questo avrà dei riflessi anche sulla formazione degli spazi pubblici e di come questi interagiscono con la proprietà privata. Se nel mondo occidentale la divisione tra pubblico e privato è più chiara, nel medio Oriente il cittadino suole estendersi verso l'esterno costruendo sulle strade, occupando i marciapiedi, coprendo le strade: questo processo di occupazione del territorio fa parte di un'operazione di negoziazione con i vicini che possono tollerare o meno i cambiamenti proposti.

Ordine Culturale

La coerenza dell'ambiente costruito rispecchia la dimensione sociale: all'interno dei limiti imposti dall'ordine fisico e territoriale, la società impone una struttura, un controllo, un ordine formale coerente sull'ambiente.¹⁵⁴

I codici di controllo sull'ambiente costruito possono essere impliciti, come avviene nei suburbi dell'America del Nord, dove i giardini antistanti le ville non sono recintati. C'è una sorta di accordo sociale implicito riconosciuto all'interno di una configurazione che non ha bisogno di documenti o disegni. Tali regole potrebbero esplicitarsi in caso di uno sviluppo urbano che metta a rischio la *privacy* o la sicurezza del cittadino fino a ricorrere all'uso di recinzioni formalmente regolarizzate dalla legge. In questo modo emergono le leggi ed i regolamenti edilizi, che si formalizzano attraverso disegni e contratti: questi costituiscono la configurazione alla quale siamo più abituati e che rappresenta il grado di complessità sociale e tecnica della città contemporanea.

Ciò porta alla definizione di "*forms of understanding*":

La forma è divisa in diversi modi, convenzionalmente accettati e generalmente applicati. **Pattern, tipi e sistemi** vengono considerati tre distinti modi con cui le parti possono essere collegate per trasmettere accordo.¹⁵⁵

Occorre ora capire che cosa Habraken intenda per Pattern, Tipi e Sistemi. Prima di definire ciascuna delle categorie, l'autore avverte che non si tratta di modelli o di ricette da seguire ma forme di comprensione che permettono di improvvisare e quindi di produrre nuovi risultati e variazioni uniche.

Il **pattern** definisce configurazioni che mettono in relazione delle parti tra loro. Ad esempio sia nelle facciate che definiscono le umili case dei pescatori di Murano che nei palazzi gotici del Canal Grande di Venezia si riconosce una configurazione che si basa sulla selezione di un elemento (la finestra

allungata) e sulla regola della ripetizione.

In generale un pattern collega regolarmente e ripetutamente poche parti nello stesso modo.¹⁵⁶

Secondo Habraken bisogna difendere l'idea del pattern come struttura consistente che ci permette di capire l'ambiente costruito senza stabilire quali forme siano buone: da qui nasce la critica dell'autore nei confronti di Alexander, che invece promuove specifici pattern considerati oggettivamente come i migliori rispetto a determinate situazioni.

I pattern infatti sembrano frequentemente più significativi quando stabiliscono relazione fra parti individuali di separate configurazioni vitali. Questi pattern definiscono l'interazione fra due o più agenti ambientali.¹⁵⁷

Un esempio di come il pattern metta in relazione diverse persone ed esseri umani fra loro è dato dall'esempio di Venezia.

Il pattern della finestra veneta collega parti in una singola configurazione vitale. Ma la sua consistente applicazione, casa dopo casa, rivela un altro modo con cui il pattern collega diverse configurazioni vitali: la ripetizione.¹⁵⁸

Il pattern di Habraken propone un certo *modus operandi* che influenza lo spazio, la gente e si protrae nel tempo. Ritornando all'esempio delle finestre, questo pattern, interpretato con più o meno libertà, ha prodotto una sorta di continuità temporale che viene perpetrata nel tempo. Pertanto ecco emergere le due caratteristiche proprie del pattern: ripetizione e variazione come caratteristiche che producono consistenza, coerenza e differenziazione.

Relativamente al pattern, un aspetto interessante è quello osservato dall'architetto in merito al portico rinascimentale italiano. Interpretato come un'estensione dell'edificio verso lo spazio pubblico, il portico è un pattern che struttura lo spazio urbano e allo stesso tempo la facciata degli edifici: inoltre, nonostante posseda una struttura caratterizzata dalla continua ripetizione di arcate, i suoi parametri possono variare producendo svariate combinazioni. Singolare è l'esempio del portico che va da Bologna a San Luca, che si libera dalla sua dipendenza con l'edificio e diventa una struttura indipendente di collegamento tra la città e la campagna: solo in seguito vennero infatti costruiti gli edifici dietro e sopra le arcate.

Se il pattern definisce una configurazione raffigurante il modo in cui le parti si mettono in relazione tra loro, **il sistema** si concentra essenzialmente nella relazione tra le parti permettendo infinite configurazioni. L'autore spiega come il sistema sia un concetto generale che accomuna tanto gli esseri viventi (ne sono esempio le molecole degli elementi o la composizione delle parti di una pianta, quali radici, stelo, foglie, etc.) quanto gli artefatti

come l'architettura. Accenna inoltre ad una spiegazione del sistema comparandolo al pattern:

I pattern determinano non solo le parti usate e il modo in cui si relazionano, ma anche dove esse devono essere sviluppate e che configurazione devono formare; sono fornite anche regole di distribuzione. Il pattern è, brevemente, una ricetta intesa a produrre un certo risultato. I sistemi, invece, permettono molta più libertà di realizzare qualsiasi configurazione desiderata: ciò che importa di più è la relazione tra le parti, non la particolare configurazione [...]. Il sistema è così un mezzo per ottenere una varietà di risultati.¹⁵⁹

Il sistema può essere tanto uno stile quanto un sistema di costruzione. Due edifici di diversa dimensione e distribuzione possono dividere lo stesso stile classicista oppure avere lo stesso sistema costruttivo. Nel caso dello stile si utilizzeranno determinati elementi che si combineranno tra loro, così come il sistema costruttivo ricorre all'uso di certe parti mettendole in relazione in un determinato modo.

In ogni sistema possiamo distinguere due aspetti: configurazione e struttura. Stesse configurazioni del sistema mettono in relazione parti simili in modi simili, manifestando varianti del sistema. Regole di selezione e relazione definiscono ciò che le varianti hanno in comune: questa è la struttura del sistema.¹⁶⁰ Possiamo quindi dire che la struttura del sistema è la parte resistente del sistema, quella che non cambia e che viene condivisa da tutte le variazioni che possiede il sistema.

L'autore ci porta l'esempio della casa pompeiana, nella quale gli spazi aperti sono caratterizzati dalla sequenza ordinata di atrio-peristilio-giardino. Secondo l'autore questa sequenza forma un pattern dove l'architetto può solamente riassociare questi tre elementi. Ad esempio, nel caso di abitazioni più piccole che non permettevano l'uso di tutti e tre gli spazi, si doveva rinunciare al giardino e persino al peristilio, conservando solo l'atrio. È per questa ragione che un sistema fondato su una regola che considera l'uso dei tre spazi, ma dove peristilio e giardino possono essere eliminati in funzione della dimensione della casa, permette una grande flessibilità e maggior varietà di possibilità. E questo considerando che il pattern, implicando la configurazione, si basa su una sequenza ordinata e secondo una direzione retta dei tre spazi.

Il sistema è spiegato in questo esempio come un pattern che invece di delineare configurazioni specifiche detta regole più generali. Preme puntualizzare la nostra posizione che si allontana da quella dell'architetto olandese così come da quella di Alexander. Nell'ambito della tesi, sebbene sia condivisa l'idea che il pattern "disegni" una configurazione che esprime la relazione tra le parti del progetto, si insiste sul carattere astratto, aperto e flessibile del

pattern che si sovrappone all'idea di sistema di Habraken. Inoltre il sistema viene contestualizzato in un ambito più ampio dove si articolano materia-pattern-processo.¹⁶¹

Per l'autore il sistema è più tecnico e professionale dei pattern e dei tipi, dal momento che richiede più conoscenza, abilità ed esperienza; il sistema viene quindi identificato con lo stile o con il sistema costruttivo.

Ma ciò che appare più interessante del sistema non è l'aspetto tecnico ma quello sociale: l'autore spiega infatti che un sistema non può essere trasmesso o codificato solamente da libri, manuali o codici ma "*affinché un sistema esista nell'ambiente costruito, un corpo sociale deve innanzitutto appropriarsene*".¹⁶² Per questa ragione le chiese romaniche francesi, ad esempio, si sono sviluppate senza una codificazione formale ma attraverso la comunicazione della conoscenza e dell'esperienza tramandata dal maestro all'allievo. Ciò che ci sembra interessante è questa idea di contestualizzare il sistema all'interno di un contesto sociale, dove la gente partecipa nella trasmissione di un sapere e dove il singolo apporta, nell'interpretazione, il suo personale contributo: in questo processo di interazione tra sistema e società nascono forme e dinamiche sociali. Differente è la situazione dell'architettura contemporanea dove la super specializzazione delle parti che entrano in gioco nel sistema genera dispersione: architetti, costruttori, tecnici, strutturisti e clienti fanno parte di un tessuto nel quale l'organizzazione materiale incontra quella sociale e questo può formalizzarsi efficientemente solo attraverso una coordinazione tra le parti.

Il **tipo** combina pattern e sistema. I tipi ambientali servono ad identificare unità complesse che vanno dalla stanza, alla casa, al quartiere sino alla città.

La strada, come tipo, include un sistema fisico ad un certo livello [...] ma implica anche una entità spaziale che include alberi, marciapiedi, lampioni, e le facciate degli edifici che vi si allineano.¹⁶³

Quindi il tipo ambientale "strada" è una combinazione tra sistema e pattern spaziale, dove gli elementi in relazione determinano delle specifiche caratteristiche. Una stanza sarà una cucina se gli arredi insieme alle installazioni ed alcune condizioni fisiche della stanza permetteranno di caratterizzarla come cucina.

Se da una parte è possibile cogliere la complessità di una tipologia come quella di un palazzo gotico veneziano o di una casa barocca su un canale di Amsterdam, dall'altra risulta molto difficile dare una definizione specifica di ciascun tipo. Riprendendo una frase comune al pensiero sistemico, è come se la totalità fosse maggiore della somma delle parti. Così come nel sistema, ciò che rende maggiore la totalità è la relazione che si instaura tra

le parti e, nel caso del tipo, è la relazione tra l'uomo e l'architettura: *"l'atto di abitare riafferma il tipo attraverso l'interazione diaria [...]"*.¹⁶⁴

Un'altra caratteristica da considerare è il legame molto forte che lega il tipo architettonico di un palazzo veneziano o di una casa di Amsterdam con la cultura locale. Tuttavia, anche se alcune tipologie sono fortemente ed indissolubilmente legate al luogo di appartenenza, altre riescono ad emigrare e ad essere esportate. Il grattacielo rappresenta uno di questi casi: tra le diverse chiavi di lettura di questo tipo vi è una domanda crescente di spazio in quartieri di *business* molto densi, oltre che un aspetto simbolico monumentale e rappresentativo di forza e prestigio economico.

Possiamo concludere comparando le riflessioni di entrambi gli architetti, Alexander e Habraken.

Ciascuno studio è orientato a definire ed identificare gli elementi che strutturano l'ambiente costruito, in modo tale da offrire pattern o, più in generale, "forme di comprensione" che l'architetto può utilizzare come base per il proprio lavoro.

Se è vero che la creatività dell'uomo è incontrollabile è altrettanto vero ciò che afferma Habraken, ossia *"ma il nuovo può essere identificato come tale soltanto in rapporto a ciò che si pensa comunemente"*.¹⁶⁵ In altre parole bisogna costruire l'innovazione su ciò che è convenzionalmente accettato.

Noi potremmo poi scoprire un ricco minerale di forme già comuni, spazi e pattern di controllo, portati alla luce in tempi moderni dall'esperimento e l'innovazione. L'idea che un ambiente vivente possa essere inventato e fuori moda: l'ambiente deve essere coltivato.¹⁶⁶

Non si allontana la posizione di Alexander, che considera il linguaggio dei pattern un punto di partenza per future elaborazioni, sviluppi e contributi di altri architetti. È quindi nello studio degli elementi resistenti, ossia in quei pattern consolidati nella storia, nella cultura e nei costumi della gente, che si trova la base dell'architettura.

Se Alexander considera il suo studio come una sorta di catalogo di situazioni esaustive, quasi pronte per l'informatizzazione, Habraken preferisce dare una chiave di comprensione più aperta, letteraria e meno sistematica.

In ogni caso si tratta di due contributi che forniscono una comprensione delle parti costitutive dell'architettura e dei livelli che generano strutture di interdipendenza nelle diverse scale del costruito.

5. TECHNOPATTERN: PELLI, CONTESTO E FABBRICAZIONE

5.1. IL RUOLO DELLA TECNOLOGIA NELLA GENERAZIONE DI PATTERN, PRESENTE E PROGRAMMABILITÀ

Il concepimento del progetto da parte dell'architetto non può prescindere il ragionamento circa la materializzazione dell'opera: spesso è proprio la tecnica ed il sistema materiale che aiuta lo sviluppo formale del progetto e che ne costituisce la vera essenza.

L'espressione del sistema costruttivo, della materialità e del fare fisico implica un'idea di estetica che si basa sull'espressione della veridicità di un'architettura onesta che appunto fa trasparire, ostentandolo, il modo in cui è costruita.

Risulta chiaro come, inevitabilmente, la tecnica abbia una diretta implicazione sullo sviluppo dei pattern; un ordine, che è proprio del costruire, emerge spontaneamente in fase di costruzione o si rafforza consapevolmente in fase di progetto. Ecco come i progressi della tecnologia incidono sulla forma, sui materiali, sul modo di assemblarli e sulla costruzione stessa dell'architettura.

Così la forma non agisce come un principio superiore che modelli una massa passiva, giacché si può pur sostenere che la materia imponga la propria forma alla forma.¹⁶⁷

Ogni sistema materiale ha una certa "vocazione formale": è questa vocazione a far emergere i "tecnopattern", ossia i pattern propri della materialità, dell'organizzazione fisica finalizzata all'efficienza tecnica.

Lo stesso Focillon rivendica la fondamentale relazione tra tecnica, strumenti, materiali e la creazione formale: la forma è suggerita dal materiale e dalla tecnica che gli si impone. Questo non significa che la forma segue una sorta di determinismo meccanico, ma che ogni tecnica obbedisce alle proprie leggi che si traspongono sulla materia e che suggeriscono un determinato sviluppo formale.

La materia, così come il sistema tecnico, possiede delle potenzialità che creano una corrispondenza unica con l'opera, manifestandosi attraverso pattern di colori, tessiture e geometrie: è una materia che, nell'atto costruttivo, si trova profondamente trasformata, stabilendo un ordine nuovo distinguibile dalla materia grezza. *"Il legno della statua non è il legno dell'albero"*,¹⁶⁸ ma è un materiale che porta i segni della lavorazione, degli strumenti che lo hanno

modellato imprimendogli un ordine nuovo: *“la vita della materia s’è trasformata”*.¹⁶⁹

Ma qual è il mezzo che attua la metamorfosi del materiale?

È la tecnica, che *“rimane non un procedimento di conoscenza fondamentale che ripeta un processo creativo, ma il puro strumento della forma[...].”*¹⁷⁰

Ritornando più specificatamente all’architettura e al processo progettuale, possiamo affermare come spesso, ad una fase di generazione spaziale, ne segua una di definizione materiale. Quest’ultima, come sappiamo, influenza la prima e viceversa, in un *feedback* continuo nel quale la materializzazione modifica lo spazio e lo spazio la materia.

Il concepimento di uno spazio è quindi sottomesso a sistemi costruttivi e materiali che permettono di interpretare la forma in modo diverso. Lo spazio, sia esso generato da paramenti piani, superfici frammentate, geometrie complesse, continue, permeabili o cavità irregolari, sarà sempre sottomesso ad una sistematizzazione costruttiva, orientata all’individuazione dei suoi elementi tecnici e materici. Dietro l’architettura c’è sempre un pattern costruttivo, un materiale che si ripete e si aggrega secondo principi di efficienza.

Il concetto stesso di continuità è messo in crisi dall’impossibilità tecnica di realizzare superfici continue: persino il calcestruzzo armato, materiale continuo per eccellenza, deve tenere in conto la necessità delle casseforme. La discretizzazione, ovvero la riduzione di un elemento continuo in parti finite, è un processo indispensabile nella costruzione dello spazio o, più in generale, di una superficie: la suddivisione geometrica viene regolata secondo un pattern che risponde più efficientemente agli aspetti costruttivi dell’opera.

Spesso gli aspetti costruttivi da soli non bastano a giustificare il pattern che sottende un rivestimento esterno, anche in considerazione del fatto che l’architettura costituisce l’ambiente nel quale la gente e le loro attività, anche comunicative, si organizzano.¹⁷¹ Ad esempio c’è una profonda differenza tra le tessellazioni arabe ed i motivi geometrici con cui i Romani collocavano i mattoni nelle opere con muratura a vista: mentre il primo caso conserva una forte carica simbolica che andava al di là della semplice necessità di rivestire una superficie, nel secondo caso la tessitura dei sistemi murari aveva come scopo principale quello strutturale e tecnico.

Nonostante ciò la manifestazione estetica di entrambe le costruzioni, sebbene diverse nella finalità e nella funzione tecnica, possiede un’autonomia ed un senso formale che non devono essere confusi col significato che gli

può venire associato.

Inoltre, dal momento che la forma appare, essa è suscettibile d'essere letta in vari modi. Anche nei secoli più fortemente organici, quando l'arte obbedisce a regole tanto rigorose quanto quelle della matematica, della musica e della simbolica – come ha dimostrato il Mâle – possiamo chiederci se il teologo che detta il programma, l'artista che lo eseguisce, il fedele che ne riceve la lezione accolgano la forma e l'interpretino tutti e tre nello stesso modo.¹⁷²

Facendo nostra la tesi di Focillon, si è deciso di non occuparsi in questa sede dell'aspetto simbolico, ma di concentrarsi sullo sviluppo dei pattern che emergono da un preciso utilizzo tecnico dei materiali.

Pattern nella pelle

Affrontare il tema della pelle esterna dell'architettura conduce inevitabilmente a parlare del limite che separa l'interno dall'esterno, di quel complesso confine che distingue, mettendola in relazione, la vita dell'uomo e del suo intorno.

Il rivestimento degli edifici è l'elemento architettonico più primitivo: già la tenda o la capanna costituivano delle costruzioni che definivano una pelle, un elemento che delimitava lo spazio e che proteggeva un luogo. Il rivestimento in architettura è quindi un limite che allo stesso tempo protegge la proprietà privata e si espone all'ambiente esterno: la pelle dialoga quindi con gli elementi atmosferici, difendendosi dalla pioggia, dal caldo e dal freddo, controllando il passaggio della luce, dell'aria e orientando le visuali verso l'esterno.

Così come fa l'architetto A. Zaera Polo, più che di rivestimento dovremmo quindi parlare di *envelope*, involucro esterno. L'involucro non è solamente una pelle, ma rappresenta ciò che sta tra il contenitore e la pelle:¹⁷³ è quindi quella complessa membrana che racchiude lo spazio interno nelle tre dimensioni e che sta acquistando sempre maggiore priorità nell'architettura. Tecnicamente si è in grado di trattare la facciata allo stesso modo del tetto, esaltando la dimensione oggettuale dell'edificio e cancellando gli spigoli o i cambiamenti di materiale. Come afferma Zaera Polo, siamo davanti ad un elemento architettonico che non è mai stato teorizzato sufficientemente e che possiede, alla luce della contemporaneità, un'importanza non semplicemente tecnologica, ma anche ecologica, politica e di rappresentatività.

La consapevolezza che il cambiamento climatico rappresenta un profondo problema nel mondo ha risvegliato l'interesse circa i consumi energetici degli edifici. La pelle esterna non può essere più una superficie di vetro indifferenziata che genera un effetto serra poi contrastato dall'aria condizionata: è necessario studiare una pelle che risponda all'orientamento del sole, che

protegga in estate e lasci passare la luce in inverno. Negli esseri umani la pelle regola naturalmente la temperatura nel nostro corpo, rappresentando una difesa rispetto agli agenti atmosferici esterni e presentando una serie di dispositivi che reagiscono dinamicamente alle condizioni climatiche esterne. Allo stesso modo, anche in ambito architettonico “*la pelle è una membrana omeostatica che regola i flussi di energia tra l'esterno e l'interno*”.¹⁷⁴ Per questa ragione, in epoca contemporanea, i progetti sono sempre più orientati verso uno studio tecnico e scientifico delle superfici esterne, che devono rispondere a parametri ambientali specifici seguendo i principi di massima efficienza energetica.

Un altro tema che preoccupa l'attualità, influenzando profondamente il modo di costruire le superfici esterne, è rappresentato dalla sicurezza e dalla protezione della vita privata. In un'epoca in cui il terrorismo e la violenza influenzano l'uso dello spazio pubblico, facendolo diventare sempre più privatizzato, è importante considerare la funzione di integrazione sociale permessa dall'involucro architettonico.

Possiamo quindi affermare che la pelle dell'edificio costituisca l'interfaccia comunicativa e di rappresentazione dell'architettura, un elemento culturale che incorpora, come dice Zaera Polo, concetti politici, economici, sociali e psicologici. Persino il certificato LEED, che detiene le credenziali della sostenibilità, tiene in considerazione la diversità etnica, la formazione di nuovi posti di lavoro, l'uso di energie rinnovabili ed il *carbon footprint*.

È da considerare quindi come, in un contesto nel quale i paesi del mondo sono interessati a manifestare un' “agenda verde”, la questione di manifestare palesemente la sostenibilità degli edifici diventi anche una questione politica. Anche se spesso si tratta di mere operazioni “superficiali”, l'architettura tende ad ostentare il suo essere *green*, ma si tratta più di manifesti che di serie operazioni.¹⁷⁵

Tessellature e prefabbricazione

Abbiamo visto nel primo capitolo come nel mondo arabo l'uso di *ghiri tiles* avesse permesso delle tassellature aperiodiche pentagonali: è questo il caso in cui un espediente tecnico permette un livello di sofisticazione formale tale da anticipare persino le scoperte matematiche di Penrose. Più comunemente la ricerca tecnica fa parte della disciplina architettonica come poetica del costruire; una vera e propria cultura che accresce con gli apporti dell'ingegneria, delle invenzioni, ma soprattutto dei metodi costruttivi che ogni architetto ricerca nella propria carriera.

Il modo in cui Wright tesseva i materiali o il rigore razionale con cui Mies

dispose gli elementi costruttivi nei paramenti verticali o orizzontali, fanno parte della loro poetica, della loro ricerca progettuale e sono quindi elementi inscindibili della loro architettura.

Wright aggiunse una carica ornamentale che includeva la presenza di elementi costruttivi prefabbricati nello stesso processo di fabbricazione: i *textile block* rappresentavano quindi un tentativo di trasformazione di un materiale volgare in uno raffinato ed elegante, trasformazione che passava per una nuova standardizzazione. Si trattava di un vero e proprio sistema costruttivo che definì la progettazione delle quattro case californiane, la *Millard* (Miniatura), la *Storer*, la *Freeman* e la *Ennis*, e che subì un ulteriore processo di evoluzione con la costruzione della *Miniatura* '23. Nei primi quattro casi si trattava di un metodo basato sull'assemblamento di moduli di cemento prefabbricato che presentavano una ripetizione di pattern decorativi.

In particolare nel primo esempio si progettarono:

blocchi ad incastro che sono intercalati insieme. Questi blocchi sono collocati su un letto di malta, ed i giunti orizzontali e verticali si aiutano con una rete in acciaio espanso che collabora allo sforzo strutturale del sistema.¹⁷⁶

Negli altri casi si elaborò invece un sistema di montaggio a secco dove i moduli, molto più sottili, venivano fissati tramite una gabbia di metallo; tra la parete interna e quella esterna veniva effettuato un getto di calcestruzzo. Una cosa interessante risiede nel modo in cui il pattern costruttivo - decorativo si diversifica, divenendo permeabile alla luce: si tratta quindi di un pattern reattivo, che introduce più elementi di progetto. All'interno della modulazione del rivestimento alcuni dei blocchi erano perforati e, tra la faccia esterna e quella interna, veniva collocata una lamina di vetro. Anche in questo modo veniva quindi inverata la continuità wrightiana tra dentro e fuori, sia duplicando il blocco all'esterno e all'interno sia esaltando la compenetrazione tra luce interiore ed esteriore, mediata attraverso un unico sistema materiale.

Fisac, negli anni Settanta del secolo scorso, si dedicò alla prefabbricazione di pannelli in cemento sperimentandone le *texture*, allo scopo di scoprire un ordine proprio del materiale. Il cemento è un materiale plastico, morbido, fluido; è questa la natura che egli voleva rivendicare:

quella di ricordare -come un'impronta genetica- che era stato molle, versato in uno stampo. È che, come caratteristica di questo stato pastoso e molle, dovrebbe essere privato di spigoli vivi e presentare un aspetto arrotondato, tipico di un materiale molle.¹⁷⁷

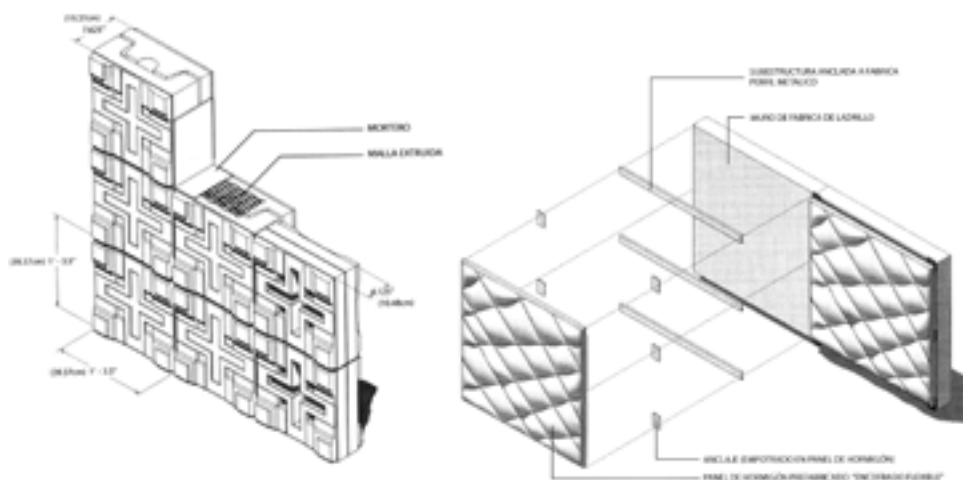
A questo proposito, dopo anni di sperimentazione, Fisac brevettò le "casse-

forme flessibili di cemento”, in cui i pannelli di cemento prefabbricato venivano utilizzati come rivestimento della facciata. Nella *Casa Pascual* (1975) gli elementi prefabbricati vennero fortemente marcati tramite una trama romboidale e fissati, attraverso profili metallici, sulla muratura di mattoni, risolvendo in tal modo problemi di impermeabilizzazione e di isolamento acustico e termico. Questi pannelli bianchi, modulati rispetto la facciata, non erano tutti uguali ma presentavano dimensioni simili: si cercò quindi di restituire una continuità visiva che intendesse il rivestimento come un unico involucro avvolgente e monomaterico. La curvatura con cui vennero effettuate tutte le unioni tra i pannelli ne evidenziava il carattere tridimensionale e morbido; i pannelli venivano invece piegati nelle intersezioni con le aperture o con il tetto, amplificando in tal modo l’effetto di continuità topologica.

Seppur complessi, i primi esperimenti sulla prefabbricazione tendevano ad un’omogeneizzazione e ad una ripetizione dello stesso elemento.

Come vedremo successivamente nel capitolo riguardante la variazione, l’architettura, così come il *design* o l’arte contemporanea, sperimenta tramite la differenziazione del pattern, che diventa così reattivo, adattandosi alle differenti funzioni, al programma, all’intorno.

Foreign Office Architects furono tra i primi architetti a lavorare con la dif-



56. Confronto tra la Miniatura e la Casa Pascual

la miniatura a sinistra presenta un sistema costruttivo basato su blocchi ad incastro a basso rilievo che ammettono la presenza di blocchi perforati. A destra, il dettaglio costruttivo della Casa Pascual mostra il rivestimento con pannelli di cemento realizzati con casseforme flessibili.

ferenziazione dei pattern nell'ambito delle tessellazioni. Nel *Padiglione di Aichi* (Giappone, 2005), usarono, per racchiudere lo spazio interno, delle tessere esagonali di ceramica, montate su una struttura di metallo interna. La variazione della composizione si basava sulla deformazione topologica di un modulo di sei esagoni, effettuata spostando un vertice dell'esagono lungo la sua diagonale; gli elementi erano ulteriormente differenziati dal colore e dalla generazione di pezzi perforati. Fatta eccezione per questi ultimi elementi, la differenziazione delle tessere seguiva sostanzialmente solo una questione estetica rappresentativa. Costruttivamente, ogni tessera era costituita da due metà fissate tra loro e dai montanti metallici interni.

Un esempio di come la differenziazione sia insita nel programma progettuale è costituito dall'involucro del *Silodam Housing* di MVRDV (Amsterdam, 1995-2002), dove la facciata costituisce l'espressione diretta e provocatoria di un programma interno diversificato. Lo stesso edificio è un pattern tridimensionale costituito da diverse tipologie alle quali sono associate diverse facciate: molteplici tipi di appartamenti e balconi, uffici, spazi commerciali, spazi di servizio.

Il programma interno può condizionare la tessellazione esterna anche in



57. Nieto e Sobejano, Museo Spazio Andaluz della Creazione Contemporanea, Cordoba, 2013

maniera meno evidente: per la progettazione della *Ravensbourne School of Design and Communication* di Londra, Foreign Office Architects idearono una facciata basata sulla tessellazione aperiodica di Penrose: tre tessere di alluminio anodizzato, di diversa geometria e colore, si ripetono 28000 volte fino a riempire tutto la superficie esterna dell'edificio. Questa costruzione astratta ammette inoltre la possibilità di aprire sette diverse finestre circolari all'interno della sua logica geometrica: il pattern stesso è quindi implementato dalla dimensione e dalla posizione delle aperture che dipendono dalle funzioni interne. È pertanto un pattern elastico che consente, all'interno della propria composizione, un'apertura funzionale al programma e all'esposizione solare.¹⁷⁸

Il Progetto del Museo *Spazio Andaluz della Creazione Contemporanea* di Nieto e Sobejano (Cordoba, 2013) è uno di quei progetti che a fatica riesce ad essere contenuto nella categoria degli involucri. È di fatto un progetto che fa un'interpretazione del pattern geometrico completamente esaustiva, in pianta, in sezione, nella distribuzione interna e nella definizione della facciata. E lo fa inoltre con una forte coerenza scultorea e geometrica, basata su una sequenza di esagoni rastremati diagonalmente che si differenziano a tutte le scale.

Come in quelle strutture letterarie che includevano un racconto dentro l'altro, dentro l'altro [...] - una storia senza fine- abbiamo concepito il progetto a partire da un sistema, una legge generata da un pattern geometrico auto simile, originato da una forma esagonale, che contiene a sua volta tre tipi diversi di sale, di 150 mq, 90 mq e 60 mq. Come un gioco combinatorio, le permutazioni di questi tre recinti generano sequenze di distinte sale che eventualmente possono arrivare a configurare un unico spazio espositivo [...].¹⁷⁹

Tali esagoni definiscono non solo le diverse sale d'esposizione, ma anche la superficie esterna dell'edificio, dai lucernari superiori alla facciata; come nell'architettura islamica, il blocco monomaterico è eroso, perforato e permeato dalla luce.

All'esterno, l'edificio aspira ad esprimersi per mezzo di un unico materiale: pannelli prefabbricati di GRC che allo stesso tempo rivestono facciate opache e perforate, oppure costituiscono le coperture piane o con pendenze variabili delle sale [...].

La facciata al fiume, vera maschera protagonista dell'edificio verso l'esterno, si concepisce come uno schermo perforato da molteplici bucatore poligonali tra le quali si nascondono lampade monocromatiche LED. Per mezzo di un programma informatico adeguato, segnali video genereranno immagini e testi che troveranno il loro riflesso sulla superficie acquatica del fiume e permetteranno installazioni pensate appositamente per questo luogo.

Durante il giorno, la luce naturale si infiltrerà attraverso le perforazioni, e inonderà filtrata la via interiore coperta.¹⁸⁰

I pattern della trasparenza

Anteriormente alla diffusione dell'aria condizionata, le pareti degli edifici erano spesse e le aperture avevano una dimensione ridotta, il che permetteva di isolare termicamente gli edifici, proteggendo l'interno dal surriscaldamento termico estivo ed mantenendolo caldo in inverno.

Nella prima metà del 1900, gli effetti della rivoluzione industriale divennero estensivi e la trasparenza divenne una qualità imprescindibile nell'architettura.

Il *Crystal Palace* della Grande Esposizione di Londra del 1851 è l'emblema dei moderni progressi tecnologici applicati alla manifattura del vetro e dell'acciaio colato. Progressi che vennero tradotti secondo condizioni imprescindibili per l'architettura moderna e contemporanea: grandi visuali aperte, luce, aria ed immaterialità.

La *Farnsworth House* di Mies (Plano, USA, 1950), è forse il caso più emblematico di quest'ultima caratteristica, l'immaterialità. Dal *Padiglione di Barcellona*, alla *Nationalgalerie*, al *Seagram Building* un'immaterialità neo-suprematista pervade tutta la opera di Mies,¹⁸¹ manifestandosi attraverso una ricerca ossessiva del dettaglio ed un particolare utilizzo di materiali come l'acciaio e il vetro. Nel *Seagram Building* di New York, ad esempio, si tenta di rivendere una superficie quasi completamente vitrea scandita dai montanti verticali ad 'T': la facciata è il risultato di un pattern verticale che struttura gli elementi prefabbricati delle unità vetrate; i solai in facciata sono coperti da cornici in bronzo, controbilanciando con un ritmo orizzontale arretrato la verticalità dei profili ad 'T'.

Una nuova interpretazione della trasparenza venne sperimentata da Wright nella *Torre Johnson Wax Laboratory* (Racine, Wisconsin, 1950). Attraverso un processo di ridondanza materica si produsse un'accumulazione lineare di tubi vitrei che sostituivano le finestre tradizionali: questi creavano un filtro di luce che rafforzava l'effetto a bande orizzontali già evidenziato dai marcapiani in mattone posti in corrispondenza dei solai. La trasparenza totale veniva sostituita da un effetto sfocato e diffuso dell'intorno.

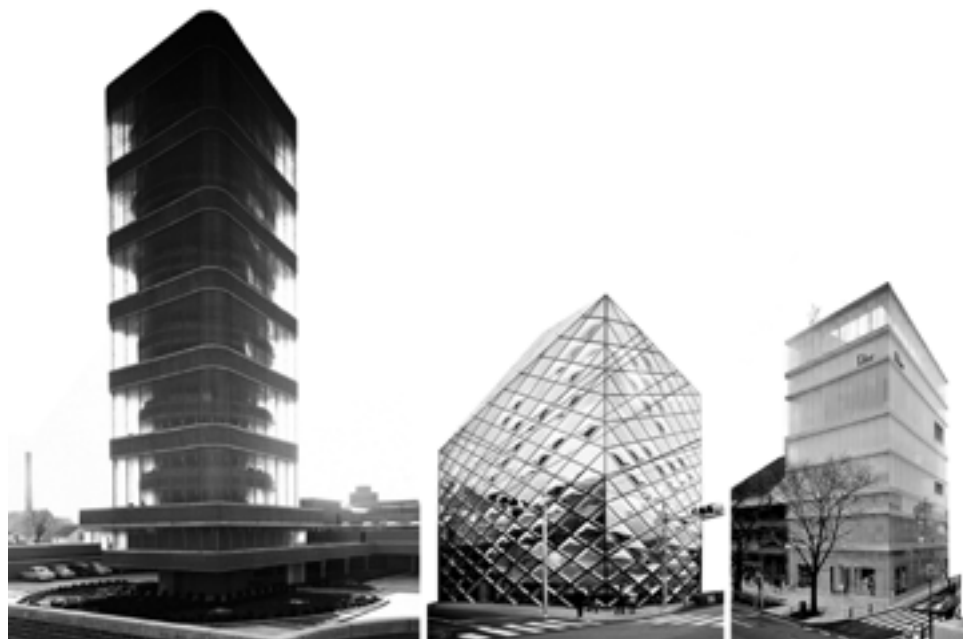
Negli ultimi anni la tecnica ha permesso di superare la distinzione tra pareti, tetto, paramento e finestre: è ora possibile usare lo stesso trattamento per tutte le superfici esterne dell'edificio, evidenziando così il carattere oggettuale dell'architettura.

Ne è un esempio il *Diamante Prada*, realizzato nel 2003 a Tokyo da Herzog & De Meuron. Questo cristallo iconico ha una facciata vitrea costituita da un pattern romboidale di pannelli piani, concavi e convessi:

queste diverse geometrie generano riflessi sfaccettati che permettono all'osservatore (sia da dentro che da fuori l'edificio) di vedere in qualunque momento immagini mutevoli e prospettive quasi cinematografiche dei prodotti Prada, della città e di se stesso.¹⁸²

Il pattern romboidale incorpora non solo i pannelli di vetro ma anche la struttura interna, fatta di metallo e rivestita con materiale ignifugo. All'interno dello stesso sistema vengono inoltre inglobate aree ad uso privato dotate di scala maggiore (ad esempio gli spogliatoi o la cassa): questi elementi, racchiusi all'interno, sono visibili dall'esterno dell'edificio, trasparente, e sono ottenuti sempre dall'estrusione di quattro rombi. Si tratta quindi di un pattern che integra livelli distinti tra loro: struttura, facciata, estetica, rappresentatività, distribuzione funzionale.

Passiamo ora ad un altro edificio iconico di Tokyo, la sede della Dior presso Omotesando, progettata e realizzata da Sanaa nel 2003. Da lontano l'edificio appare come un prisma vitreo scandito da marcapiani orizzontali, che a volte segnano i differenti solai mentre in altri casi sono semplicemente dei marcapiani che contribuiscono a rafforzare la variazione delle strisce orizzontali. Avvicinandoci è possibile rendersi conto di come le grandi superfici vetrate posseggano una trasparenza più complessa, risultato della so-



58. Il pattern della trasparenza a confronto

a sinistra: la Torre Johnson Wax Laboratory , 1950, al centro Prada e a destra Dior, entrambi del 2003. Ogni edificio interpreta la trasparenza attraverso pattern diversi.

vrapposizione di due superfici, ossia il vetro esterno ed i pannelli di acrilico all'interno. L'acrilico interno, traslucido, viene trattato come un tessuto a grande scala, con pieghe ed ondulazioni. Per ottenere questo pattern tridimensionale sono stati realizzati dei pannelli termo conformati utilizzando diversi stampi sui quali deformare le superfici di acrilico: si ottiene in tal modo una facciata profonda ed intensa, con un forte un effetto vibrante, che lascia trasparire quello che i tessuti traslucidi lasciano intuire, guardandoci attraverso.

Pattern sensibili al contesto

I pattern rappresentano inoltre una possibilità della pelle architettonica di interagire col contesto ambientale, modulando la luce, l'irradiazione solare, le visuali.

Infatti l'inno alla trasparenza, se da una parte ha conferito qualità estetiche e igieniche, dall'altra parte ha comportato la massiccia introduzione di sistemi di condizionamento termico per controbilanciare l'effetto serra prodotto all'interno di questi edifici. Come sappiamo, a parte la dipendenza degli edifici da sistemi di raffreddamento forzato, questo fenomeno comporta l'innalzamento della temperatura al di fuori degli edifici, contribuendo al surriscaldamento globale del pianeta.

Recentemente, in un contesto nel quale il dibattito climatico diventa imperativo, l'architettura ha risposto cercando di aumentare l'efficienza energetica degli edifici. Ciò rappresenta per gli architetti, ed in generale per il mondo della costruzione, un'opportunità per generare pelli a più strati, più o meno permeabili, con soluzioni tecnologiche disparate. È nato così un campo d'applicazione vastissimo che permette di misurarsi con i più svariati sistemi di ombreggiamento della facciata.

Spesse volte si opta per duplicare la pelle esterna, in modo da avere due strati, uno interno di vetro ed uno esterno capace di riflettere i raggi solari o generare ombra. Il secondo strato deve quindi proteggere dal sole ma allo stesso tempo permettere il passaggio della luce, dell'aria e non occludere la visuale.

Ciò ha rappresentato una sfida per rivendicare l'uniformità e allo stesso tempo per differenziare la porosità del rivestimento esteriore. Si abbandona la differenziazione dei materiali in relazione alle funzioni, propria del movimento moderno, e si concepiscono pelli sempre più intelligenti che integrano più aspetti del progetto invece di separarli.

Un caso interessante è costituito dal *Signal Box Aufdem Wolf* (Basilea, 1994).

L'edificio, di cemento armato, è rivestito da bande orizzontali di rame di 20 cm di larghezza, che, attraverso una torsione graduale, raggiungono nel loro culmine 90 gradi, permettendo il passaggio dall'opacità alla trasparenza. Il rivestimento funziona come una gabbia di Faraday: è quindi capace di isolare e proteggere l'interno da un qualunque campo elettrostatico presente al suo esterno.

Il *De Young Museum* di Herzog & De Meuron, terminato a San Francisco nel 2005, è un altro esempio di questa tipologia. Più livelli sono sovrapposti per cercare di ottenere effetti di trasparenza e di visuali filtrate: sia il colore del rivestimento che il suo trattamento poroso, evocato dalla natura dell'intorno, sono tentativi di radicare il progetto nel luogo. Un rivestimento di rame riveste tutto l'edificio, seguendo un pattern differenziato che articola diverse proprietà, dall'opacità alla trasparenza, secondo un gradiente di punti. Tale gradiente è la traslazione di un'immagine della vegetazione del luogo in un sistema di rilievi e perforazioni che seguono un reticolo a maglia quadrata al quale corrispondono dei cerchi di diverso diametro.

Le operazioni che stanno alla base di questa azione grafica sulla facciata sono:

- 1- di tipo digitale, che consiste nella trasformazione dell'immagine in bianco e nero, poi in negativo ed infine nell'applicazione di un filtro *halftone dots pattern*,¹⁸³
- 2- fisica, ottenuta traducendo i cerchi in rilievi più o meno sporgenti o profondi in relazione al diametro più o meno grande dei *pixel*.

Seguendo un'altra griglia viene generato un altro *halftone dots pattern*, con sei diametri di perforazioni come risposta alle esigenze di illuminazione e ventilazione. Infine i due pattern vengono sovrapposti ed utilizzati per la produzione finale dei pannelli di rame.¹⁸⁴ Un sistema computerizzato ha permesso la produzione dei 7.602 pannelli, tagliati, perforati e stampati individualmente.

Così facendo si ottiene un effetto estetico smaterializzato che produce nella superficie esterna vibrazione, differenziazione e porosità. Si riesce a vedere attraverso la struttura in profondità, soprattutto di notte, quando le luci interne sono accese e la luce del sole è filtrata dall'interno. Anche quando le superfici solari sono continue ed aperte, le superfici di rame si sovrappongono sulla parte superiore per proteggere dal sole.

È interessante pensare la facciata come un elemento continuo che, invece

di essere interrotto, varia le sue proprietà per passare dall'opacità alla trasparenza: questo passaggio avviene gradualmente, secondo un processo di alterazione di un materiale che assume caratteristiche organiche.

Un altro caso interessante è costituito dal *Messe Basel-New Hall*, la cui esposizione è terminata nel 2013. In questo caso l'operazione di rivestimento del complesso architettonico è affidata ad una superficie di alluminio che riprende il pattern delle maglie *déployée*: la maglia viene scalata adeguatamente e, attraverso la profondità con cui viene deformata, si generano aperture più o meno pronunciate. In questo modo è possibile generare un gradiente che va dalla superficie opaca a quella permeabile.

Questa costante variazione architettonica è rinforzata, paradossalmente, dall'applicazione di un materiale omogeneo (alluminio) su tutte le superfici esterne. La facciata costituita da articolate fasce ad intreccio modula strategicamente e riduce la scala dei volumi di grande esposizione ai suoi dintorni. Questo non è semplicemente un elemento decorativo ma un mezzo pratico per regolare l'incidenza della luce naturale su proprietà adiacenti e per dare una cornice a punti di osservazioni specifici da luoghi individuali, fondamentalmente le aree sociali sopra il City Lounge, verso la vita pubblica della città.¹⁸⁵



59. Herzog & De Meuron, Messe Basel, New hall, 2013
la maglia *déployée* scalata modula la permeabilità della facciata.

Il gradiente diventa pertanto un sistema geometrico dalle forti potenzialità estetiche che entra in campo architettonico tramite nuovi sistemi, sia di progettazione che di fabbricazione assistita al computer. Occorre infatti gestire e costruire una grande quantità diversa di elementi costruttivi. La proprietà del gradiente è quella di trattare l'architettura come un oggetto unico, di confermare l'autonomia della pelle come elemento unico, che ammette tuttavia dei sistemi di perforazioni variabili che si integrano sinuosamente nella forma esterna. Si producono effetti sfumati che controllano la penetrazione della luce in maniera graduale, senza interruzioni brusche o cambiamenti di materiale. Non sono ammesse sovrapposizioni di ordini diversi, ma c'è un unico e solo sistema possibile e capace di integrare luce, viste e costruzione.

Abbiamo visto nei casi di Herzog e De Meuron un lavoro svolto su due strati, una pelle interiore convenzionale ed una esterna che conferisce l'immagine finale dell'edificio e controlla, sfumandola, la luce. Adesso verranno proposti alcuni esempi degli studi UnStudio e Zaha Hadid, che permettono di osservare una profonda integrazione della trasparenza all'interno del tessuto della superficie esterna: questi esempi, molto simili tra loro, consistono nel generare un pattern costruttivo costituito da moduli che, cambiando dimensione e profondità, permettono una progressiva modulazione del passaggio della luce.

Ricordiamo innanzitutto il progetto di Z. Hadid *Juzgados de lo civil* per il *Campus de Justicia* (Madrid, 2007), dove la pelle è il risultato di una tessellazione romboidale nella quale si inseriscono elementi totalmente aperti, parzialmente aperti, e con una sporgenza frangisole a sud, ad est e ad ovest. Inoltre, all'interno dello stesso sistema, questi elementi cambiano la loro caratteristica gradatamente, in modo tale da passare da un elemento totalmente aperto ad uno un po' meno aperto e così via fino ad arrivare a quello più chiuso. Allo stesso modo si trattano le sporgenze del frangisole che aumentano in funzione dell'orientamento solare. In tale modo la pelle dell'architettura diventa adattativa all'intorno, e tutto viene elasticamente gestito all'interno dello stesso pattern.

Un'uguale strategia venne applicata dallo stesso studio nel progetto presentato al concorso per la Filarmonica di Parigi.

È ciò che Schumacher, socio di Hadid, definisce "*parametric pattern*":

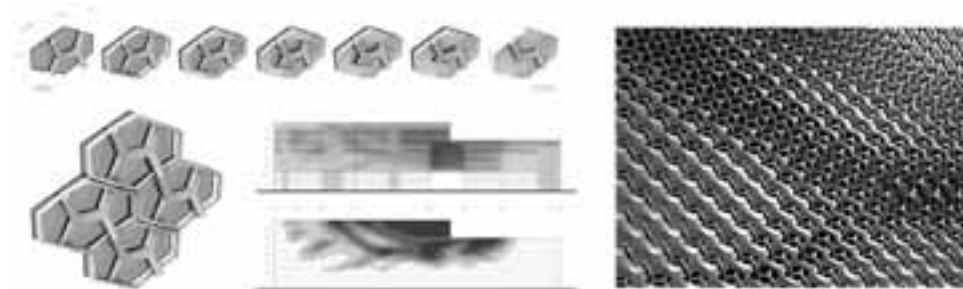
Tuttavia, nell'assemblaggio classico, la variazione di curvatura della superficie fornisce l'insieme di dati che guida l'adattamento parametrico dell'elemento, allo scopo di mantenere il pattern quanto più uniforme ed omogeneo possibile. Lo scopo è mantenere un'identità di elementi che va a compensare la differenziazione della superficie soggiacente.

[...] La differenziazione della superficie dovrebbe servire come mezzo di articolazione. Essa lo può fare soltanto se è correlata con gli aspetti geometrici o funzionali dello spazio che la superficie costruisce.

[...] L'articolazione della superficie potrebbe corrispondere a linee di flusso strutturali o alla distribuzione della tensione. I correlati potrebbero anche includere le aperture che sono disposte nella superficie. I pattern potrebbero accentuare le aperture. Una superficie potrebbe essere fatta in modo tale da essere correlata con l'arredamento dentro uno spazio. Il pattern di occupazione atteso potrebbe anche essere utilizzato come insieme di dati che guida una differenziazione superficiale corrispondente. Un sistema sofisticato dovrebbe essere in grado di fornire molteplici insiemi di dati simultaneamente. Un'altra opportunità formidabile è costituita dalla differenziazione adattiva delle facciate rispetto a parametri ambientali che variano a seconda dell'orientamento della superficie. In questo caso la variazione formale e quella funzionale vanno a braccetto. La variazione graduale dell'intensità della luce solare su una superficie curva si traduce, in questo caso, in una trasformazione graduata della formazione di un elemento. Nel "parametricismo" tali esigenze funzionali sono innalzate a concetto artistico.¹⁸⁶

UNStudio lavorò nella stessa direzione nell'ambito del progetto consegnato per il concorso del complesso commerciale di Omotesando (Tokyo, 2008). In questo caso la variazione graduata di permeabilità è affidata ad una tassellazione esagonale che manifesta una tessitura intrecciata. Anche qui si modulano, in maniera sfumata, luce e viste attraverso l'uso di pannelli modulari che variano di dimensione e profondità. La riduzione delle aperture è anche in questo caso controllata con il singolo tassello che aumenta o riduce la cornice del suo perimetro.

Più semplici sono i pattern del Teatro di Spijkenisse (Olanda, 2008) o del *Dance Palace* (San Pietroburgo, 2009). Nel primo caso il pattern genera un gradiente di aperture circolari sul dorso dell'edificio. Nel secondo caso l'involucro esterno è perforato da un pattern triangolare che rivela progressivamente la struttura dell'edificio.



60. UNStudio, Complesso commerciale di Omotesando, 2008
permeabilità graduale ottenuta con sette pannelli che variano densità.

L'integrazione con gli edifici vicini esistenti è ottenuta sia attraverso la scala dell'edificio – che in elevato segue la tipica linea dei tetti di San Pietroburgo di 28 m – sia attraverso la trasparenza metamorfica che è introdotta da un sistema di facciata caratterizzato da pannelli di rivestimento triangolari. La variazione fra pannelli perforati ed opachi crea una sensazione di apertura controllata, che dipende dal programma, le visuali e l'orientamento.¹⁸⁷

Pattern cinetici

Un altro sistema di ombreggiamento delle facciate degli edifici si basa sull'utilizzo di elementi mobili: questo sistema, caratterizzato da un alto livello di sperimentazione tecnologica, è spesso associato ad avanzati *software* di simulazione che permettono di prevedere la risposta energetica dell'edificio in funzione all'esposizione solare. Il sistema, come si vedrà più avanti, consiste in membrane articolate che si aprono e chiudono regolando il passaggio della luce come una membrana omeostatica naturale.

L'uso di sistemi frangisole rende possibile una forte riduzione del valore 'g' (trasmissione, energia trasmessa), considerevole quando c'è un valore molto alto del quoziente termico fornito dal sole. Le norme attuali permettono un fattore di riduzione dello 0,2 (80% riduzione), ottenuto usando sistemi di ombreggiamento flessibili ed esterni: questi sistemi permettono di limitare l'apporto solare riuscendo tuttavia a mantenere sufficienti i livelli di illuminazione diurna.¹⁸⁸

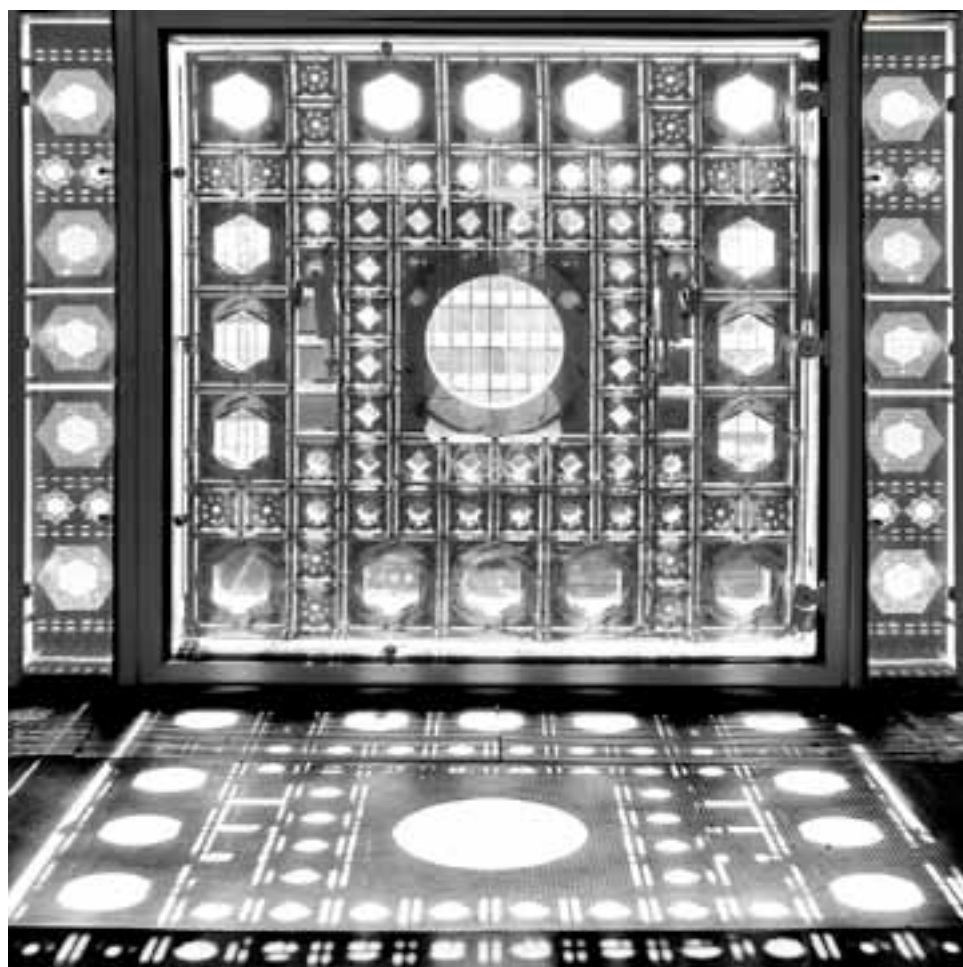
La prima operazione di questo tipo venne studiata ed applicata da J. Nouvel nell'*Institut du Monde Arabe* (1981-1987). Riportando le parole dello stesso Nouvel,¹⁸⁹ l'edificio genera una cerniera tra due culture, quella araba e quella occidentale: per tale motivo la facciata presenta due trattamenti distinti, uno che risponde alla cultura degli arabeschi e l'altro, prospiciente la Senna, dominato da un pattern di linee orizzontali e quindi rispondente ad un'estetica più occidentale. La facciata 'araba' è costituita da 30000 diaframmi sensibili alla luce, che si chiudono ed aprono in relazione all'intensità della luce esterna, in modo tale da controllare l'insolazione attraverso un sistema meccanizzato reattivo che filtra i raggi solari. Considerando che il progetto risale al 1981, esso è straordinariamente innovativo nel rapporto sia con la tecnologia che col significato culturale che instaura con l'intorno.

Seguirono altri tentativi in tal senso, come il sistema di protezione solare pneumatico sviluppato da Foiltec nel progetto dell'*Atelier Brückner* per l'Expo 2000 di Hannover¹⁹⁰ o le residenze sociali di E. François a Louviers in Francia (2006).

L'idea di generare facciate dinamiche capaci di regolare l'insolazione dell'edificio è stata persino patentata da Tessellate TM. Questo ingegnoso sistema consiste nel sovrapporre diversi pannelli perforati secondo alcuni pattern, in cui lo slittamento di un livello rispetto all'altro regola il contatto con l'esterno. Ecco la descrizione della compagnia:

è uno schermo autonomo, dotato di una cornice, il cui pattern perforato può modificarsi ed evolvere in continuazione, creando un elemento architettonico dinamico che regola luce ed acquisizione di energia solare, ventilazione e flusso d'aria, privacy e visuali. È progettato per pareti, sistemi di vetri e finestrate, pannelli divisori che funzionano come una facciata versatile multiuso.¹⁹¹

L'introduzione di un sistema meccanico comporta spesso onerosi problemi di manutenzione che, come è avvenuto nell'*Institut du Monde Arabe*, possono terminare con la rinuncia all'interattività della facciata.



61. Jean Nouvel, Institut du Monde Arabe, 1981-1987
diaframma meccanizzato sensibile alla luce.

Nuovi studi sui Bimetal permettono invece di sostituire i complessi dispositivi meccanici con sistemi materiali che rispondono automaticamente agli stimoli esterni, senza bisogno di elettricità o ulteriori meccanismi.

In particolare D. K. Sung, biologa passata all'architettura, seguendo il parallelismo tra la pelle umana e quella degli edifici, ambisce alla generazione di superfici sensibili, dinamiche e differenziate in relazione alle condizioni climatiche esterne. Per compiere questo obiettivo la studiosa sta esaminando le possibilità del bimetallo termico, un materiale laminato costituito da due metalli distinti sui due lati che posseggono diversi coefficienti di espansione termica. Questo materiale "siccome ha due diversi coefficienti di espansione, quando è riscaldato, un lato si espanderà più rapidamente che l'altro e si ottiene una curvatura".¹⁹² La sua ricerca si basa nello sviluppo di superfici metalliche costituite da pattern che, reagendo ai diversi raggi solari e quindi a diverse temperature, permettono di controllare l'entrata di luce e aria in facciata attraverso la curvatura dei suoi elementi costitutivi. È assolutamente affascinante osservare la trasformazione di superfici che cambiano automaticamente la loro forma, diventando più o meno permeabili: questa trasformazione avviene senza l'uso di energia esterna ma solamente grazie alla natura stessa di questo materiale.

A parte una ricerca più sperimentale riguardante lo sviluppo di prototipi e padiglioni, la Sung sta sviluppando dei pannelli che possono sostituire le tradizionali superfici vetrate. Si tratta di pannelli costituiti da una doppia superficie di vetro che contengono all'interno superfici di bimetallo termico che, a seconda dell'incidenza solare, limitano più o meno il passaggio dei raggi.

Siamo chiaramente in un campo di sperimentazione nel quale occorre ancora risolvere molti problemi, quali l'impatto del vento su queste superfici sottilissime, la protezione contro lo sporco (nel caso in cui le superfici non siano incapsulate tra due lastre di vetro), la manutenzione, etc. Inoltre, così come avveniva nel progetto dell'*Institut du Monde Arabe*, inserendo la superficie di controllo tra due superfici di vetro, si controlla principalmente il passaggio della luce e meno il passaggio del calore: quindi, una volta che i raggi UV attraversano il vetro esterno, surriscaldano il bimetallo ed il pannello, conducendo il calore all'interno.¹⁹³

Un esempio straordinariamente poetico che fa uso del Bimetallo termico è costituito dal *LOTUS 7.0* dello studio StudioRoosegaarde (2010-2011). Si tratta di un padiglione a cupola (delle dimensioni di 4x2 m), costituito dalla tessellazione di centinaia di lamine bimetalliche, animato da un sistema di sensori e di lampade controllate da uno specifico *software*. Questo "orga-

nismo” percepisce il passaggio degli utenti, incrementando, quando questi si avvicinano, l'intensità della luce, con un corrispondente dispiegarsi delle lamine bimetalliche. Chiaramente i sensori percepiscono l'avvicinamento delle persone ed un dispositivo, posto all'interno della cupola, spinge le lampade verso la superficie esterna che, riscaldandosi, produce la trasformazione del bimetallo. L'effetto del padiglione consiste nel generare un'elegante trasparenza ed una vibrazione organica.



62. Studio Roosegaarde, Lotus 7.0, 2010-2011

I pattern dell'accumulazione

La quantità e la ripetizione di elementi all'interno dello stesso sistema permettono di confermare, e quindi di esplicitare, una regola costruttiva o un determinato ordine. C'è una distinzione tra la mera quantità e la quantità intensiva, ovvero una quantità che mette in relazione gli oggetti.

Un sistema di ripetizione differenziale diventa un mezzo di gestione di una varietà di materiali dentro la medesima organizzazione.¹⁹⁴

Un solo mattone o un solo profilo di legno non saranno sufficienti ad esprimere le proprietà di organizzazione materiale che emergono solo nella ridondanza, ossia nella ripetizione esagerata di elementi: è infatti nella ridondanza che emergono nuove proprietà, imprevedibili, come l'incremento di caratteristiche meccaniche strutturali o il sorgere di comportamenti porosi.

Nel *Dominus Winery Yountville*, di Herzog & De Meuron, costruito tra il 1996 ed il 1998 in California, le pareti esterne sono state realizzate con pietre e massi di basalto di diversa dimensione usati come riempimento di gabbie di metallo. Questi elementi, aggregati senza coesione ma contenuti all'interno delle maglie, producono nuove proprietà, quali la permeabilità della luce regolata tramite la dimensione delle pietre e l'inerzia termica che protegge dal caldo diurno e dal freddo notturno.

Un caso interessante, studiato da M.Hensel e Achim Menges, è quello degli 'aggregati', ossia quei composti generati da masse di particole in contatto sottoposte alla gravità e all'attrito. Un aggregato è caratterizzato da una determinata relazione tra il numero degli elementi e la loro dimensione che determina un insieme così grande di elementi 'piccoli' da poter approssimare il suo comportamento a quello di un fluido.

Un mucchio di sabbia o una duna, per esempio, sono forme dinamicamente stabili, visto che esse conservano l'inclinazione della sua pendenza durante il processo d'accumulazione dei granelli. La capacità degli aggregati di fluire e cristallizzarsi in formazioni auto-stabilizzanti che possono supportare se stessi e carichi esterni, così come resistere a tensioni deformanti, è di particolare interesse per lo sviluppo di un design alternativo ed un approccio costruttivo.¹⁹⁵

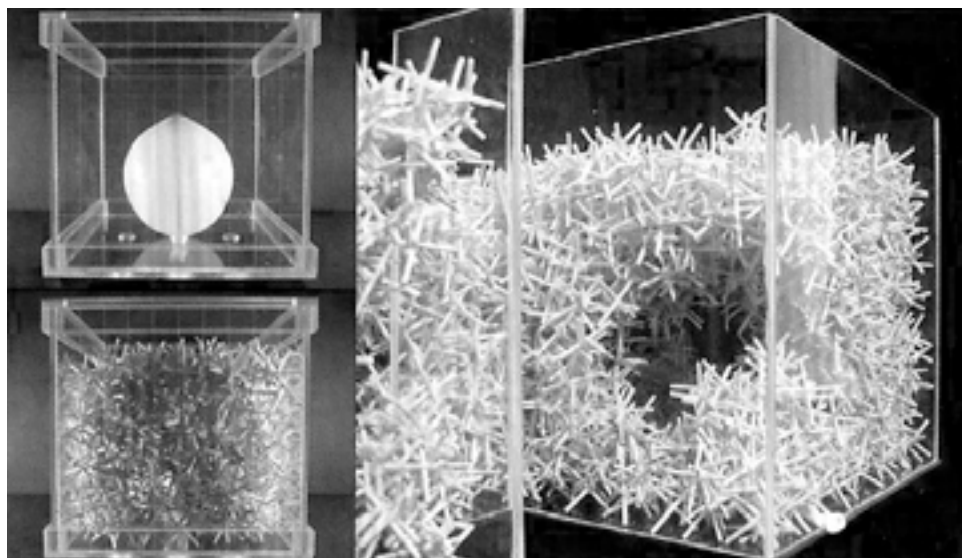
Esperimenti condotti tra il 2005 ed il 2006 all'interno del *Diploma Unit 4* dell'Architectural Association, diretto da M. Hensel e A. Menges, rivelano interessanti pattern di comportamento per aggregati di diversa natura. Seguendo la ricerca di Otto sugli aggregati naturali e di R.A. Bagnold sulla fisica della sabbia soffiata e delle dune, sono state analizzate diverse configurazioni sabbiose in relazione a semplici pattern geometrici appartenenti ai contenitori nei quali veniva versata la sabbia. Nelle prove di G. Takahashi, studente della Unit, emergevano configurazioni che dipendevano da parametri quali:

la quantità di sabbia, la velocità a cui viene versata, la grandezza dell'imbuto per versare o drenare, l'angolo e la ruvidezza della superficie ricevente e fattori estrinseci quali la gravità e il flusso d'aria.¹⁹⁶

I test di E. Matsuda sono invece basati sulla generazione di configurazioni in equilibrio attraverso aggregati composti da migliaia di elementi con tre assi. Alcuni test includono il riempimento di un contenitore in cui è presente un elemento gonfiabile: una volta riempito il contenitore con l'aggregato, la forma pneumatica viene sgonfiata con la sorprendente comparsa di strutture cavernose autoportanti.



63. Gen Takahashi, esperimenti sulle regole geometriche che emergono dalle formazioni di sabbia, 2005-2006



64. Eiichi Matsuda, esperimenti sulle condizioni di equilibrio degli aggregati

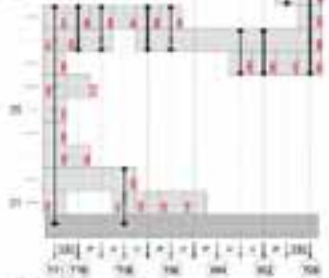
Ritroviamo questo concetto anche in costruzioni di scala maggiore, ossia strutture architettoniche nelle quali l'aggregazione di elementi è assicurata da semplici chiodi e dove determinate caratteristiche statiche emergono in virtù della ridondanza del materiale.

Il progetto della casa sulla spiaggia di S. Matsukawa è realizzato tramite la ripetizione di migliaia di tavole di legno inchiodate, la cui posizione è sottoposta a semplici parametri e limiti dimensionali. In tal modo si genera un sistema logico ed arbitrario allo stesso tempo: se uno dei costruttori avesse dimenticato un elemento o inchiodato una tavola in un posto sbagliato, il sistema avrebbe generato un altro stato di equilibrio. Ciò che garantisce la stabilità generale è appunto la ridondanza.

Un caso simile ma ad una scala molto maggiore è quello di *Uchronia*, una struttura alta 15 piani e costruita, durante il Burning Man Festival di Black Rock City (Nevada, 2006), con centinaia di migliaia di pali di legno. Si tratta di un progetto che segue un comportamento costruttivo spontaneo, un flusso di elementi di legno che seguono una logica di aggregazione: nella ripetizione caotica si afferma una sorta di ordine nuovo, emerge una grande potenzialità organizzatrice che deriva dalla stessa quantità degli elementi.



65. Burning Man Festival, Black Rock City, Nevada 2006



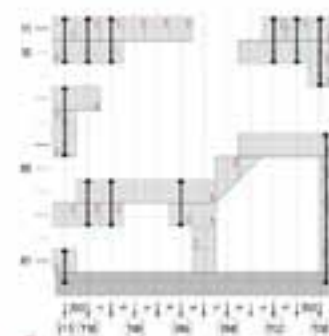
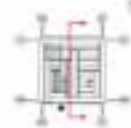
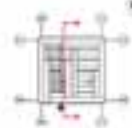
1-1剖面图



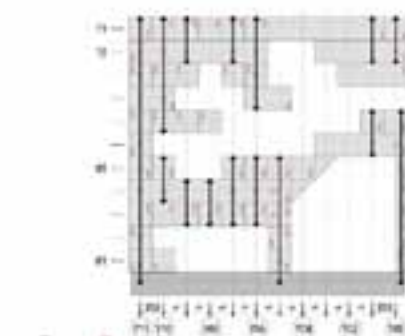
1-1剖面图



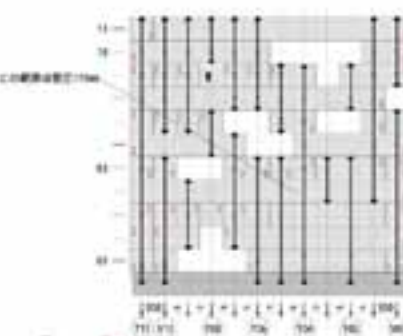
1-1剖面图



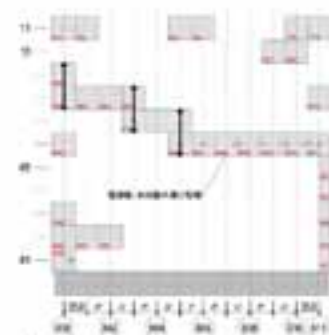
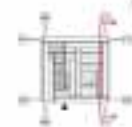
1-1剖面图



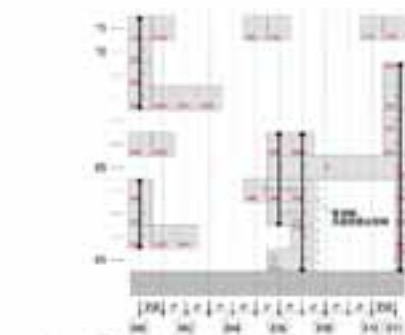
1-1剖面图



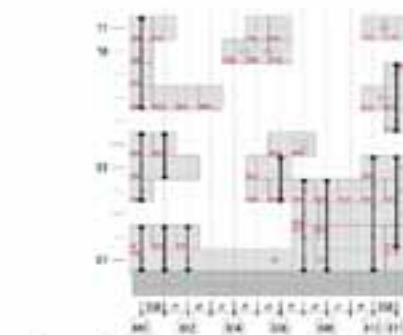
1-1剖面图



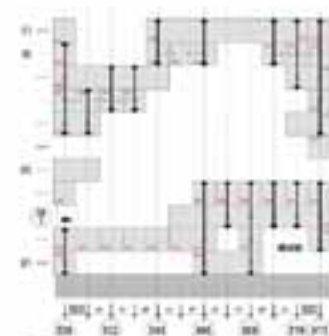
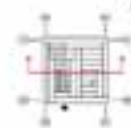
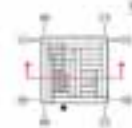
1-1剖面图



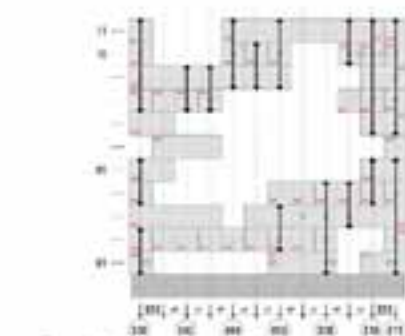
1-1剖面图



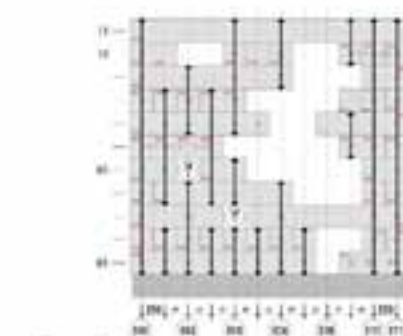
1-1剖面图



1-1剖面图



1-1剖面图



1-1剖面图



Ma l'accumulazione è anche l'affermazione di una strategia fondata sull'uso di un solo materiale e di un solo sistema costruttivo: è pertanto anche una pratica della riduzione e non solo della quantità. Ridurre le variabili percettive dell'insieme aiuta ad intenderlo come un unico organismo, capendo in tal modo l'ordine generativo che lo governa.

Un esempio che parla di accumulazione ma non nei termini ossessivi dei casi precedenti è quello della *Wooden House* di Fujimoto. Questa casa, di soli 15 mq, sperimenta l'accumulazione di blocchi di legno a sezione quadrata di 35 cm di larghezza: la sovrapposizione studiata di questi elementi permette di risolvere tutte le funzioni minime di una casa. Il legno viene utilizzato nella stessa maniera anche per i pilastri o le travi o per il mobilio della casa: ancora una volta l'uso ripetuto dello stesso materiale, dello stesso elemento e dello stesso sistema costruttivo produce situazioni nuove, di grande consistenza progettuale.



67. Sou Fujimoto, *Wooden House*, Kumamoto, Giappone, 2005-2008

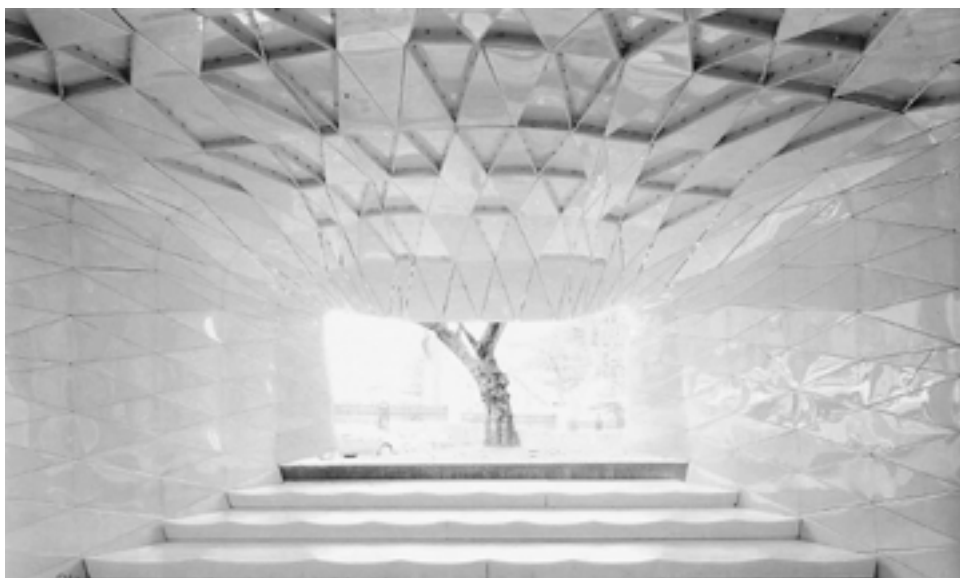
66. (p. a fianco) Sou Fujimoto, *Wooden House*, Kumamoto, Giappone, 2005-2008

Pattern dell'approssimazione geometrica. Superfici complesse e fabbricazione digitale

Parallelamente allo sviluppo di *software* capaci di modellare e gestire superfici complesse, sono stati elaborati, nel mondo dell'architettura, sistemi di produzione controllati numericamente. In questo processo, che va dalla fase progettuale a quella costruttiva, si instaurano metodi di approssimazione della "superficie matematica" ideale e continua, che, in fase di realizzazione, viene trasformata, attraverso il montaggio di un insieme di pannelli, in una superficie discretizzata. La discretizzazione dipenderà da fattori quali la tecnologia utilizzata, le qualità estetiche, l'uniformità e la morbidezza con cui i pannelli approssimeranno la superficie.

La triangolazione è uno tra i metodi maggiormente esplorati, giacché è il metodo più semplice ed immediato per trasformare una superficie complessa in un insieme di superfici triangolari piane. L'approssimazione in questo caso è molto bassa, a meno che non si utilizzino pannelli molto piccoli che comportano l'aumento di giunti ed elementi.

Il padiglione progettato da M. Meredith come teatro per le marionette e costruito nel cortile sotto l'elevato del *Carpenter Center* di Cambridge, Massachusetts, è un esempio di discretizzazione di una superficie complessa in una serie di pannelli triangolari/romboidali.



68. Michael Meredith, Teatro per le Marionette, Carpenter Center, Massachusetts, 2004

Ognuno dei 500 pannelli era fabbricato come un sottile foglio di policarbonato, che poteva essere piegato per creare i punti di fissaggio di un altro. L'intera struttura, a sua volta, poteva essere assemblata con l'uso di semplici strumenti. Tutti i componenti furono ottimizzati per la fabbricazione, il trasporto e l'assemblaggio del teatro finito.¹⁹⁷

Sebbene si tratti di una struttura effimera è interessante l'esercizio di manipolazione della forma al fine di tradurre il guscio in elementi costruttivi. La fabbricazione è digitale, il progettista prepara dei *file* che vengono "stampati" direttamente in fabbrica. Poiché il processo di costruzione si accorcia ci sono meno intermediari e meno possibilità di interpretare il progetto, propagando errori.

Ritornando al tema della discretizzazione, occorre puntualizzare come la triangolazione abbia generato una propria estetica assolutamente autonoma, che prescinde la stessa approssimazione di superfici complesse. Molti progetti vengono infatti concepiti triangolati già dai primi schizzi, proprio per ragioni progettuali e non solo economiche.

Tra i numerosi esempi di questo tipo ricordiamo:

- il soffitto del *Caixa Forum* di Herzog e De Meuron a Madrid (2001), concepito come una superficie che chirurgicamente fa lievitare l'edificio generando una piazza coperta;

- il teatro *Agora* di UNStudio a Lelystad (Olanda), terminato nel 2007, rivela un complesso scultoreo di metallo e vetro sfaccettati in tutto l'involucro esterno. La stessa natura triangolata la ritroviamo all'interno nel grande spazio rosso del teatro.

- il *Tea House on Bunker* di UNStudio a Vreeland (Olanda), terminato nel 2007. Il progetto è stato studiato nel dispiegamento delle sue facce, come in un manuale per origami. La struttura triangolata in acciaio Inox, con motivi a rilievo, si eleva dal suolo concentrando la visuale verso un campo di polo.

- in *Espacios de Sombra Lotus Blau*, Santa Coloma de Farners a Girona, terminato nel 2007, RCR usa la triangolazione come sistema geometrico che non è solo rivestimento ma anche struttura:

Ombrelli o occhiali da sole per un giorno festivo. Ombrelli che schizzano, occhiali da sole che si raffreddano su una pellicola d'acqua. Unità e gruppo, le parti e il tutto. Una costruzione sfaccettata che, con una linea, risolve la struttura, la recinzione e la finitura, impregnata di luci ed ombre, che vibrano unitariamente e collettivamente.¹⁹⁸

Freeform e pannellature

Il dilagare in architettura di superfici *freeform* ha stimolato diversi ricercatori a sviluppare dei sistemi di razionalizzazione geometrica che permettono diverse approssimazioni formali. Sono stati elaborati algoritmi che permettono di immaginare differenti configurazioni di discretizzazione della superficie in pannelli, a seconda del *budget* a disposizione: si tratta in generale di configurazioni che scartano a priori la triangolazione e che, optando per delle pannellature, ricorrono ai quadrilateri. Le tipologie di pannelli utilizzati nella fabbricazione di rivestimenti possono essere planari, a singola curvatura e a doppia curvatura: a seconda del materiale che si vuole usare cambia la tecnologia di costruzione.

I progetti di F. Gehry sono tra i primi a manifestare superfici *free-form*. Così come nel Guggenheim di Bilbao, Gehry usa prevalentemente superfici sviluppabili, superfici a singola curvatura che possono essere deformate senza grossi problemi, anche perché i materiali usati, essendo sempre metallici, si prestano molto bene a questo tipo di piegatura.

Casi più complessi sono stati studiati da H. Pottmann.¹⁹⁹ Alcune sue ricerche dimostrano come una superficie complessa può essere costruita utilizzando diversi tipi di pannelli attraverso una strategia locale: ossia, a seconda delle “necessità geometriche” di ciascuna area all'interno della superficie, si adottano contemporaneamente pannelli planari, altri a singola o a doppia curvatura. Questo permette di ottimizzare significativamente i costi di produzione, perché offre la possibilità di aumentare la produzione di pannelli di produzione economica a discapito di quelli a doppia curvatura e di utilizzare lo stesso stampo per più pannelli.

Il grado di approssimazione ed il livello di sofisticazione formale dei pannelli è legato al costo e può essere determinato attraverso due parametri:

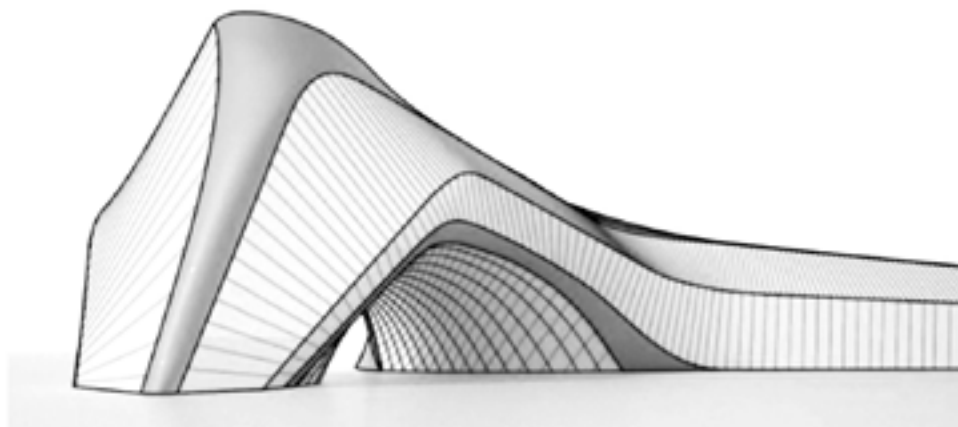
- divergenza (distanza tra i pannelli);
- angolo di deviazione (l'angolo che misura la “tangenza” tra pannelli adiacenti, ovvero l'angolo tra la normale ai due pannelli nel punto di contatto. Quanto minore è l'angolo, tanto maggiore sarà la morbidezza della superficie finale).

Una soluzione di pannellatura può essere calcolata usando l'algoritmo di ottimizzazione descritto in [Eigensatz et al. 2010]. L'algoritmo ha come input la superficie di riferimento F , la rete di connessioni della curva iniziale, e soglie globali su angoli di torsione e divergenza massimali, assieme ad un margine dato di deviazione dalla superficie di riferimento per la superficie a pannelli finale. L'output dell'algoritmo è costituito dai parametri che determinano la figura degli stampi di fabbricazione e le trasformazioni dell'allineamento che posizionano

i pannelli nello spazio. Questi parametri sono computati in maniera tale che la superficie di riferimento è approssimata nella maniera migliore possibile, mentre l'angolo di torsione e le soglie di divergenza sono soddisfatte dovunque. Nello stesso tempo, il costo di fabbricazione è minimizzato preferendo pannelli che siano geometricamente semplici e, quindi, meno costosi da fabbricare quando possibile, e massimizzando il riutilizzo dello stampo.²⁰⁰

Alcune superfici, sebbene sembrano complesse, possono essere costruite attraverso degli stampi economici e rapidi da costruire. È il caso delle superfici rigate, ossia superfici che possono essere immaginate come costituite da una famiglia di linee rette, che possono essere costruite attraverso pannelli di cemento rinforzato colato in stampi di polistirolo, tagliato con una tecnica molto economica che usa dispositivi sagomatrici CNC per taglio a filo caldo. Un esempio di razionalizzazione per superfici rigate è costituito dal *Centro di Arte Contemporanea* di Cagliari, Sardegna, progettato da Z. Hadid nel 2007.²⁰¹

Un celebre esempio pertinente la fabbricazione di pannelli con doppia curvatura è costituito dal *Kunsthau*s (Graz, Austria), progettato da P. Cook, il cui rivestimento è realizzato attraverso pannelli di acrilico traslucido. Altri interessanti casi di pannellature derivano da due progetti di Z. Hadid: la pensilina di vetro bianco per la stazione funicolare *Hungerburg bahn* ad Innsbruck ed il *Mobile Art Chanel Contemporary Art Container* rivestito da pannelli di polimero rinforzato con fibra.



69. Zaha Hadid, *Centro di Arte contemporanea di Cagliari, 2007*

studi di H. Pottmann sulla discretizzazione della superficie. Le aree curvate negativamente possono essere approssimate da ampie superfici rigate o dall'unione di strisce di superfici rigate.

Ecco cosa sostiene l'architetto riguardo quest'ultimo progetto:

la complessità ed i progressi tecnologici dei software digitali di immagine e delle tecniche di costruzione hanno reso possibile l'architettura del Mobile Art Pavilion. È un linguaggio architettonico di fluidità e natura, guidato da un nuovo design digitale e da processi di fabbricazione che ci hanno attivato a creare la totalità delle forme organiche del Pavilion – invece dell'ordine seriale di ripetizione che segna l'architettura industriale del 20 secolo.²⁰²

Una maniera sorprendente di approssimare superfici di altissima complessità geometrica è stata concepita da M. Fornes: alcuni dei suoi progetti come il *non Lin/Lin Pavilion* o il padiglione per il *Centre Pompidou* rivelano un'ingegnosa strategia costruttiva basata sulla divisione in strisce della superficie curva.

I protocolli computazionali standard stanno descrivendo la struttura del padiglione come un insieme di elementi lineari sviluppabili. Questi elementi singoli possono essere poi srotolati e tagliati in fogli piani di materiale. Sebbene dovuta alle proprietà non lineari del modello, questo processo di discretizzazione non può essere applicato a tutta la morfologia, ma richiede piuttosto un processo di ricerca. Una strategia d'intervento globale fallirebbe per via della sua natura di spostamento ricorrente di imperfezioni all'interno della rete distribuita (nodi con numeri differenziati di rami, tipi diversi di doppia curvatura, raggi variabili, etc.). Una strategia di applicazione locale distribuirebbe agenti con tracciamento di "comportamento di ricerca" locale lungo la superficie. Questi agenti fornirebbero soluzioni immediate basate su decisioni locali, mentre parallelamente, comunicano costantemente con i loro agenti situati nelle vicinanze. Questo insieme di informazioni può essere tradotto e materializzato in una serie di percorsi o strisce.²⁰³



70. Marc Fornes, nonLin/Lin Pavilion, 2011

Queste vengono srotolate sul piano, tagliate a controllo numerico e ripiegate in fase di montaggio: in questo modo si riduce sensibilmente il numero di pannelli, ottenendo un'ottima approssimazione della superficie. Tutto il processo è generato attraverso protocolli computazionali:

I parametri di questi protocolli si basano su ricerca della forma (rilassamento della superficie), descrizione della forma (composizione di elementi lineari sviluppabili), modellazione dell'informazione (riassemblamento dei dati), gerarchia generativa (reti distribuite) e fabbricazioni digitali (logistica della produzione).²⁰⁴

Fabbricazione digitale

Come abbiamo visto, la complessità geometrica dell'architettura contemporanea ha portato ad introdurre ed adattare tecnologie già utilizzate nel campo dell'automazione o dell'aeronautica. L'uso di macchine a controllo numerico (CNC) e di altri sistemi di produzione digitale hanno giocato un ruolo fondamentale sia nella manipolazione algoritmica del progetto che nell'applicazione e fabbricazione di geometrie complesse. In particolare l'introduzione di macchine che fabbricano direttamente parti del progetto implica diversi aspetti da considerare:

- Pensare il progetto in funzione della possibile razionalizzazione e costruzione digitale. Questa fase spesso implica ripensare e ridefinire, ad esempio, la configurazione e l'approssimazione di una superficie.
- La preparazione dei *file* da "stampare". Un processo di decomposizione del progetto che non si era mai verificato fino ad oggi. La definizione massima del progetto è sempre stata il dettaglio che, nelle differenti scale dal 1:20 fino alla 1:2, permetteva di dissezionare ed entrare nella specifica composizione costruttiva. Sebbene questa fase operativa continui ad essere ancora fondamentale, ci sono casi, o parti del progetto, che possono essere fresate e direttamente montate. In generale possiamo affermare che non siano più necessarie nel caso di proiezioni ortogonali come piante, alzati e sezioni, essendo ormai degli elaborati limitati più alla rappresentazione illustrativa del progetto che a quella costruttiva.
- Si accorcia la distanza tra architetto e costruttore. La costruzione infatti non determina ora alcuna interpretazione, in quanto il *file* viene preparato in scala reale e pensato per essere direttamente fabbricato. Questo avviene principalmente per progetti di dimensioni ridotte, come nel caso di mobiliario o padiglioni: nel caso di progetti caratterizzati da scale considerevoli, il progetto continua a passare

per intermediari specializzati nella fabbricazione. Quindi non sono scomparsi gli intermediari nel processo di fabbricazione, ma è considerevolmente aumentato il controllo sul progetto. Come abbiamo visto nel caso delle pannellature, esistono imprese specializzate nella razionalizzazione della definizione geometrica del rivestimento, in funzione a parametri estetici e di costo. Quindi, attraverso processi di simulazione, è possibile prevedere ed anticipare la resa del progetto.

Risulta indispensabile dedicare qualche parola alla descrizione delle tecniche di fabbricazione digitali utilizzate in architettura, proprio perché, come abbiamo affermato all'inizio del capitolo, ognuna delle seguenti tipologie è in stretta relazione con il processo fisico del progetto.

Possiamo distinguere due processi di fabbricazione digitale, ossia tre grandi famiglie che si differenziano per la maniera in cui manipolano la materia costruttiva.

1. Processo sottrattivo, nel quale, attraverso il controllo del computer, la macchina taglia o incide pannelli bidimensionali. Tale processo riguarda principalmente le macchine a taglio, ad acqua e *laser*: nel caso delle fresatrici, classificate a seconda del numero di assi che posseggono, l'operazione non si limita al semplice taglio ma può operare anche tridimensionalmente, fresando pannelli di legno, metallo o di materiali plastici.

Queste sono le tecnologie al momento più diffuse in architettura, poiché sono in grado di produrre elementi complessi in maniera semplice ed economica anche se con un certo spreco di materiale.

2. Il processo additivo consiste invece, come la stessa parola suggerisce, nel costruire accumulando materiale e prevede l'uso di diversi dispositivi a seconda della dimensione dell'elemento accumulato.

Solitamente il processo additivo riguarda le *3d printing*. Le macchine FDM (*fused deposition modeling*) depositano un filamento plastico fuso seguendo un pattern di distribuzione che sovrappone livelli di materiale dal basso verso l'alto. Le SLS (*selective laser sintering*) operano attraverso raggi laser che selettivamente fondono polveri di plastica, vetro, ceramica o metallo nelle tre dimensioni per produrre prototipi di scala limitata.

Sebbene queste siano macchine orientate alla fabbricazione di oggetti di piccola scala, l'ingegnere italiano E. Dino ha adattato la tecnologia del *3d printing* alla grande scala, costruendo la *D-shape*, una stampante a scala gi-

gante che sovrappone livelli di sabbia e strati di una soluzione incollante a base di magnesio: il dispositivo può essere montato in sito e stampare strutture direttamente da *file* tridimensionali. Il processo si potrebbe interpretare come una riduzione della forma a sezioni orizzontali accumulate verticalmente. Le possibilità costruttive di questo sistema permettono di costruire in situazioni ambientali estreme, con pochissime risorse energetiche ed utilizzando la stessa sabbia del luogo: è una tecnologia che potrebbe essere applicata, secondo la visionaria idea di Dini, anche per costruire sulla luna utilizzando la stessa polvere lunare.

Trasversalmente a questi sistemi di fabbricazione anche i Robot industriali hanno riscosso grande interesse in campo architettonico. Questi dispositivi, a differenza dei precedenti, non sono specializzati in un solo compito ma possono essere programmati e personalizzati per sviluppare i sistemi costruttivi più insperati; inoltre, per la loro natura a braccio meccanico, sono in grado di muoversi e raggiungere qualsiasi punto dello spazio in un determinato dominio spaziale. Si prestano pertanto non solo a svolgere tutti i compiti già svolti dalle macchine di taglio CNC, ma anche ad eseguire in modo straordinario particolari processi di montaggio.

Il laboratorio di ricerca Dfab, diretto e fondato da Gramazio e Kohler all'ETH, nell'Istituto Federale Svizzero di Tecnologia a Zurigo, ha dato frutto a numerosi esperimenti che hanno impiegato i robot industriali nella costruzione di prototipi utilizzando la manipolazione di mattoni.

La *Programmed Wall* (ETH Zurich, 2006) mostra come gli studenti, durante un *workshop*, possano insegnare alla macchina a costruire una superficie attraverso l'assemblaggio di mattoni convenzionali.



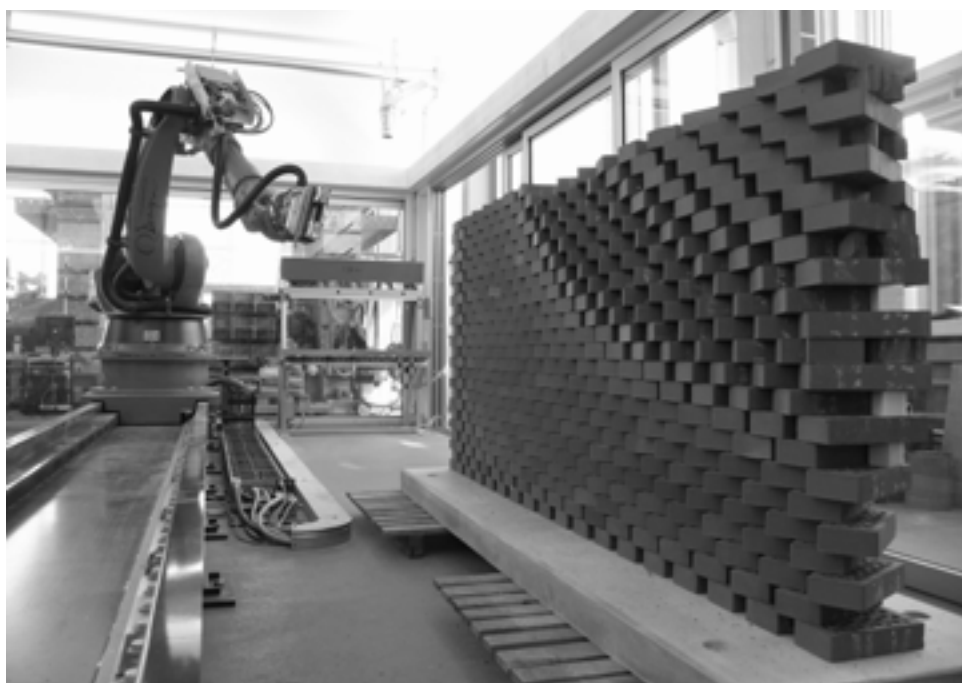
71. Andrea Morgante, Enrico Dini, *Radiolaria gazebo*, Londra 2004

il gazebo è stato costruito utilizzando la stampante tridimensionale D-Shape ad un costo di incredibilmente economico di 200 euro.

Gli studenti definivano non la geometria della parete, ma la logica costruttiva con la quale il materiale veniva organizzato secondo un preciso ordine temporale, e con il quale si produceva una forma architettonica.²⁰⁵

La stessa ricerca è stata applicata, nel 2006, alla scala architettonica, con la progettazione della facciata della cantina Gantenbein a Fläsch, Svizzera. Il progetto di Bearth&Deplazes era già in costruzione quando Gramazio e Kohler vennero chiamati a partecipare alla concezione della facciata dell'edificio, costituito da un blocco con tetto a doppia falda assolutamente convenzionale e privo d'interesse, fatta eccezione appunto per la facciata. All'interno della struttura in cemento armato prendono forma i mattoni, che si dispongono secondo un'articolazione che, giocando con la rotazione dell'elemento, si apre e chiude al paesaggio. Un sistema progressivo di gradienti produce delle aree vibranti che articolano luce ed aria.

Gramazio e Kohler lavorarono per diversi anni sui diversi modi di “pervertire” il mattone, come nel caso del *Pike Loop* (Manhattan, New York, 2009), o i blocchi di legno, come nel caso di *Stratifications* (Londra, 2011), dove un robot si circondava stratificando il materiale al suo intorno.



72. Gramazio-Kohler, Programmed wall, ETH, Zurich, 2006

il braccio robotico è programmato per assemblare i mattoni secondo un preciso pattern geometrico.

Ultimamente, con la ricerca del Flight Assembled Architecture (FRAC, Centre Orléans, 2011-2012), sono arrivati perfino ad ipotizzare la costruzione di un grattacielo eseguita da ‘quadricotteri’, robot volanti capaci di collocare “mattoni” liberamente nello spazio, superando quindi il vincolo spaziale che possiedono i robot industrializzati.

Flight Assembled Architecture consiste di oltre 1.500 moduli che sono collocati da una moltitudine di elicotteri quadricottero che collaborano secondo algoritmi matematici che traducono dati progettuali digitali nel comportamento delle macchine volanti. In questo modo, i veicoli volanti, tutte insieme, si trasformano in macchine architettoniche “viventi” e completano la composizione a partire dalla loro formazione dinamica di movimento e performance costruttiva.²⁰⁶

Questi progetti rappresentano una sfida che concentra l’attenzione più sulla tecnica costruttiva che nel materiale usato.



73. Gramazio-Kohler, Flight assembled architecture, FRAC, Centre Orléans, 2011-2012
costruzione per blocchi eseguita da quadricotteri programmati.

Il mattone ha stimolato la composizione di pattern estremamente interessanti sin dai tempi dei Romani; l'architettura araba integra, attraverso la complessa disposizione di mattoni secondo direzioni diverse, pattern ornamentali nel suo sistema compositivo. Se si prende in considerazione il Mausoleo selgiuchide del secolo XI di Qarraqa in Iran, si può osservare, con la stessa complessità ma con strumenti diversi ed in un'altra epoca, la stessa articolazione di mattoni disposti nello spazio seguendo coordinate precise. Tutti questi esempi sono stati riportati per evidenziare la grande complessità che l'uso del mattone ha rivestito nella storia: il profondo cambiamento che l'architettura ha vissuto, fa sì che oggi non ci siano più le maestranze per arrivare a tale complessità.

La fabbricazione digitale ridà la possibilità di tornare a sperimentare quella complessità, sostituendo quelle maestranze che, seguendo l'estetica digitale, sono andate perdute: in altre parole la macchina, sostituendosi alle maestranze, riproduce la dinamica del montaggio. Attraverso il semplice allontanamento graduale dei mattoni è possibile produrre gradienti che introducono progressivamente aria e luce: ecco come ciò che sembrava un espediente tecnico in realtà può trasformarsi in uno strumento di progetto capace di permeare la costruzione con altri livelli di progetto, quali tecnica, struttura, contesto (luce, aria, visuali), estetica.

T. Bonwetsch, ricercatore senior all'ETH di Zurigo, spiega come la programmazione di un braccio robotizzato multi-asse segua due distinti momenti: un *software* che comanda i movimenti e la manipolazione fisica del materiale. Per eseguire i diversi compiti si dovrà inoltre dotare l'estremità del braccio robotizzato di strumenti capaci di afferrare, incollare, arrotolare e di svolgere tutte quelle operazioni legate alla manipolazione costruttiva.

[...] la definizione è l'ingegnerizzazione di uno specifico processo robotico di assemblaggio può improntare il disegno e diventare parte del processo di progettazione. In questo modo i robot industriali evidenziano la costruzione come parte integrante del progetto architettonico.²⁰⁷

Siamo quindi di fronte ad un capovolgimento concettuale che ci obbliga a considerare il processo di costruzione, rispetto alle altre tecnologie CNC, già in fase di progetto: in questo modo si evita di dover pensare a posteriori al processo costruttivo con il rischio di dover modificare il progetto.

Dal momento che dobbiamo insegnare al Robot il procedimento di costruzione, siamo costretti a decifrare tutte le fasi di assemblaggio e a tradurle alla macchina, mantenendo un controllo assoluto sulla costruzione. Il vantaggio è quello di poter esplicitare il metodo costruttivo stesso e di poter

entrare attivamente e creativamente in un processo che solitamente era legato a delle competenze estranee all'architetto. D'altra parte, però, si deve rinunciare al contributo di altri professionisti e alla 'calda' imperfezione di un lavoro manuale: potremmo applicare anche a questo caso le parole di W. Benjamin sulla perdita di *hic et nunc*. Infatti, dopo quasi un secolo dal saggio *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*, anche l'architettura può essere frutto di un processo di riproduzione tecnica.

5.2 CONCLUSIONE. TECNICA, PROCESSO E VARIAZIONE

Nell'epoca della rivoluzione industriale si impose la necessità di soddisfare i desideri di lusso attraverso l'imitazione dell'artigianato: la meccanizzazione dei processi di fabbricazione assorbì di conseguenza anche la decorazione. Il processo di riproduzione, nel quale ogni elemento prodotto è assolutamente uguale alla matrice, determinò la perdita di ciò che rendeva ogni pezzo irriproducibile, unico e diverso da un altro, proprio perché frutto del lavoro manuale. La produzione di massa determinò un abbassamento incredibile dei costi, permettendo l'incremento della produzione. Si trattava quindi di una grande opportunità per diffondere alti standard qualitativi di vita: *"la macchina era un livellatore sociale"*.²⁰⁸

Il tema della riproducibilità tecnica e della sua conseguente riproduzione indifferenziata ed omogenea è un concetto che è rimasto attuale nei duecento anni di produzione industrializzata.

Soltanto a partire dagli ultimi dieci anni questo sistema di produzione sta subendo una grande trasformazione attraverso la fabbricazione digitale e l'ingresso del computer nel sistema di produzione. Da una parte si riduce la distanza tra il progettista e l'oggetto prodotto, dall'altra il computer, entrando nel processo di gestione di alcuni parametri di progetto flessibili, permette di generare soluzioni formali diverse tra loro. Ecco quindi che la produzione in serie trova il modo di sfuggire a quella omologazione che aveva scatenato le reazioni degli artisti Pop: si aprono nuovissime ed interessanti possibilità per portare l'arte alla produzione in grande scala, come aveva provato a fare la Bauhaus o Alvar Aalto, ma in questo caso, grazie ai computer, ogni oggetto ha una sua identità assolutamente originale ed unica, come il suo utente.

Si è quindi passati da una produzione standard, uguale per tutti ed uniforme, ad una cultura della customizzazione, della differenziazione. Siamo tutti diversi e vogliamo distinguerci. La "fabbricazione digitale" ci permette di produrre oggetti completamente diversi all'interno di un processo che

si svincola dallo stampo: la diversificazione e la novità non riguardano tuttavia solo la sfera del *design* o dell'architettura. Il consumo si arricchisce di varietà. Negli ultimi 40 anni l'offerta commerciale ci propone molteplici alternative per lo stesso prodotto: come afferma Moussavi, Starbucks ci offre 70.000 modi diversi di prendere un caffè, Denim jeans ci offre una varietà sorprendente di modelli, tessuti, lavaggi e colori, così come la Fiat 500 può essere customizzata in 500.000 modi diversi. *“Non più esclusivamente una forza uniformante, il capitalismo ora contribuisce alla produzione di cose diverse e di novità”*.²⁰⁹

Fino a pochi anni fa eravamo abituati ad utilizzare il termine produzione senza l'ulteriore caratterizzazione *standard*, poiché si dava per scontato che ogni produzione implicasse la moltiplicazione dello stesso oggetto, finalizzata alla creazione di oggetti tutti identici.

Un caso interessante della produzione customizzata è la *non-standard*. Essa permette la variazione del prodotto per ottenere risultati tutti diversi, sebbene sempre connessi al modello di partenza. L'oggetto è il risultato di un pattern più che di un progetto definito: la struttura rimane bene definita, pur essendoci all'interno aspetti soggetti a variazione.

Il risultato è analogo a ciò che Bach fece nel 1740 circa, quando dedusse da una semplice Aria musicale le trenta variazioni Goldberg per clavicembalo. Una variazione musicale è infatti la modificazione di una frase musicale ottenuta cambiando i suoi parametri formali, come il tempo, il tono, la direzione, etc. Possiamo quindi interpretare le trenta variazioni come riproduzioni *non-standard* della stessa Aria.

Rimanendo sempre in ambito musicale, in Fontana Mix di John Cage, la variazione è dovuta alla sovrapposizione casuale di diversi livelli grafici.

[...] innalzare la notazione grafica al livello dell'arte visiva, ma al di là del livello di intelligibilità musicale, dal momento che tali partiture spesso forniscono all'interprete poca o nessuna informazione circa il modo in cui i segni devono essere interpretati [...].²¹⁰

Si hanno 10 fogli di carta con 6 diverse linee curve e 12 trasparenti: 10 con una distribuzione di punti aleatoria, una griglia trasparente, una trasparente con linee rette. Prima si sovrappone il foglio con le linee curve, dopo i punti, la griglia e alla fine le linee rette. La sovrapposizione di questi elementi grafici genera un sistema nel quale la musica cambia in funzione della configurazione dettata dal musicista, ossia di questi fogli. Se ne ricava come a differenti sovrapposizioni derivino diverse esecuzioni. In quest'ultimo caso il pattern è il risultato dell'arbitrio ma, in ogni caso, è frutto di una struttura chiara decisa dall'autore.

L'arte è spesso pervasa dal conseguimento di un'idea, dalla realizzazione di un'immagine: l'artista tuttavia si approssima all'opera tenendo in mente un pattern esatto, nel quale gli elementi entrano in relazione tra loro, generando un sistema di opzioni. *Las Meninas* di Picasso, ad esempio, non sono univocamente determinate ma sottoposte ad innumerevoli variazioni.

Lo sviluppo creativo di un'opera d'arte è solitamente supportato dalla volontà di sperimentare tutte le potenzialità e possibilità dell'idea generativa, essendo quest'ultima qualcosa che potrebbe essere concepita in termini platonici. In questo senso si potrebbe intendere l'elaborazione di un'opera d'arte, ossia come un processo di approssimazione della sua idea, essendo quest'ultima fondamento ontologico e gnoseologico della realtà.

NOTE

¹ Moussavi [2009], p. 44 (traduzione mia).

² Gombrich [2006], p.18 (traduzione mia).

³ Cfr. Gombrich [2006], p. 20.

⁴ Vit. De Arch., VII, 5.

⁵ Cfr. Frampton [1993], p. 12.

⁶ Cfr. Gombrich [2006], p. 26.

⁷ La bellezza positiva è quella legata alla standardizzazione e alla perfezione, mentre la seconda è connessa con un carattere più espressivo.

⁸ Cfr. Frampton [1993], p. 12.

⁹ Cfr. Frampton [1993], p. 16.

¹⁰ Cfr. Gombrich[2006], p.43. Come in Gombrich, anche nel presente lavoro i termini espressione e comunicazione verranno considerati in modo equivalente.

¹¹ La relazione tra natura e architettura è tuttora un tema attuale. È cambiato il modo in cui si guarda la natura: l'interpretazione della natura, anche grazie all'evoluzione scientifica, non tende superficialmente all'imitazione delle forme ma cerca di studiarle e di applicarne le relative dinamiche.

¹² Hatton [1902]; Gombrich [2006], p. 59 (traduzione mia).

¹³ Sullivan [1995]; Frampton [1993], p. 51(traduzione mia).

¹⁴ Cfr. Frampton [1993], p. 94.

¹⁵ Cfr. Gombrich[2006], pp. 61-62.

¹⁶ Celebre frase di Louis Sullivan, secondo la quale la forma di ogni edificio deve seguire la funzione che esso svolge.

¹⁷ Cfr. Reiser [2006], p.132.

¹⁸ Cfr. Eaton [1998], pp. 23-38.

¹⁹ Per approfondimenti si rimanda al capitolo 5 della presente sezione.

²⁰ Cfr. Frampton [1993], p. 311.

²¹ Cfr. Frampton [1993], pp. 294-295.

²² Frampton, [1993], pp. 310-311 (traduzione mia). Le riflessioni dell'autore sono assolutamente contemporanee, considerando che la situazione attuale nel mondo della costruzione non è cambiata e spesso riduce il compito dell'architetto alla sola definizione della carcassa esterna. Quindi la separazione tra interno ed esterno non è solo un rifiuto al modernismo ma anche una risposta ad un problema pratico della professione che tutt'oggi esiste.

²³ Cfr. Zaera Polo [2009], p. 18 (traduzione mia).

²⁴ Idem

²⁵ Bloomer [2006], p. 49 (traduzione mia).

²⁶ Cfr. Pell [2006], p. 116.

²⁷ Nonostante questa precisazione nel corso della tesi i due termini si utilizzeranno indifferentemente.

²⁸ J. Rosa, P. Patton, V. Postrel, V. Steele, R. Keffer, Yale University Press, 2004.

²⁹ Architectural Design, John Wiley & Sons (26 Jan 2007).

³⁰ Pubblicato da Artists Space (15 July 2004).

³¹ In *Detail*, 10/2008, Façades, (pp. 1056 - 1066).

³² In *Harvard Design Magazine*, Spring/Summer 2008, n. 28.

³³ Cfr. Levit [2008], pp. 74-75.

³⁴ Si veda Moussavi - Kubo [2006], p.5.

³⁵ Rappaport [2006], pp. 95-97.

³⁶ Cfr. Reiser, [2006], pp. 132-137.

³⁷ Reiser [2006], p. 132 (traduzione mia).

³⁸ Reiser [2006], p. 133 (traduzione mia).

³⁹ Reiser [2006], p. 136 (traduzione mia).

⁴⁰ Schumacher [2008], p. 2 (traduzione mia).

⁴¹ *Idem.*

⁴² Balmond [2002], p. 243 (traduzione mia).

⁴³ Hermant [1959], p. 86 (traduzione mia).

⁴⁴ Cfr. Nervi [1966], p.13.

⁴⁵ Cfr. Nervi [1966], p.17.

⁴⁶ Boada [2002], p. 89 (traduzione mia).

- ⁴⁷ Boada [2002], p.88 (traduzione mia).
- ⁴⁸ Giralt-Miracle [2002], p. 92 (traduzione mia).
- ⁴⁹ Moussavi [2009], p. 18 (traduzione mia).
- ⁵⁰ Versioni più ardite della griglia strutturale avvennero nel 1967 ad opera di Goldsmith, Myron partner di SOM's, che aveva già sviluppato, nella sua tesi di master del 1953, sotto la supervisione di Mies, strutture a gradiente e a rombo nei grattacieli.
- ⁵¹ Si veda www.engin.umich.edu/class/bme456/boneadapt/boneadapt.htm
- ⁵² Balmond [2002], p. 8 (traduzione mia).
- ⁵³ Tra le riforme politiche e sociali mosse da Roosevelt per far fronte alla grande crisi del 1929 si ricorda la Housing Act che agevolava la compra delle abitazioni.
- ⁵⁴ Frampton [1993], p. 245 (traduzione mia).
- ⁵⁵ Dall'unione di barre e nodi sferici si generano delle strutture tridimensionali che, a differenza di quelle convenzionali, distribuiscono gli sforzi nelle tre direzioni spaziali, facendo lavorare le barre a trazione e a compressione, ma mai a flessione.
- ⁵⁶ Cfr. Chilton [2000], p. 2.
- ⁵⁷ Il nome deriva dalla combinazione della parola ottaedro e tetraedro: questa geometria, composta appunto da tetraedri ed ottaedri, deriva dalle linee che connettono i centri delle sfere impaccettate tra loro.
- ⁵⁸ Informazione rilasciata in un'intervista fatta da Hans Meyer a Los Angeles nel 1970 e pubblicata su *Domebook 2*, ed. Pacific Domes, Bolinas, 1971, pp. 90-91.
- ⁵⁹ Informazione rilasciata in un'intervista telefonica a Buckminster Fuller con Dorothy Harley Eber, 29 Giugno 1978. Contenuta nel prologo di Eber [1982] ed in www.grunch.net/synergetics/docs/bellnote.html (traduzione mia).
- ⁶⁰ Cfr. LIFE Magazine, 8 Giugno 1953, p. 67.
- ⁶¹ Solido archimedeo costituito da 32 facce, 12 pentagonali e 20 esagonali.
- ⁶² Un'animazione contenuta nel documentario di Evan Mather, *A Necessary Ruin: The Story of Buckminster Fuller and the Union Tank Car Dome*, 2009 (min. 10), rende chiarissima la generazione del modulo.
- ⁶³ Carbonara [1980], volume V, tomo II, p. 1126.
- ⁶⁴ Reiser - Umemoto [2006], p. 133 (traduzione mia).
- ⁶⁵ Per approfondimenti sulla tematica si veda Reiser - Umemoto [2006], pp. 132-135.
- ⁶⁶ Wachsmann [1960], pp.160-162.
- ⁶⁷ Cfr. Osayimwese [2009].
- ⁶⁸ Sulla data dell'incarico ci sono pareri discordanti sulle fonti. Si riporta comunque la data del 1959 presente in Chilton [2000], p.3.

⁶⁹ Cook [1982], p. 55 (traduzione mia).

⁷⁰ Questo concetto di architettura senza inizio e senza fine, di sistema continuo e troncato, lì dove occorre, è un concetto contemporaneo che introduce l'idea di composizione aperta in contrapposizione alla composizione 'chiusa' classica. Anticipa molte architetture di Foreign Office Architects (come la *Bundle Tower* o l'*International Port Terminal* di Yokohama) o di Reiser e Umemoto (come la torre *O - 14* di Dubai).

⁷¹ Juarez [2000], p. 70 (traduzione mia).

⁷² Zaera Polo [2009], p. 18 (traduzione mia).

⁷³ Amico e collega di L. Khan presso l'Università della Pennsylvania, dove insegnava dei corsi sperimentali di struttura.

⁷⁴ Le Ricolais [1973], pp. 17-19 (traduzione mia).

⁷⁵ La topologia è una branca della matematica che studia le proprietà delle forme e delle figure, che non cambiano quando viene applicata una deformazione in assenza di tagli, sovrapposizioni o incollature. Quindi, ad esempio, una sfera ed un cubo sono topologicamente equivalenti perché si può arrivare all'uno dall'altro attraverso delle deformazioni. Al contrario da una sfera non si potrà arrivare ad un toro senza praticare un foro: le due figure non sono quindi equivalenti topologicamente. Per la topologia quindi elementi quali forma e grandezza delle configurazioni non sono significativi.

⁷⁶ Cfr. Mc Cleary [1997], pp. 22-23.

⁷⁷ Era costituito da tubi disposti longitudinalmente su due circonferenze concentriche e da un reticolo secondario di tetraedri e piramidi a base quadrata che li irrigidivano.

⁷⁸ P. Mc Cleary, [1997], p. 87 (traduzione mia).

⁷⁹ Su Nervi si vedano in generale: Nervi [1966], Olmo - Chiorino [2010].

⁸⁰ Olmo - Chiorino [2010], p. 53.

⁸¹ Olmo - Chiorino [2010], p.130.

⁸² Per approfondimenti riguardanti la vicenda della sede dell'Unesco si rimanda a Bergdoll [2010], pp. 87-105.

⁸³ Bergdoll [2010], p. 91.

⁸⁴ Cfr. Moussavi [2009].

⁸⁵ Nicoletti [1999], p.23.

⁸⁶ Nel caso del *Terminal di Yokohama* di Foreign Office Architects (le cui strutture vennero studiate dallo studio di ingegneria Structural Design Group), il concetto di struttura piegata si è trasformato nel sistema generativo del progetto, sostituendo ogni elemento convenzionale strutturale (quali pilastri o travi) e trasformandolo in un'architettura fluida che incarna i flussi di comunicazione. La struttura è formata da una griglia strutturale alla quale è saldata inferiormente la lamiera piegata, ottenendo quindi un elemento unico bidimensionale che si pieghetta come un origami, e generando delle arcate poggianti su dei sostegni *girder* longitudinali.

⁸⁷ Nicoletti [1999], p.5.

⁸⁸ Cfr. Capomolla [2005 –2006], pp. 12-19.

⁸⁹ Cfr. Nicoletti [1999], pp. 5-29.

⁹⁰ Otto – Rasch [1995], p. 45 (traduzione mia).

⁹¹ Cfr. Otto – Rasch [1995], p. 158.

⁹² Il termine “frattale” fu coniato infatti nel 1975 da Mandelbrot.

⁹³ Otto – Rasch [1995], p. 74 (traduzione mia).

⁹⁴ Otto – Rasch [1995], p. 124 (traduzione mia).

⁹⁵ Molte di queste idee e progetti vennero raccolti in *Tension-loaded Structure*, vol. 1, pubblicato nel 1962 da S. Lohs, D. Frank, E. Bubner, in collaborazione con il matematico e strutturista R. Trestel.

⁹⁶ Balmond [2006], pp. 131-132 (traduzione mia).

⁹⁷ Balmond [2002], p. 113 (traduzione mia).

⁹⁸ Schumacher [2008], p. 2 (traduzione mia).

⁹⁹ Balmond [2002], p. 16 (traduzione mia).

¹⁰⁰ Balmond [2002], p. 7 (traduzione mia).

¹⁰¹ Balmond [2002], p. 114 (traduzione mia).

¹⁰² Il “locale”, inteso come azione iniziale e specifica, diffonde la propria influenza; per “giustapposizione” si intende l’influenza che due azioni adiacenti generano provocando nuove entità; l’ “ibrido” inteso come sovrapposizione di azioni di diversa natura.

¹⁰³ Balmond [2006], p. 136 (traduzione mia).

¹⁰⁴ Balmond [2006], p. 24 (traduzione mia).

¹⁰⁵ AA.VV. [2005], p. 6 (traduzione mia).

¹⁰⁶ Complesso tridimensionale che descrive la struttura di una schiuma ideale composta da bolle di uguale dimensione.

¹⁰⁷ Cfr. Pol [2008], pp. 165-197.

¹⁰⁸ Pol [2008], p. 193 (traduzione mia).

¹⁰⁹ Garcia [2009], p. 68 (traduzione mia).

¹¹⁰ Cfr. Garcia [2009], p.73.

¹¹¹ Cfr. Banham [2001], p.10.

¹¹² L’idea di considerare il Ponte Vecchio una megastruttura non era poi così assurda. Magari non seguiva tutti i punti della definizione di R. Wilcoxon, ma ibridava circolazione, tecnologia, commercio e residenza

in un elemento 'estensibile'; possedeva inoltre una caratteristica che la megastruttura difficilmente riuscirebbe a conseguire, ossia la scala umana.

¹¹³ Maki [1964], p. 3 (traduzione mia).

¹¹⁴ Banham [2001], p. 186 (traduzione mia).

¹¹⁵ Maki [1964], p. 8 (traduzione mia).

¹¹⁶ Maki [1964], pp. 11-12 (traduzione mia).

¹¹⁷ Maki [1964], p. 18 (traduzione mia).

¹¹⁸ Maki [1964], p. 21 (traduzione mia).

¹¹⁹ Al Tem X parteciparono anche altri architetti, tra cui Herman Hertzberger, Giancarlo De Carlo, Guillermo Jullian de la Fuente, Reima Pietilä, Christopher Alexander, Fumihiko Maki, Jean Prouvé, Kenzo Tange, James Stirling, Ignazio Gardella e Gino Valle.

¹²⁰ Cfr. Frampton [1993], p. 280.

¹²¹ Van Heuvel [1992], p.12 (traduzione mia).

¹²² Sharp [2002], p. 240 (traduzione mia).

¹²³ Van Heuvel [1992], p. 16 (traduzione mia).

¹²⁴ Hertzberger [2009], p. 26 (traduzione mia).

¹²⁵ *Idem*

¹²⁶ Cfr. Van Heuvel [1992], p.14.

¹²⁷ Cfr. van Eyck [1962], pp. 79-122; Van Heuvel [1992], p. 14.

¹²⁸ Cfr. Frampton [1993], p. 284.

¹²⁹ Cfr. Lewallen - Seid [2004], p. 1.

¹³⁰ Cfr. Banham [2001], pp. 84-99.

¹³¹ Cfr. Sadler [2005], pp. 54-77.

¹³² Prestinzenza Puglisi [1999], p. 115.

¹³³ Branzi [1999], p.59.

¹³⁴ Cfr. De Simone [2008].

¹³⁵ Cfr. Alexander [1977], pp. ix-xl.

¹³⁶ Alexander [1977], p. xli (traduzione mia).

¹³⁷ Alexander [1977], p. xliv (traduzione mia).

¹³⁸ Alexander [1979], p. 157 (traduzione mia).

¹³⁹ Cfr. Pesci [1977], p. 5.

¹⁴⁰ Cfr Alexander [1971].

¹⁴¹ È questa una posizione assolutamente contemporanea che anticipa i rischi riguardanti l'utilizzo di software parametrici spesso non supportato da un'approfondita conoscenza teorica. Spesso l'ansia di apprendimento dello strumento non è infatti affiancata da un proporzionale studio concettuale.

¹⁴² Cfr. Gleiniger – Vrachliotis [2009], p. 10.

¹⁴³ Cfr. Scheurer [2009], p. 55.

¹⁴⁴ Cfr. Habraken [2000], pp. 6-7.

¹⁴⁵ Habraken [2000], p. 7 (traduzione mia).

¹⁴⁶ Habraken [2000], p. 8 (traduzione mia).

¹⁴⁷ Ciò è vero solo se parliamo dell'ambiente costruito generico. Un progetto di architettura che include tutti gli aspetti, compresi gli arredi, sarà invece il risultato di una muta interazione di tutti i livelli, dove persino un armadio può influenzare il suo livello superiore.

¹⁴⁸ Cfr. Habraken [2000], p. 27.

¹⁴⁹ Cfr. Habraken [2000], p.50.

¹⁵⁰ Cfr. Habraken [2000], p.61.

¹⁵¹ Habraken [2000], p. 326 (traduzione mia).

¹⁵² Habraken [2000], p. 114 (traduzione mia).

¹⁵³ Cfr. Habraken [2000], p. 128.

¹⁵⁴ Cfr. Habraken [2000], pp. 226-227.

¹⁵⁵ Habraken [2000], p. 230 (traduzione mia).

¹⁵⁶ Habraken [2000], p. 236 (traduzione mia).

¹⁵⁷ Habraken [2000], p. 238 (traduzione mia).

¹⁵⁸ *Idem.*

¹⁵⁹ Habraken [2000], p. 249 (traduzione mia).

¹⁶⁰ Cfr. Habraken [2000], p. 248.

¹⁶¹ Per maggiori approfondimenti sulla relazione tra sistema e pattern si rimanda alla sezione terza.

¹⁶² Habraken [2000], p. 253 (traduzione mia).

¹⁶³ Habraken [2000], p. 278 (traduzione mia).

¹⁶⁴ Habraken [2000], p. 279 (traduzione mia).

¹⁶⁵ Habraken [2000], p. 327 (traduzione mia).

¹⁶⁶ *Idem*.

¹⁶⁷ Focillon [1990], p. 52.

¹⁶⁸ Focillon [1990], p. 53.

¹⁶⁹ *Idem*

¹⁷⁰ Focillon [1990], p. 59.

¹⁷¹ Cfr. Schumacher [2012], p. 3.

¹⁷² Focillon [1990], p. 8.

¹⁷³ Cfr. ZaeraPolo [2009].

¹⁷⁴ Siveda la conferenza di A. ZaeraPolo, "Envelopes", tenuta il 19 Novembre 2009 presso la Southern California Institute of Architecture (SCI-Arc), Los Angeles (<http://sma.sciarc.edu/video/alejandra-zaera-polo-envelopes/>).

¹⁷⁵ Cfr. ZaeraPolo [2008], pp. 76-79.

¹⁷⁶ Morcillo [2011], p. 68 (traduzione mia).

¹⁷⁷ Fisac [2007], p. 44 (traduzione mia).

¹⁷⁸ Si veda <http://www.dezeen.com/2010/09/13/ravensbourne-college-by-foreign-office-architects/>

¹⁷⁹ La relazione di progetto può essere consultata presso <http://www.nietosobejano.com/>

¹⁸⁰ *Idem*.

¹⁸¹ Cfr. Frampton [1993], pp. 202-203.

¹⁸² F. Márquez Cecilia-Levene [2006], p. 210 (traduzione mia).

¹⁸³ Le variazioni di grigio vengono trasformate unicamente in colore nero, presente in cerchi di raggio variabile.

¹⁸⁴ Cfr. Moussavi - Kubo [2006], p. 126.

¹⁸⁵ <http://www.herzogdemeuron.com/index/projects/complete-works/201-225/213-messe-basel-new-hall.html>(traduzione mia).

¹⁸⁶ Schumacher [2009], pp. 33-36 (traduzione mia).

¹⁸⁷ <http://www.unstudio.com/projects/dance-palace> (traduzione mia).

- ¹⁸⁸ Schumacher – Schaeffer – Vogt [2010], p. 135. (traduzione mia).
- ¹⁸⁹ Si vedawww.jeannouvel.com
- ¹⁹⁰ Il sistema pneumatico permetteva di avvicinare o allontanare le due membrane dei cuscini del rivestimento esteriore. Una presenta un pattern positivo e l'altra uno negativo in modo tale che all'avvicinarsi tra loro trasformano la facciata in un rivestimento opaco mentre allontanandosi permettono l'aumento della trasparenza.
- ¹⁹¹ <http://www.tessellatesurface.com/>(traduzione mia)
- ¹⁹² D. K. Sung, *Metal that breathes*, in Ted Talks (www.ted.com/talks/doris_kim_sung_metal_that_breathes.html min: 3,44).
- ¹⁹³ Questo problema potrebbe risolversi usando uno specifico sistema di ventilazione, evitando in tal modo che si generi un effetto serra tra le due superfici di vetro.
- ¹⁹⁴ Reiser - Umemoto [2006], p. 46 (traduzione mia).
- ¹⁹⁵ Hensel - Menges [2008], pp. 81-82 (traduzione mia).
- ¹⁹⁶ Hensel - Menges [2008], p. 84 (traduzione mia).
- ¹⁹⁷ Sakamoto - Ferre - Kubo [2008], p. 14 (traduzione mia).
- ¹⁹⁸ Rcr Architectes [2007], p. 184 (traduzione mia).
- ¹⁹⁹ Cfr. Pottmann [2010], pp. 72-77.
- ²⁰⁰ Eigensatz - Deuss - Schiftner - Kilian - Mitra - Pottmann - Pauly [2010], p. 58 (traduzione mia).
- ²⁰¹ Cfr. Pottmann [2010], p. 74.
- ²⁰² <http://www.dezeen.com/2008/03/13/chanel-contemporary-art-container-by-zaha-hadid/>(traduzione mia).
- ²⁰³ M. Fornes, in <http://theverymany.com/constructs/10-frac-centre/>(traduzione mia).
- ²⁰⁴ *Idem.*
- ²⁰⁵ Gramazio - Kohler in: <http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/e/lehre/81.html>(traduzione mia).
- ²⁰⁶ Gramazio - Kohler in: <http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/e/forschung/209.html>(traduzione mia).
- ²⁰⁷ Bonwetsch [2013], p. 219 (traduzione mia).
- ²⁰⁸ Gombrich [2006], p. 33 (traduzione mia).
- ²⁰⁹ Moussavi [2009], p. 13 (traduzione mia).
- ²¹⁰ Griffiths [1980], p. 237 (traduzione mia).

SEZIONE TERZA

Osservazioni Epistemologiche.
Pattern e Metodologia

1. ERMENEUTICA DEL PATTERN

Nel corso della tesi ha preso forma, definendosi con chiarezza sempre maggiore, una percezione olistica dell'architettura che familiarizza con un'interpretazione scientifica e sistemica della vita. Si è dimostrato come il modello meccanicista sia fallimentare, avendo concentrato la propria attenzione sullo studio separato di discipline, senza considerare le relazioni tra le cose ed ignorando come trasformazioni avvenute in un ambito possano determinare inevitabili ripercussioni in un altro. Infatti, poiché i problemi che riguardano una sfera hanno spesso conseguenze su di un'altra, non è possibile studiare separatamente gli aspetti che concorrono alla formazione del mondo.

In questa visione olistica della realtà prende forma anche l'architettura, sia nel suo rapporto con il mondo che la circonda, sia nella sua struttura interna.

Essendo l'architettura costituita da relazioni di interconnessione ed interdipendenza, anche i problemi che la riguardano possono essere considerati sistemici e non possono quindi essere compresi separatamente.

A questo punto occorre collocare la genealogia del pattern in relazione al progetto architettonico. Se nella sezione precedente abbiamo usato il pattern come strumento a posteriori per un'interpretazione analitica e nuova dell'architettura esistente, proveremo ora a studiare il pattern come dispositivo progettuale.

Come abbiamo visto, il pattern intensifica ed astrae più qualità che non tutti i progetti possiedono. Nella sezione precedente abbiamo dovuto separare l'architettura nei suoi livelli costitutivi, identificando in tal modo la dimensione estetica, quella tecnica, sociale, organizzativa e del contesto, per analizzare separatamente le diverse potenzialità del pattern in ciascun ambito. In alcuni casi è risultato complicato individuare la frontiera che separa un livello dall'altro, proprio perché il pattern integra e fa interagire tutti i livelli costitutivi, facendoli apparire indissolubili: la frontiera può essere intesa più come luogo di scambio che come confine. Se l'analisi, che è necessaria per l'interpretazione dei fenomeni, riduce in parti la realtà, è poi necessario ricomporre queste parti, affinché il progetto assuma senso.

In questa sezione proveremo quindi a capire come avviene la relazione tra

i diversi livelli, qual è la sua natura, come il piano astratto si unisca con quello pratico, sollevando anche numerose questioni sul ruolo che il pattern dovrebbe occupare nell'architettura contemporanea.

Nel presente lavoro le linee concettuali riguardanti il ruolo del pattern e la sua applicazione in ambito progettuale si basano su una teoria di fondo articolata su due distinti livelli teorici:

- 1) ripresa della nozione di cronotopo formulata da Michael Bakhtin, filosofo semiologo e critico letterario russo.
- 2) teoria dei sistemi, enucleata da diversi autori e presentata in maniera sintetica ed efficace da Frijof Capra.

Nella seconda parte della sezione si analizzerà il modo con cui i pattern costituiscono l'elemento chiave di una metodologia progettuale di tipo sistemico, in linea con i riferimenti teorici ed ermeneutici descritti nella prima parte.

1.1 OSSERVAZIONI INTRODUTTIVE

Nel presente lavoro si è cercato di difendere l'idea secondo la quale l'architettura è un sistema vivente complesso che si sviluppa nello spazio e nel tempo. L'architettura non può essere separata dalla vita dell'uomo: l'abitare è condizione indispensabile dell'architettura e a sua volta la vita dell'architettura si basa sull'interazione reciproca tra opera ed umanità.¹ Considerare l'architettura come un sistema, ci permette inoltre di scomporre il progetto nei suoi diversi livelli costitutivi: tuttavia per capire l'architettura occorre anche comprendere le relazioni che s'istaurano tra questi diversi livelli, dal momento che, essendo l'architettura un sistema, essi dovranno interagire ed integrarsi all'interno del progetto.

Si vogliono ora indicare gli elementi fondamentali dell'operazione ermeneutica a cui si è già fatto riferimento.

Come detto in precedenza, uno dei due fuochi ermeneutici è costituito dal cronotopo Bakhtiniano. Durante la fase di progetto, l'autore ripercorre i tre assi del cronotopo, immedesimandosi nei soggetti che fruiranno l'architettura e pensando alla relazione tra contesto fisico, culturale ed architettonico. Durante il progetto si passa costantemente da un asse all'altro, dall'oggetto al soggetto: l'autore si immedesima teatralmente nel soggetto, prevedendo come sarà e come si costruirà l'oggetto. Tutto questo costituisce quella che possiamo definire parte virtuale del progetto. Lo

spazio richiede interazione e dall'interazione si genera conoscenza.

L'immedesimazione nei diversi soggetti che recitano nell'architettura, ossia la sperimentazione di quello che si vede da un luogo e quello che si vede da un altro (e quindi di come interagiscono i diversi soggetti), determina, durante il concepimento del progetto, la generazione di più punti di vista retroattivi. Quando non c'è relazione tra i tre assi Bakhtiniani non si può raggiungere un progetto di qualità.

Ma è possibile inserire il cronotopo creativo in un quadro teorico sistemico?

Questo è esattamente il compito del secondo fuoco teorico, basato sulla teoria dei sistemi che verrà brevemente introdotta nei seguenti paragrafi.

Il cronotopo, infatti, è composto da parti in relazione tra loro con l'obiettivo di conseguire un fine comune. Un'architettura che considera solo l'aspetto sociale o quello estetico o contestuale è un'architettura parziale: il progetto deve pertanto investigare le forme d'interazione tra gli assi cronotopici e può farlo solamente con un approccio sistemico. Occorre quindi considerare e mettere in relazione gli assi cronotopici contemporaneamente, perché ogni asse isolato non genera un'architettura completa, ma solo formalismi.

Nel paragrafo seguente la distinzione tra i tre assi sarà spiegata approfonditamente: per ora è importante capire quali siano i rischi di un approccio parziale e unilaterale nell'architettura. Considerare nel progetto solo uno dei tre assi, sottovalutando gli altri, può infatti provocare dei "formalismi": l'asse della rappresentazione genera formalismi estetici o tecnici, quello della costruzione formalismi ecologici o culturali, quello dell'interazione sociale formalismi sociali.

Quando la tecnica si trasforma in teoria, non si ha una relazione tra i tre assi. Ad esempio, se si prende in considerazione un sistema prefabbricato utilizzato per mettere in relazione il piano virtuale con quello reale, dando per risolta l'architettura e dando per scontato che questa ripetizione produca sempre risultati interessanti, stiamo dimenticando il piano culturale, riducendo il progetto ad una pura questione tecnologica.

Bakhtin non è contrario alla tecnica, ma è contrario a trasformarla in teoria. Il problema avviene quando l'utilizzo di una tecnologia si trasforma in una teoria estetica che giustifica qualsiasi risultato finale.

Quindi il formalismo è evitato mettendo in relazione queste tre dialogie, ossia determinando un processo non statico ma che si evolve cronotopicamente. La relazione tra gli assi permette quindi di aumentare e potenziare la qualità

dell'architettura senza dimenticare tutti gli aspetti che la compongono. Il cronotopo creativo diviene allora un approccio sistemico che permette di mettere in relazione tra di loro i diversi livelli dell'architettura.

Essendo un sistema di sistemi, il cronotopo può essere inoltre considerato un metasistema: poiché ogni asse è un sistema, la relazione tra tutti gli assi genera un sovrasisistema con la finalità di generare architettura. La totalità è maggiore della somma tra le parti, dal momento che vi si aggiunge la loro relazione.

Se da una parte uno studio settoriale può aiutare a definire i diversi livelli architettonici, occorre anche individuare i processi che mettono in relazione questi livelli in maniera reale.

Ma allora, come si integrano i diversi livelli del progetto che emergono nei tre assi dialogici?

Occorrono nuovi strumenti e questi strumenti sono i pattern. Così come afferma il Capra nella sintesi della teoria dei sistemi, "*il pattern disegna una configurazione di relazioni tra le cose*"² è quindi quel dispositivo visualizzabile graficamente e allo stesso tempo astratto che mette a fuoco l'aspetto qualitativo della materialità e della sua organizzazione. Il pattern è, in altre parole, la forma che acquisiscono le relazioni: esso rimane ad un livello astratto e grafico, collegando il mondo teorico con quello pratico.

In architettura possiamo ricercare pattern organizzativi a diversi livelli e far interagire tra loro i pattern di ogni livello. Nell'interazione essi si trasformano producendo nuovi pattern, frutto dello scambio d'informazione tra i precedenti fino ad approssimarsi al risultato finale che è l'architettura.

In altri casi si può fondare tutto il progetto su uno stesso pattern che si va costruendo per fasi, adattandosi, attraverso l'interazione con i diversi livelli, fino a raggiungere uno stato d'equilibrio.³

Per entrare in un'interpretazione sistemica dell'architettura bisogna definire anche le altre due categorie della sintesi di Capra: struttura e processo.

La **struttura** è la parte materiale che include la natura e l'uomo. Essa rappresenta la materializzazione del pattern: mentre quest'ultimo è astratto, la struttura incarna la sfera reale e fisica del sistema, che nell'architettura è costituita dalla materializzazione della dimensione dei pattern. Ogni pattern si manifesta quindi attraverso elementi costruiti specifici (quali rivestimento esterno, struttura, distribuzione funzionale, etc.) e deve essere legato agli altri permettendo una sincronia organica tra le parti.

Ciò che fa da ponte tra il pattern e la struttura è l'interpretazione che si fa del pattern, ossia il processo attraverso il quale un elemento potenziale ed astratto si converte in realtà materiale. Il processo è il momento dell'azione progettuale che l'architetto assume con autonomia intellettuale, il momento in cui l'architetto può servirsi del pattern.

L'architettura però non è solo un atto progettuale spaziale atemporale, ma, essendo un sistema vivo, possiede anche un tempo.

Qual è allora la relazione tra il tempo e l'atto architettonico?

È una relazione che viviamo nei tre momenti dell'architettura: l'esperienza, il momento della costruzione e l'uso che se ne fa posteriormente.

Ai fini di una più precisa contestualizzazione della dimensione temporale in architettura, parte integrante del modello cronotopico Bakhtiniano, verrà proposta un'analisi della teoria di P. Ricoeur concernente la natura del tempo.

Secondo Ricoeur la dimensione temporale si muove tra un tempo misto (tempo reale e psichico) ed uno spazio misto (geometrico e vissuto) ed ha una triplice articolazione. Inizialmente si ha una fase proto-progettuale, sintesi dell'esperienza dell'uomo come abitante e dell'architetto come professionista dotato di un bagaglio culturale architettonico. Segue il momento del progetto e costruzione dell'architettura nel quale il "tempo costruito"⁴ diventa spazio. È il momento della sintesi spaziale, della coerenza e della solidità progettuale: in questa fase avviene anche la contestualizzazione dell'architettura nella trama esistente, una trama che fa storia definendo i rapporti fra tradizione e innovazione. Infine si ha il momento dell'abitare, nel quale ci si accorge della grande distanza che occorre tra le regole del progetto e quelle del suo uso reale.

1.2 IL CRONOTOPO CREATIVO: UN DIALOGO FRA BAKHTIN E MUNTAÑOLA

Nel capitolo 'Matematica e Architettura' (sezione I) si è anticipata una visione sistemica dell'architettura che costituisce il filo conduttore di tutta la tesi: l'architettura è stata definita come un sistema complesso nel quale tutti i fattori-chiave sono il risultato dell'interazione tra livelli endogeni ed esogeni.⁵

Il cronotopo creativo ci permette di analizzare come questi livelli si

distribuiscono nello spazio e nel tempo, dandoci la chiave per mettere in relazione i diversi attori che entrano in gioco nell'architettura.

Spazio e tempo definiscono la realtà che ci circonda con quattro dimensioni, ossia le tre dimensioni dello spazio (x, y, z) ed il tempo. Questo concetto, così com'era stato introdotto dalla teoria della relatività di Einstein, venne usato metaforicamente da Bakhtin per esprimere l'inseparabilità del tempo dallo spazio. A tal fine egli coniò il termine "cronotopo" (tempo spazio), una categoria costitutiva della letteratura.⁶

Sebbene concepito in ambito letterario, il cronotopo creativo⁷ permette di analizzare la struttura di qualsiasi oggetto culturale mettendo in relazione l'autore con l'oggetto, l'oggetto col contesto, gli utenti con l'oggetto e gli utenti tra loro. Ciò vuol dire che il mezzo fisico e sociale sono interconnessi attraverso il progetto.

Come abbiamo già detto, c'è una linea divisoria precisa e categorica fra il mondo reale come fonte della rappresentazione e il mondo rappresentato nel lavoro. Non dobbiamo mai dimenticarlo, non dobbiamo mai confondere - com'è stato fatto fino ad ora e ancora, spesso, si fa - il mondo rappresentato col mondo al di fuori del testo (realismo ingenuo); né dobbiamo confondere l'autore-creatore di un'opera con l'autore in quanto essere umano (biografismo ingenuo); né confondere l'ascoltatore o il lettore di periodi molteplici e diversi fra loro, che ricrea e rinnova il testo, con l'ascoltatore passivo o il lettore del proprio tempo (il che conduce a dogmatismi nell'interpretazione e nella valutazione). Tutte queste confusioni sono metodologicamente inaccettabili. Ma è anche inaccettabile assumere questa linea divisoria categorica come qualcosa di assoluto e di impermeabile (il che conduce a uno 'spaccare il capello' troppo semplicistico e dogmatico). Per quanto caparbiamente il reale e la rappresentazione oppongano resistenza a una loro fusione, per quanto immutabile sia la presenza di quella linea divisoria fra di loro, cionondimeno essi sono indissolubilmente legati l'uno all'altro e si trovano in una reciproca interazione continua; lo scambio ininterrotto fra di loro va avanti, in maniera simile allo scambio ininterrotto di materia fra l'organismo vivente e l'ambiente che li circonda. Fino a che l'organismo vive, esso si oppone ad una fusione con l'ambiente, ma se è strappato dal suo ambiente, esso muore. L'opera e il mondo rappresentato in essa penetrano il mondo reale e lo arricchiscono, e il mondo reale penetra l'opera e il suo mondo come parte del processo di creazione, nonché come parte della sua vita successiva, in un continuo rinnovarsi del lavoro attraverso la percezione creativa di ascoltatori e lettori. Naturalmente questo processo di scambio è, esso stesso, cronotopico: esso ha luogo prima di tutto e fondamentalmente nel mondo sociale che si sviluppa storicamente, ma senza mai perdere contatto con lo spazio storico che cambia. Si potrebbe persino parlare di uno speciale cronotopo creativo dentro il quale questo scambio fra vita e opera ha luogo, e che costituisce il tratto distintivo dell'opera.⁸

Definendo quindi le relazioni tra spazio e tempo che coinvolgono sia l'oggetto fisico che i soggetti (il testo ed il lettore), il cronotopo costituisce una struttura spazio-tempo-socio-fisica.

Bakhtin fa riferimento all'asse dialogico della rappresentazione, che mette

in relazione l'autore con il progetto attraverso la corrispondenza che esiste tra il mondo reale e quello rappresentato: nella distanza che s'istaura tra il progetto e la realtà si manifestano le intenzioni dell'autore. Lo stesso accade nel dipinto *Impression, soleil levant* (1872), in cui Monet mostrava un'altra realtà, un paesaggio che differisce dal mondo reale: è proprio in tale differenza che si rivela l'apporto artistico dell'autore.

Cerchiamo ora di entrare ancora di più nella logica del cronotopo, esaminando quali seguiti "creativi", e quindi pratici, è possibile dedurre nell'architettura.

Se il riferimento al cronotopo di Bakhtin può apparire difficilmente trascrivibile al mondo dell'architettura, la sua interpretazione viene favorita dal Muntañola, il quale, attraverso la costruzione di un diagramma, mostra il progetto architettonico come cronotopo creativo. Gli assi dialogici che definiscono l'architettura sono tre: un asse della rappresentazione, uno della costruzione ed infine un asse dell'interazione sociale. Il metodo di Muntañola, che si basa sul considerare l'interazione tra i tre assi cronotopici, permette un'interpretazione del cronotopo finalizzata alla costruzione di un metodo di analisi progettuale e architettonica.

a. Un asse verticale che genera una doppia relazione tra l'architetto (reale) ed il progetto (virtuale) e tra il progetto (virtuale) e l'edificio (reale).

Nella prima relazione si stabiliscono tutti i meccanismi creativi atti a definire il progetto in quanto rappresentazione del pensiero, essendo quest'ultimo il risultato di teoria ed esperienza, ovverosia di una cultura che si estende nello spazio cronotopico. In questa relazione si sviluppano gli elementi endogeni del progetto di architettura: estetica, tecnica, programma funzionale.

Nella relazione tra progetto e realtà si definisce la responsabilità etica del progetto: l'architetto è responsabile delle scelte e dei valori che si difendono col progetto, scelte che hanno una ricaduta non solo nell'immediato ma anche nelle generazioni future. Una volta che l'architettura è costruita non c'è più spazio per l'interazione tra architetto e usuario.

La seconda relazione definisce il momento in cui il progetto deve essere trasferito nella realtà, e si attua attraverso la tecnica. Una volta trasformata in realtà, questa relazione continua nella differenza esistente tra progetto virtuale ed edificio: si manifesta quindi una realtà che è frutto di una virtualità. Si può inoltre osservare come la relazione tra il progetto e l'edificio sia attiva fino alla fase di costruzione, ossia fino a quando è possibile modificare il progetto in corso d'opera; una volta terminato il progetto, la relazione diventa solo culturale e non pro-attiva al progetto.

b. Il secondo asse determina le relazioni tra l'architettura ed il contesto fisico, sociale e culturale.

Qui trovano luogo i livelli esogeni: quest'asse è importante per definire gli elementi del luogo, fondamentali alla definizione del progetto.

Il contesto è costituito da aspetti fisici ed ambientali che mettono in relazione l'architettura con l'esistente, sia esso un complesso urbano o un ambito totalmente naturale. Le vie di comunicazione, gli edifici esistenti, l'orientamento del sole, la presenza di condizioni naturali come fiumi e vegetazione, sono elementi con i quali il progetto può instaurare diversi tipi d'interazione. Parte di queste scelte deriveranno da criteri di dialogo con l'esistente e di efficienza energetica.

Ma il contesto è anche quell'insieme di aspetti che caratterizzano un luogo, una cultura, una società. Conseguentemente il progetto instaurerà una relazione più o meno profonda o più o meno consapevole con la cultura del posto.

È possibile affermare come quest'asse sia fondamentale per la definizione degli elementi che dall'esterno incidono nella definizione del progetto.

c. Il terzo asse considera le interazioni tra gli utenti, ricordando che l'architettura è un sistema vivo, abitato, dove vivono ed interagiscono persone. All'interno del processo progettuale l'architetto incrocia, in maniera teatrale, punti di vista diversi mettendosi nei panni di utenti diversi.

Questi tre assi definiscono relazioni che, a loro volta, sono in relazione tra esse. L'architetto deve prevedere in fase di progetto queste relazioni: pur essendo il cronotopo uno strumento di comprensione, possiamo considerarlo soprattutto un sistema in grado di analizzare le relazioni logico-concettuali dei diversi livelli dell'architettura.

Il cronotopo è quindi uno strumento di analisi, di interpretazione e di decostruzione logica di qualunque oggetto artistico. All'interno del quadro teorico esaminato, la sua funzione va associata sia ad un'interpretazione dell'architettura sia alla costituzione del progetto architettonico in chiave sistemica.

1.3 ARCHITETTURA COME SISTEMA E METASISTEMA⁹

L'architettura può essere inclusa all'interno dei sistemi vivi almeno per due ragioni: non solo è un sistema che ammette la presenza della vita ma va anche considerata come parte stessa della natura.¹⁰

Come afferma Capra, il motivo principale del fallimento del pensiero sistemico, così come specificato dal biologo Karl Ludwig von Bertalanffy (uno dei fondatori della teoria generale dei sistemi), fu dovuto principalmente alla mancanza di strumenti tecnologici (quali computer avanzati) e matematici: *“la ragione principale di questo fallimento stava nella mancanza di tecniche matematiche con cui affrontare la complessità dei sistemi viventi”*.¹¹ L’obiettivo di Bertalanffy, che consisteva nello sviluppare una disciplina logico-matematica applicabile alle diverse scienze, non fu quindi mai raggiunto.

Sebbene l’approccio sistemico sviluppatosi nella prima metà del ‘900 non ricevette una formalizzazione matematica adeguata, esso generò un modo di pensare concettuale che ha prodotto, negli ultimi anni, importanti sviluppi scientifici. Secondo Capra due grandi impulsi migliorarono enormemente, verso la fine degli anni ‘70 del secolo scorso, la comprensione dei sistemi vivi: la nuova matematica della complessità e la nascita di un nuovo concetto, il pattern.

Per Capra il pattern organizzativo è *“una configurazione di relazioni caratteristiche di un determinato sistema [...] da un punto di vista sistemico, la comprensione della vita comincia con la comprensione di un pattern”*.¹²

Esiste, secondo Capra, un pattern organizzativo comune a tutti i sistemi viventi, un pattern reticolare. *“Ogni qualvolta osserviamo la vita, osserviamo delle reti”*.¹³ Ad esempio, il cervello è costituito da una rete di connessioni che uniscono i neuroni in una struttura composta da reti, all’interno di reti più grandi.

Le proprietà delle reti sono due: la non-linearità e la retroazione. La prima proprietà, poiché la rete si estende in tutte le direzioni, implica relazioni tra parti non lineari. La retroazione è un concetto più complesso e ha a che vedere con la capacità delle reti di regolare se stesse. Il concetto di retroazione, o feedback, venne introdotto nella cibernetica da N. Wiener.

Un feedback loop, o anello di retroazione, è una disposizione circolare di elementi connessi casualmente, in cui una causa iniziale si propaga lungo le connessioni dell’anello, così che ogni elemento agisce sul successivo, finché l’ultimo propaga di nuovo l’effetto al primo elemento del ciclo. La conseguenza di questa disposizione è che la prima connessione (input) subisce l’effetto dell’ultima (output), il che dà come risultato l’autoregolazione dell’intero sistema, dato che l’effetto iniziale viene modificato ogni volta che esso compie l’intero ciclo.¹⁴

La retroazione è una caratteristica che permette al sistema di autoregolarsi ed auto-organizzarsi, dal momento che può imparare a regolarsi dai propri errori.

Il concetto di auto-organizzazione comparve per la prima volta nel campo della cibernetica, quando nel 1943 gli scienziati W. McCulloch e W. Pitts studiarono la logica delle reti neurali. In questo studio gli autori semplificarono l'attività del cervello ad una rete i cui nodi sono costituiti dai neuroni e la cui attività è ridotta ad una commutazione binaria "acceso", "spento" (tipo lampadina). Vennero inoltre stabilite regole di commutazione per vicinanza, in modo tale che un nodo potesse essere acceso solamente se anche i nodi adiacenti erano stati accesi un istante prima. Ebbene gli scienziati osservarono che, anche se lo stato iniziale veniva scelto ad arbitrio, con il tempo emergevano spontaneamente pattern ordinati: "[...] era questa manifestazione spontanea di ordine che prese il nome di auto-organizzazione".¹⁵

Anche H. von Foerster studiò i sistemi auto-organizzati: in particolare egli diede un importante contributo qualitativo allo studio dell'auto-organizzazione attraverso la misura dell'ordine prodotto dall'organizzazione stessa. Egli utilizzò il concetto matematico di "ridondanza" avanzato da C. Shannon, "che misura l'ordine relativo del sistema in rapporto al sottofondo di massimo disordine".¹⁶ Un sistema auto-organizzato non importa l'ordine dall'esterno "ma assorbe materia ricca di energia, la integra nella propria struttura, ed in questo modo accresce il proprio ordine interno".¹⁷

Negli anni '70 ed '80 del secolo scorso il concetto di auto-organizzazione venne perfezionato dagli studi di Prigogine, Maturana e Varela. Ciò che cambiò sostanzialmente è che gli ultimi modelli possedevano creatività ed evoluzione, poiché prevedevano la creazione di nuove strutture all'interno del processo di sviluppo. Inoltre, affinché si manifestasse l'auto-organizzazione e quindi la comparsa di nuove strutture e forme di comportamento, si chiarì la necessità che il sistema fosse aperto, ovvero attraversato da un flusso costante di materia ed energia. Un'altra caratteristica comune a questi modelli è la connessione non lineare tra gli elementi che costituiscono il sistema, cosa che fisicamente si manifesta negli anelli di retroazione e matematicamente per mezzo di equazioni non lineari.

Per riassumere queste tre caratteristiche dei sistemi che si auto-organizzano, possiamo dire che l'auto-organizzazione è la comparsa spontanea di nuove strutture e di nuove forme di comportamento in sistemi aperti lontani dall'equilibrio, caratterizzati da anelli di retroazione interni e descritti matematicamente da equazioni non lineari.¹⁸

Breve storia del pensiero sistemico

Il paradigma che oggi sta perdendo valore ha dominato la nostra cultura per molte centinaia di anni, durante i quali ha foggato la società occidentale moderna e ha esercitato un'influenza significativa sul resto del mondo. Questo paradigma consiste di una quantità di idee e valori radicati, fra cui la visione dell'universo come sistema meccanico composto da mattoni elementari, la visione del corpo umano come macchina, la visione della vita sociale

come lotta di competizione per l'esistenza, la fiducia in un progresso materiale illimitato da raggiungere attraverso la crescita economica e tecnologica, e ultima ma non meno importante, la credenza secondo cui una società nella quale la donna è ovunque sottomessa all'uomo segue una legge fondamentale della natura. Fatalmente, tutti questi assunti sono stati messi in discussione da eventi recenti. E, di fatto, c'è ormai la necessità di una loro revisione radicale.¹⁹

La distinzione tra la sostanza (materia, struttura, quantità) e la forma (schema, ordine, qualità) equivale alla distinzione tra un approccio meccanicistico ed uno olistico. Il primo approccio di tipo sistemico viene fatto risalire ad Aristotele, nel cui sistema logico formale, che dominò il pensiero occidentale per circa duemila anni, materia e forma facevano parte dello stesso processo.

Nel caso di tutte le cose che hanno diverse parti e nelle quali la totalità non è, per così dire, un mero agglomerato, ma è qualcosa che si aggiunge alle parti.²⁰

La visione di un universo organico venne poi sostituita da una concezione del mondo come macchina: la rivoluzione scientifica dovuta a Copernico, Galileo, Cartesio, Bacone e Newton fece sì che gli studi convergessero solo verso fenomeni misurabili e quantificabili. Si sviluppò inoltre un metodo analitico teso alla divisione dei fenomeni complessi in parti e alla comprensione del tutto attraverso le proprietà delle parti.

Poeti e filosofi romantici rivendicarono in seguito la tradizione aristotelica: in particolare Goethe usò per la prima volta il termine "morfologia", inteso come studio della forma biologica in senso dinamico ed evolutivo. Goethe considerava la forma come uno schema di relazioni all'interno di un tutto organizzato.

I più grandi contributi allo sviluppo di un pensiero sistemico si devono tuttavia alla biologia organismica, alla fisica quantistica e alla psicologia della forma.

Al biologo L. Henderson si deve l'uso, per la prima volta, del termine sistema, utilizzato per indicare sistemi sociali ed in generale organismi viventi. Lo studio degli esseri viventi non può essere analitico, ma deve essere sistemico: lo studio delle parti separate rivela una visione parziale e fuorviante, mentre le proprietà delle parti possono essere comprese solo studiando l'organizzazione del tutto.

Da allora in poi, "sistema" ha assunto il significato di un tutto integrato le cui proprietà essenziali derivano dalle relazioni tra le sue parti, e 'pensiero sistemico' definisce la comprensione di un fenomeno nel contesto di un insieme più ampio.²¹

La fisica quantistica non ha fatto altro che corroborare quest'approccio. Lo studio delle particelle non rivela infatti lo studio di cose separate, ma di interconnessioni: ad esempio le particelle subatomiche non sono dei mattoni isolati ma costituiscono una trama complessa di relazioni. Nella meccanica quantistica il tutto determina il comportamento delle parti: si rovescia in tal modo il paradigma della meccanica classica, dove il tutto era determinato dal comportamento delle parti.

La cosa interessante è che i logici stanno cominciando a comprendere come l'enigmatico entanglement quantistico possa essere applicato ad un'analisi formale di alcuni fenomeni semantici caratteristici, dove gli aspetti olistici e contestuali hanno un ruolo rilevante. Com'è ben noto, le teorie semantiche tradizionali, basate sulla logica classica, sono essenzialmente anti-olistiche e analitiche. Un principio base di queste teorie è il principio di composizionalità, secondo cui il significato di un'espressione composta è determinato dai significati delle sue parti. Inoltre, si suppone che i significati siano sempre precisi e non ambigui. Di conseguenza la semantica classica risulta difficilmente applicabile a un'analisi formale adeguata o dei linguaggi naturali o dei linguaggi dell'arte, di cui la contestualità e l'ambiguità sembrano costituire proprietà fondamentali. Basti pensare a quanto sia difficile avere a che fare con significati contestuali nell'ambito di traduzioni fatte col computer! Il formalismo quantistico, invece, dà origine a stati di conoscenza "intrecciati", in cui la nostra conoscenza del tutto determina l'informazione sulle parti. E in generale, la procedura non può essere invertita: in altre parole, è impossibile ricostruire l'informazione globale come una mera combinazione di pezzi parziali di informazione circa i componenti. Una volta disarticolati nei suoi pezzi, il puzzle non può essere rimontato!²²

Anche la "psicologia della forma" arriva ad un approccio olistico: la percezione delle cose non avviene come percezione di elementi isolati ma come relazioni tra elementi. Si riconoscono i pattern che generano gli elementi come strutture integrate.

Che natura dello "stare assieme" e delle segregazione io veda non dipende dal mio estro. Io non posso ottenere assolutamente nessun altro pattern di coerenza che preferisco a mio piacimento.²³

L'ecologia, coniata dal celebre biologo E. Haeckel che la definì "*la scienza delle relazioni fra l'organismo e il mondo esterno circostante*",²⁴ introdusse due concetti fondamentali per il pensiero sistemico: comunità e rete. Il primo pone l'accento sulla comunità di organismi e non sull'organismo singolo: inoltre in ecologia "*le comunità ecologiche sono state considerate insieme di organismi legati tra loro in una struttura a rete[...]*".²⁵ La stessa realtà vivente può essere considerata ad ogni livello come costituita da reti e da nodi, una struttura che riappare costantemente in maniera quasi frattale. Un ecosistema è quindi una rete i cui nodi sono gli organismi, gli organismi a sua volta sono reti i cui nodi sono gli organi ed ogni organo ingrandito appare come una rete i cui nodi sono le cellule. "*In altre parole la trama della vita è fatta di reti all'interno di reti*".²⁶

La sintesi

Come abbiamo visto più volte, il pattern emerge nello studio scientifico e matematico come schema formale di organizzazione.

La nuova matematica della complessità è essenzialmente una matematica di schemi visuali – attrattori strani, ritratto delle fasi, frattali eccetera – che vengono analizzati all'interno della cornice di riferimento della topologia, di cui Poincaré è stato precursore.²⁷

Ma la comprensione del pattern, dice Capra, non è sufficiente alla conoscenza completa di un sistema vivente, in quanto occorre conoscerne anche la struttura: per capire la vita occorrono entrambe le cose, la materia e la relazione tra le parti.

Così come è stato anticipato nelle osservazioni introduttive di questa sezione, egli distingue lo studio della sostanza (struttura) dallo studio della forma (pattern), spiegando che la chiave per una teoria completa dei sistemi viventi sta nella sintesi tra questi due concetti.

Nello studio della struttura misuriamo e pesiamo le cose. I pattern, però, non possono essere misurati o pesati; bisogna darne **una rappresentazione grafica**. Per comprendere un pattern, dobbiamo **disegnare una configurazione di relazioni**. In altre parole, la struttura coinvolge la quantità mentre lo schema la qualità.²⁸

Ciò vuol dire che ci sono due modi per capire la natura.

Un modo si basa nella domanda: di cosa è fatto? In questo caso si studiano le parti costitutive, gli elementi, la struttura, che permettono di capire la sostanza, la materia e la quantità.

L'altro approccio invece si basa nella domanda: qual è il pattern? E per rispondere a questa domanda si devono studiare le relazioni, la forma, l'ordine, la qualità, l'organizzazione.

Il concetto di organizzazione e di struttura può essere definito tramite un riferimento a ciò che dicono Maturana e Varela.²⁹

Lo schema di organizzazione di qualsiasi sistema, vivente o non vivente, è la configurazione delle relazioni fra i componenti del sistema che ne determina le caratteristiche essenziali. In altre parole, per poter riconoscere qualcosa come una sedia piuttosto che come una bicicletta o un albero è necessario che siano presenti determinate relazioni. Per pattern di organizzazione intendiamo quella configurazione di relazioni che conferisce a un sistema le sue caratteristiche essenziali.

La struttura di un sistema è la materializzazione fisica del suo pattern di organizzazione. Mentre la descrizione dello schema di organizzazione implica una rappresentazione astratta

di relazioni, la descrizione della struttura implica la rappresentazione dei reali componenti fisici del sistema: la loro forma, la loro composizione chimica eccetera.³⁰

Non bisogna dimenticare cosa appartiene alla categoria della materia. Tutto ciò che esiste al mondo, inclusi gli esseri viventi, è costituito principalmente da quattro elementi (idrogeno, carbone, ossigeno e nitrogeno): la differenza sta nel fatto che, negli esseri viventi, questi elementi assumono forme molecolari molto più complesse.³¹ Quindi per materia si intende tutto ciò che possiede una fisicità, comprendendo in tal modo gli essere animati come gli oggetti inanimati.

Mentre in un sistema inanimato le parti sono progettate e costruite per formare una struttura di componenti fissi, in un sistema vivente i componenti cambiano continuamente, poiché le cellule vengono sostituite ciclicamente: c'è crescita, evoluzione, c'è un processo.

Capra concepisce una sintesi tra i due approcci, ossia quello meccanicistico e quello sistemico. Per sintetizzare materia e pattern occorre introdurre un terzo concetto, il "processo". Occorre capire il processo della vita:³² *"il processo della vita è l'attività necessaria alla continua materializzazione del pattern di organizzazione del sistema"*.³³

Capra aiuta a comprendere questa visione considerando l'esempio di una bicicletta. Affinché la bicicletta sia tale, occorre che ci siano delle relazioni tra i suoi componenti (ad esempio telaio, pedali, ruote, manubrio): la configurazione di queste relazioni è il pattern. La struttura della bicicletta è la materializzazione del pattern con i suoi determinati materiali e componenti specifici; lo stesso pattern "bicicletta" può manifestarsi attraverso strutture differenti.

Nel caso della bicicletta, il pattern di organizzazione è rappresentato dai disegni di progetto che vengono utilizzati per la costruzione, la struttura è l'oggetto materiale costituito da una specifica bicicletta, e il legame fra schema³⁴ e struttura è nella mente del progettista.³⁵

Ciò nonostante, Capra concentra la sua sintesi teorica negli esseri viventi, dove il pattern organizzativo si materializza in un processo continuo. In questo modo si hanno tre prospettive della vita, tre "dimensioni concettuali": *structure dimension, pattern dimension, process dimension*. Pertanto, in questa sintesi, solo una parte è materialistica e coincide con la dimensione strutturale,³⁶ intesa e definita da Prigogine come struttura dissipativa; la dimensione del pattern coincide con l'autopoiesi di Maturana e Varela, mentre la dimensione del processo corrisponde alla cognizione definita da Bateson e, in senso più ampio, al processo della vita di Maturana e Varela.

Quindi, ricapitolando, il pattern di organizzazione è “la configurazione delle relazioni che determina le caratteristiche essenziali del sistema”; la struttura è “la materializzazione fisica del pattern di organizzazione del sistema”; il processo è “l’attività necessaria alla materializzazione continua dello schema di organizzazione del sistema”.

Verso un’interpretazione del progetto basata sulla nozione di pattern e sistema

È possibile adottare quest’approccio in architettura?

Capra distingue i sistemi vivi da quelli non vivi, sostanzialmente in base al fatto che nei sistemi viventi il pattern organizzativo è autopoietico.

Un sistema vivente, così come mostrato da Bateson,³⁷ può essere espresso dall’interrelazione di parametri: la modifica di uno dei parametri ha conseguenze sull’intero sistema. La visione di Bateson suggerisce quindi che ogni architettura dovrebbe essere vista come un sistema vivo e complesso, nel quale tutti i parametri che lo definiscono sono interrelati.

Per essere più precisi, l’architettura è un’entità artificiale che interagisce con gli esseri viventi. Se si considera l’architettura come indissolubilmente legata all’uomo, bisogna prima capire come si comportano i sistemi sociali umani. Questi ultimi hanno significato sia nell’ambito fisico che simbolico, dal momento che le relazioni sociali dipendono non solo da una componente biologica ma anche da ruoli legati a convenzioni e regole sociali. Mentre le leggi fisiche sono indiscutibili, gli esseri umani possono scegliere se rispettare le regole sociali o meno.

Data l’esistenza simultanea dei sistemi sociali in due sfere, quella fisica e quella sociale, ha un qualche senso applicare loro il concetto di autopoiesi? È qualora lo avesse, in quale delle due sfere dovrebbe essere applicato?³⁸

N. Luhmann sostiene che, restringendo i sistemi sociali alla sfera sociale, è possibile definire una rete sociale autopoietica: occorre tuttavia identificare i processi sociali con i processi di comunicazione:

I sistemi sociali utilizzano la comunicazione come proprio peculiare metodo di riproduzione autopoietica. I loro elementi sono comunicazioni che vengono prodotte e riprodotte da una rete di comunicazioni e che non possono esistere al di fuori di tale rete. Le comunicazioni non sono unità “vive”, non sono unità “coscienti”, sono “azioni”.³⁹

La comunicazione è un’operazione genuinamente sociale - e solo genuinamente sociale. È genuinamente sociale nella misura in cui presuppone il coinvolgimento di una moltitudine di

sistemi psichici ma, o meglio proprio a causa di ciò, non può essere attribuito come un'unità a un singolo sistema psichico.⁴⁰

Tutti i processi che avvengono nel sistema familiare, ad esempio, sono simbolici ed avvengono attraverso atti di comunicazione e reti di conversazioni: in questo modo i risultati di una conversazione danno origine a nuove conversazioni, generando anelli retroattivi di auto-amplificazione.

Il contesto nel quale si sviluppano i sistemi sociali è l'architettura, ossia un sistema che interagisce con quello sociale e che, in un'ampia dimensione temporale, possa essere considerato anch'esso autopoietico. Invece, in un dominio temporale immediato, l'architettura può trasformarsi in una struttura che limita e riduce le capacità comunicative del sistema sociale: è per questa ragione che in fase di progetto l'architetto, calandosi nei ruoli più sfaccettati dell'utente, deve prevedere ed anticiparne i comportamenti, i diversi modi di utilizzare lo spazio e come questo influenzi la socializzazione.

In architettura bisogna poi considerare la presenza di pattern di diversi ordini, pattern di pattern, etc. Fatte queste premesse, è possibile adottare la sintesi di Capra, sempre quando sia possibile definire le tre dimensioni: pattern, struttura e processo.

Poiché il pattern corrisponde alla forma che acquisiscono le relazioni, la scienza contemporanea risulta essere molto interessata ai processi di riconoscimento di pattern, ossia a ciò che permette di visualizzare e capire la relazione tra le cose.⁴¹ Esso, corrispondendo alla configurazione grafica che assumono le relazioni, rimane però ad un livello astratto e grafico, in grado di collegare il mondo teorico con quello pratico.⁴²

1.4 PER UN'ERMENEUTICA DEL PROGETTO ARCHITETTONICO: RICOEUR

*L'architettura sarebbe per lo spazio ciò che il racconto è per il tempo.*⁴³

Prima di proseguire con le questioni riguardanti la sistemica del progetto e come il pattern interviene nel processo progettuale, si vogliono affrontare in termini più generali i rapporti tra l'architetto e l'architettura nello spazio e nel tempo. Prima Ricoeur ed in seguito Bakhtin, possono aiutarci, mediante il parallelismo con la letteratura, a capire i rapporti tra la spazialità del "racconto" e la temporalità dell'atto architettonico.

Riprendendo la famosa e fortunata distinzione introdotta da H. Bergson,⁴⁴ Ricoeur ritiene che il tempo nel "racconto" includa un tempo fisico (reale,

proprio dell'orologio) ed un tempo psichico (vissuto). Quest'ultimo, basato sulle esperienze dell'autore, è il tempo del passato come memoria, il tempo del futuro come attesa, il tempo del presente come attenzione. Lo spazio dell'architettura è invece una mescolanza di spazio vissuto e spazio geometrico tridimensionale.

Fatta questa distinzione, Ricoeur definisce tre concetti che si inseriscono all'interno di questo duplice contesto costituito da tempo misto e spazio misto. Egli definisce in particolare tre fasi (la prefigurazione, la configurazione e la re-figurazione) che permettono il passaggio dal progetto alla costruzione, terminando con una fase di rilettura dell'architettura stessa.

La prefigurazione, così come avviene in letteratura, è la fase che precede ogni forma letteraria, la *"dissoluzione del racconto nella vita reale, sotto forma di conversazione comune"*.⁴⁵ Anche nell'architettura c'è una fase che anticipa la progettazione ed è costituita dall'esperienza. L'uomo costruisce perché ha abitato: nel fare architettura si perpetua l'abitare, un'esperienza che, nello stato primordiale, muove da necessità basilari come la protezione o il rifugio. Superate queste necessità basilari, sorgono esigenze che nutrono l'abitare di complessità e che definiscono l'articolato limite tra "dentro" e "fuori". Contemporaneamente, infatti, prende forma una differenziazione degli spazi interni, dove ciascuno spazio dell'abitare è legato alla diversità della vita quotidiana e ad una specializzazione delle attività sociali. L'abitare è fatto non solo dalla permanenza e dallo stabilirsi in un posto, ma anche dal movimento, dall'idea di circolazione, di percorso, strada o piazza.

"La storia della vita si svolge in uno spazio della vita".⁴⁶

Abitare vuol dire anche vivere lo spazio che ci circonda nelle sue dimensioni statiche o dinamiche, che scandiscono la vita dell'uomo nella sua stanza, abitazione o città. C'è quindi un ritmo che scandisce il vivere e di conseguenza l'architettura, un ritmo che presenta digressioni frenetiche ma anche lente pause. Qui è presente l'idea di cronotopo Bakhtiniano, cioè un modo di organizzare in forma artistica lo spazio ed il tempo vissuti da una determinata società.

Se ne ricava come spazio e tempo siano inscindibili.⁴⁷

Ricoeur definisce quindi la prefigurazione come una fase proto-progettuale, come una sintesi dell'esperienza dell'uomo come abitante di spazialità. E si potrebbe aggiungere, a mio avviso, come una sintesi dell'esperienza dell'architetto come professionista dotato di un bagaglio di determinate

esperienze culturali e progettuali.

È una fase nella quale, secondo l'accezione Bakhtiniana, spazio e tempo non possono essere separati: ciò significa che la geometria dello spazio non può essere una categoria indipendente ma piuttosto una categoria che si forgia nel tempo. Tempo inteso come esperienza del progettista e come storia del luogo che ospita una nuova architettura. Il luogo o la città possiedono una storia che rappresenta il contesto del progetto: il progetto interagirà con questo contesto attraverso l'interpretazione che l'architetto farà del luogo. Non si tratta tuttavia di un'interpretazione paralizzante, ma al contrario propositiva, creativa, come è possibile osservare, ad esempio, nei progetti di Miralles.⁴⁸

La configurazione è il momento della costruzione: *"l'atto di costruire ha preso vantaggio in forma di progetto d'architettura"*.⁴⁹ In questa fase ci si libera dal contesto della vita quotidiana per entrare nel campo della letteratura.

Alla base dell'atto di raccontare vi sono fondamentalmente tre idee:

1. L'intreccio, ovvero il riunire i fatti in una trama, aggiungendo gli aspetti dell'azione: causa, modi di agire, casualità. Rappresenta la sintesi temporale di cose eterogenee.
2. L'intelligibilità, ossia il processo di chiarezza nell'inestricabilità dei fatti.
3. L'intertestualità, ovvero il confronto di testi distinti che comportano relazioni di influenza o di distanza con il contesto letterario.

Secondo Ricoeur questa configurazione del tempo propria del racconto letterario è una buona guida per interpretare lo spazio architettonico e per introdurre la dimensione temporale e narrativa nel progetto di architettura.

Infatti anche in architettura, come in letteratura, si possono riconoscere tre livelli:

1. L'intreccio: ciò che era sintesi temporale diviene sintesi spaziale di elementi eterogenei. Il progetto integra diverse variabili architettoniche: *"cellule spaziali, forme solide, superfici limite"*.⁵⁰ In questa fase di progetto l'autore raccoglie ed interpreta elementi del progetto che introducono molteplici punti di vista, componenti casuali, motivi diversi. Il fattore temporale gioca nell'architettura un ruolo fondamentale: non si tratta semplicemente del tempo che occorre per progettare o costruire, ma *"ogni nuovo edificio presenta nella sua costruzione (che è contemporaneamente atto e risultato dell'atto)*

la memoria pietrificata dell'edificio che si sta costruendo. Lo spazio costruito è tempo condensato".⁵¹ Un tempo che si manifesta quindi sia nella configurazione dell'atto di costruire che nell'atto di abitare.

2. Ciò che era il passaggio dall'inestricabile al comprensibile, in architettura corrisponde ad un atto di coerenza progettuale. Inoltre, secondo Ricoeur, *"se è la scrittura che conferisce durabilità, allora la durezza del materiale è ciò che assicura la durabilità dell'oggetto costruito"*.⁵²
3. L'intertestualità è invece la contestualizzazione dell'architettura nella trama già esistente, una trama che fa la sua storia. In questa fase si definiscono i rapporti tra l'innovazione e la tradizione: la relazione che si stabilisce tra il nuovo elemento e gli altri già esistenti diviene di fondamentale importanza. Si istituisce pertanto una nuova dimensione che non appartiene più al singolo edificio ma alla relazione tra essi.
4. Ricoeur avanza delle conclusioni teoriche.
5. Una prima lettura riguarda le *"preoccupazioni formali predominanti in uno stile determinato"*.⁵³ Quando le preoccupazioni ideologiche predominano sulle necessità degli abitanti, si sfocia nel formalismo. Questa lettura non si limita all'interpretazione del contesto esistente, ma proietta il progetto architettonico verso il futuro.

Una seconda lettura: *"il formalismo concettuale ha il suo limite nella rappresentazione che fanno i teorici sulla rappresentazione delle necessità del popolo"*.⁵⁴ Questa lettura riguarda l'interlocutore dell'architettura e, in particolare, il tipo di aspettativa che quest'interlocutore nutre nei suoi confronti. Attualmente stiamo vivendo un impoverimento ideologico del progetto architettonico: se fino a poco tempo fa l'architettura aveva la funzione di rappresentare le aspettative di una sola categoria (principi, capi religiosi, alta borghesia), nella contemporaneità l'architettura deve rappresentare le masse umane. *"Anche la moltitudine accede alla visibilità, sotto il segno della dignità più che della gloria"*.⁵⁵

La **re-figurazione** è il momento della lettura, nel quale l'utente scopre lentamente l'opera e la interpreta. Parlando del testo, il lettore lo legge secondo le proprie *"aspettative che si vedono affrontate, confrontate con le proposizioni di senso del testo nella lettura"*.⁵⁶ Tale lettura può passare, come afferma Ricoeur, per tutte le fasi possibili: dalla lettura passiva a quella attiva, fino a terminare con una lettura collerica o di rifiuto.

In architettura, la lettura è l'abitare, il vivere gli spazi, dentro e fuori. In questo momento appare evidente come ci sia una distanza enorme tra le regole del progetto e le regole con le quali gli utenti lo recepiscono. L'abitare è la condensazione di necessità ed aspettative, e proprio a queste si deve il modo positivo o negativo con cui il pubblico accetta, filtra o percepisce l'architettura.

2. PROGETTO, SISTEMA E PATTERN

[...] se qualcuno si è spaventato di fronte ad uno scenario di una disciplina guidata esclusivamente da regole algoritmiche oggettive può stare tranquillo sapendo che c'è una via stretta che non siamo riusciti a comprendere né controllare nei Processi di Ibridazione, che ci sfugge proprio per stare fuori dallo esprimibile e appartenere al dominio di ciò che è sensibile o inafferrabile, però così come ha già avvisato Wittgenstein: 'Di ciò di cui non si può parlare, è meglio tacere'.⁵⁷

Nel primo capitolo di questa terza sezione abbiamo definito gli assi epistemologici del progetto d'architettura, quali:

1. i rapporti dialogici tra oggetto e soggetto, tra oggetto e contesto e tra gli utenti;
2. i rapporti tra la parte ed il tutto e tra il tutto e la parte, in un intorno sistemico;
3. la concezione del tempo.

Nel presente capitolo si passerà ad esaminare il ruolo del pattern, ed in particolare le sue caratteristiche e potenzialità all'interno del processo progettuale, cercando di trarre delle conclusioni che derivino anche dalle sezioni precedenti, come ad esempio la natura geometrica o il suo ruolo nei diversi livelli di progetto.

Vedremo quindi chiarita l'importanza del pattern all'interno del processo progettuale, considerandolo non come un fine ma come uno strumento, o meglio un dispositivo. Si chiarirà inoltre come il pattern abbia senso, funzione e validità solo all'interno del processo, e non al di fuori.

2.1 ASTRAZIONE E PRATICA

Il pattern si trova all'intersezione tra astrazione e pratica, essendo sia una struttura astratta che deriva dalla realtà (pratica) sia un'astrazione con applicazioni pratiche. In entrambi i casi si determina uno scambio proficuo tra virtuale e reale: infatti non solo è possibile analizzare la realtà riconoscendo le strutture formali di base (pattern) ma anche riconoscere,

rafforzare e generare i pattern durante l'atto creativo.

I pattern possono essere estrapolati dal mondo naturale, artificiale o da quello virtuale: una volta decifrati i meccanismi e le relazioni che si instaurano al loro interno, è possibile applicarli in situazioni analoghe. Lo stesso pattern può quindi trovare applicazioni diverse o interpretare parallelamente processi simili ma in nuovi contesti. Questa flessibilità nel passare da un ambito all'altro prende il nome di molteplicità, intesa come caratteristica di possedere diversi significati e coprire più propositi. Questo è reso possibile proprio dalla struttura stessa del pattern, astratta, flessibile e responsiva, in grado di adattarsi continuamente: il suo grado di astrazione apre significative frontiere e possibilità creative, poiché permette ad un pattern di essere interpretato in maniere diverse.

Bisogna allora chiedersi quale sia la relazione tra architetto e pattern e come si sceglie e si determina la sua origine nel processo progettuale.

Il pattern è il prodotto della cultura e dell'esperienza del progettista. All'interno del processo operativo mediante pattern è possibile individuare due distinte modalità:

- 1) si può utilizzare il pattern deliberatamente attraverso riferimenti esterni, sistemi geometrici o diagrammi formali che rispondono convenientemente alle necessità del progetto: il pattern può essere deformato ed adattato *ad hoc*;
- 2) si possono scoprire nuovi pattern che emergono dalle condizioni stesse del progetto.

L'analisi dei due casi, che verrà proposta nel seguente capitolo, permetterà di identificare due distinti atteggiamenti.

Nel primo caso il pattern precede il progetto, ovvero esiste una struttura astratta, generica ed efficace nella risoluzione di determinate questioni architettoniche, che può essere presa in prestito e deformata dalle condizioni specifiche: programma funzionale e contesto. Il processo risulterà essere prima *top-down* e successivamente *bottom-up*: infatti, se inizialmente si applica una struttura generica (*top-down*), questa verrà successivamente modificata dalle condizioni specifiche (*bottom-up*), attraverso un processo retroattivo che coinvolgerà tutte le componenti del progetto.

Nella seconda modalità il processo è quasi interamente *bottom-up*, dal momento che il pattern deriva da specifiche analisi del contesto geofisico

e sociale, dal programma, etc. Dai dati raccolti e dal processo di progetto emergerà quindi un pattern che costituisce la base dell'intervento.

Dall'astrazione alla pratica. Quando il pattern precede il progetto

Proponiamo due esempi utili a capire come uno stesso pattern sia in grado di coprire, nell'ambito dell'architettura, ruoli distinti: il pattern arboreo ed il pattern d'onda.

A. Pattern arboreo

Lo troviamo in tutte quelle strutture che captano materia o energia da un'area ampia e la raccolgono trasportandola lungo una direzione. Questa struttura viene riconosciuta sia nella natura (ad esempio negli alberi e nei fiumi) sia nelle infrastrutture o negli impianti: in tutti questi esempi il flusso si concentra verso un solo tronco, seguendo una direzione che può essere di raccolta o di distribuzione.

Negli alberi sono presenti due strutture arboree: una è costituita dalle radici che raccolgono acqua e sali minerali dalla terra, l'altra dalla chioma composta da rami e foglie. La chioma si distribuisce spazialmente secondo un pattern tridimensionale che ottimizza l'esposizione delle foglie al sole e alla pioggia; le foglie costituiscono un laboratorio chimico nel quale si combinano clorofilla, energia della luce, acqua, sali minerali assorbiti dalle radici insieme con l'anidride carbonica proveniente dall'atmosfera, al fine di produrre zuccheri e ossigeno.



1. Organizzazione topografica dei flussi d'acqua

I sistemi fluviali non sono organismi viventi ma sistemi che ospitano la vita di fauna. Sono architetture naturali frutto di un'organizzazione topografica che distribuisce i flussi d'acqua raccogliendo gocce d'acqua: tali flussi ingrossano rami sempre più grandi che sfociano poi in un unico fiume, il quale a sua volta sfocerà in un lago o nel mare.

Sia i fiumi che gli alberi possiedono la stessa struttura geometrica e condividono lo stesso comportamento, finalizzato a coprire un'area più vasta possibile mediante la raccolta e la concentrazione di flussi.

Si tratta quindi di un pattern che, anche in architettura, possiede comportamenti eccezionali nell'ambito dell'organizzazione dei flussi, ed in particolare nella circolazione e nella distribuzione delle tensioni statiche, di fluidi o di informazioni.

Uno dei primi esempi di pattern arboreo, riferibile al secolo scorso, è costituito dal *padiglione d'esposizione IBM* di C. Eames e dello studio Saarinen, per la *World Fair* di New York (1962). Il progetto presenta due interventi: una grande tettoia traslucida ed un teatro-ovoide che vi galleggia sopra. La tettoia è ottenuta, in pianta, dalla composizione di esagoni ai quali corrispondono degli "alberi" strutturali che, come unità indipendenti, costituiscono una foresta. In questo caso la struttura arborea, sebbene tragga vantaggio dalla configurazione ramificata, fa del pattern una rappresentazione retorica, metaforica e quasi letterale.

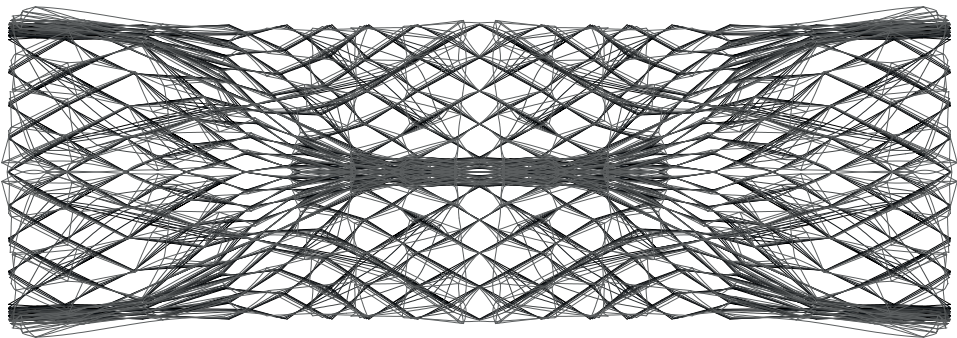
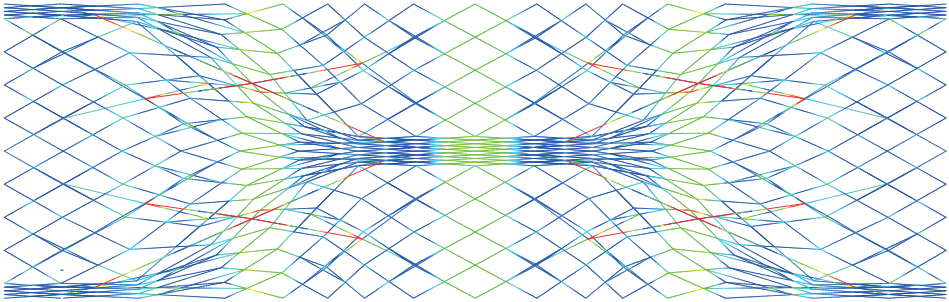


2. Charles Eames, Padiglione sospeso, Fiera mondiale New York, 1964-1965

Nella sezione II, parlando di F. Otto, ci siamo soffermati sugli esperimenti *branching* e su tutte le potenzialità che il sistema comporta, sia a livello di flussi viari che a livello strutturale. Le strutture ramificate permettono di ridurre i punti di appoggio e favoriscono una distribuzione più efficace, riducendo la quantità di materiale indispensabile a soddisfare le stesse necessità con un altro sistema strutturale.

Gli esperimenti di F. Otto sono stati ripresi nel 2001 dall'architetto C. Najle, che propone uno sviluppo del modello ramificato finalizzato a superarne l'idealizzazione strutturale.

SpBranching propone una differenziazione del modello che opera attraverso l'eccesso, proporzionando una fluidità tettonica più elevata, dalle capacità infrastrutturali accresciute, e dall'abilità di muoversi attraverso le scale, e attraverso una più ampia distribuzione di condizioni organizzative.⁵⁸



Un esempio di come il frattale ramificato possa essere utilizzato per la distribuzione di fluidi, allo stesso modo dei sistemi fluviali, è dato dal *Parco della Gavia* di Toyo Ito di Madrid, che si basa sulla generazione di un sistema di purificazione delle acque attuato attraverso “alberi acquatici”.

L'acqua, dopo essere stata trattata in una depuratrice, subisce due trattamenti di purificazione attraverso due fasi distinte. La prima consiste nel pompare l'acqua nei quattro alberi collinari tipo A, che effettuano una purificazione naturale attraverso piante e filtri naturali: l'acqua passa poi nella valle A inferiore e successivamente nei sei alberi di tipo B, dove viene ulteriormente pulita e immessa nella valle B con una qualità d'acqua superiore. In questo caso si propone un pattern quasi iconico, un modello matematico ideale che non subisce alcuna alterazione, se non nel funzionamento interiore che differenzia le diverse tipologie di albero.

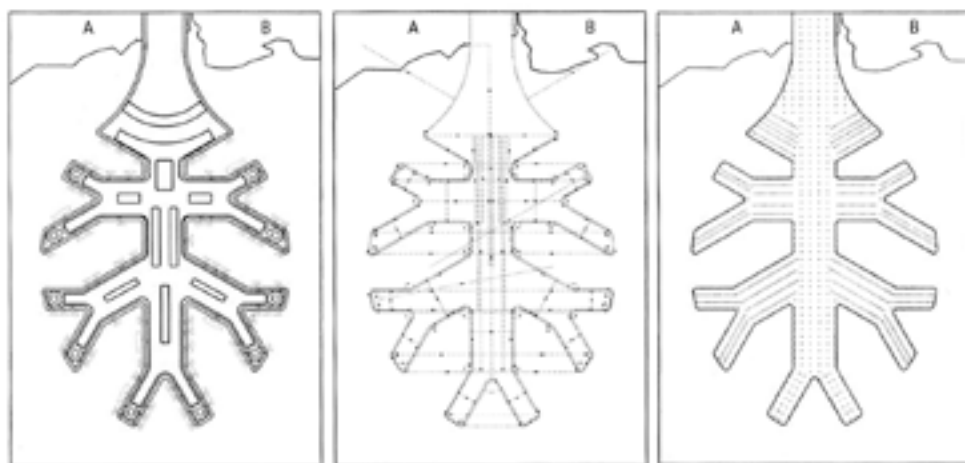


4. Toyo Ito, Gavia Park, Madrid, Spain 2003

gli alberi acquatici specializzati nella fitodepurazione dell'acqua impongono un carattere iconico sul paesaggio.

Il pattern ramificato mostra il suo funzionamento anche nei flussi riguardanti la circolazione. Se pensiamo a tutte quelle tipologie che, per motivi di circolazione, hanno bisogno di convogliare l'accesso in un unico punto e di distribuire i flussi differenziandoli nello spazio, risultano evidenti le enormi potenzialità del frattale arboreo, in grado di coprire vastissime aree. Se si prendono in considerazione i polmoni, che si separano in innumerevoli rami e poi in alveoli per aumentare la superficie di scambio tra ossigeno e sangue, risulta evidente come lo stesso principio possa essere applicato a tutte le strutture che necessitino di scambi con altri dispositivi, come ad esempio aeroporti, ospedali, *terminal* portuali.

Sebbene questa rappresenti una vasta area di ricerca, è stato individuato solamente un esempio inerente a questa configurazione, costituito dal progetto di F. Romero per il *Multi-Docking* a Tijuana (Messico). Si tratta di un tipo di struttura che ottimizza lo scambio tra l'acqua e la terra e quindi la connessione con le navi e le zone d'approdo.



5. LAR/Fernando Romero, Multi-docking, Tijuana, Mexico, 2004

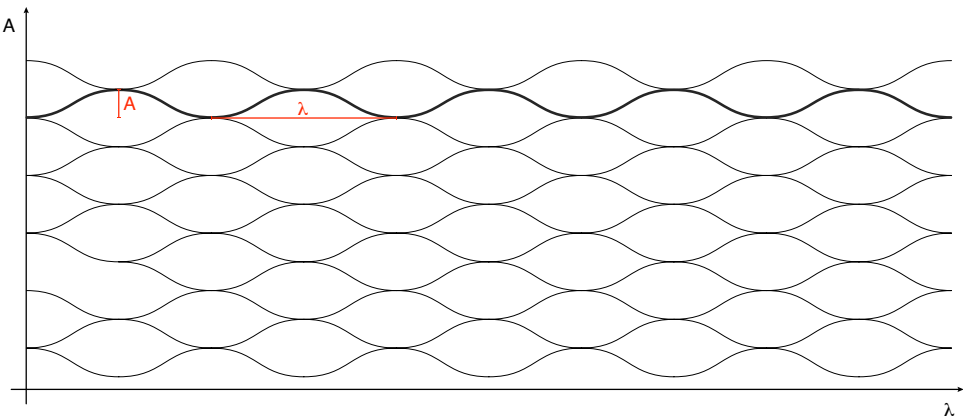
il sistema ramificato ottimizza gli scambi tra l'acqua e la terra. Da sinistra: la pianta della copertura, il sistema geometrico, il diagramma della circolazione.

Tutti questi casi permettono di esaminare alcuni pattern a priori che trovano applicazioni diverse in diversi campi del progetto. Pur essendo strutture formali a priori, permettono di generare progetti completamente diversi: questo è reso possibile proprio dal carattere d'astrazione del pattern che, quando passa al piano pratico, ammette infinite declinazioni, frutto di una costante interazione tra la sua logica interna e le condizioni specifiche del progetto.

B. Pattern d'onda

Un altro pattern interessante da analizzare per le potenzialità offerte nelle diverse applicazioni progettuali è quello d'onda o *deployé*, costituito cioè dalla ripetizione di funzioni d'onda in opposizione di fase (dove il punto di massimo di una curva coincide con il minimo della successiva). Si tratta del pattern che visualizziamo, ad esempio, nelle maglie metalliche stirate o utilizzando un linguaggio matematico.

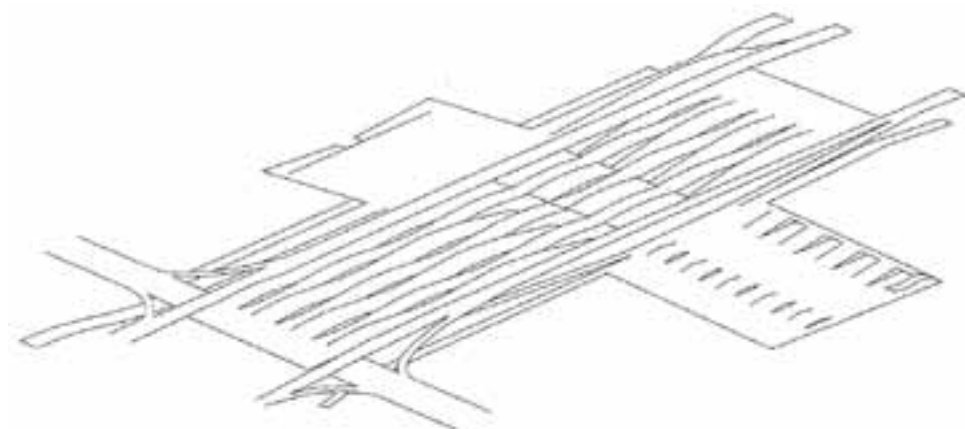
Questo pattern rappresenta una situazione ideale che, come vedremo nei progetti a seguire, viene alterata e deformata dall'introduzione di specifiche condizioni di progetto che modificano i parametri delle funzioni, come la fase (un valore che produce la traslazione), o interpretano liberamente la sua geometria nelle tre dimensioni.



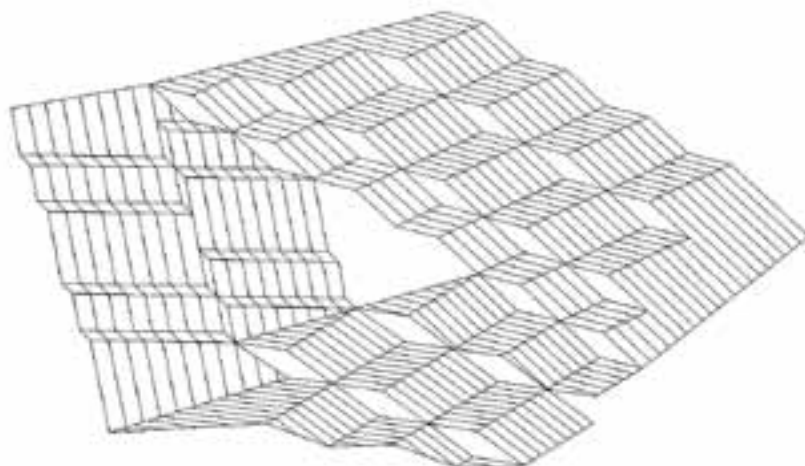
6. Pattern d'onda

è formato da un insieme di funzioni d'onda in opposizione di fase. nelle ascisse misuriamo la lunghezza dell'onda e nelle ordinate la sua altezza.

Foreign Office Architects ha fatto un ampio uso del pattern d'onda, sia in campo architettonico che paesaggistico. Nelle loro opere è possibile identificare diverse strategie concernenti l'interpretazione del *deployé*, che vanno da configurazioni più ideali e generiche ad altre contaminate da specificità di progetto.



7. Foreign Office Architects, stazione ad alta velocità, Pusan (Korea), 1996

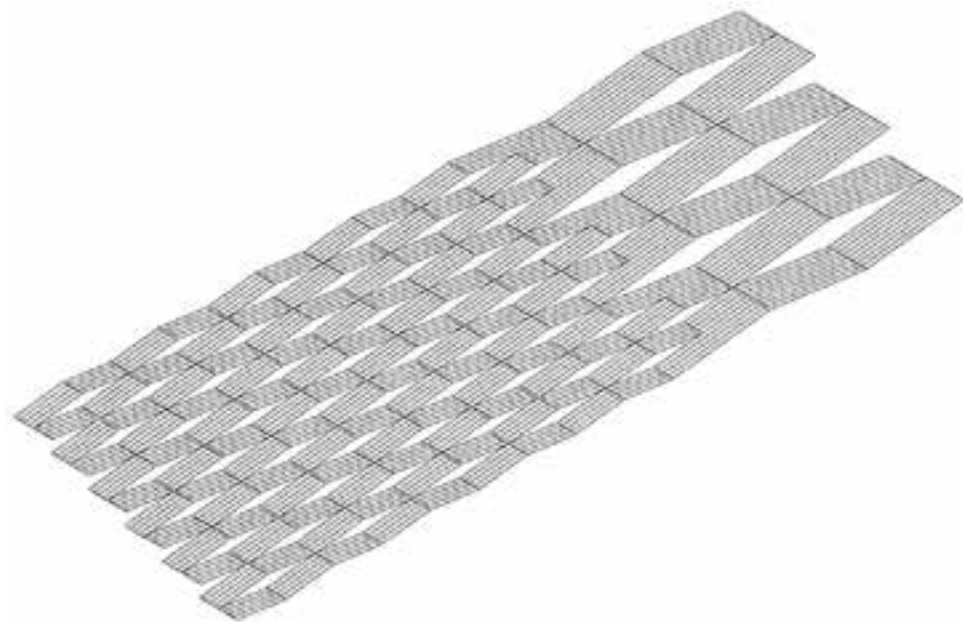


8. Foreign Office Architects, centrale municipale di polizia, La vila Joiosa, 2000-2003

Una di queste strategie consiste nel generare coperture ripetendo superfici ondulate in alzato, in modo da ottenere permeabilità tra una striscia e l'altra. Nel caso della *Stazione ad Alta Velocità di Pusan* (Corea del Sud, 1996) si produce una tessitura topografica che connette a più livelli la comunicazione longitudinale con quella trasversale.

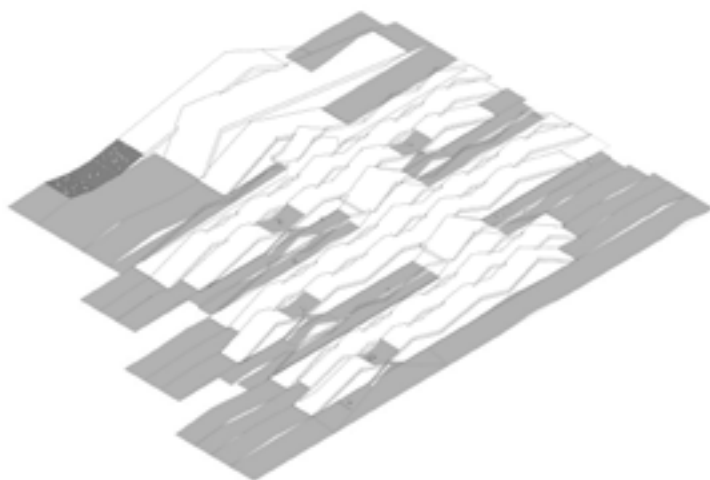
Anche nella *Biblioteca di Kioto* (Giappone, 1996) o nella *Centrale Municipale di Polizia de La Vila Joiosa* (2000-2003), le coperture ricorrono a questo stesso sistema, dimostrando la flessibilità di un pattern capace di integrare luce, aria e struttura in una stessa superficie coerente.

Questa configurazione sembra proporre un sistema molto interessante, che venne poi utilizzato nel 2010 dallo studio di Bjarke Ingels, BIG, per la *Vilhelmsro School* (Vilhelmsro, Danimarca). Anche in questo caso si alternano superfici rivestite di verde, piegate in maniera ondulatoria in modo da lasciar passare aria e luce: le strisce non sono tangenti ma intersecate.

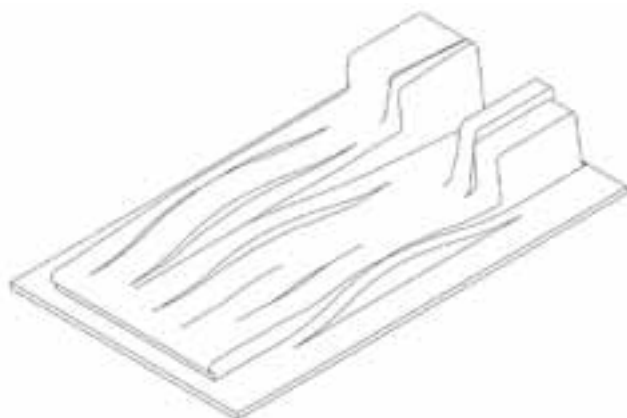


I pattern *deployé* sono anche frutto di un processo legato al taglio e alla deformazione di superfici sottili: così come negli origami, alternando tagli sulla carta e separando le fessure è possibile produrre particolari interpretazioni del pattern.

Nel *Ponte Parodi* di FOA (Genova, 2000-2001), il pattern si libera dalla sua idealizzazione geometrica, manifestandosi con tagli che, percorrendo tutta la superficie del progetto, attaccano liberamente la pelle esterna.



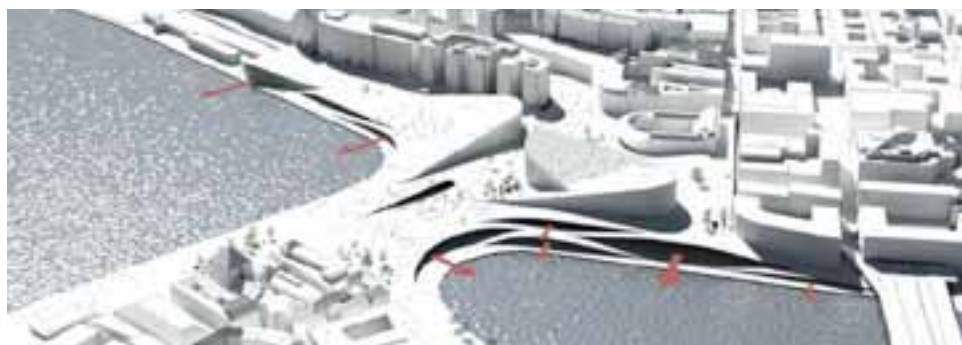
10. Biarke Igels, Vilhelmsro Primary School, 2010



11. Foreign Office Architects, Ponte Parodi, Genova, 2000-2001

Anche nel progetto di Big per lo *Slussen di Stoccolma* (2007) si procede per tagli e piegature. Ubicato in un centro nevralgico delle connessioni urbane, il progetto funziona come un nodo intermodale. Si dona alla città un'ampia piazza pubblica che copre il traffico pesante: i collegamenti tra la superficie pubblica e i livelli esistenti sottostanti sono risolti attraverso delle strisce ondulate ed alternate che generano un waterfront accessibile alla gente di Stoccolma.

Simile è la strategia adottata degli stessi architetti ad Abu-Dabi per la realizzazione dei *Sowwah Island Bridges* (2008). Il progetto prevedeva la realizzazione di undici ponti che dovevano connettere l'isola di Sowwah, nuovo business center, con le aree intorno e che furono pensati per integrare flussi pedonali, strade e ferrovie. Poiché il ponte non voleva essere una sfida ingegneristica ma un simbolo d'integrazione nella struttura urbana della città, queste strutture furono pensate per essere dei pezzi di città



12. Bjarke Ingels, Slussen, Stoccolma, 2007

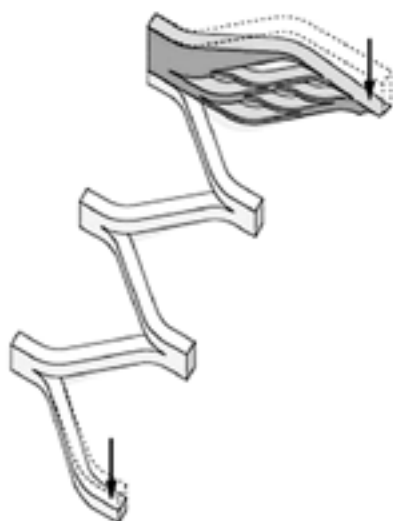


13. Sowwah Island Bridges, Abu-Dabi, 2008

che, introducendo ristoranti e spazi per le attività all'aperto, attivavano la vita pubblica. Ciò è stato possibile ampliando e attivando i bordi del ponte attraverso un'operazione di sovrapposizione di strisce ondulate.

Un caso nel quale le curve d'onda intervengono nell'organizzazione spaziale è l'*Hafjell Mountain Hotel* di BIG ad Hafjell (Norvegia, 2007).

Il pattern diventa un pretesto per scomporre fluidamente il blocco edilizio in barre sinusoidali che si adagiano sulla topografia della montagna. Questa strategia permette di dotare tutti i livelli del complesso, formato da appartamenti ed hotel, di ampie terrazze orientate a sud-est.



14. Bjarke Ingels, Hafjell, Norvegia, 2007

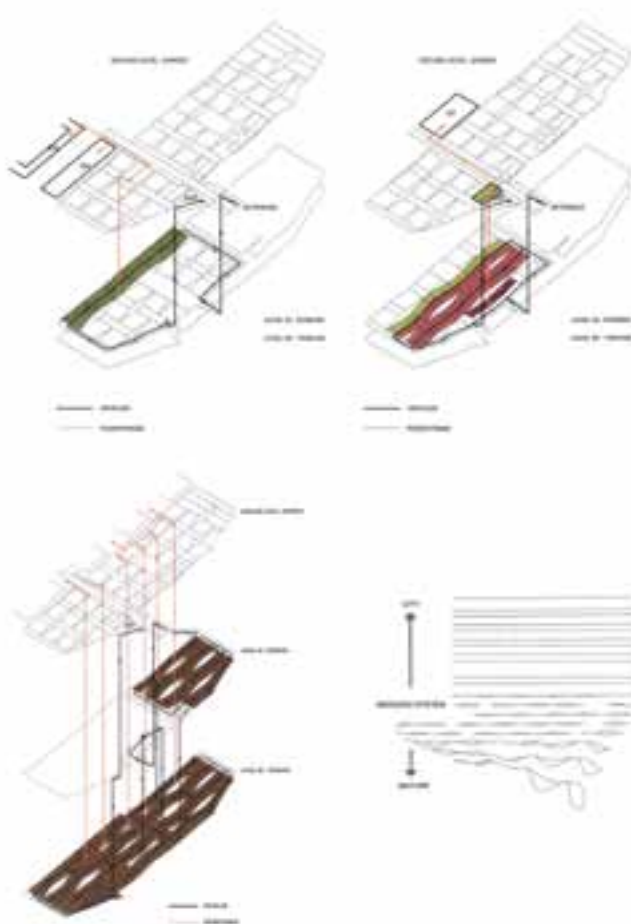


15. Bjarke Ingels, Walter Towers, Praga, 2007

Lo stesso sistema formale, derivante da porzioni di curve d'onda, venne utilizzato per la *Walter Tower* a Praga, nel 2007.

In situazioni distinte, il pattern agisce in pianta ad una scala maggiore, generando spazi che assorbono la vegetazione ed i patii, interpretano la topografia, costruendo il paesaggio e canalizzando la circolazione.

Con il progetto Novartis di un Parcheggio sotterraneo con parco a Basel (2003), il pattern ad onda diviene lo strumento per ibridare l'artificiale con il naturale, ossia il parcheggio con il parco. Questa premessa viene inverata da un'organizzazione per strisce ondulate che marca una corrispondenza



16. Foreign Office Architects, Novartis, Parcheggio sotterraneo con parco, Basel, 2003

tra l'organizzazione delle auto nei piani sotterranei e di percorsi verdi soprastanti. Gli spazi racchiusi tra il massimo di una curva e il minimo dell'altra diventano patii che danno luce ai piani interrati e concentrano la visuale verso il cielo. Tutto il progetto è quindi incentrato sullo sviluppo di un sistema capace di integrare con lo stesso pattern tutti i livelli del progetto: aria, luce, viste, flussi viari, circolazione pedonale, giardini.

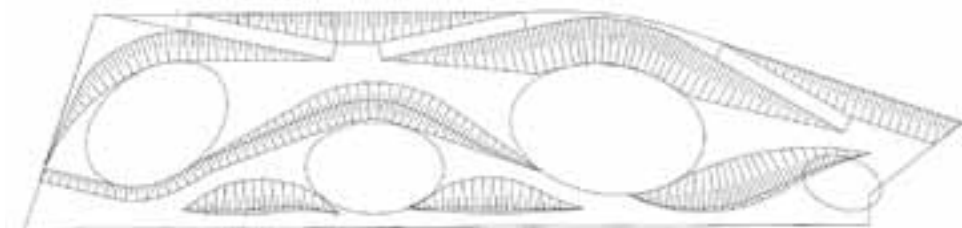
Molto simile è la strategia adottata per il progetto del complesso ferroviario ad alta velocità di Firenze (2002). Anche in questo caso c'è una superficie superiore utilizzata come parco e bucata da patii che fanno penetrare aria e luce nel complesso inferiore: in questo caso il pattern degli ovali viene interpretato in diversi modi, quali lucernai, aree verdi, parcheggi.

Persino nel parco costiero di Barcellona (2002-2004) si continua a percepire un'operazione fondata sulle curve d'onda, che, in questo caso, generano delle topografie finalizzate a proteggere i percorsi o l'*auditorium* dal vento.

Anche il gruppo Jds, forte delle sperimentazioni di Foa, propone uno schema simile per la realizzazione del *Weave Garden City* (Groningen, 2009). Si tratta di un'attuazione topografica basata su un pattern d'onda "ideale" e generico che subisce poche deformazioni, rimanendo diagrammatico in



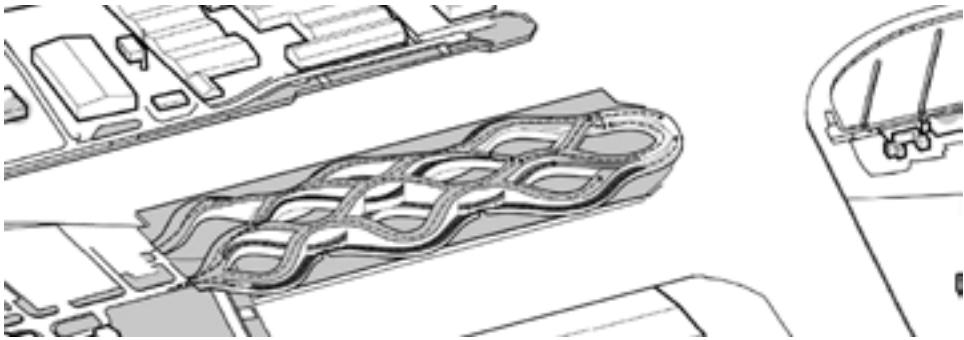
17. Foreign office architects, Complesso Ferroviario, Firenze, 2002



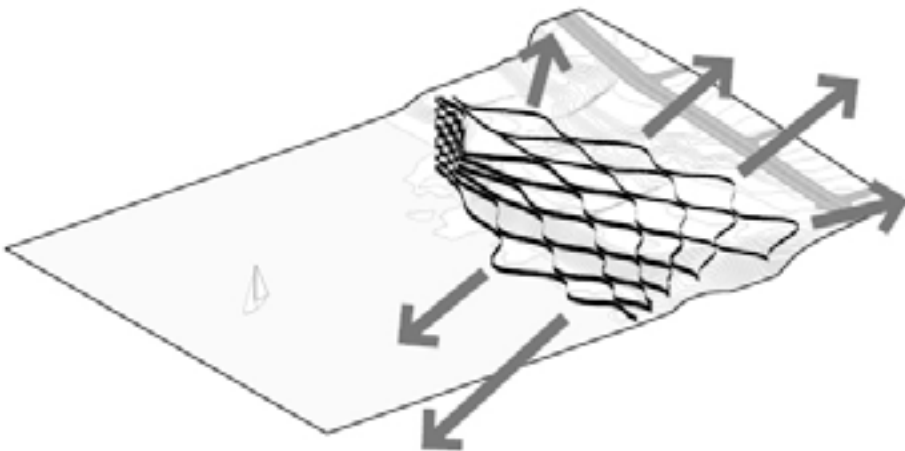
18. Foreign office architects, SE Coastal Park & Auditoriums, Barcellona, 2002-2004

pianta. Semplicemente dalla ripetizione di più livelli ondulati in altura e dalla loro manipolazione topografica, si ottiene una collina perforata, che integra percorsi, diverse tipologie di appartamenti, giardini ed un ottimo orientamento. I grandi vuoti lasciati dal pattern accolgono spazi comuni semi privati, mentre la superficie esterna contiene un parco pubblico.

Lo stesso studio di architettura propone, nello stesso anno, il progetto per il *JNAH Marina Resort* a Beirut, caratterizzato da una diversa soluzione topografica. Se l'esempio precedente poteva basarsi su una configurazione diagrammatica generica, essendo costruito su una penisola artificiale con



19. Jds, Weave Garden City, Groningen, 2009

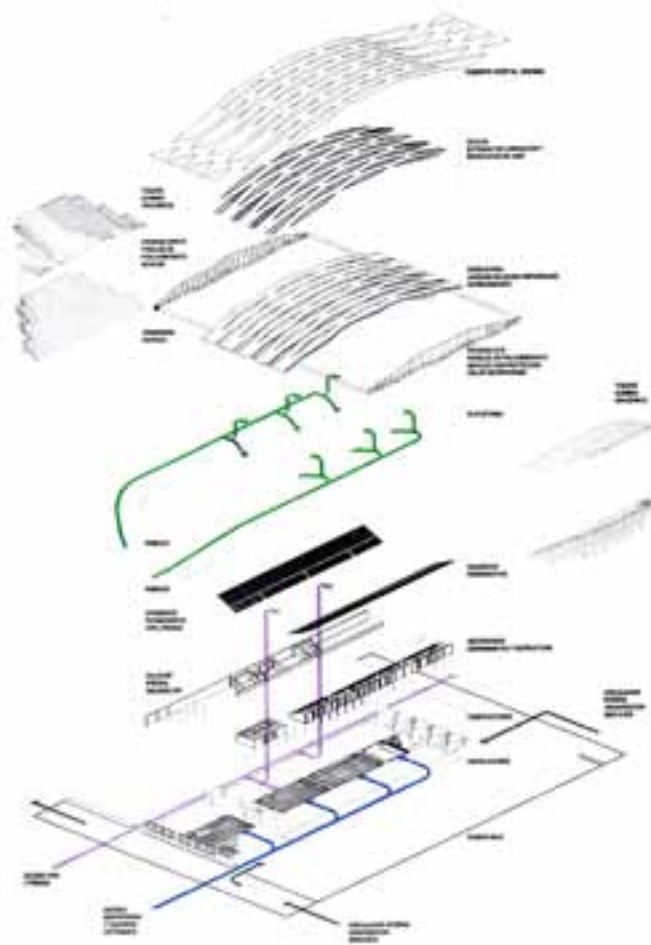


20. Jds, JNAH Marina Resort, Beirut, 2009

pochissime specificità, stavolta le condizioni del progetto sono peculiari. Il pattern subisce infatti un allontanamento dalla sua condizione ideale, deformandosi sul pendio. Ciononostante il pattern d'onda è utilizzato in maniera esplicita come strumento "urbanistico" flessibile, che viene manipolato per introdurre le diverse funzioni e necessità del progetto: hotel, ville, condomini, servizi, aree verdi, attrezzature sportive, etc.

Nei due esempi che seguono, il pattern ondulato dimostra la sua efficienza anche in ambito strutturale.

Nel *Centro Olimpico di Sport Acquatici di Madrid* (2002), lo stesso pattern

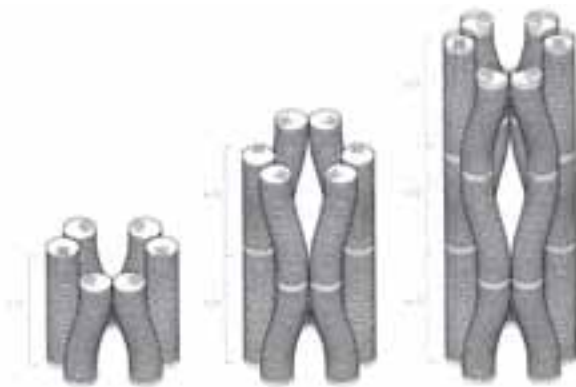


21. Foreign Office Architects, Centro olimpico di sport acquatici, Madrid, 2002

diventa una superficie strutturale che copre lo spazio inferiore: tra le curve delle onde si aprono lucernai che lasciano entrare luce e aria. La copertura integra pertanto un tetto vegetale, un sistema di illuminazione e di areazione naturale ed una struttura d'acciaio.

Nella proposta per il *WTC* di New York (2002), il pattern assume una configurazione tridimensionale. Otto cerchi, tangenti a due a due, vengono distribuiti sul perimetro di una circonferenza in un ottagono: questi cerchi, disposti nelle tre dimensioni, subiscono uno sviluppo tubolare seguendo delle curve d'onda. In questo modo si produce un'organizzazione che concentra la struttura nel perimetro, generando un fascio di torri interconnesse che incrementa il momento d'inerzia. Il grattacielo è quindi affidato ad uno schema generico e diagrammatico ideale che prescinde qualsiasi specificità. Possiamo considerare l'intera operazione come un meta-pattern, dal momento che anche la struttura esterna di ogni torre segue e ripete un pattern ad onda ad una scala minore.

I progetti analizzati dimostrano come lo stesso pattern possa avere diverse letture, proprio per il suo carattere che lo pone all'intersezione tra astrazione e praticità. Sono anche esempi di come si possano realizzare svariati progetti e di come, in alcuni casi, essi siano capaci di integrare più fattori di progetto con lo stesso pattern. La rassegna di questi progetti, che a volte propongono elementi molto simili tra loro, va vista quindi come una ricerca sulle possibilità dello stesso pattern. Così come nel caso del frattale ramificato, è possibile passare dalla circolazione alla struttura, come se alcune geometrie possedessero delle qualità particolari che trascendono più livelli del progetto: è come se la geometria avesse un comportamento materiale, funzionando allo stesso modo sia per veicolare tensioni strutturali sia per la circolazione di auto o per quella pedonale.



22. Foreign Office Architects, Bundle tower, New York, 2002

Forse sono progetti che peccano di eccessiva coerenza, che cercano di proporre giustificazioni quasi scientifiche delle scelte progettuali: trovata la soluzione più efficiente, questa si ripete in un pattern tridimensionale che spesso non lascia spazio alla sorpresa.

Dalla pratica all'astrazione. Quando il pattern segue il progetto

Mentre negli esempi sopra esposti il pattern precedeva il progetto, ossia c'era una struttura geometrica che anticipava e si modificava durante il progetto, si vedranno ora alcuni pattern che emergono dalle caratteristiche e dalle condizioni uniche del progetto, quali contesto, condizioni al contorno, programma funzionale, limiti urbanistici, volumetrie e normative. Ciò significa che il pattern nasce durante il processo di progetto e non a priori: non viene dall'esterno ma sorge dall'interno. Questa tipologia di pattern si allontana molto dalle condizioni ideali e risulta pertanto difficilmente catalogabile in strutture geometriche riconoscibili.

Analizzeremo quindi casi nei quali le condizionanti stesse del progetto producono dei pattern spontanei, che vengono poi rafforzati ed esplicitati durante il processo.

Per capire il senso di come il pattern emerga dalle caratteristiche intrinseche ambientali o culturali del progetto, possiamo rifarci al pensiero di E. Miralles, secondo cui il progetto deriva da uno sforzo di analisi del luogo. La topografia, le linee d'ombra, la cultura del luogo, i percorsi degli abitanti costituiscono la base di uno studio grafico di relazioni che si va strutturando nel progetto:

Si direbbe che il processo di lavoro che segui si origina da questo registro grafico di condizioni del luogo, che successivamente trasformato, seguendo sviluppi che non sono determinati dal principio, ma evolvono in linea erratica, che cambia direzione a seconda delle condizioni locali specifiche.⁵⁹

Al commento di Zaera Polo, Miralles risponde:

Al riguardo, io direi che non si tratta tanto di una linea, o di un cono d'ombra. Un progetto consiste nel saper collegare molteplici linee, molteplici ramificazioni che si aprono in direzioni distinte. Il mio modo di lavorare è molto legato all'idea di curiosare o di distrarsi.⁶⁰

Possiamo affermare come nell'opera di Miralles il pattern non sia a-priori, ma derivi dall'analisi del luogo. Analisi che non è solo scientifica, anzi. Mentre Zaera Polo si dimostra, nelle sue opere, più interessato al lato scientifico ed analitico, Miralles non dimentica il lato artistico e culturale del luogo, rendendo le sue opere diverse, radicate al luogo e allo stesso tempo immediatamente riconoscibili. Miralles cerca di evitare l'imposizione di

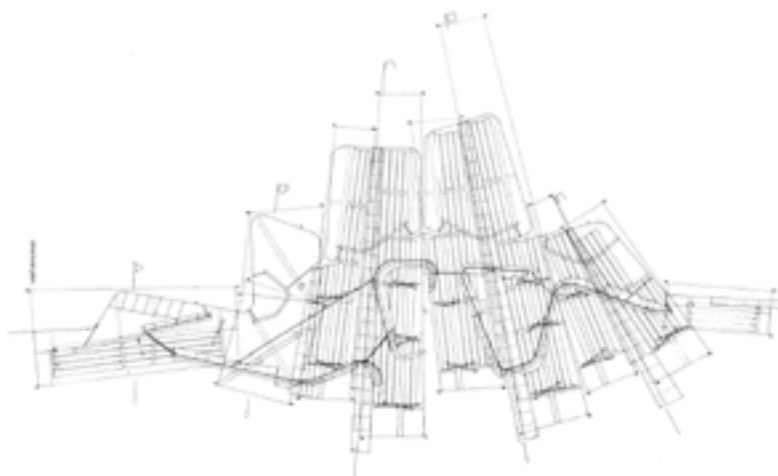
regole a priori: a queste egli preferisce il dialogo, la conversazione con ciò che esiste, ciò che genera relazione e non imposizione.

Sebbene sia estremamente complesso individuare le fasi che hanno strutturato il processo progettuale delle opere di Miralles, c'è un processo che sviluppa un repertorio riconoscibile: è quindi possibile riconoscere nelle sue opere l'esistenza di un pattern comune.

Ma allora in cosa consiste questo pattern che conferisce riconoscibilità alle sue opere?

Il suo stile non deriva dalla ripetizione di gesti formali, ma, come dice Miralles, da un insieme di operazioni, di interessi specifici, da una "ripetizione sistematica di certi atti che danno coerenza alle cose".⁶¹ Ci sono dei pattern che descrivono il suo modo di operare, insieme ad una predilezione per la ripetizione di linee allungate, accumulazioni, variazioni attraverso la rivelazione di singolarità. Si riconoscono quindi pattern nella metodologia, nelle sovrapposizioni e intersezioni, nella ripetizione di elementi.

Nel progetto degli impianti per il tiro con l'arco al *Parco Olimpico Vall d'Hebron* (Barcellona, 1989-1992), sviluppato con C. Pinos, emergono delle geometrie inedite. Ci sono due aree distinte, una dedicata alla competizione e l'altra all'allenamento: nella prima si inseriscono sulla topografia dei moduli prefabbricati ad U che integrano tutte le funzioni al chiuso, definendo il bordo dell'intervento; nell'area di allenamento il progetto si fonda sulla ripetizione di tetti lineari e convergenti.



23. Enric Miralles e Carme Pinos, impianti per il tiro con l'arco d'Hebron, Barcellona, 1989-1992

Si cercherà ora di approfondire la tematica, per capire come un pattern possa emergere a posteriori dalle condizioni del progetto.

L'opera di No.Mad, studio di architettura diretto da E. Arroyo, è senz'altro utile a riconoscere un metodo sistemico progettuale basato su passi che, uno dopo l'altro, aiutano a definire un chiaro pattern d'attuazione. Tra il 1997 ed il 2000 Arroyo sviluppa un metodo progettuale che trova riferimenti nella teoria dei sistemi, nella teoria del caos e che usa **processi di ibridazione**, processi di adattamento che giocano con i limiti dell'incertezza e della contaminazione.

Ciò che emerge è un'architettura situata tra due rappresentazioni alienanti: da una parte, quella del mondo determinista dove non resta altra alternativa che l'accettazione di ciò che è imposto come eredità, e da un'altra parte, quella di un mondo totalmente arbitrario sottomesso all'arbitrio senza controllo. Tra questi due poli possiamo trovare una serie di nuove istruzioni, espresse in campi di probabilità alla maniera di Heisenberg e associate all'instabilità dell'intorno.⁶²

Arroyo cerca nell'architettura sistemi adattativi come i computer d'immersione, i sistemi di frenata ABS o gli *Autofocus* degli obiettivi fotografici. Si tratta di sistemi che gestiscono l'imprevedibilità e la variabilità del contesto per ottimizzare la relazione tra l'uomo e il suo intorno.

Di fronte a questa situazione i Processi d'ibridazione perseguono l'apparizione di strutture insperate senza valori formali prefissati a priori, e dove l'unica legge di formazione sia la relazione in costante trasformazione tra ciò che esiste e ciò che vuole esistere.⁶³

Allo stesso tempo questo processo di lavoro non cerca né la mimesi di ciò che avviene in natura né tantomeno un procedimento scientifico, ma piuttosto cerca di generare in ogni progetto, partendo dai dati provenienti dalla stessa città, un sistema architettonico robusto ed efficace.

Arroyo compara inoltre il processo d'ibridazione con il comportamento dei sistemi caotici, affermando che quest'ultimi, pur non essendo aleatori ma determinati da condizioni matematiche, sono imprevedibili, a causa dell'interazione delle cause prefissate precedentemente. Allo stesso modo i risultati dei processi da lui usati sono imprevedibili, perché frutto dell'intercambio e dell'interazione con l'ambiente esterno.

Gli operatori di procedimento del sistema sono molto semplici: riproduzione di dati, intersezione o intercambio con l'intorno e mutazione finale, e sono applicati successivamente, apparendo nuove popolazioni di dati come risultato dell'adattamento alla realtà dove si applicano.⁶⁴

Arroyo avvisa infine che in questo scenario, che sembra guidato solo algoritmicamente o condotto dalla ragione, trova spazio persino ciò che

è sensibile o inafferrabile, un ambito che sfugge al controllo dei processi d'ibridazione.

A mio avviso è questa la dimensione dell'architetto che non potrà mai essere sostituita dai processi automatici e che appartiene in modo indissolubile al livello artistico del progetto.

Pur non essendo il pattern uno strumento esplicito della sua ricerca, per Arroyo esso riveste un ruolo specifico in molti dei suoi progetti.

A volte il pattern precede il progetto, come nel caso di *Genética urbana en Sant Denis* (Isola La Réunion, 1999), dove il progetto nasce dalla sovrapposizione di due pattern: una reticola regolare di servizio che integra la circolazione veicolare ed un sistema irregolare che promuove la circolazione pedonale e ciclabile. Questi due sistemi, attraverso una serie di interazioni, si approssimano alla definizione del progetto definitivo.

Anche la *Plaza del Desierto* (Baracaldo, 1999) si basa sull'implementazione e la contaminazione di un pattern pixellato che si specifica nella differenziazione delle sue funzioni e dei materiali.

Altre volte il pattern emerge dalle condizioni intrinseche ed estrinseche del progetto: non c'è una geometria che si adatta, ma un'impalcatura geometrica che si scopre lungo il processo.

Analizziamo adesso un progetto utile a capire come si applica il processo di ibridazione.

Europas 5-Proceso de Hibridación 001 (Baracaldo, Vizcaya, 1999) è un progetto che produce un nuovo paesaggio come risultato dell'ibridazione di nuove funzioni e della loro interazione con le condizioni del contorno.

Una volta considerato il sito e le sue condizioni specifiche, il processo può essere riassunto in diversi passi:

1. Si sviluppa un programma funzionale.
2. Si distribuisce uniformemente il programma funzionale in maniera percentuale. In tale distribuzione il programma non occupa superfici, ma è adimensionale: è rappresentato da punti il cui numero varierà in funzione dei metri quadrati che occorre destinare ad ogni uso. In questo modo si ottengono diverse densità d'uso.
3. Si analizzano le condizioni delle preesistenze, stabilendo quelli che Arroyo chiama "vettori di realtà", ovvero le condizioni al contorno: limite residenziale, limite d'acqua, linea del treno e del tram, viabilità

- esistente, visuali di Barakaldo, edifici, zone verdi e strutture sportive esistenti.
4. Nella distribuzione omogenea degli usi si considerano tre azioni interattive: attrazione, repulsione, indifferenza. In questo modo le distanze delle diverse funzioni vengono modulate dalle preesistenze, in maniera da proteggere le abitazioni dalle zone rumorose (come ferrovie o strade) per generare continuità con le aree verdi, etc.
 5. Si procede con la mutazione delle densità d'uso, in maniera da aggregare o disperdere funzioni secondo l'azione dei vettori di realtà. Questo è un processo di spostamento dei punti d'uso fino all'aggruppamento di usi edificabili e di spazi liberi, raggiungendo un paesaggio statistico di possibilità. Si ottiene un'organizzazione che prevede tutte le preesistenze necessarie ad evitare la segregazione d'usi all'interno della città.
 6. Si definisce un cronogramma di attuazioni, in modo da controllare la crescita dell'intervento nel tempo, secondo fasi che si sviluppano nell'arco di dieci anni.
 7. Si procede all'interpretazione dei raggruppamenti ottenuti e si assegnano le percentuali di ogni funzione.
 8. Si procede alla determinazione di un volume virtuale di ogni aggruppamento.
 9. Si trasforma il volume virtuale tramite le condizioni al contorno: accessibilità, altezza di ogni uso, nuclei di comunicazione, visuali.
 10. Si stabiliscono 25 programmi di uso d'abitazione di uguali dimensioni, in modo da promuovere case variabili ed eterogenee. L'aver dimensionato tutte le funzioni all'interno dello stesso rettangolo permette all'utente di cambiare liberamente funzioni.

Il processo consiste quindi di una prima fase retroattiva che porta al raggiungimento definitivo degli aggruppamenti edificabili, di una seconda fase che, sulla base del processo posteriore, entra nella definizione volumetrica degli aggruppamenti e di una terza che opera nell'ulteriore definizione delle distribuzioni interne. È quindi un processo che si va affermando per livelli gerarchici: una volta che un livello raggiunge una situazione di equilibrio si passa al livello successivo e così via. La prima fase risulta particolarmente interessante per l'adattabilità e la scoperta di un ordine interno determinato da condizioni interne (programma funzionale) ed esterne (condizioni dell'intorno) e sviluppato attraverso un processo retroattivo.

Una considerazione. Si potrebbe obiettare come persino in questo caso ci sia un pattern che preceda il progetto, ovvero la distribuzione reticolare del programma. In realtà la distribuzione omogenea adimensionale delle unità programmatiche è una condizione neutra e proto-geometrica che, sottomessa all'interazione con le condizioni esterne, produce risultati imprevedibili oltre che la configurazione di un nuovo pattern.

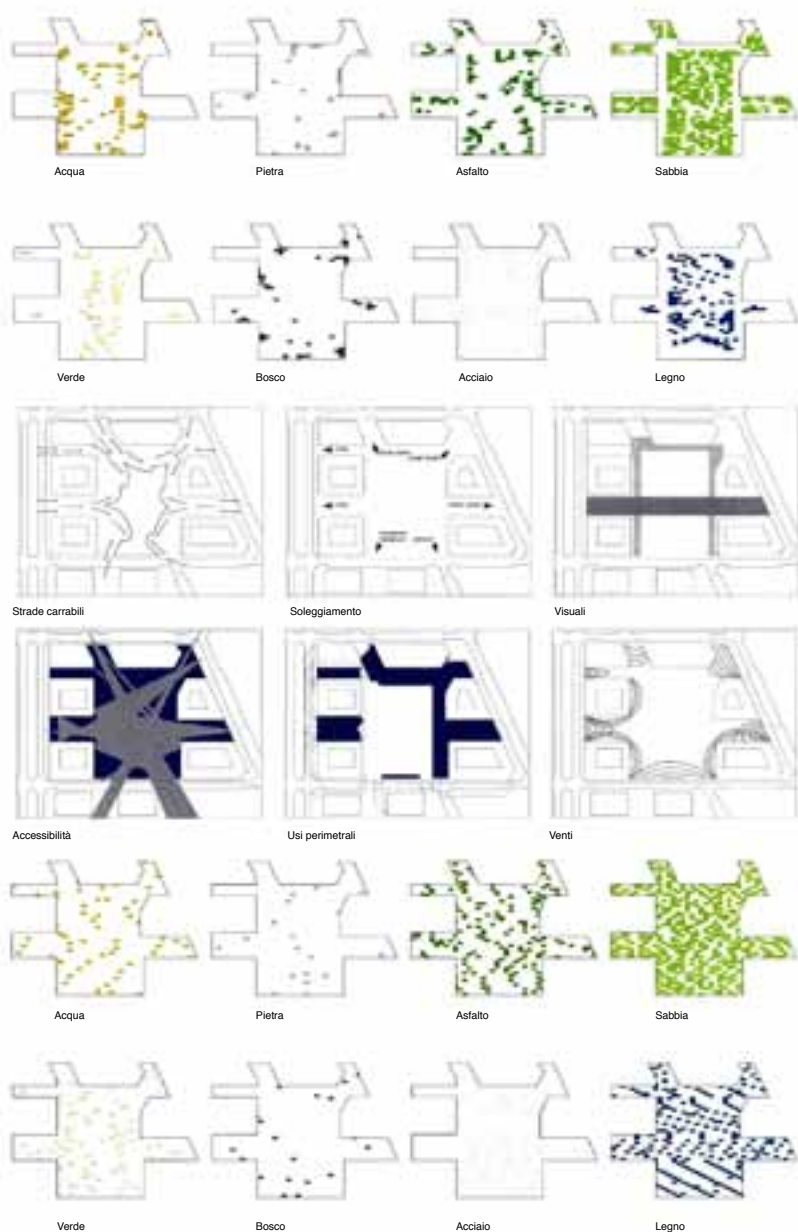
Si vogliono ora analizzare due casi nei quali External Reference Architects, diretto da N. Toribio e dall'autore del presente lavoro C. Zappulla, ricerca esplicitamente pattern organizzativi, determinati da un processo di riconoscimento delle componenti del luogo e dalle necessità del progetto. Si cercano quindi condizioni rafforzabili e trasformabili in espliciti sistemi d'attuazione che possano potenziare le caratteristiche proprie del sito. In tale processo si scoprono armature geometriche, flessibili e robuste allo stesso tempo, pattern che si nutrono di informazioni e che cercano di riassumere più livelli progettuali.

Ad esempio il progetto urbano *Eco-bundling* a Jarvenpaa (Finlandia, 2009) si struttura secondo un pattern di strisce che sorge dalle condizioni intrinseche del luogo e delle condizioni del progetto, consistente nell'urbanizzazione di un'area compresa tra il lago Tuusulanjarvi ed una strada che porta al centro storico. Poiché il sito presenta problemi di drenaggio, oltre a due canali finalizzati allo smaltimento delle acque accumulate nell'area, risultava necessario incrementare il sistema di deflusso, potenziando il sistema di canali esistenti con altre otto vie d'acqua. Queste nascono da un'interpolazione delle linee esistenti e da un'interpretazione del contesto fisico, costituito da aree verdi, architetture esistenti e zone topograficamente complicate.

La nuova configurazione urbana è quindi strutturata in un sistema flessibile di strisce, lagune e canali, che costituiscono il principale elemento paesaggistico su cui dipendono tutte le tipologie abitative e dei servizi. Le otto linee diventano lagune che strutturano tutto il progetto: la proposta forma un territorio di coesistenza tra naturalità e artificialità.

Il progetto nasce quindi dall'interpretazione degli elementi di base del sito (l'acqua, il campo, gli alberi), dalla loro organizzazione e trasformazione in strisce urbane. Queste strisce non convenzionali generano un complesso che intreccia corsi d'acqua, abitazioni orientate a sud e paesaggio, insieme alla gestione e al trattamento dell'acqua.

In questo esempio la dimensione astratta del pattern deriva dalle specificità del luogo e del progetto: in seguito al lavoro di astrazione, esso ritorna nella pratica attraverso un processo che si continua a nutrire delle condizioni



24. Eduardo Arroyo, Plaza de Desierto, Baracaldo, Vizcaya, 1999

nel processo di ibridazione della piazza ogni fattore progettuale (flussi di comunicazione, accessibilità, esposizione solare, programma funzionale) interagisce con la distribuzione materiale e topografica.

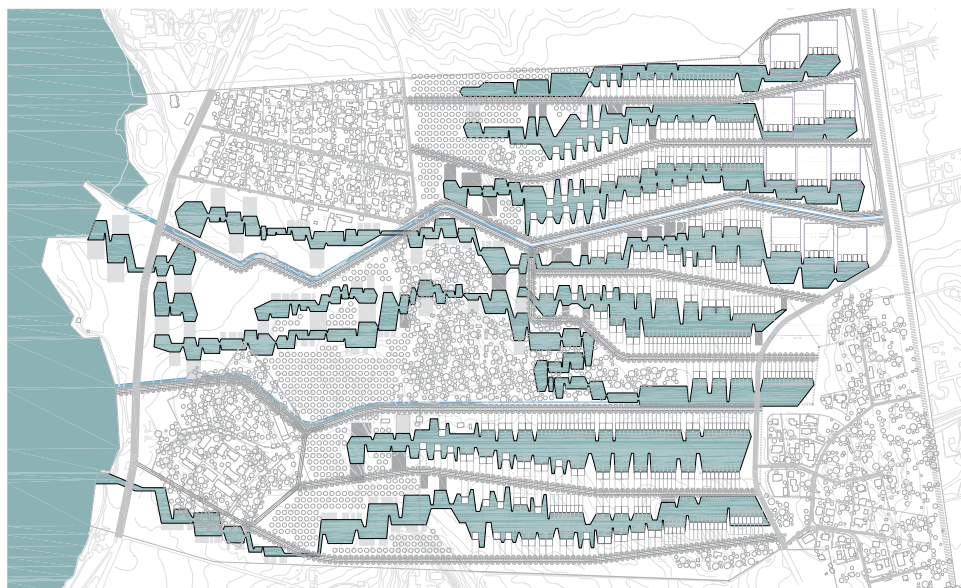


25. Eduardo Arroyo, European 5- Proceso de hibridación 001, Baracaldo, Vizcaya, 1999
alguni dei diagrammi che rappresentano certe fasi del processo di ibridazione elaborato da Arroyo.

contingenti. Infatti il pattern a strisce viene prima dall'interpolazione dei canali esistenti ed in seguito si modifica col programma, con i requisiti normativi, la circolazione e con l'orientamento delle abitazioni.

Anche nel progetto del *cimitero di Vespella de Gaia* (Tarragona, 2007), External Reference Architects produce pattern derivanti dalle molteplici iterazioni e interazioni con il luogo.

Una volta identificate ed escluse dall'intervento la vegetazione esistente e la topografia più ripida, si inseriscono, secondo una griglia omogenea, le unità architettoniche. La loro posizione e dimensione segue un processo di continue iterazioni, in modo da ottimizzare l'orientamento del sole, i percorsi e l'organizzazione funzionale. Dalla stessa disposizione degli oggetti architettonici nel paesaggio (panteon, colombari, tombe a cratere ed una chiesa) emerge una ramificata rete di connessioni che svanisce nel paesaggio stesso. Questo percorso arboreo si configura attraverso la manipolazione degli elementi, definendo una relazione molto complessa tra i diversi oggetti del progetto e i soggetti che si vanno muovendo in mezzo: è una sorta di auto-generazione, nella quale si arriva ad una relazione più o meno soddisfacente.



26. External Reference, Eco-bundling a Jarvenpaa, Finlandia, 2009

27. (p. a seguire) External Reference, Cimitero di Vespella de Gaia, Tarragona, Spagna, 2007

È lecito chiedersi se il pattern che distribuisce gli elementi architettonici preceda o segua il progetto. Sicuramente la prima configurazione che anticipa le iterazioni segue un pattern reticolare regolare, ma è semplicemente un punto di partenza, un pretesto per inserire nel sito gli “ovoidi”; la configurazione finale non fa nessun riferimento alla distribuzione reticolare.

Anche in riferimento al progetto *Eco-bundling*, potremmo dire che il progetto sia derivato da un semplice pattern di linee orizzontali deformate ed ingrossate in zone opportune. Però anche in questo caso l’elaborazione e l’interazione con gli altri livelli di progetto è tale da far emergere un nuovo ordine, un nuovo pattern che non permette il riconoscimento della struttura di partenza. Questa tematica verrà trattata nel capitolo seguente.

2.2 INTEGRAZIONE DEI LIVELLI

*La dialogica permette di assumere razionalmente
l’inseparabilità di nozioni contraddittorie per concepire
uno stesso fenomeno complesso.⁶⁵*

Pensare il progetto architettonico nell’ambito della sua complessità ci aiuta a percepire l’inseparabilità di fattori che, anche se a volte in contrapposizione, fanno parte di un unico organismo. L’inscindibilità è frutto dell’interrelazione della parte col tutto e delle parti tra loro.

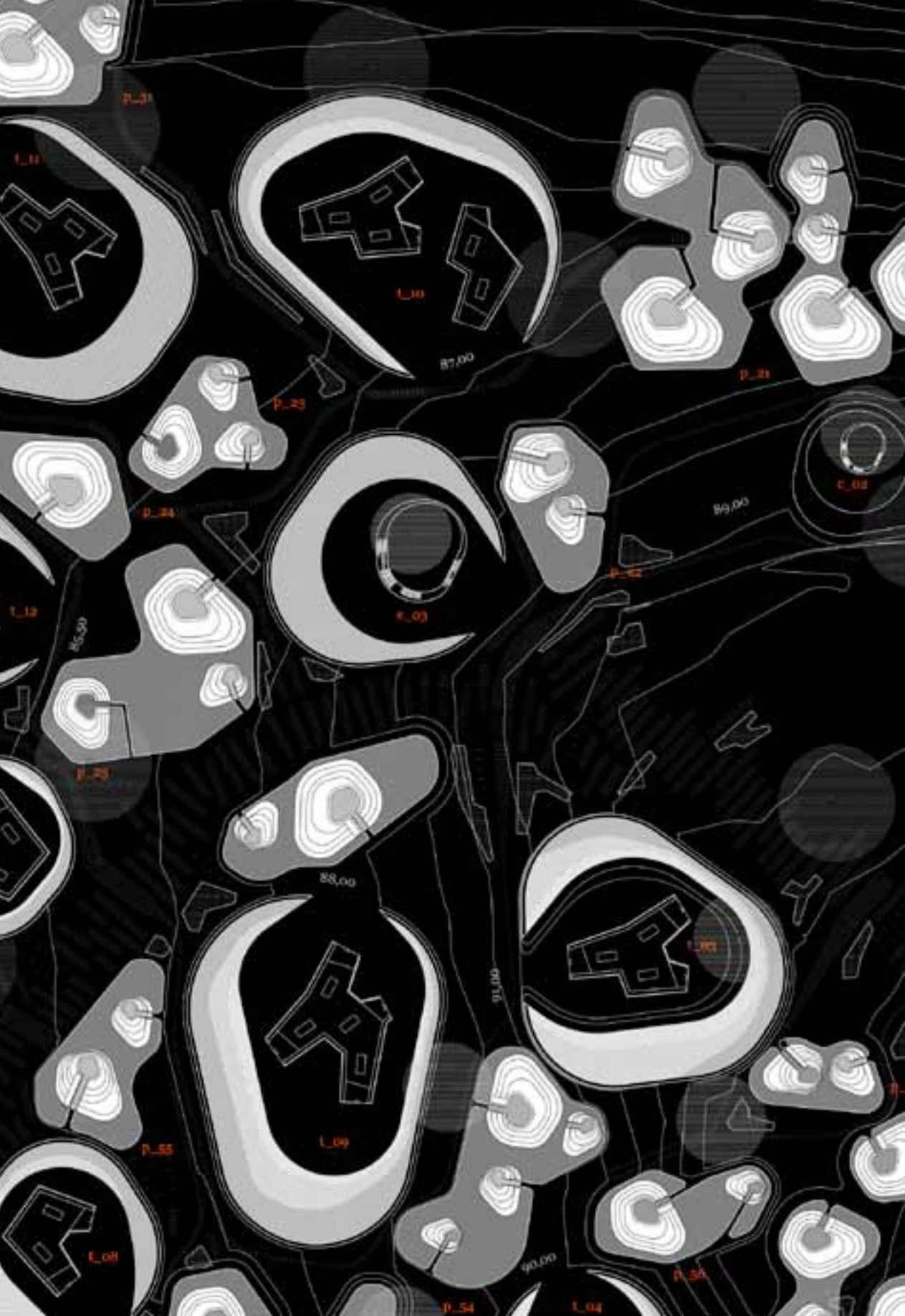
Abbiamo visto all’inizio della sezione terza come fosse possibile scomporre il progetto nei suoi livelli costitutivi e come le relazioni tra questi livelli potessero essere spiegate attraverso il cronotopo Bakhtiniano che, a sua volta, poteva essere inserito in un quadro sistemico. Abbiamo infine affermato che questi livelli costitutivi potevano essere messi in relazione, e quindi interagire tra loro, attraverso il pattern, nell’accezione che ne dava Capra, ossia come sintesi tra struttura, pattern e processo.

In questo capitolo si spiegherà più dettagliatamente e con esempi concreti come si manifestino queste relazioni in ambito architettonico, come sia possibile identificare i livelli del progetto e come questi interagiscano per mezzo di pattern.

Riguardo alle interazioni, possiamo riconoscere due dimensioni relazionali: una gerarchica e l’altra orizzontale.

La funzione di ogni organizzazione gerarchica è “il controllo di un sistema composto da numerosi elementi interagenti che devono agire in modo coordinato e armonioso”.⁶⁶

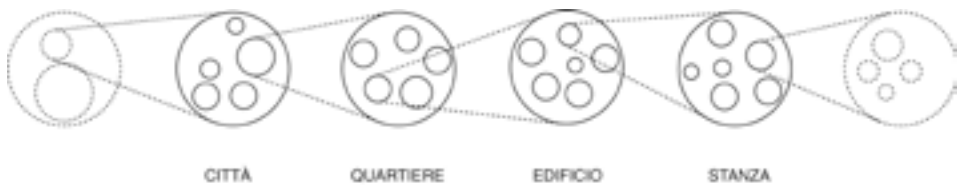




Questo tipo di organizzazione gestisce i rapporti che riguardano le transizioni di scala ed identifica i meta-sistemi, ovvero i sistemi di sistemi. Instaura quindi relazioni di interdipendenza tra sistemi più piccoli e sistemi più grandi, a livelli sempre crescenti, che vanno dalle componenti al singolo oggetto, alla relazione tra oggetti, in contesti sempre maggiori. I sistemi complessi non sono infatti formati da elementi semplici, ma da sottosistemi che a loro volta sono formati da altri sistemi e così via. Per maggior chiarezza possiamo identificare la stanza come l'unità sistemica minima dell'architettura, un edificio come risultato della relazione tra più spazi, un quartiere come relazione di edifici, una città come relazione di quartieri, una regione come relazione di città, etc.: ogni organizzazione gerarchica avrà determinate ripercussioni a livello sociale, politico o ambientale.

Gli elementi minori di cui è costituito un progetto d'architettura sono a loro volta sottosistemi, ossia sistemi di dimensioni e complessità minori: può risultare che questi sottosistemi siano composti da sistemi ancora minori, secondo una gerarchia sistemica nella quale si identificano relazioni tra entità con dimensioni e complessità crescenti.

Occorre precisare adesso che tipo di valore diamo al termine gerarchia. Un sistema d'ordine superiore influisce nella determinazione degli ordini inferiori, ponendo quindi le regole che limitano questi sistemi minori all'interno del sistema maggiore. Quindi ogni volta che si passa ad un sistema di ordine superiore le possibilità creative aumentano esponenzialmente, mentre quando si passa ad un livello inferiore i gradi di libertà diminuiscono: una stanza dovrà sottostare alle regole imposte dalla casa, così come la casa dovrà seguire la normativa imposta dalla strada. Questo è chiamato principio di asservimento: *“gli elementi di un livello gerarchico inferiore [...] una volta organizzati in un sistema, vengono asserviti al livello superiore, cioè al comportamento globale, olistico del sistema”*.⁶⁷



28. Schema semplificato della gerarchia dell'architettura
una catena di sistemi incapsulati uno nell'altro.

In questo senso il sistema è allo stesso tempo non solo maggiore della somma delle parti ma anche minore: minore *“nel senso che l’organizzazione impone dei vincoli che inibiscono talune potenzialità che si trovano nelle varie parti”*.⁶⁸

All’interno di ogni sistema possiamo riconoscere anche **un’organizzazione orizzontale**. C’è, come dire, una simultaneità tra i livelli che definiscono un progetto: ciò è fondamentale affinché ci sia interazione ed equilibrio tra i vari fattori, in modo da sfuggire ai formalismi ed ottenere un’architettura in aperto e proficuo dialogo con la società, la cultura e l’ambiente.

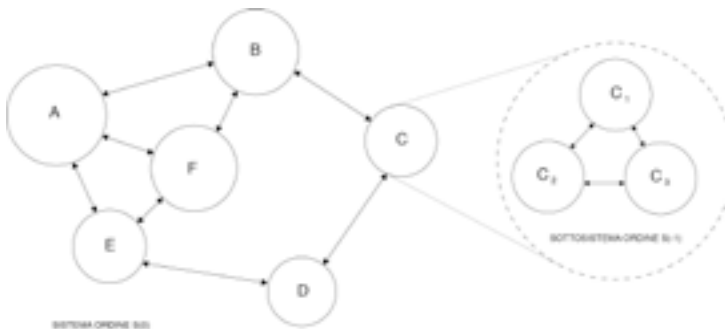
Mentre la prima dimensione relazionale, quella gerarchica, è stata approfondita sufficientemente dai metabolisti, dagli strutturalisti o negli studi di Habracken,⁶⁹ ci sarebbe molto da dire riguardo l’organizzazione relazionale. Laddove le relazioni spaziali, tra elementi sempre più grandi, sono facilmente visualizzabili, altri tipi di relazioni sono difficilmente traducibili da un’immagine grafica.

Nella sezione I l’architettura era stata definita come un sistema complesso i cui caratteri sono frutto dell’interazione tra livelli endogeni ed esogeni,⁷⁰ categorie che verranno ora approfondite.

Esogeni

Sono tutti quei caratteri propri del particolare contesto di riferimento sia fisico che virtuale. Questa tipologia di livelli si trova all’interno dell’asse della costruzione nel cronotopo creativo Bakhtiniano⁷¹

1. contesto: cliente, cultura, ambiente naturale, ambiente artificiale, economico, normativo.



29. Sistemi complessi

le parti del sistema possono essere entità non sistemiche, semplici, oppure possono essere dei sistemi chiamati sottosistemi.

Endogeni

In questa categoria consideriamo invece gli aspetti interni di cui si nutre l'architettura nel suo processo culturale.

2. tecnico: struttura, geometria, energia, costruzione, materiali;
3. estetico: spazio, superficie, affetto;⁷²
4. organizzativo: programma, funzionalità, flussi;
5. sociale: interazione tra la gente e tra la gente e l'architettura.

I caratteri esogeni sono quei fattori provenienti dall'esterno, tipici di un paese o di un luogo, che si nutrono delle specificità della cultura del cliente o della storia che circonda il progetto. I caratteri endogeni rappresentano quindi la base del processo progettuale: costituiscono aspetti appartenenti al lavoro d'architettura, frutto dell'esperienza e delle competenze dell'architetto.

L'architettura diventa quindi il risultato dello sforzo teso a far sì che i caratteri endogeni interagiscano dialogicamente con quelli esogeni per la formazione di un progetto consistente, dove ogni livello è composto da livelli di ordine minore: quindi, ad esempio, l'ambiente naturale sarà un sottolivello del livello maggiore contesto e così via.

Bisogna tuttavia considerare questa divisione per livelli una semplice convenzione, poiché ogni unità ha caratteristiche multidimensionali. La geometria entra tanto nella tecnica quanto nel livello organizzativo o estetico; la cultura fa parte anche della società o dell'ambiente artificiale, così come l'energia fa parte dei materiali ma è anche legata al contesto economico ed ambientale. La luce appartiene allo stesso tempo al contesto della tecnica e a quello dell'estetica.

Quindi non bisogna considerare il limite tra un livello e l'altro come un terreno d'esclusione, ma come luogo di scambio, poiché questi livelli interagiscono fra loro nella costituzione del progetto.

Ciò che sembra così difficile da sistematizzare era una cosa ovvia, ad esempio, nelle cattedrali gotiche, dove le costole snelle, le colonne e le nervature costituivano un profondo tessuto strutturale che integrava programma funzionale, seguiva le ragioni costruttive e filtrava la luce, producendo un elevatissimo livello artistico.

Nella contemporaneità il computer riveste un ruolo fondamentale per capire (prima) e permettere (dopo) l'interazione tra più livelli architettonici: lo stesso Capra sottolinea l'importanza degli strumenti informatici per lo sviluppo di un approccio sistemico.⁷³ Il computer permette di interpretare

e separare i diversi livelli del progetto, facendoli interagire fra di loro; aiuta a definire pattern e a testarli nel sito, ad integrare i programmi funzionali, permette di raccogliere dati sul contesto elaborandoli per costruire armature geometriche, etc.

Ad esempio B. Hillier ha messo in relazione, attraverso il *software Depthmap*, le caratteristiche fisico-geometriche con quelle sociali. Le caratteristiche fisiche sono descritte topologicamente, cosicché quando cambia la forma del luogo cambia anche il numero che la definisce topologicamente. Egli analizza, una volta filmato, il movimento della gente all'interno di questi luoghi, misurandolo matematicamente: mostra quindi in questo studio come, in una determinata cultura, l'interazione sociale si possa misurare matematicamente attraverso la forma.

[...] ci ha consentito di mostrare non solo che il movimento umano fu guidato, a livello spaziale, da fattori geometrici e topologici piuttosto che metrici, ma anche di chiarire perché bisognava aspettarsi, a livello matematico, un forte impatto della struttura spaziale.⁷⁴

In questo modo è possibile misurare la potenzialità che ogni luogo ha di far interagire la gente, oltre ad identificare eventuali patologie all'interno di aree con problemi di relazione.



30. Bill Hillier, depthmap, 1974

Tenteremo ora di avvicinarci a quest'ambito, in modo forse a volte riduttivo ma efficace, al fine di comprendere il senso e le potenzialità dell'uso di pattern per integrare e far interagire più livelli. Si proporrà un esempio metodologico di individuazione ed integrazione di livelli, sviluppato al computer, senza un'automatizzazione del processo e senza l'uso di linguaggi di programmazione, ma attraverso processi di reiterazione analogico-digitale. Tutto ciò per cercare di trasmettere una teoria metodologica senza la necessità di conoscere specifici programmi o linguaggi di programmazione. A tal proposito si analizzeranno sinteticamente alcuni esempi, per cercare di abbozzare un metodo primordiale che ponga le basi di un ulteriore e futuro studio multidisciplinare.

Vediamo in primo luogo alcuni esempi di "architetture senza architetti", per sottolineare come siano sempre esistiti determinati processi d'interazione.

Nell'architettura vernacolare si possono riconoscere numerosi casi di interazione tra i diversi fattori del progetto. Nell'insediamento di Ba-ila in Zambia, così come analizzato nella sezione I in riferimento ai frattali, la transizione dimensionale di cerchi da piccoli a grandi, che va dall'ingresso alla residenza del capo, segue un gradiente che rispecchia la struttura sociale del villaggio. Siamo di fronte ad un esempio di sistema complesso vivo, nel quale le variabili dei differenti livelli sono interconnesse attraverso un pattern, e dove gli aspetti sociali interagiscono con l'ambiente, con la tecnica costruttiva, con l'estetica formale, con il paesaggio. Architettura, infrastruttura e servizi interagiscono con gli elementi naturali, definendo un nuovo paesaggio urbano dove i limiti tra naturale e artificiale svaniscono. Chiaramente in questo caso il livello sociale è piuttosto semplice e riducibile ad uno schema "rappresentativo" e metaforico, che lega l'importanza del contenuto con la sua dimensione.

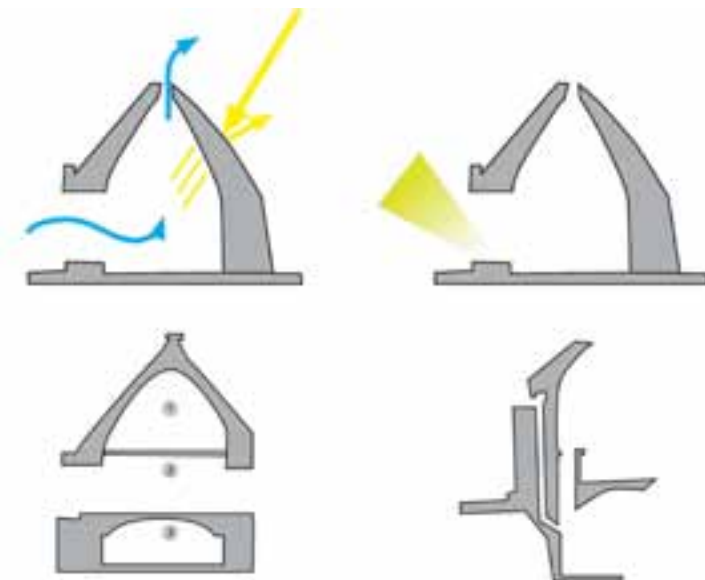
Un altro caso vernacolare molto interessante è costituito dagli insediamenti dei Trulli in Puglia, comunità che, dal punto di vista antropologico-culturale, risultano essere compatte, omogenee e poverissime, legate per lo più a tecnologie arcaiche.

A differenza dell'insediamento di Ba-ila, non abbiamo una struttura gerarchica priva di dislivelli economici o sociali tali da favorire un'evidente differenziazione delle unità abitative: contadini, pastori e pescatori si raggruppavano in forme di collaborazione collettiva che compartivano anche una stessa pratica architettonica. Si trattava di società emarginate ed isolate, senza alcun contatto con la tecnologia e la cultura esterna, sottoposte ad una sudditanza feudale. Ciò nonostante queste godevano di un controllo assoluto sull'ambiente e sulle proprie risorse, oltre ad essere caratterizzate

dall'assenza di una struttura giuridica ed ecclesiastica. Questa chiusura favorì lo sviluppo di un'architettura basata su esperienze tradizionali prive da qualsiasi contatto esterno: in tal modo si determinarono architetture basate sulla ripetizione di unità con pseudo-cupola, secondo principi di economia di addossamento.



31. Trulli, Puglia proliferazione di unità abitative



32. Sezione verticale funzionale di un trullo

nella sezione verticale di un trullo si possono distinguere: soppalco usato come deposito; trullo con alcova; cisterna di acqua piovana. A destra particolare della cisterna con immissione e attingimento dell'acqua.

Dal punto di vista architettonico nella sezione verticale funzionale di un trullo si possono distinguere: soppalco in legno usato per deposito dei prodotti agricoli per uso familiare; trullo con alcova; cisterna di acqua piovana. La massa, in muratura a secco, assorbendo di giorno il calore del sole e restituendolo di notte, è in grado di regolare termicamente il microclima interno al manufatto, riducendo di molti gradi la temperatura interna rispetto all'esterno.

È possibile distinguere, all'interno di questo fenomeno, due diverse tipologie: la casa di campagna isolata che cresceva per addizione di cellule attorno l'elemento più antico o intorno alla corte, ed il caso urbano di Alberobello.

In quest'ultimo caso si definirono autonomamente i parametri di una geometria spontanea, il sistema stradale, la proliferazione di unità addossate lungo le vie, la distanza tra le abitazioni. Le unità, seppur aggregate, rivendicavano la loro indipendenza, anche attraverso la manifestazione delle cupole, che cambiavano dimensione a seconda dello spazio coperto e segnavano *"i caratteri distintivi di ogni famiglia rispetto alle altre"*.⁷⁵

Concludendo, è possibile affermare come gli insediamenti con i trulli manifestino l'emergere di un pattern che non solo segue semplici regole di raggruppamento (simili a quelle delle gocce d'acqua) ma esplicita anche una coerenza tra la costruzione e la tipologia a cupola.

Il livello sociale costituito da informalità ed orizzontalità è perfettamente esplicitato da questa geometria spontanea ed elastica: il livello organizzativo interagisce con il livello precedente promuovendo *privacy* e, allo stesso modo, una stretta interazione tra le varie unità. Da un punto di vista estetico emerge un'estetica della ridondanza, della ripetizione e della variazione: si percepiscono unità come appartenenti alla stessa famiglia ma diverse tra loro. Da un punto di vista tecnico, c'è un uso minimo d'energie ed un comportamento climatico in simbiosi con l'ambiente; si usano materiali del luogo e tecniche tradizionali. Il pattern di aggregazione di cupole, rafforzato dall'uso della pietra, riesce ad integrare al meglio l'estetica, la tecnica e le condizioni ambientali.

Chiaramente non sono situazioni abitative che rispecchiano gli attuali livelli di *comfort*, ma ciò su cui occorre insistere è l'intelligenza del sistema definito dai trulli, ossia un'intelligenza collettiva informale e priva di normative, frutto di tempo e di continue interazioni con l'uomo. Si tratta quindi di un processo lento e privo di contatti con l'esterno, che determina e perfeziona un sistema molto complesso.

Prendendo in considerazione l'architettura moderna o contemporanea, potremmo riportare gli esempi già citati nella sezione II in merito alla tendenza principale dei pattern che li contraddistinguono. Quindi, sebbene questi esempi fossero raggruppati all'interno di categorie dove emergeva una proprietà del pattern o un livello di progetto (come ad esempio l'estetica o la struttura), i pattern integravano più livelli insieme, ovvero il pattern era allo stesso tempo estetica, struttura, tecnologia, comunicazione, etc.

Ad esempio si è visto, nel capitolo sulle strutture, come un pattern strutturale possa integrare luce, estetica di una facciata esterna o gli interni di uno spazio. Nel capitolo sui pattern spaziali estendibili si è preso in considerazione il punto di vista organizzativo del progetto, esaminando come le unità funzionali possano essere disposte secondo un pattern che incrementa l'interazione tra gli utenti o che più semplicemente simbolizza una nuova concezione dell'individuo: in questo caso il pattern sintetizza il livello sociale con quello organizzativo, estetico e culturale. Nell'ambito del Technopattern, il pattern è stato studiato sotto un profilo principalmente tecnico, osservando come la tecnica privilegi la facciata, diventando un pretesto per integrare l'estetica dell'edificio, il suo rapporto con l'ambiente e per proclamare una cultura "sostenibile".

E' evidente come sia molto raro e difficile trovare un progetto che riesca ad integrare al suo interno tutti i livelli esogeni ed endogeni senza perdere consistenza e coerenza, e questo perché in un progetto ci sono infinite variabili, oltre che indeterminazione ed imprevedibilità. Il pattern potrebbe essere un valido aiuto per integrare i diversi livelli: ovviamente meno variabili ci sono e più facile sarà l'integrazione; quanto più lungo sarà il processo d'integrazione quante più possibilità ci saranno di agire sul sistema architettonico per trasformarlo e migliorarlo. L'architettura vernacolare o informale raggiunge più facilmente alti livelli d'integrazione, sia perché le variabili sono minori sia considerando che essa è il frutto di un lento processo di perfezionamento, nel quale gli attori del progetto intervengono costantemente.

Per questa ragione si vogliono ora illustrare dei tentativi finalizzati a spiegare un metodo d'integrazione per livelli che separa e semplifica i componenti del progetto, per poi integrarli in un processo responsivo di trasformazione continua. In questi esempi si inizia generalmente con il processo di formazione di un pattern che emerge dal luogo e che viene poi deformato dall'applicazione nei diversi livelli di progetto.

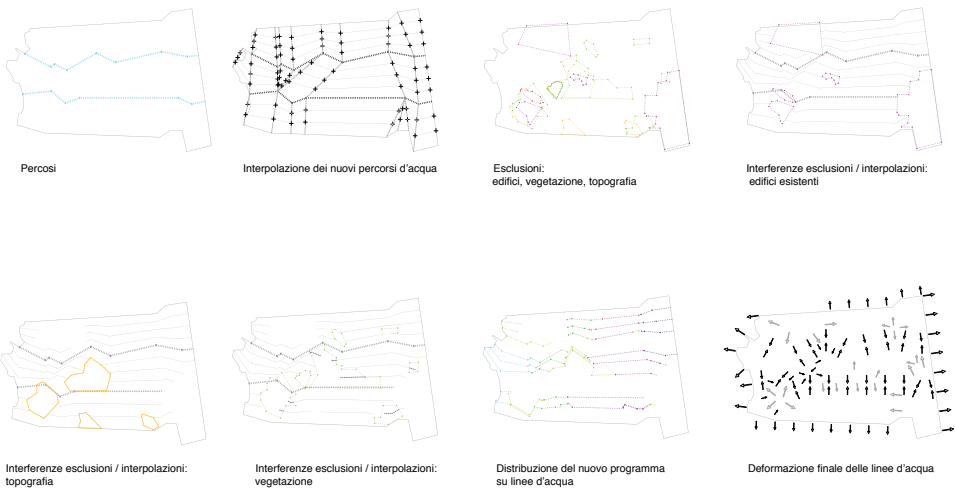
Si mostrerà in particolare il progetto *Eco-bundling* (2009), un progetto di External Reference Architects già esaminato nel capitolo precedente in

merito al rapporto tra la dimensione astratta e quella pratica del progetto, proposto in questa sede per affrontare il tema della retro-attivazione. Questo progetto viene quindi analizzato esaminando l'aspetto concernente l'interazione tra livelli.

Invece di una legge geometrica deterministica, si va strutturando un pattern che cresce durante il processo e che ha la forza di un sistema di relazioni variabili, di un tessuto flessibile che si adatta. Si tratta di un pattern che permette una coerenza formale e che si mostra abile a controllare il progetto nella totalità ma anche nelle singolarità.

Livello del contesto

Dalle caratteristiche del luogo e da due fattori in particolare, quali la necessità di rinforzare il sistema di drenaggio e di promuovere l'orientamento delle case verso sud, emerge un pattern insediativo. Dall'interpolazione dei due canali esistenti si ottiene quindi un primo pattern embrionale: questo pattern a strisce è responsivo, si deforma cioè al considerare altri aspetti del contesto fisico, quali edifici esistenti, topografie ripide, vegetazione.



33. External Reference, Eco-bundling a Jarvenpaa, Finlandia, 2009

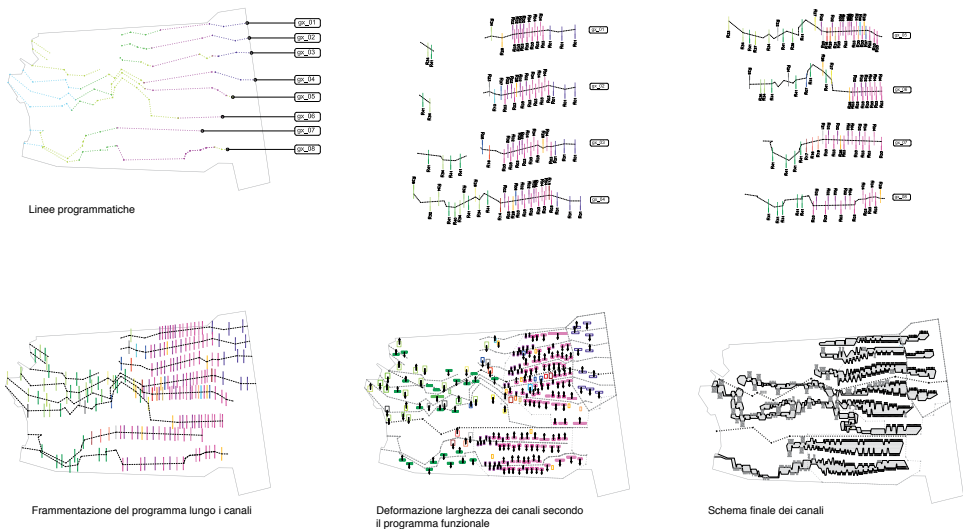
il pattern di insediamento finale si definisce attraverso un processo di adattamento che tiene in considerazione: canali, vegetazione, topografia, costruzioni esistenti, sistema programmatico.

Livello organizzativo

Il livello organizzativo tiene conto del programma funzionale e delle normative inerenti le distanze, la densità, etc. Si comincia a distribuire il programma su otto linee, spaziando le unità abitative, gli spazi d’ozio, di sport, quelli dedicati alla cultura, etc.: tutte le attività legate alla natura (pesca, ippica, *birdwatching*) prendono ad esempio posto nell’area prossima al lago. Si stabilisce inoltre di lasciare degli spazi liberi che potranno essere poi programmati nel tempo. A seconda del programma funzionale, le linee si continuano a deformare in direzione trasversale, cominciando a prendere spessore a seconda del programma funzionale.

In tal modo si crea un sistema di lagune longitudinali, come diretta conseguenza del contesto e del livello organizzativo, in modo da definire esattamente la relazione con gli oggetti architettonici.

Sempre rimanendo nel livello organizzativo, le connessioni pedonali, ciclabili, acquatiche e veicolari modificheranno leggermente il pattern attuale o introdurranno un nuovo ordine, come nel caso dei piccoli pontili che attraversano i canali. Il sistema stradale segue la configurazione dei canali: in questo modo la sua forma promuove un traffico a bassa velocità.



34. External Reference, Eco-bundling a Jarvenpaa, Finlandia, 2009

una volta definite le linee programmatiche queste subiscono una deformazione a seconda del complesso normativo-funzionale.

Su questa struttura prendono forma le diverse tipologie edilizie. La scala architettonica acquista una forte relazione con il paesaggio e occupa due aree a diversa densità, la Amin e la Amid. Il sistema di generazione degli elementi architettonici ammette la formazione di diverse tipologie e, allo stesso tempo, coerenza formale: l'architettura è pensata per mettere la gente in stretta relazione con la natura ed il paesaggio, promuovendo uno stile di vita confortevole, sicuro e libero.

Il *masterplan* prevede quattro tipi di alloggio (la casa blocco, la casa terrazza, la casa familiare e la casa singola), situati tenendo conto dei requisiti della linea guida.

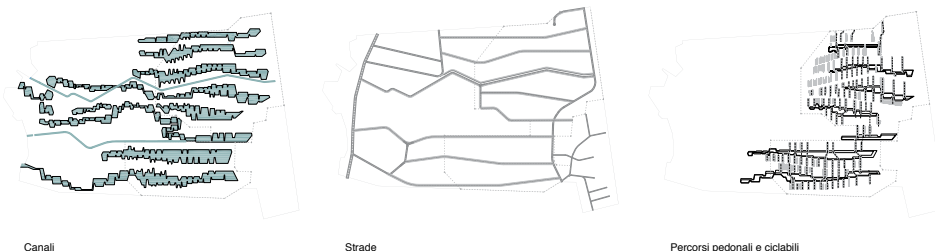
Livello Tecnico

Mentre si sviluppano i livelli del contesto e dell'organizzazione si passa a prendere in considerazione anche l'aspetto tecnico.

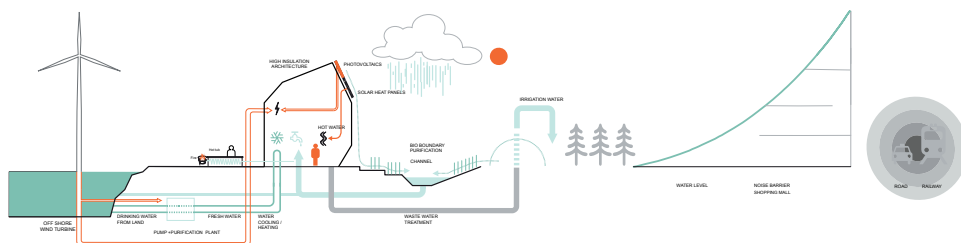
Gli otto fiordi sono concepiti non solo come parte del paesaggio naturale ma anche come un eco-sistema ingegnerizzato: il complesso viene pensato come energeticamente indipendente dalle risorse esterne. Infatti l'uso delle risorse naturali disponibili, quali vento, acqua e sole, fanno sì che quest'area residenziale produca la stessa quantità dell'energia consumata.

Inoltre, osservando più in dettaglio le lagune, è possibile rendersi conto come esse generino una sorta di terrazzamenti acquatici, determinando una progressiva approssimazione dell'architettura alla natura ed introducendo un sistema di purificazione biologica con l'alternanza di vegetazione e sistemi di ossigenazione dell'acqua. Tutto il progetto viene pensato come un sistema di raccolta, riuso, trattamento e drenaggio dell'acqua.

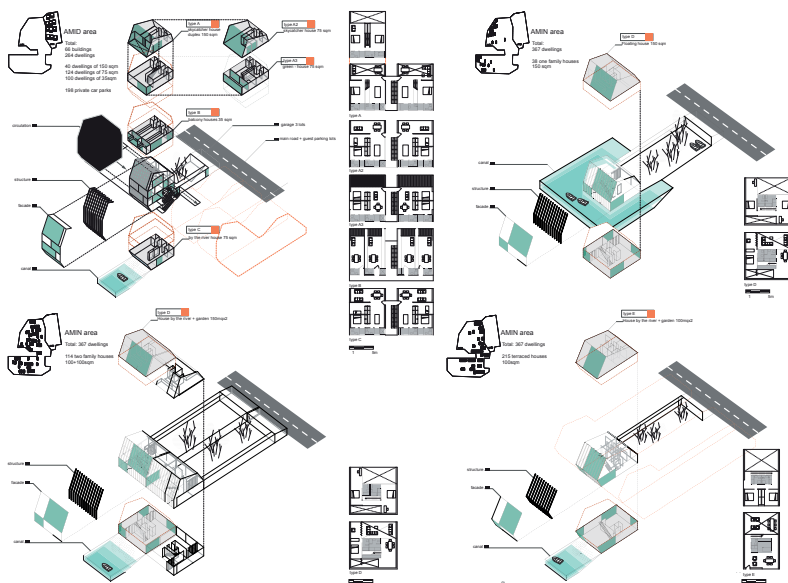
Infine l'edificio commerciale adiacente all'asse di comunicazione principale funziona come un cuscino acustico che protegge l'area dai rumori stradali.



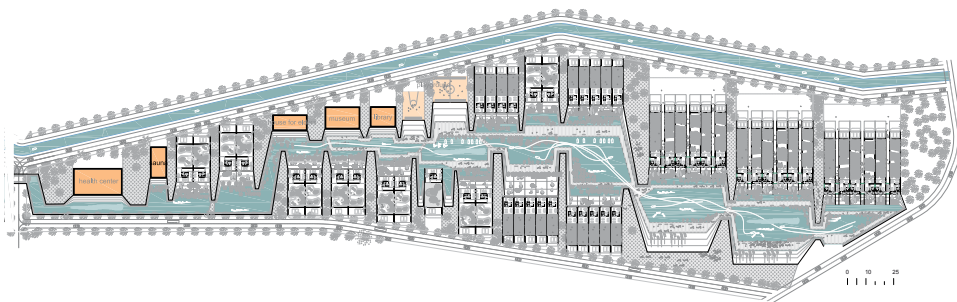
35. External Reference, Eco-bundling a Jarvenpaa, Finlandia, 2009
sistema di comunicazione canali, strade, percorsi pedonali e ciclabili.



36. External Reference, Eco-bundling a Jarvenpaa, Finlandia, 2009
diagramma sull'utilizzo delle risorse energetiche rinnovabili.



37. External Reference, Eco-bundling a Jarvenpaa, Finlandia, 2009
le quattro tipologie abitative hanno una relazione singolare con il contesto.



38. External Reference, Eco-bundling a Jarvenpaa, Finlandia, 2009
un canale tipo.

Livello estetico

Il livello estetico è sempre presente in ogni fase del progetto. Il valore artistico del progetto è basato sulla ripetizione, sulla variazione degli elementi lineari, sulla vibrazione delle unità raggruppate e messe in relazione con il paesaggio. Lo zig-zag dell'acqua ricuce le architetture e potenzia la linearità verso il lago, producendo un affetto di differenziazione lineale. Le parti più architettoniche ripetono lo stesso codice formale delle lagune, con i profili squadrati e le linee divergenti: a queste si aggiunge, in corrispondenza della distribuzione delle aperture, una componente a scacchiera.

Integrazione dei livelli

Queste strisce lagunari, ritagliate dal terreno fino a raggiungere la vicina falda freatica, creano un sistema acquatico che tratta e raccoglie l'acqua pluviale proveniente dai tetti e dalle corti. La costruzione urbana di questo complesso è il risultato della combinazione di queste unità-striscia differenziate dal programma, che tessono un corpo nel quale interagiscono l'architettura, le infrastrutture, il trattamento ed il drenaggio dell'acqua. La logica del movimento dell'acqua crea e cambia, per gravità, la topografia esistente, dalla scala cellulare a quella generale.

Il sistema di lagune rappresenta molteplici aspetti del progetto: il paesaggio, i corsi d'acqua, le piattaforme per lo sport, il sistema di drenaggio, l'ozio, la struttura d'insediamento delle abitazioni, il loro rapporto con l'ambiente, il sistema di purificazione passiva dell'acqua. Queste strisce d'acqua funzionano anche come elemento di separazione tra il lotto delle abitazioni ed il sistema di traffico.

È un processo nel quale la geometria aiuta a far interagire i livelli del progetto in senso fisico, sociale e fisico-sociale nei tre sensi cronotopici:

1. interazioni oggetto-oggetto: interazione tra acqua, terra e architettura;
2. interazioni soggetto-soggetto: avvengono quando s'incrociano punti di vista diversi, nella differenziazione tra spazio privato delle abitazioni, pubblico delle piazze e spazio semiprivato delle terrazze vegetali,
3. interazioni tra soggetto-oggetto: nei percorsi pedonali che interpretano la geometria delle lagune per poi attraversarle.

L'architettura genera dei limiti, delle condizioni fisiche che hanno notevoli ripercussioni sul comportamento sociale: il progetto deve quindi trovare

il modo di strutturare il livello sociale privilegiando l'interazione delle persone sia tra di loro che con l'architettura.

Bisogna ricordare che, se in questo capitolo abbiamo spiegato i diversi livelli del progetto che devono entrare in interazione attraverso il pattern, non abbiamo tuttavia spiegato come avviene quest'interazione. Il processo, ricordiamo, non è lineare: mentre stiamo sviluppando il livello organizzativo stiamo verificando il livello tecnico o quello estetico.

Integrare più aspetti del progetto avviene quindi tramite un processo retroattivo, nel quale ogni livello modifica progressivamente il pattern di partenza. Il pattern aiuta quindi a mantenere relazioni tra questi livelli, provvedendo una correlazione nella quale la variazione di uno influenzerà il sistema-progetto come totalità.

2.3 RETROAZIONE DINAMICA

Pur avendo illustrato la capacità del pattern di far interagire più livelli del progetto, ed avendolo mostrato un livello dopo l'altro (spiegandoli in maniera quasi consequenziale), i processi che si vanno strutturando all'interno del progetto non sono disposti linearmente, ma sono collegati come all'interno di una rete. Gli *output* di un processo influenzeranno più processi.

Il processo retroattivo è fondamentale nel momento d'interazione tra pattern distinti, perché ogni pattern si modifica nell'interazione con l'altro e viceversa. In architettura il processo progettuale è retroattivo e non lineare: non c'è una sequenzialità direzionale delle operazioni progettuali, né tantomeno c'è una linearità nella fruizione dell'architettura o nella relazione tra gli elementi architettonici.

La retroazione permette di migliorare il sistema architettonico. Con ciò non si intende solamente un'esperienza, che l'architetto coltiva apprendendo dagli errori e dagli studi che si evolvono nel suo percorso professionale, né tantomeno si intendono le trasformazioni di edifici che, in tempi dilatati, si trasformano per un cambiamento d'uso, religioso, politico, storico.

Proviamo invece a ridurre la retroazione al tempo in cui si sviluppa un determinato progetto. Il progettista opera secondo una serie di operazioni iterative, che retro-alimentano un processo che si va avvicinando verso quello che sarà il progetto finale. Se si considera un lotto nel quale progettare un edificio, si cominceranno a considerare i limiti costruibili; poi, dentro questi limiti, si valuteranno i punti di acceso e la loro relazione

con il programma, ossia come l'edificio si relazionerà con il contesto (sole, vento, edifici circostanti). Allo stesso tempo il programma viene sviluppato e relazionato alla circolazione, mentre già si pensa all'involucro esterno in termini volumetrici, nelle aperture e nei materiali. Ogni tentativo è comprovato tecnicamente e sottoposto a limiti normativi ed economici: è inoltre pensato per accogliere la vita umana, e quindi il suo modo di comunicare, gli spazi comuni, i luoghi intimi. Ci sono aspetti, come quello culturale, che a volte sono impliciti nello stesso processo progettuale.

Tutti gli elementi e le operazioni costituenti un progetto, anche se appaiono descritti come in una lista, non possono seguire un ordine lineare. Ciascun elemento descritto è parte del progetto ed ogni parte interagisce con l'altra, in modo che la trasformazione di un elemento produce un diretto cambiamento negli altri: ogni livello è indissolubilmente legato agli altri. Infatti in un sistema complesso ogni processo ha più entrate e più uscite, ovvero influenza e si lascia influenzare da più processi.

Entrando ancora di più nel dettaglio, ogni livello del progetto va testato nella sua relazione con gli altri in un processo retroattivo: si proveranno quindi ad analizzare i fenomeni di *feedback* a diverse scale di progetto.

F. Capra enuncia il concetto di *feedback* o retroazione, rifacendosi alla cibernetica.

Un *feedback loop*, o anello di retroazione, è una disposizione circolare di elementi connessi causalmente, in cui una causa iniziale si propaga lungo le connessioni dell'anello, così che ogni elemento agisce sul successivo finché l'ultimo propaga di nuovo l'effetto al primo elemento del ciclo. La conseguenza di questa disposizione è che la prima connessione (input) subisce l'effetto dell'ultima (output), il che dà come risultato l'autoregolazione dell'intero sistema, dato che l'effetto iniziale viene modificato ogni volta che esso compie l'intero ciclo.⁷⁶

Si possono quindi immaginare una serie di processi dove ogni processo influenza il successivo e dove ogni processo si lascia influenzare dal precedente.

Possiamo distinguere due diversi tipi di *feedback*: *feedback* positivo e *feedback* negativo. Nel *feedback* positivo ogni output stimola un processo precedente, lo modifica ma lo influenza positivamente, ovvero rafforza la sequenza. Nel *feedback* negativo l'output di un processo posteriore inibisce il funzionamento di un processo anteriore, e ha quindi un effetto negativo: un *feedback* negativo di un progetto può determinare un completo cambiamento rispetto alle decisioni prese all'inizio.⁷⁷

In figura, il processo H può generare un output che ha un effetto negativo

su A, portando perfino alla ridefinizione dello stesso processo A.

Grande scala

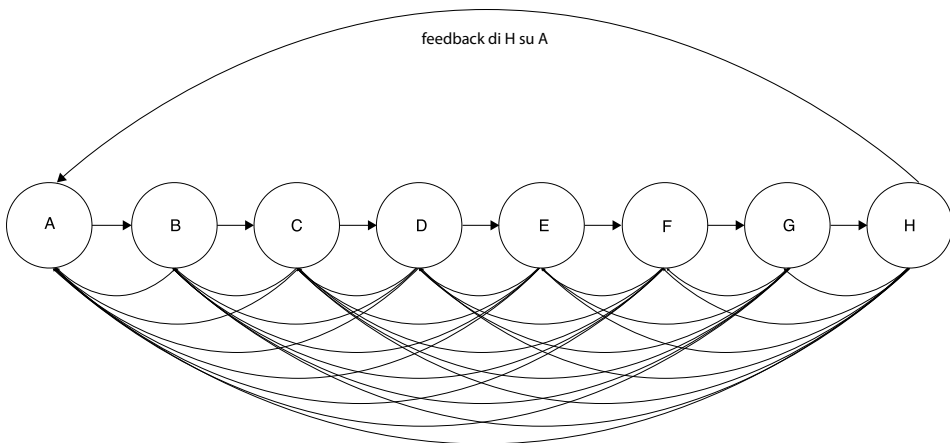
Immaginiamo, ad esempio, un progetto a scala urbana e, per semplicità, riduciamo la complessità del progetto individuando solo quattro fondamentali livelli dell'operazione:

1. un pattern che definisce la relazione con il contesto;
2. un pattern che instaura una definizione programmatica;
3. un pattern che definisce l'architettura;
4. un pattern di circolazione.

Questi quattro livelli si trovano all'interno di un processo retroattivo, nel senso che ogni livello influenza e trasforma l'altro in un processo non lineare. Il contesto influenza il programma e l'architettura; questi ultimi due influenzano la circolazione che a sua volta influenzerà architettura e programma: gli effetti degli ultimi tre si propagheranno indietro, sul pattern del contesto.

Cambierà quindi il pattern sul contesto e cambieranno conseguentemente anche gli altri livelli e così via, fino a quando si arriverà ad una configurazione di equilibrio. Ogni trasformazione su un livello comporterà necessariamente cambiamenti sugli altri.

Intendiamo pertanto il progetto come una struttura elastica e reattiva, in



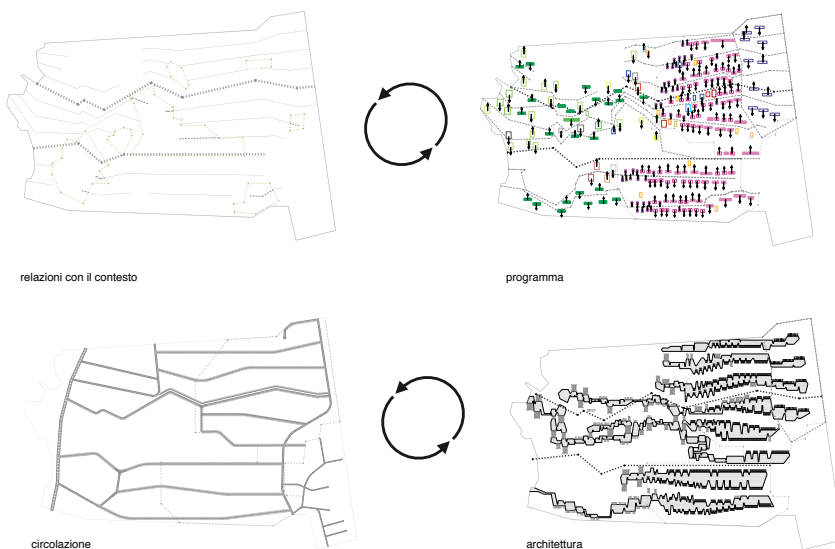
39. Feedback o retroazione
ogni processo influenza il successivo e si lascia influenzare dal precedente.

cui i livelli architettonici sono disposti in pattern non lineari e sottoposti ad operazioni retroattive.

Il progetto *Eco-bundling*, già esaminato nei capitoli precedenti, costituisce un esempio di attivazione di meccanismi di retroazione. Ogni qual volta si definiva un livello, questo influenzava il successivo che a sua volta veniva deformato dai suoi output: questo fenomeno non avveniva solo in maniera sequenziale, poiché anche l'ultimo livello poteva modificare il primo. Quando alla fine di un processo iterativo sul contesto (considerando i canali di drenaggio, l'ambiente naturale e gli edifici esistenti) si arrivavano a definire le linee di attuazione, queste rappresentavano la base per inserire il programma. Ma le necessità del programma portano inevitabilmente a deformare le linee del contesto e così via.

Può anche succedere che il sistema di circolazione generi un *feedback* negativo, che non sia cioè compatibile con le premesse del primo processo: in questo caso occorre ripensare il processo di lettura in relazione con il contesto.

Le operazioni del progetto si attuano quindi secondo svariati campi di possibilità: ogni intervento è non definitivo, instabile, non continuo ed imprevedibile.



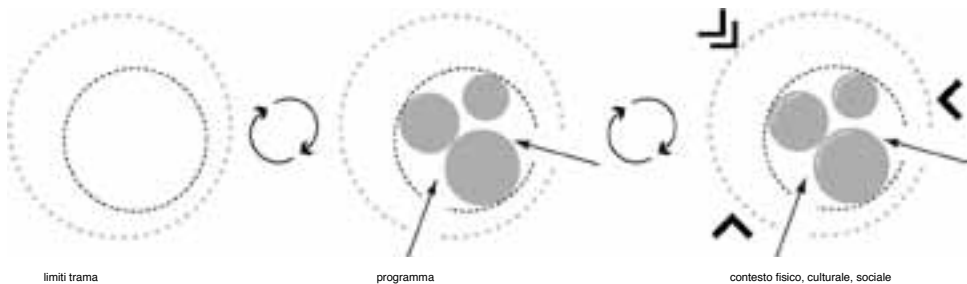
40. Processo retroattivo grande scala

I livelli del progetto sono collegati retroattivamente. Ogni livello provoca cambiamenti sul successivo che a sua volta influenza quello precedente.

Scala media

Considerando ad esempio un lotto dove progettare un edificio, si comincerà con la definizione dei limiti normativi, all'interno dei quali si considereranno poi gli accessi, il modo in cui l'edificio si relazionerà con il contesto fisico (sole, vento, visuali, edifici esistenti) ed il modo in cui interagirà con il contesto sociale e culturale. Si svilupperanno quindi flussi di circolazione ed un programma funzionale, pensando a come integrare questi elementi all'interno di una volumetria e come questi incideranno nella permeabilità della pelle e nella scelta dei materiali. Ogni prova sarà comprovata tecnicamente ed economicamente e pensata per accogliere la vita dell'uomo: questo rende necessario immedesimarsi negli utenti, per capire come la gente possa interagire nella produzione di un determinato spazio, che sia intimo, semiprivato, pubblico o comunicativo con l'esterno. Tutto questo processo è quindi marcato da un rapporto dialogico con il cliente che diventa parte attiva del processo.

Questo insieme di operazioni non segue un ordine lineare: ogni processo descritto è parte del progetto e ogni parte interagisce con l'altra in modo che la trasformazione di un elemento produce cambiamenti negli altri.



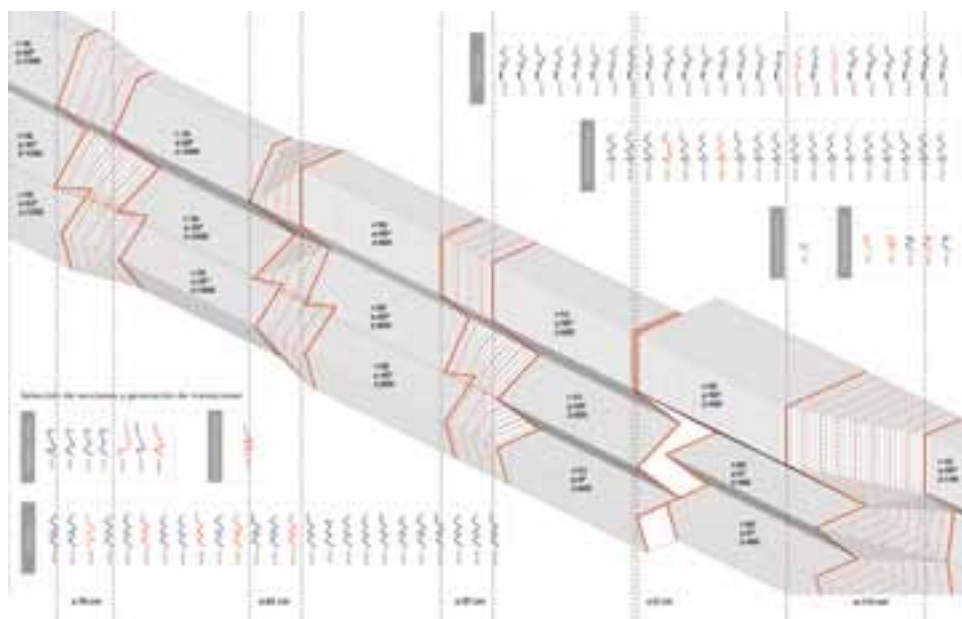
41. Processo retroattivo della scala media

Piccola scala

In un progetto di scala ridotta si considereranno elementi più specifici e di dettaglio.

In questa dimensione di progetto le variabili si riducono e con esse la complessità strutturale organizzativa e di programma. Spesso è possibile riassumere all'interno di un solo pattern tutte le componenti del progetto: la circolazione, la distribuzione funzionale, l'illuminazione, la dimensione materiale. Questo pattern nascerà quindi da un processo retroattivo nel quale ognuno di questi livelli modificherà ed interpreterà il pattern in maniera diversa.

Si consideri ad esempio il progetto di una libreria e si immagini di costruire un pattern composto da un'accumulazione di sezioni. Queste sezioni dovranno essere in grado di esporre i libri in tutti i modi possibili, dovranno rispondere alle diverse funzioni del negozio, dovranno permettere una circolazione fluida ed integrare l'illuminazione.



42. External Reference, Ras gallery, Barcellona, 2011

la reiterazione di sezioni diverse e specializzate genera un sistema di esposizione continuo.

2.4 PATTERN VS. GEOMETRIA

Abbiamo visto come il pattern sintetizzi le relazioni tra astrazione e pratica, relazioni che passano attraverso la geometria. In particolare sono stati distinti due approcci: in un caso l'astrazione anticipa la pratica e c'è quindi una geometria a priori che precede il progetto, nel secondo caso la geometria si scopre durante il processo. In entrambi i casi il progetto possiede un fondamento geometrico e fa uso di una geometria ugualmente elastica e responsiva.

In un processo sistemico vengono definite determinate impalcature geometriche che interagiscono con la tecnica e la conoscenza di altre discipline (quali urbanismo, ingegneria, architettura, sostenibilità), facilitando il cambiamento di scala. Queste impalcature permettono di gestire gli elementi costitutivi dell'organismo progettuale, dalla scala territoriale a quella urbana, fino a procurare la relazione tra architettura e uomo. Si comincia, ad esempio, da unità cellulari, ovoidi o strisce, lavorando sulla loro ripetizione, riduzione, fusione o frammentazione: nella declinazione di questo lento processo di adattamento, di questa proto-struttura geometrica che possiede determinate leggi interne d'organizzazione, si cercano di risolvere i diversi parametri del progetto.

In questo processo si necessita solitamente dell'ausilio di geometrie complesse e robuste (come i frattali) che, sebbene soggette a modifiche, riescono a mantenere il loro ordine interno. Ciò permette di trasformare elementi e parti del progetto senza che il sistema collassi, senza cambiare la natura del progetto e conservandone il pattern.

La relazione tra architettura e matematica è stata mostrata già nella parte iniziale della prima sezione.

Per Capra il pattern è la configurazione che rappresenta le relazioni che si instaurano tra le parti di un sistema. Ma come si rappresentano queste configurazioni?

In architettura queste configurazioni grafiche hanno un carattere geometrico. L'architettura è fisicità e l'architetto, nel momento di trasformare un'idea in materia, lo fa traducendo concetti in forme, che devono passare attraverso un filtro geometrico.

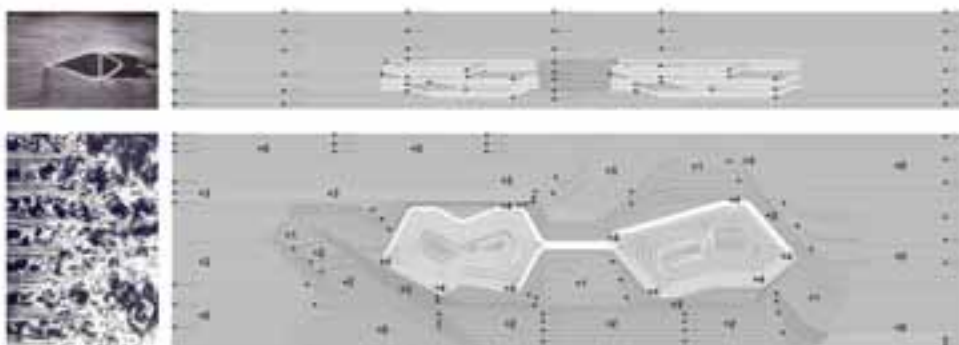
Specialmente con le geometrie del ventesimo secolo, che si nutrono facilmente della computazione, è possibile superare il concetto di rappresentazione introducendo l'informazione nel disegno. La rappresentazione, in architettura, è una codificazione grafica e simbolica

necessaria ad interpretare gli spazi, le funzioni o l'aspetto costruttivo di un'opera. Nelle proiezioni ortogonali, due linee rappresentano, ad esempio, la sezione di una parete o anche la proiezione di un pilastro, a seconda del loro spessore o colore. In un intorno sistemico occorrono non codificazioni simboliche ma geometrie flessibili capaci di tessere relazioni, di incorporare significati, di visualizzare pattern.

Quindi certe geometrie non sono solo rappresentazioni di aspetti architettonici, ma contengono anche altre informazioni, che sono appunto le relazioni che s'instaurano tra i diversi livelli del progetto. Nel progetto dell'*Aerospace* di Tolosa, eseguito da Foreign Office Architects in collaborazione con External Reference, la configurazione geometrica degli edifici in pianta e in alzato non rappresenta solo la loro configurazione formale ma anche la distribuzione della pressione d'aria sull'edificio. Per ridurre i forti flussi aerostatici sulle facciate e generare ambiti a bassa pressione, si è studiata la topografia delle pressioni, che coincide con la topografia architettonica dell'edificio.

I nuovi strumenti digitali, insieme alle geometrie del ventesimo secolo, sono dispositivi in grado di articolare le relazioni all'interno del progetto secondo un processo dal basso, non a priori. Basta guardare le schermate del *grasshopper* per capire come sia possibile passare dalla rappresentazione simbolica alla rappresentazione di relazioni e di processi.

Questo programma permette, ad esempio, di generare algoritmi su una base grafica, senza la necessità di conoscere linguaggi di programmazione: ciò significa che parti del progetto possono essere sistematizzate sotto strutture grafiche relazionali.



43. Foreign Office Architects - External Reference, Aerospace, Toulouse, 2007

la distribuzione della pressione d'aria sugli edifici coincide con la loro configurazione in pianta e in alzato.

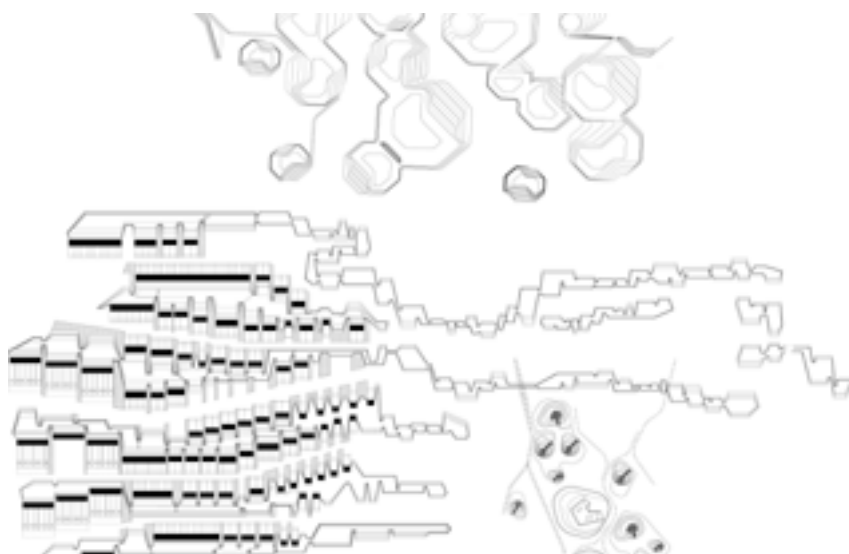
Questi strumenti, insieme alle geometrie frattali e computazionali, rappresentano la base matematica per la progettazione parametrica. Questa inscindibilità tra geometria computazionale e progetto parametrico, spesso sottovalutata, fa parte di un tessuto strumentale utile alla generazione di una nuova famiglia di pattern. La geometria, quando diventa pattern, è qualcosa che trascende la semplice definizione formale, ma contiene processi di adattamento o di interazione tra i diversi livelli architettonici.

Se è vero che il pattern aiuta ad integrare più livelli di progetto è anche vero che il computer permette di elaborare simultaneamente i parametri che definiscono questi livelli. Il computer è quindi un dispositivo che, superata questa prima fase di immaturità, permette lo sviluppo di sistemi sempre più complessi, sofisticati e completi.

Prima di concludere questo capitolo è però necessario chiarire la relazione tra pattern e geometria.

Il pattern nella sua dimensione astratta è un dispositivo geometrico: ma cosa aggiunge il pattern alla geometria?

Il pattern aggiunge l'interpretazione e la relazione tra le parti, quella potenzialità creativa che aggiunge informazione allo strumento geometrico, che vede in un cerchio un elemento verde o una sorgente luminosa, che mette in relazione un sistema di comunicazione con gli oggetti architettonici, etc.



44. External Reference, confronto tra i pattern di tre progetti a grande scala

3. VERSO UN OLISMO ARCHITETTONICO

Le organizzazioni umane contengono sempre sia strutture progettate, che strutture emergenti.

Le strutture progettate sono le strutture formali dell'organizzazione, come descritte nei documenti ufficiali. Le strutture emergenti sono create dalle reti informali dell'organizzazione e dalle comunità praticanti.

I due tipi di strutture sono molto diversi, come abbiamo visto, ed ogni organizzazione ha bisogno di entrambi.⁷⁸

Un progetto sistemico produce “proprietà emergenti” che compaiono ad un determinato livello di complessità e non ai livelli inferiori.⁷⁹

In termini astratti, la teoria emergente asserisce che ci sono certi interi, le cui parti, poniamo, A, B, C, sono in relazione R l'un con l'altro; che tutti gli interi le cui parti sono dello stesso tipo di A, B e C in relazioni reciproche dello stesso tipo di R hanno certe proprietà caratteristiche; che A, B, C possono occorrere in altri tipi di agglomerato in cui la relazione non è dello stesso tipo di R; e che le proprietà caratteristiche dell'intero R (A, B, C) non possono, nemmeno in teoria, essere dedotte dalla conoscenza più completa delle proprietà di A, B e C isolati o in altri interi che non siano della forma R (A, B, C).⁸⁰

Così come il sapore dello zucchero non è presente nei suoi costituenti ma solo nella loro sintesi, anche nell'architettura l'interazione tra i suoi livelli produce proprietà e pattern imprevedibili: facendo interagire le condizionanti di un contesto fisico, le caratteristiche culturali, la parte sociale, un sistema costruttivo ed una configurazione organizzativa, emergerà un sistema nuovo che sarà diverso da ognuno dei suoi componenti e allo stesso tempo sarà relazionato ad essi. In architettura è estremamente complicato riuscire a scindere i diversi livelli costitutivi, dal momento che essi non sono isolati: in un progetto sistemico la totalità è sempre maggiore della semplice somma delle sue parti.

A volte ciò che emerge è un pattern.

Quando, ad esempio, si ripete più volte uno stesso elemento, può emergere un ordine che non era previsto. La quantità è una caratteristica della ripetizione, una caratteristica fondamentale per affermare le intenzioni del progetto ma, allo stesso tempo, necessaria per registrarne le differenze. Quando si ripete un elemento molteplici volte, si sta affermando un nuovo ordine che non appartiene all'elemento stesso ma alla sottile relazione che emerge nella ripetizione e nella quantità. Da una caratteristica quantitativa

emerge quindi una proprietà qualitativa: la quantità diventa pattern.

Nella *Zollverein School* di SANAA, inaugurata il 31 luglio 2006 ad Essen (Germania), la ripetizione dell'elemento quadrato come apertura trasforma l'idea di finestra in un pattern ripetitivo che fornisce coerenza alla facciata. La coerenza si fonda sulla quantità, producendo un tessuto di perforazioni quadrate di diversa dimensione.

Una caratteristica che emerge dalla ripetizione di elementi simili ma con dimensioni che cambiano progressivamente, è l'auto-similarità, ovvero



45. SANAA, Zollverein school, Essen, Germania, 2005

quando una porzione del progetto appare simile alla sua totalità. In questo modo il carattere di tutto l'intervento continua in diversi dettagli: ciò conferisce al progetto coerenza e permette il controllo del progetto a tutte le scale, dal generale al particolare.

A tal riguardo si prenda in considerazione l'insediamento di Musgum, Cameroon, costituito da unità circolari pseudo-cupolari che definiscono un complesso a sua volta circolare. Sebbene le unità varino di dimensione, queste seguono lo stesso principio tipologico e costruttivo, generando variazioni sullo stesso tema. Il sistema costruttivo prevede l'impiego di fango e segue una sezione ad arco uguale a quella formata da una catenaria, capace quindi di sopportare al meglio i carichi statici con il minimo uso di materiale. La sommità di queste unità è lasciata aperta, in modo da permettere la circolazione dell'aria calda e mantenere l'interno fresco. La superficie esterna presenta delle decorazioni scalinate che facilitano il drenaggio e che permettono di essere scalate per la manutenzione.

Svariati pattern che emergono in natura sono dovuti al flusso di aria calda che si muove dalla superficie della terra verso l'esterno, generando i vortici che producono le dune sul deserto o sull'Artico.⁸¹



46. Musgum, Cameroon

l'insediamento presenta caratteristiche autosimilari essendo costituito da unità circolari che definiscono complessi circolari.

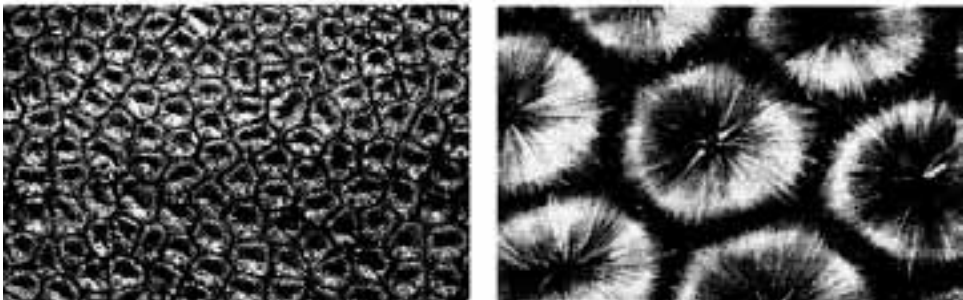
Ci sono sistemi che, allontanandosi da uno stato di equilibrio, arrivano ad un punto critico di instabilità, nel quale emerge un ordine imprevisto ed inaspettato. Questi pattern appaiono in condizioni particolari: il premio Nobel I. Prigogine descrisse per la prima volta, con la teoria sulle “strutture dissipative”, i sistemi auto-organizzati; egli ebbe inoltre l’intuizione di descrivere con le equazioni non lineari i sistemi lontani dall’equilibrio.

Prigogine studiò l’ “Instabilità di Bérnard”, un classico caso di auto-organizzazione. Il fisico H. Bérnard scoprì, all’inizio del ‘900, che un sottile strato di liquido, se riscaldato uniformemente dal basso, generava strutture ordinate. All’inizio il calore viene trasmesso per conduzione, ma, quando la differenza di temperatura tra la superficie superiore e quella inferiore raggiunge un valore critico, interviene la convezione ed emerge, sorprendentemente, un pattern esagonale. Il liquido caldo sale al centro degli esagoni, mentre quello più freddo scende lungo il loro perimetro.

L’analisi di Prigogine mostra che *“quando il sistema si allontana gradatamente dall’equilibrio (cioè da uno stato con temperatura uniforme in tutto il liquido), raggiunge un punto critico di instabilità in cui compare lo schema esagonale ordinato”*.⁸²

Essendo sistemi continuamente attraversati da energia proveniente dall’esterno, queste strutture sono chiamate dissipative. C’è una stretta relazione tra la generazione di un ordine e la dissipazione di energia: se nella termodinamica classica quest’ultima era sempre stata considerata in termini di perdita, con Prigogine diviene motivo d’ordine.

Anche l’architettura, essendo costantemente attraversata da energia che proviene dall’esterno, è una struttura dissipativa. Ma qual è, in questo caso, la relazione tra dissipazione di energia e generazione d’ordine? L’architettura



47. Ilya Prigogine, “Instabilità di Bérnard”

caso di auto-organizzazione nel quale, in un sottile strato di liquido riscaldato dal basso, emerge un pattern esagonale.

è un organismo che richiede energia per sopravvivere, per vivere e per accogliere l'uomo al suo interno: energia che proviene dall'esterno, dalla natura, ma anche da risorse artificiali. Occorre quindi capire quali sono gli scambi di energia tra l'architettura ed il mondo esterno e come sia possibile raggiungere un equilibrio proficuo per il bene ambientale.

Considerare l'architettura all'interno di un discorso olistico, significa considerarla all'interno di un insieme interconnesso che costituisce il mondo.

Più che un discorso olistico, dice Capra, dovremmo chiamarlo ecologico nella sua accezione più ampia, considerando come il termine ecologia, oltre a comprendere l'idea olistica di architettura come un'entità completa le cui parti sono interdipendenti, aggiunga la sua collocazione nell'ambiente naturale e sociale.⁸³ L'ecologia profonda non è antropocentrica, non separa l'uomo dagli altri esseri viventi e dalla natura, ma concepisce l'uomo come all'interno del sistema naturale. Solitamente siamo abituati a considerare la natura come selvaggia e separata dall'uomo, dalla sua razionalità e tecnologia; siamo portati a considerare l'attività dell'umanità come artificiale ed incompatibile con la natura. Ma cosa ha di meno artificiale il nido di una rondine, un alveare o un formicaio? Ciò non vuol dire che tutto ciò che l'uomo produce sia positivo per la natura: i problemi riguardanti la biosfera ne sono una prova schiacciante. Ma continuare a considerare l'attività umana separatamente da quella naturale contribuisce ad una postura antropocentrica ed antiecológica: una delle conseguenze di questa postura è il capitalismo che, nella sua degenerazione, sfocia nello sfruttamento delle risorse sociali (dominazione sugli altri, gerarchia) e fisiche.

Occorre quindi pensare all'architettura come parte della natura e bisogna stabilire una comprensione più ampia nella sua relazione con l'ambiente. Qual è la relazione con gli elementi fisici del suo contesto (sole, vento, territorio fisico e sociale)? Di che materiali è fatta e da dove vengono? Il suo uso che conseguenze ha sulla società?

Nella relazione tra l'architettura ed il contesto non basta infatti considerare solo il progetto del sistema costruito, ma tutto il suo ciclo di vita (*life cycle*) e l'impatto che ogni fase ha nei confronti dell'ambiente.

K. Yeang identifica tale impatto nelle seguenti quattro fasi:

produzione: il *carbon footprint* dei materiali, la loro manifattura, l'estrazione, la loro distribuzione, lo stoccaggio, il trasporto nel sito;

costruzione: gli impatti derivanti dalla costruzione e modificazione del sito;

funzionamento: mantenimento, consumo energetico, etc.;

ripristino: l'impatto dovuto alla demolizione, la preparazione al riuso, il riciclo ed i rifiuti nell'ambiente, fino alla ricolonizzazione delle specie e al ripristino del sito.⁸⁴

Secondo un'etica ecologica bisogna produrre un mutamento nell'organizzazione sociale e passare dalle gerarchie alle reti. Gli esseri viventi sono membri di comunità ecologiche in una rete di interdipendenze. Far diventare quest'approccio parte della nostra vita concorrerebbe a far emergere un sistema etico nuovo.⁸⁵ Considerando l'impatto che l'architettura ha sull'ambiente, sembra doveroso introdurre anche nell'architettura delle norme di eco-etica che riformolino il rapporto tra contesto ed architettura. Queste norme devono percorrere tutte le fasi del progetto, la selezione del sito, la concezione del progetto, le tecniche costruttive, la scelta dei materiali, la relazione con le risorse naturali (luce, acqua, energia).

4. PATTERN: RISCHI E DOMANDE

Un approccio sistemico in architettura permette di interpretare la realtà in maniera diversa e di inserire l'architettura in un ambito più esteso che superi i limiti della disciplina stessa. Concepire l'architettura come il risultato di più livelli interconnessi permette di interpretarla nella sua completezza, pensando quindi al progetto come un risultato di interazione tra estetica, tecnica, contesto e società. Pensare l'architettura come sistema, consente, sin dall'inizio, di prevedere le ripercussioni di un progetto a livello ambientale e, ad esempio, di cercare soluzioni in grado di ottimizzare le risorse rinnovabili riducendo l'impronta di carbonio.⁸⁶ Queste soluzioni avranno delle implicazioni anche estetiche, sociali, tecniche, ed ognuno di questi livelli rappresenterà una parte del progetto che interagisce e modifica il precedente in un processo retroattivo.

Non si possono tuttavia sottovalutare i rischi e i dubbi che inevitabilmente appaiono in un approccio di questo tipo, tra i quali si ricordano:

1. **Apophenia.** Il fatto che l'uomo abbia la propensione a riconoscere o utilizzare pattern, in maniera cosciente o inconsapevole, può portare a cercare connessioni là dove non ce ne siano: l'esperienza che ci porta a vedere collegamenti e pattern tra fatti casuali o insignificanti è chiamata *apophenia*.⁸⁷ Il concetto elaborato da K. Conrad per descrivere un certo tipo di psicosi può essere estesa ed usata come definizione di un atteggiamento o di una ricerca di pattern forzata ed incorretta.

2. **Non tutti i diagrammi grafici sono pattern.** Un altro rischio è la traduzione letterale di strutture grafiche in apparati architettonici. Ciò può avvenire, ad esempio, quando si confondono pattern con visualizzazioni grafiche di dati, pensando che poi queste possano tradursi formalmente in architettura. Ciò ha a che fare con un uso metaforico o simbolico di strutture grafiche, distante da una concezione sistemica del progetto.

3. **Non ci sono ricette.** Non bisogna credere che un processo fondato sui pattern sia una ricetta miracolosa per produrre progetti di qualità: siamo al contrario ancora lontani dal poter sviluppare una metodologia completa. Questo è dovuto al fatto che non siamo in grado di avere una conoscenza completa del progetto come sistema: ogni progetto meriterebbe un processo di analisi vastissimo e multidisciplinare. Sarebbe molto complicato produrre un progetto a partire da pattern che riescano a descrivere e comprendere rigorosamente un sistema.

Ciò nonostante è comunque possibile, fatte le dovute riduzioni e semplificazioni dei vari livelli, ottenere un conoscimento del progetto come sistema.

4. Pattern Vs. Decorazione. Bisogna fare attenzione a non confondere il pattern con uno strumento per produrre decorazioni o architetture alla moda. Ciò che emerge nei media è spesso un atteggiamento superficiale che usa strutture geometriche per produrre architetture alla moda o pseudo-contemporanee. Quante volte abbiamo visto il *Voronoi* nell'ambito del *design*? Ciò evidenzia la facilità con cui questi strumenti possano essere utilizzati faziosamente e come spesso coprano solo un ambito del design, quello estetico.

Ricordiamo come in questa tesi il pattern venga sempre concepito, proprio per sfuggire dai vari formalismi, come un dispositivo che promuova l'interazione tra tutti i livelli di progetto.

5. Il progetto sistemico può essere automatico? Dalle caratteristiche emerse riguardo l'uso del pattern, potrebbe trasparire un certo determinismo, come se, considerando i dati iniziali ed i livelli architettonici, il progetto ne sia una semplice conseguenza. Al contrario l'architetto entra in maniera attiva in qualsiasi momento del processo, introducendo costantemente componenti liberi o momenti aleatori che provengono dagli aspetti creativi, culturali e personali che inevitabilmente entrano nell'atto progettuale.

Né tantomeno possiamo considerare il computer responsabile di una possibile automatizzazione del processo in grado di sostituire l'architetto. Il computer è infatti un dispositivo con una struttura fissa in grado di elaborare l'informazione che riceve, interpretando, secondo alcune regole, i relativi simboli: l'elaborazione d'informazione non produce alcun cambiamento della sua struttura. Differentemente, il sistema nervoso, che non elabora l'informazione proveniente dal mondo esterno ma genera un mondo nel processo cognitivo, cambia continuamente la sua struttura attraverso l'interazione col mondo esterno.

[...] Le decisioni di un essere umano non sono mai completamente razionali ma sono sempre influenzate dalle emozioni, e il pensiero è sempre inserito all'interno delle sensazioni e dei processi corporali che concorrono a formare l'intero spettro della cognizione.⁸⁸

Non è possibile ridurre il progetto ad un numero definito e chiaro di parametri tali che il computer possa generare soluzioni contundenti, e questo proprio perché il computer non possiede un comportamento intelligente. Mentre l'intelligenza dell'uomo si basa sul senso comune, sull'esperienza, sulle emozioni, il computer non riesce a comprendere intuitivamente. Per la

stessa ragione un computer potrà riconoscere frasi e parole, potrà espandere il proprio vocabolario, ma non riuscirà a capire le convenzioni culturali e sociali nelle quali è inserito il linguaggio. Il computer, a causa della loro cecità di astrazione e delle limitazioni intrinseche nelle operazioni formali, non dispongono di senso comune: è perciò impossibile programmarli affinché siano intelligenti.⁸⁹ È per la stessa ragione che, sebbene ci sforziamo di parametrizzare il progetto trasmettendolo al computer, non sarà mai possibile uscire dal processo architettonico. Gli aspetti sociali e culturali, ad esempio, sono intrasmissibili al computer che pertanto, nonostante le sue straordinarie capacità, non è altro che uno strumento nelle mani dell'architetto.

Il progetto consiste quindi in un atto di implementazione di intuizioni iniziali, secondo un processo non lineare che contribuisce ad un progressivo perfezionamento. Solo attraverso il lavoro costante ed intenso su un'idea o su un concetto iniziale si dà consistenza al progetto e si può strutturare l'armatura sulla quale integrarne tutti i livelli.

Quindi, lontani da una concezione del mondo basata su principi di causa-effetto, occorre pensare ai progetti come "*campi di probabilità*",⁹⁰ nei quali si stabiliscono interazioni che producono un avvicinamento al risultato finale che è, appunto, l'architettura.

NOTE

¹ Si veda Kosic [1967], p. 159.

² Capra [2010], p. 94.

³ Questi temi, che possono sembrare astratti e lontani dalla pratica architettonica, saranno trattati più approfonditamente nel capitolo 2 della presente sezione (“Progetto, sistema e pattern”).

⁴ Ricoeur [2003], p. 13 (traduzione mia).

⁵ Per una spiegazione approfondita riguardo i livelli endogeni ed esogeni si rimanda ai capitoli ‘Matematica e Architettura’ (sezione I) e ‘Integrazione dei livelli’ (sezione III).

⁶ Cfr. Bakhtin [2011], p. 84.

⁷ Il cronotopo creativo fu definito da Bakhtin nel 1973, qualche mese prima di morire, nelle concluding remarks al saggio *Forms of Time and Chronotope in the Novel* all’interno del libro *The dialogical imagination*.

⁸ Bakhtin [2011], p. 254 (traduzione mia).

⁹ Questa sezione si basa principalmente su alcune opere di F. Capra in cui vengono esaminati in maniera precisa e sintetica alcuni elementi e sviluppi del pensiero sistemico: in particolare si veda Capra [2003] e Capra [2010].

¹⁰ L’idea che l’uomo sia al di sopra del mondo naturale è causa dei problemi ecologici che viviamo attualmente. Affermare che l’uomo e la sua produzione artificiale è parte della natura, non significa che tutto ciò che fa l’uomo sia positivo per essa: più di una prova dimostra esattamente il contrario. Tuttavia pensare all’attività dell’uomo come scollegata dal mondo naturale elimina la possibilità di costruire un’interazione in equilibrio tra il mondo artificiale e quello naturale. La natura è un sistema che arriva sempre all’equilibrio. Ma con quali conseguenze per l’uomo? Dobbiamo cercare di anticipare questa condizione di equilibrio senza arrivare alla catastrofe.

¹¹ Capra [2010], p. 93.

¹² Capra [2010], p. 94.

¹³ Capra [2010], p. 96.

¹⁴ Capra [2010], p. 69.

¹⁵ Capra [2010], p. 98.

¹⁶ Capra [2010], p. 99.

¹⁷ *Idem*.

¹⁸ Capra [2010], p. 100.

¹⁹ Capra [2010], p. 16.

²⁰ Aristotele, *Metafisica*, Libro H 1045a, 8-10.

²¹ Capra [2010], p. 38.

²² Dalla Chiara – Giuntini – Ledda – Leporini – Sergioli [2010], p. 1495 (traduzione mia).

²³ Wertheimer [1923]; Spillmann [2012], p. 207 (traduzione mia).

²⁴ Capra [2010], p. 44.

²⁵ Capra [2010], p. 46.

²⁶ Capra [2010], p. 47.

²⁷ Capra [2010], p. 178.

²⁸ Capra [2010], p. 95.

²⁹ Al riguardo si veda, in particolare, Maturana - Varela [1987], p. 56.

³⁰ Capra [2010], p. 178.

³¹ Cfr. Commoner [1971], p. 17.

³² Cos'è il processo? Il modo in cui si mettono in relazione le parti? È il fine della relazione? Se il sistema è un complesso di elementi messi in relazione per conseguire un fine comune, il processo definisce questo fine?

³³ Capra [2010], p. 179.

³⁴ Nella traduzione italiana, il termine pattern viene tradotto con 'schema'.

³⁵ Capra [2010], p. 180.

³⁶ Estratto dall'intervista <http://www.thinkingallowed.com/2fcapra.html>

³⁷ Si veda Bateson [1972], pp. 200-201. Per un approfondimento sull'autore si rimanda al capitolo 'Matematica e Architettura' (sezione I).

³⁸ Cfr. Capra [2010], p. 235.

³⁹ Luhmann [1986], p. 174; Capra [2010], p. 236.

⁴⁰ Luhmann [1997], p. 81 (traduzione mia).

⁴¹ Si considerino al riguardo i seguenti testi: M.D. Resnik, *Mathematics as a Science of Patterns*, Oxford University Press, New York, 1997; R.O. Duda, P.E. Hart, D.G. Stork, *Pattern classification*, Wiley, New York, 2001; S. Wolfram, *A new kind of science*, Wolfram Media, Inc., Champaign (USA), 2002; M. Egmont-Petersen, D. de Ridder, H. Handels, "Image processing with neural networks - a review", *Pattern Recognition*, v. 35, No. 10, pp. 2279-2301, 2002; Capra [2003]; A.-L. Barabási, *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*, Plume, New York, 2003; G.J. McLachlan, *Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition*, Wiley Series in Probability and Statistics, Hoboken, New Jersey, 2004; C. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Lear-*

ning, Springer, Berlin, 2006; Capra [2010]; A.-L. Barabási, *Bursts: The Hidden Patterns Behind Everything We Do, from Your E-mail to Bloody Crusades*, Dutton, New York, 2012.

⁴² Si veda, nella presente sezione, il paragrafo 2.1.

⁴³ Ricoeur [2003], p. 11 (traduzione mia).

⁴⁴ Al riguardo si veda la concezione del tempo di Bergson [2002].

⁴⁵ Ricoeur [2003], p. 14 (traduzione mia).

⁴⁶ Ricoeur [2003], p. 16 (traduzione mia).

⁴⁷ Cfr. Calvi [2003], p. 63.

⁴⁸ Riguardo i progetti di Miralles si veda, nella presente sezione, il paragrafo “Dalla pratica all’astrazione. Quando il pattern segue il progetto” (2.1).

⁴⁹ Ricoeur [2003], p. 27 (traduzione mia).

⁵⁰ Ricoeur [2003], p. 21 (traduzione mia).

⁵¹ Ricoeur [2003], p. 22 (traduzione mia).

⁵² *Idem*

⁵³ Ricoeur [2003], p. 24 (traduzione mia).

⁵⁴ Ricoeur [2003], p. 25 (traduzione mia).

⁵⁵ Ricoeur [2003], p. 25 (traduzione mia).

⁵⁶ Ricoeur [2003], p. 27 (traduzione mia).

⁵⁷ Arroyo [2001], p. 106. (traduzione mia).

⁵⁸ Najle [2012], p. 430 (traduzione mia).

⁵⁹ Zaera Polo [1995], p. 9 (traduzione mia).

⁶⁰ *Idem*.

⁶¹ Zaera Polo [1995], p. 13 (traduzione mia).

⁶² Arroyo [2001], p. 104 (traduzione mia).

⁶³ Arroyo [2001], p. 106 (traduzione mia).

⁶⁴ *Idem*.

⁶⁵ Azulay Tapiero [2011], p. 6.

⁶⁶ Gandolfi [2013], p. 37.

⁶⁷ Gandolfi [2013], p. 39.

⁶⁸ Morin [1985], p. 51.

⁶⁹ Si veda, al riguardo, il capitolo “Organizzazione e Tassonomie. Alexander, Habraken” (sezione II).

⁷⁰ Si veda il capitolo “Matematica e Architettura” (sezione I).

⁷¹ Si veda il capitolo “Il cronotopo creativo: un dialogo tra Bachtin e Muntañola” (sezione III).

⁷² Secondo G. Deleuze e F. Guattari l'affetto è una condizione estetica dell'oggetto. Esso precede la sensazione che provoca sull'individuo, esprime qualità in sé, ed è impersonale. Per maggiori approfondimenti si veda Deleuze – Guattari [1994], cap. 7. A seguire un breve estratto dello stesso libro: “Percepts are no longer perceptions; they are independent of a state of those who experience them. Affects are no longer feelings or affections; they go beyond the strength of those who undergo them. Sensations, percepts, and affects are beings whose validity lies in themselves and exceeds any lived. They could be said to exist in the absence of man because man, as he is caught in stone, on the canvas, or by words, is himself a compound of percepts and affects. The work of art is a being of sensation and nothing else: it exists in itself” (Deleuze – Guattari [1994], p.164).

⁷³ Si veda Capra [2010], p. 93.

⁷⁴ Hillier [2007], p. VI (traduzione mia).

⁷⁵ Guidoni [1980], p. 77.

⁷⁶ Capra [2010], p. 69.

⁷⁷ Cfr. Gandolfi [2013], p. 31.

⁷⁸ Capra [2003], p. 106.

⁷⁹ Definizione coniata da C.D. Broad (Broad [1925], p. 61).

⁸⁰ Broad [1925], p. 61 (traduzione mia).

⁸¹ Cfr. Capra [2010], p. 103.

⁸² Capra [2010], p. 102.

⁸³ Cfr. Capra [2010], p. 17.

⁸⁴ Cfr. Yeang [2008], p. 28.

⁸⁵ Cfr. Capra [2010], p. 21.

⁸⁶ Ovvero ridurre l'impatto sull'ambiente in termini di CO2.

⁸⁷ Cfr. Dixon [2012], pp. 191-209.

⁸⁸ Capra [2010], p. 303.

⁸⁹ Cfr. Winograd – Flores [1991], pp.93, ss.; Capra [2010], p. 304.

⁹⁰ Arroyo [2001], p. 104..

CONCLUSIONI

CONCLUSIONI

A questo punto si ritiene utile evidenziare alcuni dei tratti emersi all'interno di questo lavoro, che da una parte sottolineano il contributo offerto alla ricerca e dall'altra costituiscono spunti per un successivo ed un ulteriore approfondimento.

L'aver messo "il pattern" al centro di questo studio ha consentito sia di focalizzare l'attenzione su un tema specifico, sia di ampliare la concezione del progetto verso una visione olistica dell'architettura.

Mi sembra lecito affermare come questo lavoro abbia innanzitutto permesso la comprensione del significato di "pattern" in ambito architettonico (spesso banalizzato e relegato al dominio dell'ornamento), rivendicando la sua importanza come dispositivo di intersezione tra astrazione e pratica, in grado di far interagire tra loro più aspetti del progetto, anche se apparentemente incompatibili.

La necessità di astrarre le caratteristiche e le potenzialità latenti del pattern ci ha inoltre dato la possibilità di spaziare tra diversi temi, quali l'estetica, la matematica, la tecnologia, l'ambiente, la società.

Questo districarsi fra diversi temi non deve essere frainteso o confuso con un divagare. Al contrario è stato pensato come un cammino cosciente, che si è andato definendo passo dopo passo, finalizzato sia alla concezione di un nuovo modo di vedere l'architettura sia alla costruzione di un'impalcatura progettuale sempre più solida e rigorosa.

Per queste ragioni è stato necessario dividere la tesi in tre sezioni che corrispondono ad altrettanti sostanziali contributi:

1. Il primo colloca il pattern nella sfera della matematica e studia quindi i rapporti tra geometria ed architettura, due scienze inevitabilmente connesse tra loro. Essendo la geometria uno strumento indispensabile per il concepimento ed il controllo formale dell'opera architettonica, accade che a volte l'architettura anticipi persino la sistematizzazione di strutture matematiche. L'architetto compie quindi una continua sperimentazione nel mondo della geometria 'pratica', che a volte porta ad inaspettati traguardi.

In questo contesto sono emerse geometrie flessibili e robuste, come ad esempio i frattali, che privilegiano, nella produzione di pattern, l'aspetto grafico e relazionale. Sono geometrie in grado di rivestire in maniera efficiente più aspetti del progetto e capaci di produrre, all'interno dello stesso sistema, non solo strutture generiche ma anche situazioni specifiche.

Inoltre l'aver confrontato, sotto la stessa categoria geometrica, esempi di architettura antica o vernacolare con esempi pertinenti all'architettura moderna o contemporanea, ci ha permesso di fare alcune considerazioni fondamentali:

- nonostante appaia assolutamente necessaria una sistematizzazione nell'uso di un sistema geometrico, permane un libero utilizzo, nel progetto, degli strumenti matematici. Negli esempi di architettura antica appare evidente come sia lontana la formalizzazione matematica, mentre è molto più vicina un'intuizione empirica che permette di sfruttare le *performance* offerte da un pattern geometrico. Tuttavia la sistematizzazione è necessaria per una trasmissibilità ed uno sviluppo più profondo dei sistemi utilizzati solo empiricamente.
- Sebbene la computazione non sia indispensabile per l'utilizzo di geometrie complesse, è entrata estensivamente a far parte della progettazione, fornendo strumenti flessibili che rendono fruibile a tutti la sperimentazione geometrica.

2. Nella seconda sezione si è visto come i pattern siano sempre stati parte dell'architettura. Dai materiali esaminati è inoltre emerso come la geometria da sola non sia sufficiente a produrre architettura di qualità se questa non integra più aspetti del progetto.

L'aver riconosciuto pattern in più ambiti architettonici, ci ha spinti verso uno studio sistematico di progetti appartenenti agli ultimi cento anni.

In questa fase di analisi, che ha dominato la parte centrale della tesi, il pattern non si "inventa" ma si "riconosce". È per tale ragione che il suo ruolo è stato studiato nei diversi aspetti che concorrono alla formazione dell'architettura:

- l'evoluzione del pattern nell'estetica del progetto e il passaggio dal concetto di ripetizione seriale a quello di customizzazione.
- Lo studio del pattern generico di Fuller, del pattern topologico di Nervi e di Le Ricolais, delle strutture informatizzate di Balmond, ha permesso di evidenziare come il pattern strutturale risponda a criteri di efficienza e *performance*.

- È stata approfondita l'importanza del pattern come organizzatore spaziale e sociale: così come nel "metabolismo" o nello "strutturalismo olandese" le unità abitative si interpretavano spazialmente, anche nell'architettura contemporanea gli elementi naturali del contesto interagiscono più esplicitamente con l'organismo architettonico. E' stata approfondita l'importanza del pattern come organizzatore spaziale e sociale. Così come nel "metabolismo" o nello "strutturalismo olandese" le unità abitative si interpretavano spazialmente, anche nell'architettura contemporanea ci sono casi dove si utilizza il pattern come organizzatore spaziale e sociale. In quest'ultima tuttavia gli elementi naturali del contesto interagiscono più esplicitamente con l'organismo architettonico.
- Si è cercato di capire, anche comparandolo con gli studi di Habracken, quale fosse il senso del pattern per Alexander, individuando anche i limiti e le potenzialità della sua ricerca finalizzata alla generazione di un "linguaggio".
- Si è sottolineata l'importanza, per quanto riguarda lo sviluppo di pattern, del ruolo della tecnologia, che ci aiuta in particolare nell'interazione col contesto fisico. È stato quindi approfondito il concetto di pelle architettonica, con i diversi fattori che esso implica a livello rappresentativo, bioclimatico, estetico. Sono stati poi studiati diversi pattern, che vanno dalla semplice accumulazione di materiale alla variazione di permeabilità secondo un sistema geometrico, alla variazione cinetica per l'ombreggiamento, fino al ruolo della fabbricazione digitale e della produzione robotica.

3. Nell'ultima sezione si è ritenuto indispensabile considerare le potenzialità creative del pattern: in altre parole si è voluta chiarire l'importanza del pattern, definendo le basi teorico-metodologiche sulle quali ubicare l'architettura, il progetto e l'architetto.

Il nostro fondo teorico è basato su una sintesi operata tra il pensiero sistemico di F. Capra e il Cronotopo creativo di M. Bachtin. Una volta definito il progetto come il risultato dell'interazione tra livelli, il cronotopo ci aiuta a capire che tipo di relazioni s'instaurano tra gli attori che partecipano alla formazione del progetto. La teoria dei sistemi inserisce invece l'architettura in un contesto olistico, aiutando a definire in che modo si organizzano tali relazioni. In quest'ambito il pattern fa da ponte tra la 'materia' ed il 'processo', diventando un dispositivo capace di far interagire i fattori ambientali, estetici, sociali e culturali del progetto.

Una volta interpretata l'architettura come un sistema complesso e vivo, abbiamo potuto applicare nel concepimento del progetto tutte le caratteristiche proprie dei sistemi complessi.

Il pattern diventa quindi lo strumento che aiuta a produrre quei progetti che tengono in conto tutti i livelli architettonici e che generano architetture intese come sistemi complessi vivi.

In altri termini, il pattern è struttura, è organizzazione, è tipologia, è tecnologia, è fabbricazione, è funzione, è estetica, è distribuzione, è multidimensionale.

Dall'analisi proposta nel presente lavoro, emerge quindi in maniera trasparente un *identikit* completo del pattern e delle sue caratteristiche, riassumibili nelle seguenti formule. Il pattern:

- è la configurazione che assumono le relazioni;
- ha una natura geometrica;
- mette in collegamento la dimensione astratta con quella pratica;
- può precedere il progetto o nascere con esso;
- aiuta ad integrare i livelli endogeni ed esogeni del progetto;
- aiuta a produrre dinamiche non-lineari attraverso processi retroattivi.

Per quanto riguarda invece il quesito che ci siamo posti introduttivamente, cioè se l'architettura sia una scienza dei pattern, il lavoro ha fornito la seguente risposta. L'architettura come scienza di pattern rappresenta una provocazione lecita che non deve tuttavia diventare una formula vincolante.

Può essere l'architettura una scienza? Sicuramente no. L'architettura non è solo scienza, ma è anche arte, etica, tutte categorie che non possono entrare in un discorso esclusivamente scientifico.

Ma allora come può aiutarci la costruzione di una scienza dei pattern? Dall'analisi dei numerosi esempi che abbiamo disseminato all'interno della tesi, abbiamo visto come il pattern faccia parte dell'architettura, come sia quindi insito nella progettazione. Ma deve essere anche un pattern resiliente, flessibile, che apra possibilità e al tempo stesso mantenga la coerenza del progetto. L'importanza di questo strumento metodologico risiede anche nella possibilità di mettere in relazione più parti del progetto.

Quindi, senza voler assolutamente ridefinire l'architettura nella sua totalità, è possibile proporre un preciso studio formale, che rivendichi l'importanza

di certe strutture formali e concettuali e che possa essere racchiuso in una pseudo-scienza del pattern.

Questo lavoro rappresenta infine un cammino che non ha dato solo risposte (tantomeno definitive) ma che vuole offrire anche spunti per successive domande, dubbi e approfondimenti. Alcuni dei quesiti che meriterebbero di essere ulteriormente indagati sono i seguenti.

- Siamo realmente in grado di produrre un progetto che sappia integrare estetica, tecnica, contesto, società, senza produrre vuoti formalismi?
Negli esempi che abbiamo riportato erano presenti solo alcuni dei livelli di progetto e non sempre c'era la totale integrazione tra i componenti endogeni ed esogeni. Quando invece si riuscivano a considerare tutti i livelli si doveva comunque operare una loro semplificazione e riduzione.
- Esistono esempi di architetture nei quali riconosciamo quest'integrazione di livelli endogeni ed esogeni? Probabilmente è il caso di alcune architetture vernacolari, popolari, informali. Strutture emergenti, non frutto del progetto ma dell'evoluzione, di una selezione naturale dove il tempo e la tradizione operano sul perfezionamento del sistema. In questi casi l'architettura si costruisce nell'esperienza, in un processo lento e partecipativo che integra realmente tutti i livelli progettuali.
- Può il progetto simulare l'evoluzione ed il perfezionamento di un sistema architettonico?
- È possibile produrre un progetto sistemico complesso *ex-novo*?

La nostra sfida risiede quindi nell'interpretare e nel prevedere ciò che potrà succedere nel tempo, sintetizzando virtualmente quel lento processo che è possibile vedere nell'architettura informale.

Nell'ultima parte della terza sezione, riguardante l'integrazione ed il *feedback*, abbiamo cominciato a delineare alcuni aspetti fondamentali per la costruzione di una precisa teoria metodologica. E lo abbiamo fatto individuando livelli progettuali che interagiscono mutuamente nella definizione di un prototipo prima e di un progetto dopo: questi livelli, che spesso lavorano dalla grande alla piccola scala, emergono dalla precisazione di fattori esogeni. In questo processo di analisi e di accumulazione di dati, occorrerebbe sviluppare una metodologia multidisciplinare utile a trarre

aspetti vantaggiosi per il progetto, che debbono avere dei tratti sia scientifici che artistici.

A mio avviso il prossimo passo dovrà quindi essere un successivo approfondimento ed un'ulteriore sistematizzazione del tema, il cui scopo fondamentale sia, in particolare, lo sviluppo e la comprensione di nuove forme a carattere relazionale.

CONCLUSIONS

Placing pattern at the core of this study has allowed me to focus on the conception of projects as a truly holistic form of architecture.

We can assert that this work has given new meaning to “pattern” in architecture beyond the context of ornament and decoration. Its importance as a device lies at the intersection of the abstract with reality, and in its ability to fuse all these layers of a project into a coherent whole. The need to abstract the characteristics and the unexploited potential of pattern has led us across many topics like aesthetics, mathematics, technology, environment and society. The study of these various fields of knowledge, has in turn informed the structure of the essay into three parts.

1. The first one placed pattern in the context of mathematics and looked at the relationships between geometry and architecture. Geometry is essential to the conception and formal control of architectural design, however, what has been observed is that architecture, on several occasions, has proven itself to be as essential to the discovery and development of new mathematical structures.

At this point, flexible and robust geometries, such as fractals, emerged. These are geometries that are able to efficiently cover different aspects of a project and capable of producing, within the same system, not only generic structures but also unique “moments”. The comparisons made between ancient, vernacular, modern, and contemporary architecture, have allowed me to derive some key considerations:

- In the examples of ancient architecture which we covered, the application of pattern was not a pure mathematical exercise, but instead a logical and intuitive solution which satisfied both the aesthetic and practical needs of these projects.

- Although computation is not absolutely necessary in the creation of complex geometries, its popularity is growing as it offers tools that make experimental geometry accessible to all.

2 . In the second section we explored in even greater detail the age-old link between pattern and architecture. From the numerous case-studies, it also emerged that geometry on its own is not sufficient to produce good architecture if it cannot incorporate multiple layers of a project.

Once sufficiently well-versed in pattern and its identification, I turned my attention to the architecture of the last century, which helped expose some of the aspects central to its formation. By studying where pattern was used and more importantly why, allowed us to draw conclusions on how it can be used today:

- The evolution of pattern in project aesthetics across the ages has shown a shift from its application from serial repetition to customization.
- Through the study of Fullerian generic pattern, Nervian and Le Ricolaisian topological pattern, and Balmond computed structures, we've demonstrated how structural pattern can meet today's efficiency and performance criteria.
- We also examined in great depth the potential of pattern as spatial and social organizer. Both in "metabolist architecture" and "Dutch structuralism" housing units were interpreted cellularly. In contemporary architecture, these "cells" interact more explicitly with the natural elements of the environment.
- The natural progression was to explore C. Alexander's pattern, so as to identify the limits and the potentialities of his research on a "language" of generation.
- In analyzing the development of pattern in relation to the physical environment, we observed the important role played by technology. Afterwards the idea of an architectural envelope was considered in line with its representative, bioclimatic, and aesthetic factors. A range of these envelopes were studied, from relatively simple material accumulation, to the more complex examples, like responsive permeability, kinetic shading, and digital and robotic fabrication.

3. The last section assessed the creative potential of pattern, which was ascertained through defining its theoretical and methodological value. Our theoretical background is based on F. Capra Systemic Thinking and M. Bakhtin's Creative Chronotope. Once a project is laid out in its constituent parts, the chronotope sheds light on the kind of relationships established between the factors involved around the project. System Thinking placed architecture in a holistic context, helping to define how we organize these relationships. In this context, the pattern acts as a bridge between "material" and "process", becoming a device allowing the environmental, aesthetic, social and cultural aspects of a project to interact.

From the analysis of the case-studies covered, the possible applications of pattern become clearer:

- Identifying and configuring relationships.
- Creating geometries, both simple and complex.
- Connecting the abstract with reality.
- Being 'a priori' or emerging later on in the project.
- Integrating endogenous and exogenous aspects of a project.
- Helping to create non-linear dynamics.

In answering the question of whether or not architecture is a “science of patterns”, it can be said that architecture as a science of pattern represents a lawful provocation but should not become a label that constrains its scope and potential.

Architecture is not only science, but also an art with its own set ethics. From the analysis of the ex-amples covered, we have seen how pattern is part of architecture, and innate its design. We have also seen how its resilience and flexibility reveals further possibilities whilst still maintaining consistency in the project. The importance of this methodological instrument resides in its ability to link all aspects of a project.

In redefining architecture, it is possible to draw from this a precise formal study that claims the im-portance of certain formal structures and concepts. The journey through the realm of pattern has provided answers to the issues posed, but also inspired some additional thought, suggestions and questions on the matter. Some of these might be:

In the examples that we looked at, I cannot be said that there was a total integration between the endogenous and exogenous components, as simplifications and reductions were still needed to guarantee a successful result.

- Are we really able to produce a project which successfully integrates aesthetics, technique, external context and society, but which, at the same time, does not yield empty formalisms? In the aforementioned examples, only some of the project levels were involved and in some of them the integration between the endogenous and exogenous components was incomplete. On the other hand, in those cases where all levels were involved, one had to simplify and reduce their complexity.

- Are there any examples in architecture where this integration of the endogenous and exogenous was truly achieved? This maybe applies to some instances of vernacular, non-professional, informal architecture, consisting of inchoate structures, which do not spring from the project, but rather from internal evolution, from a

natural selection wherein time and tradition directly act on the improvement of the system. In all such cases, architecture is shaped by experience, in the course of a slow, participative project which is really able to integrate all project levels.

- Can a lone project simulate the evolution and refinement of an architectural system?
- Is it possible to produce a systemic project ex novo?

Within the design process, our main challenge is to be able to interpret and foresee what will happen in the future. At the same time, we would like to be able to capture the slow process that occurs in informal architecture. In the last section, key issues for the construction of a precise theoretical methodology were outlined. This was done by identifying the layers of a design that interact with each other, to define a prototype and then a project. These levels, which operate at small and large scales, emerge from the exogenous factors. In this process of analysis and data accumulation, it is necessary to develop a useful multidisciplinary methodology in order to draw advantageous aspects for the project, which must have both scientific and artistic traits.

I think the next step will then be a gradual deepening and a further systematization of the theme, the primary purpose of which is, will be the development and understanding of new forms of relationships.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Introduzione

P. Ball, *The Self-made Tapestry: Pattern Formation in Nature*, Oxford University Press, Oxford, USA, 2001.

C. Balmond, *Informal*, Prestel, Munich, Berlin, 2002.

G. Bateson, *Mente e natura*, Adelphi, Milano, 1979.

W. Benjamin, *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*, Einaudi, Torino, 2000.

D. Bohm, *On Creativity*, Routledge, London, 1996.

F. Capra, *The web of life: a new scientific understanding of living systems*, Anchor Books, New York, 1997.

F. Capra, *La rete della vita*, Bur Rizzoli, Milano, 2010.

E.H. Gombrich, *The sense of order: A study in the psychology of decorative art*, Phaidon, London, 2006.

C. Jencks, "Prefazione", in C. Balmond, *Informal*, Prestel, Munich, Berlin, 2002, pp. 5-8.

F. Otto, *Occupying and Connecting: Thoughts on Territories and Spheres of Influence with Particular Reference to Human Settlement*, Axel Menges Edition, Stuttgart/London, 2009.

J. Reiser, N. Umemoto, *Atlas of novel tectonics*, Princeton Architectural Press, New York, 2006.

M.D. Resnik, *Mathematics as a Science of Patterns*, Oxford University Press, Oxford, USA, 1999.

Sezione Prima

S.J. Abas, A.S. Salman, *Symmetries of Islamic Geometrical Patterns*, World Scientific, Singapore, 1995.

W. Aprile, S. Mirti, "Table genetics. Interview with Kram-Weisshaar", *Domus*, 879, 2005, pp. 18-27.

B. Aranda, C. Lasch, "Tooling", *Pamphlet Architecture*, 27, 2005.

C. Balmond, *Informal*, Prestel, Munich, Berlin, 2002.

C. Balmond, *A+U Architecture and Urbanism Special Issue*, A+U Publishing Co., Tokyo, 2006.

G. Bateson, *Steps to an Ecology of Mind*, Chandler Pub. Co., San Francisco, 1972.

U. Bottazzini, *Il flauto di Hilbert, Storia della matematica moderna e contemporanea*, UTET, Torino, 2005.

C. Bovill, *Fractal Geometry in Architecture and Design*, Birkhäuser, Boston, 1996.

C. B. Boyer, *Storia della matematica*, Mondadori, Milano, 1980.

S. L. Devadoss, J. O'Rourke, *Discrete and computational Geometry*, Princeton University Press, Princeton, 2011.

F. Dyson, "Characterizing irregularity", *Science*, 200 (4342), 1978, pp. 677-678.

L. Effinger-Dean, "The Empire Problem in Penrose Tilings", Thesis in Computer Science, MIT Press, 2006.

R. Eglash, *African Fractals: modern computing and indigenous design*, Rutgers University Press, New Brunswick, 1999.

R. Eglash, "16,54 minuti, I frattali Africani", TED, (ted.com/talks/ron_eglash_on_african_fractals.html), 2007.

O. Eliasson, B. Riemschneider, P. Ursprung, *Studio Olafur Eliasson: An Encyclopaedia*, Taschen, Köln, 2008.

M. Emmer, *Visibili Armonie. Arte Cinema Teatro e Matematica*, Bollati Boringhieri, Torino, 2006.

- R. Fischler, "The early relationship of Le Corbusier to the Golden Number", *Environment and Planning -B*, 6 (1), 1979, pp. 95-103.
- M. Frings, "The Golden Section in Architectural Theory", *Nexus Network Journal*, 4 (1), 2002, pp. 9-32.
- M. Godkewitsch, "The golden section: an artifact of stimulus. Range and Measure of Preference", *American Journal of Psychology*, 87, 1974, pp. 269-277.
- E. H. Gombrich, *The Sense of Order: A study in the psychology of decorative art*, Phaidon, New York, 2006.
- I. Guarini, "Intervista a Nikos A. Salingaros", *Il Covile*, 543, Anno IX, 2009, pp. 11-16.
- E. Husserl, *La crisi delle scienze europee e la fenomenologia trascendentale*, Il Saggiatore, Milano, 2008.
- I. Hwang, A. Ferré, T. Sakamoto, R. Prat, M. Kubo, M. Ballesteros, A. Tetas (edd.), *Verb Natures*, Actar, Barcelona, 2006.
- O. Jones, *The Grammar of Ornament, a unique collection of more than classic patterns*, Herbert Press, London, 2010.
- G.L. Legendre (ed.), "Special Issue: Mathematics of space", *Architectural Design*, 81 (4), 2011.
- M. Livio, *La sezione aurea, storia di un numero e di un mistero che dura tremila anni*, Rizzoli, Milano, 2003.
- P.J. Lu, P.J. Steinhardt, "Decagonal and Quasi Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture", *Science*, 315 (5815), 2007, pp. 1106-1110.
- B. Mandelbrot, *Gli oggetti frattali. Forma, caso e dimensione*, Einaudi, Torino, 1987.
- A. Menges, S. Ahlquist (edd.), *Computational Design Thinking*, John Wiley & Sons, London, 2011.
- J. Muntañola Thornberg (ed.), "Arquitectura y hermenéutica", *Arquitectonics. Mind, land and society*, 4, 2003.
- C. Najle, "Teoría Arquitectónica de los Sistemas Complejos", Conferenza presso la Facoltà di Architettura di Buenos Aires, Giugno 2008.
- P. Odifreddi, *La matematica del novecento. Dagli insiemi alla complessità*, Ei-

naudi, Torino, 2000.

L. Patetta, "La problematica delle proporzioni in Architettura", dispense del corso di Storia dell'Architettura II presso la Facoltà di Architettura di Milano, 1973.

C. A. Pickover, *The Pattern Book: Recipes for Beauty*, World Scientific Publishing, Singapore, 1995.

N. Sala, G. Scappellato, *Viaggio matematico nell'arte e nell'architettura*, Franco Angeli, Milano, 2003.

N. Sala, M. Sala, *Geometrie del design, forme e materiali per il progetto*, Franco Angeli, Milano, 2005.

N.A. Salingeros, B.J. West, "A Universal Rule for the Distribution of Sizes", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26 (6), 1999, pp. 909-923.

K. Terzidis, *Algorithmic Architecture*, Boston Architectural Press, Oxford, 2006.

A. Wogenscky, "The Unitè d'Habitation at Marseille", in H. Allen Brooks (ed.), *The Le Corbusier Archive*, XVI, Garland, New York, 1983, pp. IX-XVII.

Sezione Seconda

AA.VV., "CCTV Headquarters, Beijing, China: Structural engineering design and approvals", *The Arup Journal*, 2, 2005, pp. 3-9.

C. Alexander, *La estructura del medio ambiente*, Ed. Tusquet, Barcelona, 1971.

C. Alexander, *A Pattern Language*, Oxford University Press, New York, 1977.

C. Alexander, *A Timeless Way of Building*, Oxford University Press, New York, 1979.

C. Balmond, *Informal*, Prestel, Munich, Berlin, 2002.

C. Balmond, *A+U Architecture and Urbanism Special Issue*, A+U Publishing Co., Tokyo, 2006.

R. Banham, *Megaestructuras, future urbano del pasado reciente*, Gustavo Gili

ed., Barcelona, 2001.

B. Bergdoll, "Into the fold: Nervi, Breuer e l'architettura degli spazi ad aula nel dopoguerra", in C. Olmo, C. Chiorino (a cura di), *Pier Luigi Nervi, Architettura come sfida*, Silvana Editoriale, Cinisello Balsamo, 2010, pp. 87-115.

K. Bloomer, "A Critical Distinction Between Decoration and Ornament", in E. Abruzzo, J.D. Solomon (edd.), *Decoration*, 306090 Inc., 10, 2006, pp. 49-58.

P. Boada (a cura di), *A. Gaudì, Paroles et écrits*, Harmattan, Paris, 2002.

T. Bonwetsch, "Designing robotic assemblies", in P. Terri, P. Brady, *Inside Smart Geometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design*, John Wiley & Sons, 2013, pp. 218-231.

A. Branzi, *Introduzione al design italiano*, Baldini & Castoldi, Milano, 1999.

R. Capomolla, "Il ponte sul Basento ovvero l'invenzione di una forma "ancora senza nome", *Casabella*, 739-740, 2005-2006, pp. 12-19.

P. Carbonara, *Architettura pratica*, UTET, Torino, 1980.

J. Chilton, *Space Grid Structure*, Taylor & Francis, Oxford, 2000.

P. Cook, "In Memoriam Archigram", *Daidalos*, n. 4, 1982, pp. 54-58.

A. L. De Simone, *Architetture d'avanguardia, scenari e visioni della città nel novecento*, Alinea editrice, Firenze, 2008.

L. K. Eaton, "Fractal Geometry in the Late Work of Frank Lloyd Wright: the Palmer House", in Williams K. (ed.), *Nexus II: Architecture and Mathematics*, Edizioni dell'Erba, Fucecchio, 1998, pp. 23-38.

D. H. Eber, *A Genius At Work: Images of Alexander Graham Bell*, Viking, New York, 1982.

M. Eigensatz, M. Deuss, A. Schiftner, M. Kilian, N. J. Mitra, H. Pottmann, M. Pauly, "Case Studies in Cost-Optimized Paneling of Architectural Free-form Surfaces", in C. Ceccato, L. Hesselgren, M. Pauly, H. Pottmann, J. Wallner (edd.), *Advances in Architectural Geometry 2010*, Springer, Wien, 2010, pp. 49-72.

M. Fisac, *Carta a mis sobrinos (estudiantes de arquitectura)*, ed. Lampreave y Millan, Ciudad Real, 2007.

- H. Focillon, *Vita delle Forme*, Piccola Biblioteca Einaudi, Torino, 1990.
- K. Frampton, *Historia crítica de la arquitectura moderna*, Gustavo Gili ed., Barcelona, 1993.
- M. Garcia (ed.), "Special Issue: Patterns of architecture", *Architectural Design*, 79 (6), 2009.
- D. Giralt-Miracle (a cura di), *Gaudí. La búsqueda de la forma*, Lunwerg, Barcelona, 2002.
- A. Gleiniger, G. Vrachliotis (a cura di), *Pattern, Ornament, Structure and Behavior*, Birkhäuser, Berlin, 2009.
- E. H. Gombrich, *The Sense of Order: A study in the psychology of decorative art*, Phaidon, New York, 2006.
- P. Griffiths, "Aleatory", *New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 1, 1980, p. 237.
- N.J. Habraken, *The structure of the ordinary*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2000.
- R. G. Hatton, *Design: an exposition of the principles and practice of the making of Patterns*, Chapman and Hall, London, 1902.
- M. Hensel, A. Menges, "Aggregates", *Versatility and Vicissitude, AD Architectural Design*, 78 (2), 2008, pp. 80-87.
- A. Hermant, *Formes Utiles*, Éditions du Salon des Arts Ménagers, Paris, 1959.
- H. Hertzberger, *Lessons for students in architecture*, 010 Publishers, Rotterdam, 2009.
- A. Juarez, "Topology and Organicism in the Work of Louis I. Kahn. Notes on the City Tower", *Perspecta*, 31, 2000, pp. 70-80.
- H. Kara (ed.), *Design Engineering AKT*, Actar, Barcelona, 2008.
- R. Le Ricolais, "Etudes et Recherches", *Zodiac*, 22, 1973, pp. 17-19.
- R. Levit, "Contemporary Ornament. The Return of the Symbolic Repressed", *Harvard Design Magazine*, 28, 2008, pp. 70-85.

- C. M. Lewallen, S. Seid, *Ant Farm*, University of California Press, Ltd., London, 2004.
- F. Maki, *Investigation in Collective Form*, Special Publication n. 2, Washington University, St. Louis, 1964.
- F. Márquez Cecilia, R. Levene (edd.), “El Croquis. Herzog & de Meuron 2002-2006. Monumento e Intimidad. The Monumental and the Intimate”, *El Croquis*, 129-130, Madrid, 2006.
- P. Mc Cleary, *Robert Le Ricolais: Visiones y Paradojas*, Cat. Mostra, Fundación Cultural COAM, Madrid, 1997.
- A. Morcillo Pallarès, *Arquitectura Textil, El ‘textile Block’ Wrightiano y los encofrados flexibles de Miguel Fisac*, ETSMA, UPM, Madrid, 2011.
- F. Moussavi, *The function of Form*, Actar and Harvard Graduate School of Design, Barcelona, 2009.
- F. Moussavi, M. Kubo, *The function of Ornament*, Studio at Harvard University Graduate, Actar, Barcelona, 2006.
- P. Nervi, *Aesthetics and Technology in Building*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1966.
- M. Nicoletti, *Sergio Musmeci, Organicità di forme e forze nello spazio*, Testo&Immagine, Torino, 1999.
- C. Olmo, C. Chiorino (a cura di), *Pier Luigi Nervi, Architettura come sfida*, Silvana Editoriale, Cinisello Balsamo, 2010.
- I. Osayimwese, “Konrad Wachsmann: Prefab Pioneer”, *Dwell Magazine, The prefab Issue, real homes for real people*, 9 (3), 2009, pp. 98-102.
- F. Otto, B. Rasch, *Finding Form, Towards an Architecture of the Minimal*, Axel Menges Edition, Stuttgart, 1995.
- B. Pell, “Walldrope/Wearpaper”, in E. Abruzzo, J.D. Solomon (edd.), *Decoration*, 306090 Inc., 10, 2006, pp. 114-121.
- R.O. Pesci (a cura di), “El Estructuralismo de Christopher Alexander”, *Espacio Cepa*, 6, 1977.
- E. B. Pol, *Watercube the book*, DPR Editorial, Barcelona, 2008.
- H. Pottmann, “Architectural geometry as design knowledge”, *The New Structuralism: Design, Engineering and Architectural Technologies*, 80 (4), 2010, pp.

72-77.

L. Prestinenza Puglisi, *This is Tomorrow. Avanguardie e architettura contemporanea*, Testo&Immagine, Torino, 1999.

N. Rappaport, "Deep Decoration", in E. Abruzzo, J.D. Solomon (edd.), *Decoration*, 306090 Inc., 10, 2006, pp. 95-105.

Rcr Arquitectes, "Rcr Arquitectes. Los atributos de la naturaleza. 2003-2007", *EL Croquis*, 138, 2007.

J. Reiser, "Ornament and its Other", in E. Abruzzo, J.D. Solomon (edd.), *Decoration*, 306090 Inc., 10, 2006, pp. 132-143.

J. Reiser, N. Umemoto, *Atlas of novel tectonics*, Princeton Architectural Press, New York, 2006.

S. Sadler, *Archigram, Architecture without architecture*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2005.

T. Sakamoto, A. Ferre, M. Kubo (edd.), *From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture*, Actar, Barcelona, 2008.

F. Scheurer, "Architectural Algorithms and the renaissance of the design pattern" in A. Gleiniger, G. Vrachliotis (edd.), *Pattern, Ornament, Structure and Behavior*, Birkhäuser, Berlino, 2009, pp. 41-56.

P. Schumacher, "Engineering Elegance", in H. Kara (ed.), *Design Engineering AKT*, Actar, Barcelona, 2008, disponibile in <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Engineering%20Elegance.html>

P. Schumacher, "Parametric Patterns" in M. Garcia (ed.), "Special Issue: Patterns of architecture", *Architectural Design*, 79 (6), 2009, pp. 28-41.

P. Schumacher, *Tectonics – the differentiation and collaboration of Architecture and Engineering*, Edition Axel Menges, Stuttgart/London, 2012.

M. Schumacher, O. Schaeffer, M. Vogt, *MOVE: Architecture in Motion - Dynamic Components and Elements*, Birkhäuser, Basel, 2010.

D. Sharp, *Twentieth Century Architecture: A Visual History*, The Images Publishing Group Pty Ltd., Mulgrave, 2002.

L. Sullivan, *Ornament in Architecture (1892)*, in H. Dorra, *Symbolist Art Theories: A Critical Anthology*, University of California Press, London, 1995, pp.

110-116.

A. van Eyck, "De verkapte opdrachtgever en het grote woord "Neen"", *Forum*, 16 (3), 1962, pp. 79-122.

W. J. Van Heuvel, *Structuralism in Dutch Architecture*, Uitgeverij 010 Publishers, Amsterdam, 1992.

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

A. Zaera Polo, "The politics of the envelope, a political critique of materialism", in A. Oosterman (ed.), *Volume #17: Content Management*, Stichting Archis Publisher, Amsterdam, 2008, pp. 76-105.

A. Zaera Polo, "Pattern, Fabrics, Prototypes, Tessellations", in M. Garcia (ed.) "Special Issue: Patterns of architecture", *Architectural Design*, 79 (6), 2009, pp. 18-27.

Sezione Terza

E. Arroyo, "Instrucciones Borrosas: Paisajes de Adecuación", *El Croquis*, 106/107, 2001, pp. 104-107.

M. Azulay Tapiero, "El proyecto arquitectónico: un instrumento de coexistencia con el entorno", 4ª Jornadas Internacionales sobre Investigación en Arquitectura y Urbanismo, Valencia, 2011.

M.M. Bakhtin, *The dialogical imagination*, University of Texas Press, Austin, TX, 2011.

G. Bateson, *Steps to an Ecology of Mind*, Chandler Pub. Co., San Francisco, 1972.

H. Bergson, *Saggio sui dati immediati della coscienza*, Cortina Raffaello, Milano, 2002.

C.D. Broad, *The Mind and its Place in Nature*, Routledge and Kegan Paul ed., London, 1925.

E. Calvi, "Proyecto y relato. Arquitectura como narratiòn", in J. Muntañola Thornberg (ed.), "Arquitectura y hermenéutica", *Arquitectonics. Mind, land and society*, 4, 2003, pp. 53-70.

- F. Capra, *The hidden connections*, Flamingo, Londra, 2003.
- F. Capra, *La rete della vita*, Bur Rizzoli, 2010, Milano.
- B. Commoner, *The closing circle, nature man and technology*, Alfred A. Knopf, New York, 1971.
- M.L. Dalla Chiara, R. Giuntini, A. Ledda, R. Leporini, G. Sergioli, "Entanglement as a Semantic Resource", *FOUNDATIONS OF PHYSICS*, 40 (9), 2010, pp. 1494-1518.
- G. Deleuze, F. Guattari, *What is philosophy?*, Columbia University Press, New York, 1994.
- D. Dixon, "Analysis tool or research methodology? Is there an epistemology for patterns?", in D.M. Berry (ed.), *Understanding Digital Humanities*, Palgrave Macmillan, London, 2012, pp. 191 - 209.
- A. Gandolfi, *Formicai, imperi, Cervelli, introduzione alla scienza della complessità*, Bollati Boringhieri, Torino, 2013.
- E. Guidoni, *L'architettura popolare italiana*, Laterza, Bari, 1980.
- B. Hillier, *Space is the machine: a configurational theory of architecture*, Space Syntax, London, 2007.
- M. Holquist (ed.), *The Dialogic Imagination: Four Essays by M.M. Bakhtin*, University of Texas Press, Austin, TX, 1981.
- K. Kosic, *Dialéctica de lo concreto*, A. Sanchez, pról., Ediciones Grijalbo, Barcelona, 1967.
- N. Luhmann, "The Autopoiesis of Social Systems", in F. Geyer, J. Van d. Zeuwen (edd.), *Sociocybernetic Paradoxes: Observation, Control and Evolution of Self-Steering Systems*, Sage, London, 1986, pp. 172-192.
- N. Luhmann, *The Autopoiesis of Social System*, Columbia University Press, New York 1990.
- N. Luhmann, *Die Gesellschaft der Gesellschaft*, Suhrkamp, Frankfurt, 1997.
- H. Maturana, F. Varela, *L'albero della conoscenza*, Garzanti, Milano, 1987.
- E. Morin, "Le vie della complessità", in Bocchi e Ceruti (a cura di), *La sfida della complessità*, Feltrinelli, Milano, 1985, pp. 49-60.

- E. Morin, *La mente bien ordenada. Repensar la reforma. Reformar el pensamiento*, Seix Barral, Barcelona, 2007.
- J. Muntañola Thornberg, *Topogenesis: fundamentos de una nueva arquitectura*, Edicions UPC, Barcelona, 2000.
- C. Najle, "SPBranching", in E. Goldemberg (ed.), *Pulsation in Architecture*, Ross Publishing, Fort Lauderdale, 2012, pp. 426-434.
- P. Ricoeur, "Arquitectura y narratividad" in J. Muntañola Thornberg (ed.), "Arquitectura y hermenéutica", *Arquitectonics. Mind, land and society*, 4, 2003, pp. 9-30.
- L. Spillmann (ed.), *Max Wertheimer: On Perceived Motion and Figural Organization*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2012.
- M. Wertheimer, "Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. II", *Psychologische Forschung*, 4, 1923, pp. 301-350.
- T. Winograd, F. Flores, *Understanding Computers and Cognition*, Addison-Wesley, New York, 1991.
- K. Yeang, *Ecodesign, A manual for ecological design*, John Wiley & Sons, London, 2008.
- A. Zaera Polo, "Entrevista ad Enric Miralles", in "Enric Miralles", *El Croquis*, 72 (2), 1995, pp. 6-21.

FONTI DELLE IMMAGINI

FONTI DELLE IMMAGINI

Introduzione

Immagine 1. Le Passepied, 1709 (Raoul-Auger Feuillet., Recueil de danses, composées par Mr. Feuillet. *Maître du dance Feuillet*, Paris, 1709. p. 23).

Immagine 2. Necropoli di Pantalica (foto dell'autore).

Immagine 3. Necropoli della Banditaccia (<http://www.secretplacesitaly.net/2011/08/etruscan-city-of-dead-cerveteri-part.html>).

Immagine 4. Foreign office architects, Terminale rurale ad alta velocità, Perafort, 2002 (Foreign Office Architects, *Phylogenesis foa's ark*, 2003, p. 89).

Immagine 5. Classificazione dei templi (F.D.K. Ching, *Architecture Form, Space and Order*, 1995, p. 384).

Immagine 6. Sistemi murari in mattone (K. Frampton, *Studies in tectonic culture*, 2001, p. 6).

Immagine 7. G. Guarini, Cupola della S. Sindone, Torino, 1668-1694 (B. Zevi, *Contro storia e storia dell'architettura*, 1999, p. 319).

Immagine 8. B. Fuller, sistema geodesico (J. Reiser, N. Umemoto, *Atlas of novel tectonics*, 2006, p. 141).

Immagine 9. N. Umemoto, *Centro IBM* (J. Reiser, N. Umemoto, *Atlas of novel tectonics*, 2006, p. 141).

Immagine 10. A. Goldsworthy, bastoni avvolti, New York, 1999 (A. Goldsworthy, *Time*, 2000, p. 175).

Immagine 11. C. Balmond, Pattern (C. Balmond, *Informal*, 2002, p. 379).

Immagine 12. P. Ball, cellule cheratinocitiche in movimento (P. Ball, "Flow", 2009 p.135. Immagine: TamásVicsek, EötvösLoránd University, Budapest).

Immagine 13. C.A. Pickover, La diversità dei volti generati al computer (C.A. Pickover, *Computers, Pattern, Chaos and Beauty*, 1990, p. 49).

Sezione Prima

Immagine 1. J. Kepler, poliedri (<http://www.georgehart.com/virtual-polyhedra/kepler.html>).

Immagine 2. Buckminster, Jitterbug (<http://www.laetusinpraesens.org/docs80s/80vecteq.php>).

Immagine 3. C.A. Pickover, attrattore caotico 3-D (C.A. Pickover, *Computers, Pattern, Chaos and Beauty*, 1990, p. 164).

Immagine 4. Il Pentagramma e le relazioni auree del pentagono (illustrazione dell'autore).

Immagine 5. M. Livio, Filotassi (M. Livio, *The Golden Ratio*, 2013, p. 109).

Immagine 6. Il Partenone, Callicrate e Ictino (illustrazione dell'autore).

Immagine 7. Le Corbusier, proporzioni basate sul *Modulor* (N. Sala, M. Sala, *Geometrie del design, forme e materiali per il progetto*, 2005, p. 62).

Immagine 8. Rcr Arquitectes, *Padiglioni Les Cols*, Olot, Spagna, 2006 (cortesia dell'autore).

Immagine 9. SANAA, *Rolex Learning Center*, Losanna, Svizzera (cortesia dell'autore).

Immagine 10. P. Zumthor, Terme di Vals, Cantone Graubunden, Svizzera, 1996 (<http://www.bryanbeca.ca/school/dm1/L3-ReadingDrawingsMakingSpace-LR.pdf>).

Immagine 11. I gruppi planari (illustrazione dell'autore).

Immagine 12. Tassellatura con simmetria pentagonale aperiodica con cometa e dardo (illustrazione dell'autore).

Immagine 13. Tassellatura con simmetria pentagonale aperiodica con rombo ottuso ed acuto (illustrazione dell'autore).

Immagine 14. Quasi-cristalli al microscopio elettronico (illustrazione dell'autore).

Immagine 15. *Corte dei Leoni*, Alhambra, Granada, Spagna, 1391 (Foto di Kurt Hielscher, 1914-1918, in: <http://www.flickr.com/photos/82757070@Noo/3071189032/in/set-72157610002774462/>).

Immagine 16. Santuario di Darb-i Iman, Isfahan, Iran, 1453 (cortesia di P.J. Lu).

Immagine 17. Simmetria pentagonale aperiodica di Ammann (illustrazione dell'autore).

Immagine 18. Gruppi di linee di Ammann (illustrazione dell'autore).

Immagine 19. O. Eliasson, *5-dimensionel pavillon*, Strandparken, Holbæk, North coast of Zealand, Denmark, 2000 (cortesia di O. Eliasson).

Immagine 20. Henning Larsen Architects, *HARPA*, Reykjavik, 2005-2006 (foto: cortesia di O. Eliasson; illustrazione dell'autore).

Immagine 21. Insieme di Mandelbrot (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boundary_mandelbrot_set.png).

Immagine 22. Curve di Koch (B. Mandelbrot, *Gli oggetti frattali: forma, caos e dimensione*, 1975, p. 39).

Immagine 23. Quattro iterazioni della spugna di Menger (illustrazione dell'autore).

Immagine 24. Barriera antivento, Sahel (cortesia di R. Eglash).

Immagine 25. Città di Logone Birni in Camerun, Palazzo del 'Miarre' (cortesia di R. Eglash).

Immagine 26. Le prime tre iterazioni del modello frattale del villaggio di Ba-ila (cortesia di R. Eglash).

Immagine 27. Villaggio Ba-ila, foto anteriore al 1944 (cortesia di R. Eglash).

Immagine 28. C. Balmond e ARUP, *Advanced Geometry Unit*, Hedge, 2010 (C. Balmond, *A+U Architecture and Urbanism Special Issue*, 2006, pp. 2-3).

Immagine 29. T. Ito - C. Balmond, *Serpentine Gallery*, 2002 (T. Sakamoto, A. Ferré, M. Kubo, edd., *From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture*, 2008, p. 10).

Immagine 30. Costruzione del diagramma di Voronoi (M.F. Voronoi *Voronoi diagram*, 1908, p. 4).

Immagine 31. Diagramma di Voronoi per un insieme determinato di punti (M.F. Voronoi *Voronoi diagram*, 1908, p. 6).

Immagine 32. B. Aranda - C. Lasch, Tooling (B. Aranda, C. Lasch, "Tooling", *Pamphlet Architecture*, 27, 2005, pp. 55-56; 59).

Immagine 33. B. Aranda - C. Lasch con Daniel Bosia, Arup AGU, *Grotto PS1*, New York, 2004 (B. Aranda, C. Lasch, "Tooling", *Pamphlet Architecture*, 27, 2005, p. 87).

Immagine 34. T. Ito, *Forum per musica, danza e cultura visiva*, Gent, Belgio, 2004 (Toyo Ito 2001-2005, *El Croquis*, 123, 2004, p.10).

Immagine 35. J. Reiser - N. Umemoto, *Alishan Mountain Railway*, Taiwan, 2005 (J. Reiser, "Ornament and its Other", in E. Abruzzo, J.D. Solomon (edd.), *Decoration*, 306090 Inc., 10, 2006, p.137).

Sezione seconda

Immagine 1. G.B. Piranesi, *Anfiteatro Flavio detto il Colosseo* (G.B. Piranesi, *Della magnificenza ed Architettura dei Romani*, 1757, in: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Giovanni_Battista_Piranesi_The_Colosseum.png).

Immagine 2. É.-L. Boullée, *Cenotafio di Newton*, 1780-93 (<http://danspira.com/2012/07/>).

Immagine 3. A. Loos, *Moissi House*, Venezia, 1923. *Muller House*, Prague 1930; (http://stuff.mit.edu/afs/athena/course/4/4.561/old/week7-grammar-final-pdf_public/team_Loos_final.pdf).

Immagine 4. F. Lloid Wright, *Johnson Wax Administrative Building*, Racine, 1936-1939 (<http://risdvr.files.wordpress.com/2010/05/johnsonwax10-037.jpg>).

Immagine 5. K. Mélnikov, *Casa Mélnikov*, 1929 (<http://www.archdaily.com/151567/ad-classics-melnikov-house-konstantin-melnikov/>).

Immagine 6. H. De Meuron, *Caixa Forum*, Madrid, 2008 (<http://>

designinspirationbook.blogspot.com.es/2008/04/caixaforum-de-madrid-herzog-de-meuron.html)

Immagine 7. J. Nouvel, *Louvre Abu Dhabi*, in costruzione (<http://www.designboom.com/architecture/jean-nouvel-louvre-abu-dhabi-under-construction/gallery/image/jean-nouvel-louvre-abu-dhabi-7/>).

Immagine 8. J. Nouvel, *Louvre Abu Dhabi*, in costruzione (<http://architecturalmoleskine.blogspot.com.es/2012/10/jean-nouvel-louvre-museum-abu-dhabi.html>).

Immagine 9. M. Van der Rohe, alzato di sette edifici, a luce libera: *Casa Farnsworth*, Piano; *National Theater*, Manheim; *Crown Hall*, Chicago; *casa 50x50*; *Convention Hall*, Chicago; *Bacardi Building*, Santiago de Cuba; *New National Gallery*, Berlin. (J. Reiser, "Ornament and its Other", in E. Abruzzo, J.D. Solomon (edd.), *Decoration*, 306090 Inc., 10, 2006, p.132).

Immagine 10. D. Libeskind - C. Balmond, *Victoria and Albert Museum*, London, 1996-2004 (C. Balmond, *A+U Architecture and Urbanism Special Issue*, 2006, pp. 86-87).

Immagine 11. D. Libeskind - C. Balmond, *Victoria and Albert Museum* (London, 1996-2004): tessellazione aperiodica frattale del rivestimento esterno (C. Balmond, *A+U Architecture and Urbanism Special Issue*, 2006, p. 83).

Immagine 12. A. Gaudí, Catenaria per la Colonia Güell, Barcelona, 1898 (<http://atmosphericfront.wordpress.com/2011/10/30/gaudi-catenary-curves-and-other-sources-of-inspiration/>)

Immagine 13. A. Graham Bell, *Aliant scatolare* (A. Graham Bell, *The tetrahedral principle in kite structure*, 1903, p. 39).

Immagine 14. Wolff's, diagramma composto da otto figure (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3183195/>).

Immagine 15. Fuller, *Dymaxion House*, 1929 (J. Krausse, *Your private sky. R. Buckminster Fuller: The Art of Design Science*, 1999, p. 134).

Immagine 16. Fuller, *Padiglione USA Expo 67*, Montreal (J. Krausse, *Your private sky. R. Buckminster Fuller: The Art of Design Science*, 1999, p. 423).

Immagine 17. K. Wachsmann, *Hangar per le forze aeree Americane*, 1959 (K. Wachsmann, *Una Svolta Nelle Costruzioni*, 1960, p. 188).

Immagine 18. K. Wachsmann, illustrazione (K. Wachsmann, *Una Svolta Nelle Costruzioni*, 1960, p. 189).

Immagine 19. L.I. Kahn - A. Tyng, *City Tower*, Philadelphia, USA, 1952-1957. (<http://archilibs.net/2012/11/07/city-tower-louis-kahn/>)

Immagine 20. R. Le Ricolais, *Ottagrid*, 1970-1971 (P. Mc Cleary, *Robert Le Ricolais: Visiones y Paradojas*, Cat. Mostra, 1997, p. 155).

Immagine 21. R. Le Ricolais, *Tubeautomorfo*, 1961-1962 (P. Mc Cleary, *Robert Le Ricolais: Visiones y Paradojas*, Cat. Mostra, 1997, p. 81).

Immagine 22. P. Nervi, *Lanificio Gatti*, Roma, 1953. (C. Olmo, C. Chiorino, a cura di, *Pier Luigi Nervi, Architettura come sfida*, p. 131).

Immagine 23. P. Nervi, *Palazzo delle Esposizioni*, Salone B, Torino, 1947-1948. (C. Olmo, C. Chiorino, a cura di, *Pier Luigi Nervi, Architettura come sfida*, p. 127).

Immagine 24. P. Nervi, *Sede dell'UNESCO*, Parigi, 1957 (C. Olmo, C. Chiorino, a cura di, *Pier Luigi Nervi, Architettura come sfida*, p. 105).

Immagine 25. S. Musmeci, struttura a nodo tetraedrico (M. Nicoletti, *Sergio Musmeci, Organicità di forme e forze nello spazio*, 1999, p. 45).

Immagine 26. S. Musmeci, *Ponte sul Niger*, Ajaokuta, 1977 (M. Nicoletti, *Sergio Musmeci, Organicità di forme e forze nello spazio*, 1999, p. 59).

Immagine 27. S. Musmeci, *Ponte sul Basento*, Potenza, 1967-69 (M. Nicoletti, *Sergio Musmeci, Organicità di forme e forze nello spazio*, 1999, p. 60).

Immagine 28. S. Musmeci, *Cinema Araldo*, Roma, 1955 (M. Nicoletti, *Sergio Musmeci, Organicità di forme e forze nello spazio*, 1999, p. 71).

Immagine 29. S. Musmeci, Progetto per il concorso per il Palazzetto dello Sport, Firenze, 1965 (M. Nicoletti, *Sergio Musmeci, Organicità di forme e forze nello spazio*, 1999, p. 81).

Immagine 30. F. Otto - B. Rasch, Esperimenti strutturali su configurazioni ad albero, 1974 (F. Otto, B. Rasch, *Finding Form, Towards an Architecture of the Minimal*, p. 161).

Immagine 31. F. Otto - B. Rasch, Esperimenti con fili di lana bagnati, 1956 (F. Otto,

B. Rasch, *Finding Form, Towards an Architecture of the Minimal*, p. 69).

Immagine 32. F. Otto - B. Rasch, Esperimenti sulle formazioni di sabbia che dipendono dal pattern di buchi (F. Otto, B. Rasch, *Finding Form, Towards an Architecture of the Minimal*, p. 65).

Immagine 33. P. Kulka - C. Balmond - U. Konigs, *Chemnitz Stadium*, Germania, 1995 (C. Balmond, *Informal*, 2002, pp. 168-169).

Immagine 34. OMA, *CCTV New Headquarter*, Beijing, 2003-2008 (F. Moussavi, *The function of Form*, 2009, p. 101).

Immagine 35. S. Ban - C. Balmond - AGU, *Centre Pompidou*, Metz, France, 2004-2009 (C. Balmond, *A+U Architecture and Urbanism Special Issue*, 2006, p. 39).

Immagine 36. PTW Architects e Arup, *water cube*, Beijing, 2008 (I. Hwang, A. Ferré, T. Sakamoto, R. Prat, M. Kubo, M. Ballesteros, A. Tetas, edd., *Verb Natures*, 2006, p. 76).

Immagine 37. BIG e AKT, *REN peoples*, Shanghai, 2006 (T. Sakamoto, A. Ferré, M. Kubo, edd., *From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture*, 2008, p. 146).

Immagine 38. K. Kikutake, *La Città Oceanica*, 1962 (R. Banham, *Megastructures, future urbano del pasado reciente*, 2001, p. 46).

Immagine 39. K. Tange, *Baia di Tokio*, 1960 (R. Banham, *Megastructures, future urbano del pasado reciente*, 2001, p. 50).

Immagine 40. Manarola, paesaggio urbano uniformato dalla ripetizione di edifici che condividono scala materili e orientamento. 1964 (F. Maki, *Investigation of collective form*, 1964, p. 47).

Immagine 41. F. Maki, Città come pattern di eventi, 1964 (C. Alexander, *A pattern language*, 1977, p. 37 - 41).

Immagine 42. A. van Eyck, *Orfanotrofio*, Amsterdam, 1960. (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orphanage-4.Aldo_van_Eyck.jpg).

Immagine 43. H. Hertzberger, *CentraalBeheer*, Apeldoorn, Olanda, 1967-1972 (<http://www.architectural-review.com/medallist-mettle-controversy-at-the-riba/8626933.article>).

- Immagine 44. PLOT, *Mountain Dwellings*, Copenhagen, 2007 (<http://archinect.com/firms/project/39903/mountain-dwellings/9172196>).
- Immagine 45. PLOT, *Mountain Dwellings*, Copenhagen, 2007 (foto dell'autore).
- Immagine 46. *Scala Tower*, Copenhagen, 2003 (<http://jdsa.eu/sta/>).
- Immagine 47. P. Cook, *Plug-in City*, 1964 (R. Banham, *Megastructures, future urbano del pasado reciente*, 2001, p. 96).
- Immagine 48. Archigram, modello dell'esposizione *Living City*, 1963 (S. Sadler, *Archigram, architecture without architecture*, 2005, p. 55).
- Immagine 49. Archizoom, *No-stop city*, 1970 (<http://www.abitare.it/it/architecture/non-stop-thinking/>).
- Immagine 50. Archizoom, *No-stop city*, 1970 (<http://www.abitare.it/it/architecture/non-stop-thinking/>).
- Immagine 51. Superstudio, *Endless Grid*, 1969 (<http://www.abitare.it/en/harvard-logbook/the-fall-from-the-plateau/>).
- Immagine 52. C. Alexander, *A Pattern Language*, 1977 (C. Alexander, *A Pattern Language*, 1977, pp. 491; 621; 667; 675).
- Immagine 53 C. Alexander, *A Pattern Language*, 1977 (C. Alexander, *A Pattern Language*, 1977, pp. 760; 767; 588; 1123).
- Immagine 54. C. Alexander, *A Pattern Language*, 1977 (C. Alexander, *A Pattern Language*, 1977, pp. 50; 102; 145; 182).
- Immagine 55. N.J. Habraken, *The Structure of Ordinary*, 2000 (N.J. Habraken, *The Structure of Ordinary*, 2000, p. 165).
- Immagine 56. Confronto tra la *Miniatura* e la *Casa Pascual* (A. Morcillo Pallares, *Arquitectura Textil, 'El textil Block' wrightiano y los enconfrados flexibles de Miguel Fisac*, 2011, pp. 78-79).
- Immagine 57. Nieto e Sobejano, Museo Spazio Andaluz della Creazione Contemporanea, Cordoba, 2013. (http://es.detailonline.com/uploads/pics/NietoSobejano_CORDOBA_RolandHalbe-58_01.jpg, elaborata digitalmente

dall'autore).

Immagine 58. A sinistra: F. L. Wright, *Torre Johnson Wax Laboratory* (<http://cdn.3oneseven.com/wp-content/uploads/HLIC/Johnson-Wax-Tower-frank-Lloyd-Wright.jpg>, elaborata digitalmente dall'autore);
al centro: Herzog & De Meuron, Prada (<http://www.flickr.com/photos/scottnorsworthy/7522601992/sizes/k/in/photostream/>, elaborata digitalmente dall'autore);
a destra: Sanaa, sede Dior (<http://www.designmagazin.cz/udalosti/13735-sanaa-ziskali-prestizni-cenu-pritzker-prize-2010.html>).

Immagine 59. Herzog & De Meuron, *Messe Basel*, New Hall, 2013 (<http://www.archdaily.com/332188/>).

Immagine 60. UNStudio, Complesso commerciale di Omotesando, 2008 (<http://www.arquinauta.com/foros/showthread.php?t=22944>, elaborata digitalmente dall'autore).

Immagine 61. J. Nouvel, *Institut du Monde Arabe*, 1981-1987 (<http://static.panoramio.com/photos/large/36310367.jpg>, elaborata digitalmente dall'autore).

Immagine 62. Studio Roosegaarde, *Lotus 7.0*, 2010-2011 (<http://www.arch2o.com/lotus-dome-daan-roosegaarde/lotus-dome-by-roosegaarde-web2/>).

Immagine 63. G. Takahashi, esperimenti sulle regole geometriche che emergono dalle formazioni di sabbia, 2005-2008 (M. Hensel, A. Meges, *Versatility and Vicissitude*, 2006, p. 84).

Immagine 64. E. Matsuda, esperimenti sulle condizioni di equilibrio degli aggregati (M. Hensel, A. Meges, *Versatility and Vicissitude* 2006, p. 87).

Immagine 65. Burning Man Festival, *Black Rock City*, Nevada, 2006 (http://farm1.staticflickr.com/80/238023250_3718b8c5f8_o.jpg).

Immagine 66. S. Fujimoto, *Wooden House*, Kumamoto, Giappone, 2005-2008 (http://parq001.archdaily.net/wp-content/uploads/2008/11/826394447_449795079_sections-02.jpg).

Immagine 67. S. Fujimoto, *Wooden House*, Kumamoto, Giappone, 2005-2008 (<http://www.plataformaarquitectura.cl/2008/11/05/arch-daily-final-wooden->

house-sou-fujimoto/).

Immagine 68. M. Meredith, Teatro per le Marionette, *Carpenter Center*, Massachusetts, 2004 (I. Hwang, A. Ferré, T. Sakamoto, R. Prat, M. Kubo, M. Ballesteros, A. Tetas, edd., *Verb Natures*, 2006, p. 92).

Immagine 69. Z. Hadid, Centro di Arte contemporanea di Cagliari, 2007 (H. Pottmann, A. Schiftner, J. Wallner, "Geometry of Architectural Freeform Structures", *International e Mathematische Nachrichten*, 209, 2008, p. 26).

Immagine 70. M. Fornes, *nonLin/Lin Pavilion*, 2011 (<http://ad009cdnb.archdaily.net/wp-content/uploads/2011/07/1311366833-tvm-f-lauginie-002-1280.jpg>).

Immagine 71. A. Morgante - E. Dini, *Radiolaria gazebo*, Londra, 2004 (<http://www.iaacblog.com/digitalfabrication/2010/10/23/assignment-1-case-study-n-1/>).

Immagine 72. Gramazio-Kohler, *Programmed wall*, ETH, Zurich, 2006 (<http://www.ritalink.org/video/bricklayervideo.jpg>).

Immagine 73. Gramazio-Kohler, Flight assembled architecture, *FRAC*, Centre Orléans, 2011-2012 (cortesia dell'autore).

Sezione terza

Immagine 1. Organizzazione topografica dei flussi d'acqua (M. Weinstock, *The Architecture of Emergence: The Evolution of Form in Nature and Civilization*, 2010, p. 68).

Immagine 2. Padiglione sospeso di Charles Eames, Fiera mondiale New York, 1964-1965 ("Domus 424", 1965. <http://www.domusweb.it/en/from-the-archive/2012/09/15/charles-eames-ovoid-theatre.html>).

Immagine 3. C. Najle, *SpBranching*, 2001 (cortesia dell'autore).

Immagine 4. T. Ito, *Gavia Park*, Madrid, Spain 2003 (Toyo Ito 2001-2005, *El Croquis*, 123, 2004, p 242).

Immagine 5. LAR/F. Romero, *Multi-dock*, Tijuana, Mexico, 2004 (F. Romero, *Translation, LAR*, 2006, p. 95).

Immagine 6. Funzioni d'onda (illustrazione dell'autore).

Immagine 7. Foreign Office Architects, *Stazione ad alta velocità*, Pusan, Korea, 1996 (Foreign Office Architects, *Phylogenesis foa's ark*, 2003, pp. 110-111).

Immagine 8. Foreign Office Architects, *Centrale municipale di polizia*, La vila Joiosa, 2000-2003 (Foreign Office Architects, *Phylogenesis foa's ark*, 2003, pp. 368-369).

Immagine 9. Foreign Office Architects, *Kansai-Kan Library*, Kioto, 1996 (Foreign Office Architects, *Phylogenesis foa's ark*, 2003, pp. 354-355).

Immagine 10. B. Igels, *Vilhelmsro Primary School*, 2010 (<http://www.big.dk/#projects-vil>).

Immagine 11. Foreign Office Architects, *Ponte Parodi*, Genova, 2000-2001 (Foreign Office Architects, *Phylogenesis foa's ark*, 2003, pp. 144-145).

Immagine 12. B. Igels, *Slussen*, Stoccolma, 2007 (<http://www.big.dk/#projects-slu>).

Immagine 13. *Sowwah Island Bridges*, Abu-Dabi, 2008 (<http://www.big.dk/#projects-sib>).

Immagine 14. B. Igels, *Hafjell*, Norvegia, 2007 (<http://www.big.dk/#projects-lil>).

Immagine 15. B. Igels, *Walter Towers*, Praga, 2007 (<http://www.big.dk/#projects-w>).

Immagine 16. Foreign Office Architects, *Novartis*, Parcheggio sotterraneo con parco, Basel, 2003 (Foreign Office Architects, *Phylogenesis foa's ark*, 2003, pp. 214-215).

Immagine 17. Foreign Office Architects, *Complesso ferroviario*, Firenze, 2002 (Foreign Office Architects, *Phylogenesis foa's ark*, 2003, pp. 194-195).

Immagine 18. Foreign Office Architects, *SE Coastal Park & Auditoriums*, Barcelona, 2002-2004 (Foreign Office Architects, *Phylogenesis foa's ark*, 2003, pp. 60-61).

Immagine 19. Jds, *Weave Garden City*, Groningen, 2009 (<http://jdsa.eu/gro/>).

Immagine 20. Jds, *JNAH Marina Resort*, Beirut, 2009 (<http://jdsa.eu/jam/>).

Immagine 21. Foreign Office Architects, *Centro olimpico di sport acquatici*, Madrid, 2002 (Foreign Office Architects, *Phylogenesis foa's ark*, 2003, pp. 330-331).

Immagine 22. Foreign Office Architects, *Bundle tower*, New York, 2002 (Foreign Office Architects, *Phylogenesis foa's ark*, 2003, pp. 490-491).

Immagine 23. E. Miralles – C. Pinos, *Parc Olímpic Vall d'Hebron*, Barcelona, 1989-1992 (<http://architectural-review.tumblr.com/post/23097614423/olympic-archery-barcelona-plan-1989-by-carne>).

Immagine 24. E. Arroyo, *Plaza de Desierto*, Baracaldo, Vizcaya, 1999 (E. Arroyo, "Instrucciones Borrosas: Paisajes de Adecuación", *El Croquis*, 106/107, 2001, p. 105).

Immagine 25. E. Arroyo, *European 5- Proceso de hibridación 001*, Baracaldo, Vizcaya, 1999 (E. Arroyo, "Instrucciones Borrosas: Paisajes de Adecuación", *El Croquis*, 106/107, 2001, p. 104).

Immagine 26. External Reference, *Eco-bundling*, Jarvenpaa, Finlandia, 2009 (cortesia dell'autore).

Immagine 27. External Reference, *Cimitero di Vespella de Gaia*, Tarragona, 2007 (cortesia dell'autore).

Immagine 28. Schema semplificato della gerarchia dell'architettura (illustrazione dell'autore).

Immagine 29. Sistemi complessi (illustrazione dell'autore).

Immagine 30. B. Hillier, *depthmap*, 1974 (<http://static.spacesyntax.net/wp-content/uploads/2011/12/depthmap-image.jpg>).

Immagine 31. Geometria spontanea, Alberobello (illustrazione dell'autore).

Immagine 32. Sezione verticale funzionale di un trullo (illustrazione dell'autore).

Immagine 33. External Reference, *Eco-bundling*, Jarvenpaa, Finlandia, 2009 (cortesia dell'autore).

Immagine 34. External Reference, *Eco-bundling*, Jarvenpaa, Finlandia, 2009 (cortesia dell'autore).

Immagine 35. External Reference, *Eco-bundling*, Jarvenpaa, Finlandia, 2009 (cortesia dell'autore).

Immagine 36. External Reference, *Eco-bundling*, Jarvenpaa, Finlandia, 2009 (cortesia dell'autore).

Immagine 37. External Reference, *Eco-bundling*, Jarvenpaa, Finlandia, 2009 (cortesia dell'autore).

Immagine 38. External Reference, *Eco-bundling*, Jarvenpaa, Finlandia, 2009 (cortesia dell'autore).

Immagine 39. *Feedback* o retroazione (illustrazione dell'autore).

Immagine 40. Processo retroattivo grande scala (illustrazione dell'autore).

Immagine 41. Processo retroattivo della scala media (illustrazione dell'autore).

Immagine 42. External Reference, *Ras Gallery* (retail exhibition), Barcelona, 2011 (cortesia dell'autore).

Immagine 43. Foreign Office Architects - External Reference, *Aerospace*, Toulouse, 2007 (cortesia dell'autore).

Immagine 44. External Reference, *Cimitero di Vespella de Gaia*, Tarragona, 2007; *Eco-bundling*, Jarvenpaa, Finlandia, 2009 (cortesia dell'autore).

Immagine 45. SANAA, *Zollverein school*, Essen, Germania, 2005 (<http://en.wikipedia.org/wiki/SANAA>).

Immagine 46. Musgum Huts Cameroon (<http://www.designboom.com/architecture/musgum-earth-architecture/>).

Immagine 47. Ilya Prigogine, "Instabilità di Bernard" (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603102000266#FIG2>)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA