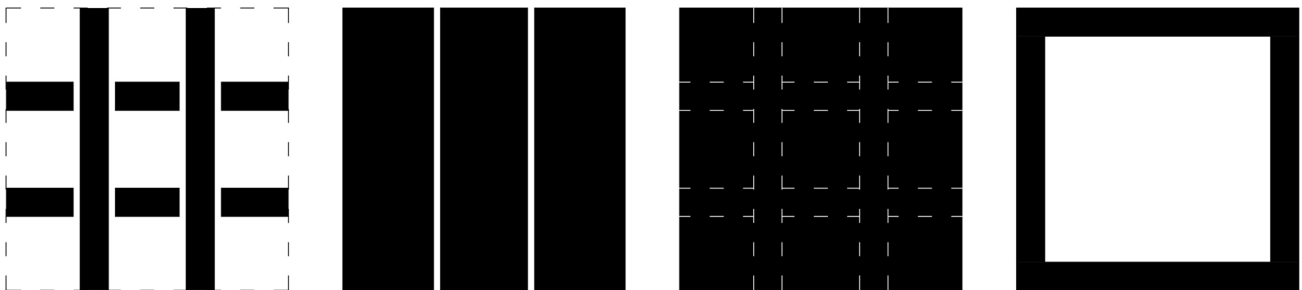


## **De-facing.** L'involucro edilizio come codice morfologico *Strumenti e metodi per una maggiore competitività aziendale*



**Dottorando:** Arch. Francesco *Trimboli*

**Tutor:** Prof. Martino *Milardi*  
**Co.tutor:** Prof. Gaetano *Ginex*

**Partners:**  
***Building Future Lab.*** (Università Mediterranea di Reggio Calabria)

***Cianciolo Group Srl.***, Palermo (Italy)  
**Tutor aziendale:** Giuseppe *Giordano*

***Glasbilt***, New Jersey (USA)  
**Tutor aziendale:** David *D'Alessio*



**De-facing. L'involucro edilizio come codice morfologico**  
*Strumenti e metodi per una maggiore competitività aziendale*

**Dottorando:** Arch. Francesco *Trimboli*

**Tutor:** Prof. Martino *Milardi*

**Co.tutor:** Prof. Gaetano *Ginex*

**Partners:**

*Building Future Lab.* (Università Mediterranea di Reggio Calabria)

*Cianciolo Group Srl.*, Palermo (Italy)

**Tutor aziendale:** Giuseppe *Giordano*

*Glasbilt*, New Jersey (USA)

**Tutor aziendale:** David *D'Alessio*



**DOTTORATO DI RICERCA IN ARCHITETTURA E TERRITORIO  
XXXIII CICLO**

**Dipartimento dArTe - Architettura e Territorio  
Università *Mediterranea* di Reggio Calabria**

**Coordinatore:**

Prof. Adolfo *Santini*

**Dottorando:**

Arch. Francesco *Trimboli*

**Tutor:**

Prof. Martino *Milardi*

**Co-Tutor:**

Prof. Gaetano *Ginex*

**Anno 2021**

## **Collegio dei Docenti:**

Prof. Ottavio Salvatore *Amaro*

Prof.ssa Marinella *Arena*

Prof. Francesco *Cardullo*

Prof.ssa Raffaella *Campanella*

Prof. Alberto *De Capua*

Prof. Giuseppe *Fera*

Prof.ssa Francesca *Fatta*

Prof. Vincenzo *Fiamma*

Prof. Gaetano *Ginex*

Prof. Massimo *Lauria*

Prof.ssa Maria Teresa *Lucarelli*

Prof. Martino *Milardi*

Prof. Valerio *Morabito*

Prof.ssa Francesca *Moraci*

Prof.ssa Daniela *Porcino*

Prof.ssa Venera Paola *Raffa*

Prof. Ettore *Rocca*

Prof. Antonello *Russo*

Prof.ssa Alba *Sofi*

Prof. Adolfo *Santini*

Prof.ssa Antonella Blandina Maria *Sarlo*

Prof. Marcello *Sestito*

Prof.ssa Rita *Simone*

Prof.ssa Rosa Marina *Tornatora*

Prof. Michele *Trimarchi*

Prof. Corrado *Trombetta*







*Alla mia famiglia,  
porto sicuro di ogni mio viaggio.*



## INDICE

### STRUTTURA DELLA RICERCA

0.1 Keywords .....	16
0.2 Considerazioni preliminari .....	16
0.3 Ambito scientifico della proposta .....	18
0.4 Ambito di indagine della proposta .....	19
0.5 Inquadramento delle problematiche scientifiche .....	20
0.6 Beneficiari della Ricerca .....	21
0.7 Obiettivo .....	22
0.8 Metodologia .....	23
0.9 Risultati attesi .....	27

INTRODUZIONE .....	31
--------------------	----

### *Parte Prima.* ARCHITETTURA ED INVOLUCRO

#### Evoluzione di un concetto

1.1 Genesi della forma .....	49
1.2 Involucro <i>primitivo</i> .....	50
1.3 Architettura in superficie .....	52
1.3.1 Involucro di <i>massa</i> .....	56
1.3.2 Il carattere espressivo dell'involucro <i>massivo</i> .....	60

## **L'evoluzione del concetto di involucro nella contemporaneità**

2.1 Il processo di smaterializzazione.....	68
2.2 Involucro trasparente .....	72
2.3 Il carattere espressivo dell'involucro moderno.....	77
2.4 Innovazione tecnologica .....	82

## **Involucro: Contenuto o Contenitore?**

3.1 Edifici oggetto.....	92
3.2 Edifici prodotto .....	99

## **Parte Seconda. TECNOLOGIA ED INVOLUCRO**

### **Quadro di riferimento**

4.1 Rapporto sul mercato italiano dell'involucro edilizio .....	109
4.2 Riferimenti normativi .....	118

### **Efficacia ed efficienza energetica dell'involucro edilizio**

5.1 Requisiti generali.....	131
5.1.1 Involucro energetico .....	133
5.1.2 Involucro tecnologico .....	135
5.2 Parametri fisici.....	138
5.2.1 Parametri esterni .....	139
5.2.2 Parametri interni .....	147

### **Caratteri ed aspetti formali**

6.1 Considerazioni generali.....	154
----------------------------------	-----

6.2 Forme analogiche .....	157
6.3 Forme digitali .....	168
6.3.Narrative skin .....	173

### **Matrice metodologica**

7.1 Considerazioni generali .....	184
7.2 Innovazione di progetto .....	186
7.3 Innovazione di prodotto .....	198

<b>CONCLUSIONI</b> .....	209
--------------------------	-----

<b>APPLICAZIONI</b> .....	213
---------------------------	-----

<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	239
---------------------------	-----





## **STRUTTURA DELLA RICERCA**

### **KEYWORDS**

Sviluppo industriale, Involucro edilizio, Innovazione, Modellazione, Progettazione cognitiva

### **CONSIDERAZIONI PRELIMINARI SULLO STATO DELL'ARTE**

Tecnologia ed architettura sono due discipline che, nell'era tecnologica, interagiscono tra di loro definendo nuovi paradigmi progettuali che influenzano sia la fase concettuale dell'architettura, *il concept*, sia quella realizzativa, *l'applicazione*. Ad oggi, le architetture, che affidano la loro comunicazione e il loro significato formale e progettuale alla tecnica, intesa come l'applicazione dei principi tecnologici, esprimono sotto altre declinazioni i concetti di spazialità, forma e composizione.

Si assiste, dunque, ad una nuova concezione del progetto architettonico, dove materiali innovativi e nuove tecnologie di costruzione coincidono con nuove configurazioni architettoniche, nuove articolazioni e nuovi significati spaziali e comunicativi.

Nel processo di ricerca e sperimentazione tecnologico-architettonica, uno dei temi cardine, è il tentativo di far coesistere l'oggetto edilizio con l'ambiente circostante, principio proprio della *progettazione tecnologica sostenibile*. Mediatore di questa esigenza è **l'involucro edilizio** che costituisce la prima e necessaria cerniera di collegamento tra sistema ambientale e sistema tecnologico, evolvendosi da *elemento-barriera* protettivo a complesso *sistema-filtro* in grado di ottimizzare le interazioni tra microambiente esterno ed interno, divenendo sempre più una superficie di confine, in



grado di variare le proprie prestazioni, a seconda delle esigenze per cui è chiamato a rispondere.

Progettare oggi, significa non solo governare il processo edilizio nelle sue fasi di espressività e realizzazione costruttiva, ma anche individuare le soluzioni costruttive e tecniche che rappresentano le scelte più adeguate tra le possibilità tradizionali e quelle dell'innovazione tecnologica più avanzata, identificando nel mercato sull'involucro edilizio, lo scenario applicativo con cui definire i fattori che determinano il carattere, fisico-formale e tecnologico-prestazionale, di questi organismi. Infatti, i concetti di innovazione di *prodotto* e di innovazione di *progetto* richiedono un approccio concettuale che trova risposta in una accurata analisi delle soluzioni già realizzate e nella conoscenza dei prodotti e delle soluzioni disponibili sul mercato, per un approccio progettuale a completamento del concetto di ***innovazione del progetto architettonico***.

Negli ultimi anni la ricerca sull'involucro edilizio, da sistema statico a sistema dinamico, nasce dalla sperimentazione di nuovi componenti e nuovi materiali utili a definire l'aspetto performante, che segna il passaggio *dalla caverna alla casa ecologica*<sup>1</sup>, dalla massa alla leggerezza, attraverso il processo di smaterializzazione delle superfici, in cui si sviluppano nuovi componenti tecnologici, che combinati tra di loro demandano ai principi e alle tecniche costruttive l'espressività dell'intero sistema involucro.

La fase progettuale si riconduce, quindi, all'applicazione di un *prodotto tecnicamente valido* per assolvere ad una determinata esigenza. In questa ottica, l'intento di questa

---

<sup>1</sup> F. Butera, *Dalla caverna alla casa ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano, 2007

ricerca è quello di definire una metodologia di lettura (teorico-pratica), che per momenti consequenziali, definisce l'iter progettuale dell'intero sistema involucro, che non porti esclusivamente alla definizione (o scelta) di un prodotto, ma che rappresenti il metodo con cui legittimare le scelte progettuali, un metodo che non ruoti attorno ad un concetto, ma che si traduce in termini applicati.

#### ***AMBITO SCIENTIFICO DELLA PROPOSTA***

L'ambito della proposta è quello dell'Area Tematica Agenda Digitale, Smart Communities, Sistemi di mobilità intelligente, ed in particolare con la Traiettorie di Sviluppo “*Tecnologie per smart building, efficientamento energetico, sostenibilità ambientale*” e quella relativa ai “*Sistemi per la sicurezza dell'ambiente urbano, il monitoraggio ambientale e la prevenzione di eventi critici o di rischio*”. Tuttavia il presupposto da cui la proposta parte è che l'ambito del costruire sostenibile è in forte relazione con lo sviluppo di metodologie progettuali innovative che consentano di sostenere la definizione di nuovi repertori tecnici per lo sviluppo della filiera industriale degli involucri innovativi. La proposta è pienamente coerente anche con l'S3 Calabria, ed in particolare con l'Area di Innovazione Edilizia Sostenibile. Infatti il documento riporta: [...] *Il comparto dell'edilizia sostenibile sembra essersi mosso in questi anni con un trend in netta controtendenza rispetto all'andamento generale del settore delle costruzioni [...]. È quindi possibile affermare come il comparto dell'edilizia sostenibile si propone oggi come il business imperativo a livello globale [...].* Aderisce, inoltre, al Programma Operativo Nazionale, Ricerca e Innovazione 2014-2020 (CCI 2014IT16M2OP005),

Fondo Sociale Europeo, Azione I.1 “*Dottorati Innovativi con caratterizzazione Industriale*”.

L'aderenza al Programma Operativo Nazionale (PON), consente di sviluppare le tematiche della ricerca, in riferimento alla filiera produttiva che consente l'affermarsi di un evoluto processo produttivo, declinando il concetto di sostenibilità alla integrazione delle tecnologie di chiusura costituite da *layer flessibili* e dinamici, in funzione dell'esigenza performante in termini tecnologici.

Partecipando inoltre, in maniera attiva alle attività delle aziende partner dello stesso programma, **Cianciolo Group SRL**, Palermo (ITALIA) e **Glasbilt**, New Jersey (USA), leader nella progettazione e realizzazione di sistemi per facciate in alluminio, nonché alle attività del **Building Future Lab**. della Università *Mediterranea* di Reggio Calabria, è stato possibile tradurre l'analisi teorica, in una fase propositiva di sperimentazione per concretizzare il trasferimento tecnologico dei risultati dal settore scientifico disciplinare di competenza al soggetto produttivo coinvolto.

#### ***AMBITO DI INDAGINE DELLA PROPOSTA***

Il progetto si sviluppa integrando un apparato teorico relativo alla evoluzione etimologica del concetto di involucro, accompagnato da una attività pratica sviluppata con il supporto delle aziende sopracitate collaborando ***all'individuazione della domanda di innovazione e al possibile miglioramento degli strumenti e dei metodi necessari per una migliore competitività aziendale.*** Definire gli scenari che hanno portato alla evoluzione dell'involucro edilizio come un organismo biologico, consente di documentare

culturalmente l'evoluzione del processo tecnologico, dove la standardizzazione e la prototipazione industriale smaterializzano l'elemento *facciata*; l'indagine è volta, quindi, a formulare delle considerazioni *teorico-pratiche*, che dimostrino come l'edificio, oggi, sia espressivamente raffigurato attraverso il principio saliente della sua *composizione*, intesa come l'assemblaggio delle parti che lo compongono.

### ***INQUADRAMENTO DELLE PROBLEMATICHE SCIENTIFICHE***

Definire metodologicamente l'evoluzione del processo tecnologico, *dalla caverna alla casa ecologica*, è lo strumento con cui legittimare la tendenza a pensare al modello morfologico dell'abitare, come un modello funzionale l'innovazione tecnologica, dove l'esigenza di trovare risposte alle problematiche ambientali, demandano al concetto di *efficienza energetica* il presupposto con cui giustificare le scelte progettuali. L'intento è quello di descrivere l'evoluzione delle prestazioni dell'involucro edilizio e dei processi tecnologici di innovazione che hanno permesso di sviluppare il passaggio etimologico e prestazionale dal concetto di *chiusura* a quello di *facciata*, paradigma dell'*evoluzione culturale* dei principi tecnologici alla base del progetto architettonico.

Il trasferimento di questi principi, in termini aziendali, al progetto tecnologico-architettonico si traduce nell'efficacia delle scelte progettuali, un momento meccanico, in cui l'involucro edilizio viene percepito come un sistema indipendente dalla struttura, non solo da un punto di vista fisico, ma anche concettuale. La progettazione di questi sistemi si riconduce all'adattività delle soluzioni proposte dal mercato, in cui la R.O. (Roof Opening) diventa l'unico elemento che caratterizza l'intero processo progettuale.

Riconoscere al mercato l'efficacia delle scelte progettuali, non esclude che nel processo evolutivo ci sono stati dei momenti in cui le esigenze legate al *comfort*, si siano risolte applicando i principi fisici desunti dal comportamento naturale delle cose, seguire quindi un iter progettuale, *tecnicamente valido*, porterebbe a definire dei sistemi che per continuità o scomposizione delle sue parti, considerano, da un lato, tutti quei fattori che incidono per garantire il corretto comportamento dell'involucro edilizio in termini prestazioni, dall'altro concetti come *struttura, forma, tipologia* ne sostengono la progettazione, volta a ponderare le scelte, definendo una maggiore competitività aziendale applicando il principio della *selezione*.

L'involucro edilizio non più come processo meccanico, ma come processo selettivo.

### ***BENEFICIARI DELLA RICERCA***

La ricerca si imposta su un carattere teorico a sostegno della progettazione cognitiva dell'involucro edilizio, definendo una metodologia del pensiero architettonico, applicabile alla pratica progettuale contemporanea in forma operativa.

#### *Beneficiari*

- *Università*: la ricerca come mezzo di sensibilizzazione per le tematiche trattate, proprie di una Scuola di Architettura, auspicando che non può esistere una evoluzione tecnologica senza cultura, intesa come conoscenza;
- *Autorità locali*: (pubblici o privati) nella definizione metodologica del pensiero architettonico, volto alla progettazione dell'involucro edilizio viene fatto riferimento alle

Normative (italiana e americana) a supporto di una strategia progettuale tecnicamente valida;

- *Imprenditori*: (aziende) le linee guida tracciate nella ricerca possono diventare il supporto per fare comprendere all'imprenditoria edile la necessità di costituire un mercato fondato sulla conoscenza dei sistemi, e non sulla speculazione del prodotto;

- *Tecnici*: la ricerca si riferisce a tutte le figure (architetti, ingegneri, tecnici, operai) che concorrono a definire compiutamente il funzionamento dell'involucro edilizio, sia da un punto di vista teorico, sia pratico.

### ***OBIETTIVO***

La ricerca presentata si colloca nell'ambito del settore scientifico disciplinare della Tecnologia dell'architettura, individuata come settore di ricerca relativo non solo agli studi dell'oggetto architettonico, ma anche dei processi e dei metodi, sia materiali che immateriali, che conducono alla realizzazione dell'edificio, inteso come insieme di componenti e sistemi.

L'indirizzo scientifico dell'area disciplinare induce a pensare al momento della ricerca come indispensabilmente legato ai concetti di: *invenzione, esplorazione, intenzione, creazione*; suggerendo un approccio al tema che porti alla formulazione di una proposta come sintesi delle valutazioni e delle indagini che saranno sviluppate nella Tesi stessa.

Un tema che guarda alle varie scale dimensionali: territorio, paesaggio, città, edificio, riflettendo su come, il *progetto* in architettura sia il luogo teorico e operativo in cui s'integreranno gli apporti dei vari settori scientifico disciplinari cui la ricerca fa capo.

L'edificio verrà concepito come un padiglione smontabile, affatto indifferente al luogo (*la città*) e alla sua evoluzione (*la storia*).

Viene elaborato un *alfabeto delle strutture* che accomuna tipologie edilizie differenti, riconducibili a quattro modelli tipologici: trasparente/trasparente, trasparente/opaco, opaco/opaco, trasparente/traslucido, coniugando i principi della prefabbricazione con lo studio di tipi costruttivi semplici, caratterizzati da una specifica soluzione *morfologico-strutturale*. Verranno costituiti dei *codici*, che per continuità o scomposizione, per trasparenza o opacità delle parti di facciata, definiscono compiutamente tutti gli aspetti che caratterizzano l'involucro edilizio in un rapporto percettivo dinamico attorno ad esso. Tali codici concorreranno alla definizione di una *matrice metodologica*, quale supporto progettuale della fase propositiva.

## **METODOLOGIA**

La ricerca si sviluppa adottando un modello metodologico di tipo deduttivo, sistemico e scalare che permette di strutturare il lavoro di indagine per momenti consequenziali di approfondimento: passando dalla definizione del macro-tema fino alla definizione di un *alfabeto* quale sintesi metodologica/intuitiva che descriva il processo di *innovazione tecnologica* del progetto architettonico.

La Ricerca si sviluppa seguendo due filoni:

***Architettura ed Involucro;***

***Tecnologia ed Involucro.***

La prima parte definisce lo *stato dell'arte*, dove, guardando alla storia dell'architettura si intercettano quei momenti utili a descrivere l'evoluzione del concetto di involucro; da come questo muta da elemento **barriera** ad elemento **filtro**, riconoscendo in questo processo i principi fisici, legati alla natura e al comportamento dei materiali, che costituiranno i riferimenti che caratterizzano l'evoluzione tecnologica. Un'evoluzione che, dal bisogno primordiale di rifugio, riparo, volge alla più attuale ricerca di comfort ambientale. Si fa, inoltre riferimento al contesto che vede, con la Rivoluzione Industriale, l'accrescersi di un rinnovato interesse verso uno stile architettonico che rappresenti la modernità e l'identità nazionale, adeguato alle nuove tecnologie per l'edilizia introdotte sul mercato. L'impiego di materiali come ghisa, ferro, legno e vetro determinano una svolta percettiva e progettuale decisiva nella storia delle costruzioni. L' involucro introduce un nuovo rapporto tra manufatto e città, divenendo un elemento di grande valore **iconografico**.

Questa iconograficità, definisce delle considerazioni ambigue legate al concetto di involucro edilizio.

***Contenuto o Contenitore?***



Queste considerazioni portano a definire, come in architettura, la tendenza a definire questi sistemi attraverso i principi salienti della propria composizione, porta a definire da un lato *edifici oggetto*, descritti, in *Learning from Las Vegas* da Robert Venturi e Denise Scott Brown, ad esempio; dall'altro i principi della prefabbricazione e prototipazione industriale, introducono tecnologie costruttive che fanno del modello architettonico un *prodotto industriale*, promuovendo articolazioni spaziali e funzionali in un nuovo rapporto dell'edificio con lo spazio e con il tempo. In questa ottica la ricerca di Jean Prouvé, sui sistemi leggeri di facciata, spesso registrati come brevetti, rappresenta ad esempio, la vera genealogia del pensiero industriale.

La seconda parte, definisce compiutamente i momenti che caratterizzano la progettazione di questi sistemi. Analizzando, innanzitutto da un punto di vista fisico, le componenti che concorrono al corretto funzionamento performante dell'involucro edilizio. Una analisi che porta a fare delle considerazioni, in un primo momento, su materiali e forme.

L'immagine dell'involucro edilizio viene decostruita del suo significato originale, viene *spogliata* delle funzioni reali e assoggettata alla pura forma come paradigma di una più ampia visione del sistema architettonico contemporaneo.

Percepito come un sistema che si distacca dalla struttura portante, vengono definiti i principi, analizzati attraverso le tipologie costruttive, con cui tradurre le analisi teoriche in applicazioni pratiche, facendo riferimento al mercato edilizio sui sistemi di involucro, come rivoluzionaria possibilità espressiva e diagnostica con cui con cui analizzare, scomporre e codificare i complessi sistemi tecnologici che lo costituiscono.

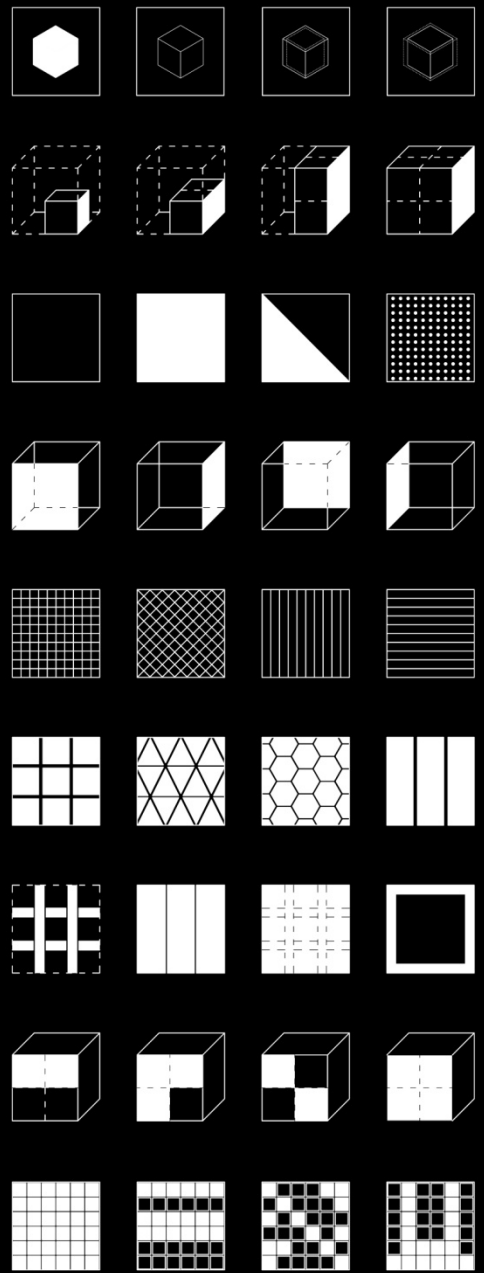
La fase di analisi, che coincide con le riflessioni sviluppate nel periodo trascorso presso le aziende partner della ricerca, *Cianciolo Group SRL* e *Glasbilt*, il cui rapporto può tradursi in produzione e applicazione, ha permesso di mettere a fuoco l'esigenza di definire uno strumento che leghi questi due momenti, e che nella ricerca proposta si traduce nella definizione della matrice morfologica, quale strumento (teorico-pratico) con cui i principi sulla produzione e sulla applicazione, non vengano considerati come due momenti indipendenti tra di loro, ma rappresentano un legame imprescindibile che, evidenziato per punti, determina l'iter progettuale dell'involucro edilizio. Inoltre, attraverso il contatto con le aziende, una sul territorio Nazionale ed una sul territorio Internazionale è stato possibile fare riferimento alle diverse normative che *regolano* la progettazione di questi sistemi, verificando quindi, l'applicazione della matrice, come strumento di supporto alla progettazione.

Si osserverà, infine, come una rinnovata espressione tecnologica del progetto, selettiva, dovuta all'innovativo processo di produzione, porterà ad una concezione nuova dello spazio, affidata alla potenzialità espressive dell'involucro edilizio, conquistando nuovi effetti percettivi e comunicativi di una nuova spazialità che, pur riconoscendo al passato la matrice di fondo, la consistenza fisica e culturale ci proietta in una dimensione profondamente mutata. Aspetto che sarà analizzato nelle conclusioni, dove viene fatto riferimento a quello che si potrebbe definire *narrative envelope* (involucro narrativo), dove, indipendentemente dalla natura fisica e morfologica, l'involucro edilizio diventa un contenitore multimediale, frutto del processo tecnologico e produttivo in senso più ampio.

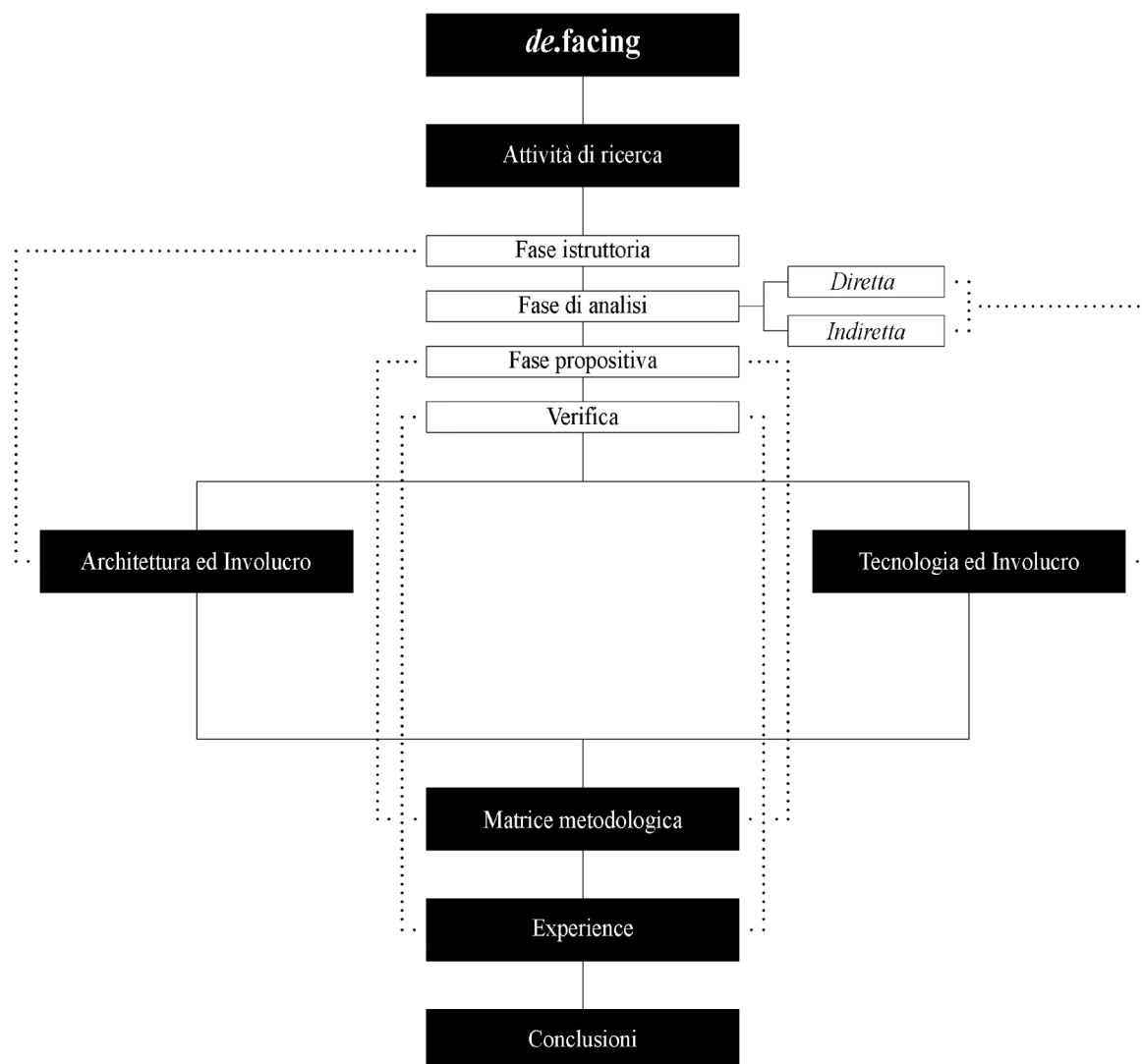
### ***RISULTATI ATTESI***

Definire una strategia di controllo per definire e descrivere i fattori che influenzano la progettazione dell'involucro edilizio è il risultato che questo lavoro si pone, per una maggiore consapevolezza del processo che lega produzione ed applicazione.

Il risultato ottenuto, descrive un modello di lettura per codificare le qualità, che nel processo tecnologico-architettonico, l'involucro determina; un sistema che non nasce da un processo di addizione, ma che riconoscendo nella offerta della produzione la varietà di soluzioni già consolidate, sottolinea la necessità di evidenziare il processo che porta a fare determinate scelte, sostenendo soprattutto le aziende, che spesso si affidano ad un mercato fondato sulla speculazione del prodotto, e sempre meno sulla conoscenza dei sistemi, definendo dei processi fondati sulla conoscenza, intesa funzionalmente come guida nella progettazione, *cognitiva* per l'appunto.



Quadro sinottico







## **INTRODUZIONE**

Uno degli archétipi più significativi dell'architettura di tutti i tempi è l'alternanza di vuoti e pieni il cui unico scopo appare quello di filtrare e dividere lo scrigno sacro della *divinità*, della *luce*, dal *paesaggio* circostante in cui si svolge il rito collettivo.

Il concetto di involucro<sup>1</sup>, etimologicamente trae le proprie origini nella concezione primordiale di rifugio, riparo, e rappresenta quella necessità antropica da parte dell'uomo di ri-definire un proprio spazio *sicuro*. L'eccezione etimologica del termine, *involgere*<sup>2</sup>, in senso figurato, indica tutto ciò che avvolge esternamente qualcosa<sup>3</sup>, un scudo, una protezione, una *barriera*. In questa ottica, l'uomo, ha da sempre cercato di trovare delle soluzioni a questa necessità, riverbero dello spirito del tempo in cui egli vive. Non a caso questo primo tentativo può essere identificato nella capanna primitiva, o meglio nella *yurta*, archetipo della tenda, adottata da molti popoli nomadi dell'Asia tra cui mongoli, kazaki e uzbeki; una costruzione semplice, la cui funzione portante è affidata ad una struttura di supporto lignea, e la chiusura è realizzata con la pelle degli animali, o talvolta, da tessuti.

Questo primo esempio è esplicativo nel potere dare una prima definizione di involucro edilizio, quale sistema di chiusura integrale dell'edificio; integrale poiché rappresenta una *entità autonoma* dove elementi portanti ed elementi portati sono separati tra di loro.

---

<sup>1</sup> *involucro*: /in'vɔlukro/ s. m. [dal lat. *involūcrum*, der. di *involvĕre* "involgere"].

[https://www.treccani.it/vocabolario/involucro\\_%28Sinonimi-e-Contrari%29/](https://www.treccani.it/vocabolario/involucro_%28Sinonimi-e-Contrari%29/)

<sup>2</sup> *involvere*: v. tr. [dal lat. *involvĕre*: v. involgere] <https://www.treccani.it/vocabolario/involgere/>

<sup>3</sup> G. Di Ruocco, *Oltre la facciata: l'evoluzione tecnologica dell'involucro edilizio tra tradizione e innovazione*, CUES Edizioni, Salerno, 2012



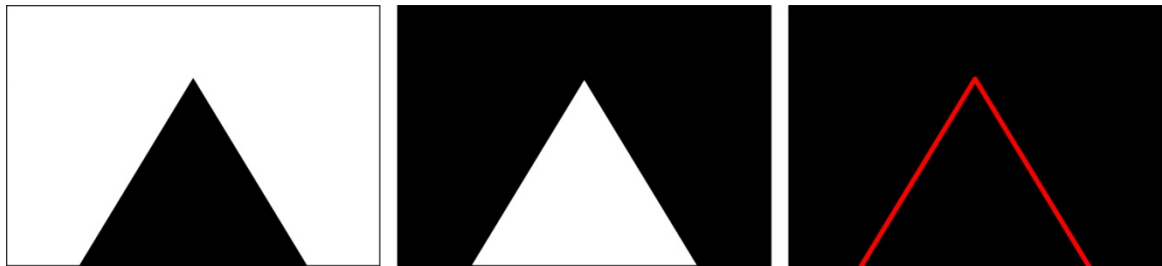
La yurta risponde al bisogno primitivo dell' uomo di rifugio, protezione; espressione dello spirito del tempo in cui egli vive.



**Fig. 1** Yurta mongola. *Disegno nello spazio di forme e volumi appartenenti ad una memoria inconscia collettiva*

Con il passaggio ad uno stile di vita sedentario, l'uomo ha bisogno di trovare delle soluzioni durevoli e sperimenta nuove tecniche e nuovi materiali. Di conseguenza le *architetture*, da semplice riparo, si evolvono ad elemento rappresentativo la società e l'evoluzione stessa. [...] *Essendo l'intreccio l'elemento originario, anche più tardi quando le leggere pareti di stuoie si trasformarono in solidi muri, in mattoni di terra, o cubi di pietra, esso conserva in realtà o anche solo idealmente, tutto il peso della sua primitiva importanza, la vera essenza della parete*<sup>4</sup>. [...]

<sup>4</sup> Cfr. G. Semper, in *La visione estetica di Semper*, seguito da Gottfried Semper, *i 4 elementi dell'architettura* a cura di Ludocica Scarpa, Milano 1991 citato in G. Fanelli, R. Gargiani *Il principio del rivestimento*, pp. 3-4



Con questa nuova concezione, la separazione degli elementi, *portanti* e *portati*, si perde. L'utilizzo di questi nuovi materiali (tra cui il legno, l'argilla e le pietre) e di queste nuove tecniche, portano ad una *artificializzazione* del bisogno primitivo dell'uomo di riparo, di rifugio. Si manifesta la necessità di pensare ad un luogo dissimile dallo spazio limitrofo, non indifferente alle condizioni esterne. Il *diaframma* murario rappresenta quindi, la linea di confine tra spazio interno ed esterno, una *barriera*, dove la mancanza di grandi aperture garantisce una maggiore protezione ed un maggiore controllo del *comfort interno*. "Una volta il muro portava, e l'onore del muro era la sua grossezza che ne dimostrava la capacità portante"<sup>5</sup>.



<sup>5</sup> Ponti G., "Scomparsa del muro" in *L'architettura è un cristallo*, Milano, Editrice Italiana, 1945, pp. 138-139

Il passaggio "*Dalla caverna alla casa ecologica*"<sup>6</sup> segna l'evoluzione dell'involucro edilizio da *elemento-barriera* protettivo a complesso *sistema-filtro* in grado di ottimizzare le interazioni tra esterno ed interno, divenendo sempre più una superficie di confine dinamica.



**Fig. 2:** Ideogramma del concetto di involucro. In riferimento alla tenda primitiva (l'esigenza di rifugio, a sx, e quella di riparo, al centro) l'involucro è la materializzazione di un bisogno.

**Fig. 3:** Palazzo Facades. (R. Venturi, D. Scott Brown, S. Izenour, *Learning from Las Vegas*, The Mit press, 1972)

**Fig. 4:** Immagine esterna Crystal Palace

<sup>6</sup> F. Butera, *Dalla caverna alla casa ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano, 2007

La Rivoluzione Industriale vede l'accrescersi di un rinnovato interesse verso uno stile architettonico che rappresenti la modernità e l'identità nazionale, adeguato alle nuove tecnologie per l'edilizia introdotte sul mercato. L'impiego di materiali come ghisa, ferro e vetro determinano una svolta percettiva e progettuale decisiva nella storia delle costruzioni. La forma e l'immagine esterna di un edificio prescinde dal programma interno, *involto* da una seconda pelle, *intesa come il sistema tecnologico di delimitazione tra spazio architettonico e ambiente non costruito, può essere analizzata come un sistema di confine tra interno ed esterno*<sup>7</sup>, espressione che può assumere altre declinazioni, quali figura e sfondo, pieno e vuoto, dove la linea di demarcazione tra gli elementi (portanti e portati) genera nuovi spazi che Robert Venturi definirebbe di tipo "*e-e*", *interno ed esterno allo stesso tempo*<sup>8</sup>. La seconda pelle dell'edificio, la terza pelle per l'uomo (James Marston Fitch, 1972).

L'edificio viene concepito come un padiglione smontabile, affatto indifferente al luogo (*la città*) e alla sua evoluzione (*la storia*). Jean Prouvé coniuga i principi della prefabbricazione con lo studio di sistemi costruttivi semplici, caratterizzati da una specifica soluzione morfologico-strutturale, elaborando un '*alfabeto delle strutture*' che accomuna tipologie edilizie differenti.

Intendere l'involucro come un elemento che si distacca dalla struttura genera delle ripercussioni nella concezione stessa dell'architettura, dove l'involucro assume un ruolo

---

<sup>7</sup> <https://www.teknoiring.com/guide/guide-edilizia-e-urbanistica/linvolucro-edilizio-come-pelle-e-membrana/>

<sup>8</sup> R. Venturi, D. Scott Brown, S. Izenour, *Learning from Las Vegas*, The MIT Press, 1972

predominante e inedito nel rapporto tra il manufatto e la città, sia da un punto di vista compositivo che da un punto di vista comunicativo.

Compositamente tutto l'impalcato teorico che aveva liberato le piante di un edificio, la sua spazialità interna dal gioco delle costrizioni costruttive e dai dogmi compositivi si riverbera sulle facciate producendo immagini leggere ed incorporee. L'interpretazione vitruviana di *firmitas*, *utilitas* e *venustas* viene *deffaciata*<sup>9</sup> dalla spasmodica attenzione della ricerca contemporanea, verso il [...] "*concetto di involucro come frontiera, come interfaccia dinamica permeabile e selettiva, tramite cui può realizzarsi quel processo di interazione tra gli elementi ambientali interni e il mondo esterno, quel flusso 'adattivo' di scambi materiali e immateriali da cui dipende il mantenimento di condizioni di benessere e di comfort all'interno degli spazi abitati*"<sup>10</sup>[...].

L'involucro edilizio, nel processo di ricerca e sperimentazione tecnologico-architettonica, introduce un nuovo rapporto tra manufatto e città, divenendo un elemento di grande valore **iconografico**.

---

<sup>9</sup> *Defacing*, termine inglese che, come il suo sinonimo *defacement*, ha il significato letterale di sfregiare, deturpare, sfigurare, in italiano reso raramente con defacciare. Nell'ambito della sicurezza informatica ha solitamente il significato di cambiare illecitamente la home page di un sito web, la sua "faccia" o modificarne, sostituendole, una o più pagine interne. Questo modo di aggirare la sicurezza online è stato reso famoso dalla crew "*Masters Italian Hackers Team*", attiva dal 2011 e sotto stretta osservazione fin dal 2013 da parte della polizia postale e del gruppo speciale di investigatori informatici CNAIPIC1. Con il defacement la homepage del sito viene sostituita con un'immagine, vera e propria firma degli hacker. Tale sostituzione impedisce l'accesso ad ogni pagina del sito web, rendendolo praticamente inutilizzabile. Ma non solo, sulle homepage colpite viene applicata anche la scritta "*Security is just an illusion*" (la sicurezza è solo un'illusione).

<sup>10</sup> R. Piano, C. Piano, *Almanacco dell'architetto. Viaggi nell'architettura*, Proctor edizioni S.p.a, Bologna, 2012., p. 277

Il valore comunicativo è sicuramente l'aspetto di maggiore innovazione, la sua superficie diventa, infatti, il luogo delle contaminazioni con altri linguaggi quali il design, la grafica e la comunicazione multimediale. Ma la sua autonomia strutturale concede anche una nuova libertà formale nella definizione dei volumi; un percorso che è stato esplorato e sperimentato soprattutto nell'ambito del decostruttivismo a partire dal Parc de la Villette di Bernard Tschumi, in cui si possono leggere diversi elementi anticipatori di questa posizione teorica.

La scomposizione della facciata in parti: **struttura - strato isolante - involucro**, è un passaggio metodologico essenziale per comprendere la natura dell'involucro come elemento indipendente dalla struttura, dove la distanza e il rapporto di queste parti tra loro determinano di volta in volta configurazioni diverse che coinvolgono sia l'interno dell'edificio che la sua superficie esterna.

Queste configurazioni vengono descritte da Robert Venturi e Denise Scott Brown, che nel 1968 coniavano due nuovi termini per descrivere l'architettura simbolica della città del Nevada: *the duck* (l'anatra) e *the decorated shed* (il capannone decorato), in riferimento alle sperimentazioni sul progetto dell'involucro architettonico negli showroom della catena commerciale Best Products negli Stati Uniti progettati dal gruppo SITE (Sculpture In The Environment) tra il 1972 e il 1984. [...] *Dove i sistemi architettonici di spazio, struttura e programma sono sommersi e distorti da una forma simbolica che li sovrasta. Questa sorta di edificio che diventa scultura la chiameremo the duckin onore del drive-in a forma di anatra, The Long Island Duckling.* [...] *Dove i sistemi di spazio e struttura*

*sono direttamente a servizio del programma, e l'ornamento è applicato indipendentemente da essi, lo chiameremo the decorated shed<sup>11</sup> [...].*

Cosa rimane quindi dell'*esterno*?

La superficie esterna come elemento fisico si smaterializza, costituendo codici che per continuità o scomposizione, per trasparenza o opacità delle parti di facciata, definiscono compiutamente tutti i lati in un rapporto percettivo dinamico attorno ad esso. L'eccezionalità sta nell'innovativo processo di produzione dove vengono sfruttate le potenzialità tecnologiche per una più incisiva rappresentazione dello "*spirito del tempo*", in una continua revisione critica dei codici linguistici e morfologici derivanti dalla storia dell'architettura.

---

<sup>11</sup> R. Venturi, D. Scott Brown, S. Izenour, *Learning from Las Vegas*, The MIT Press, 1972



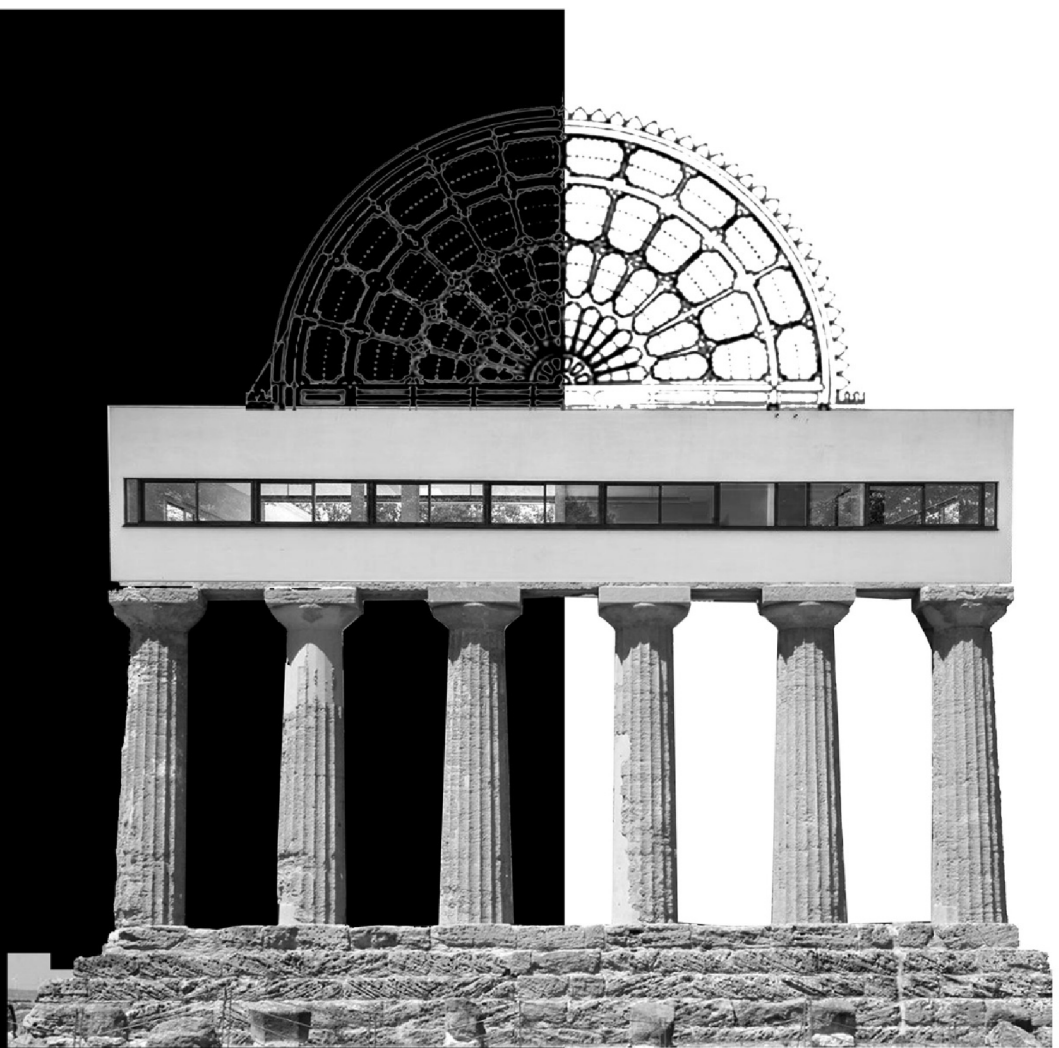




*Parte Prima*

***ARCHITETTURA ED INVOLUCRO***





*L'involucro come rappresentazione dello Spirito del tempo*  
Elaborazione grafica a cura dell'autore



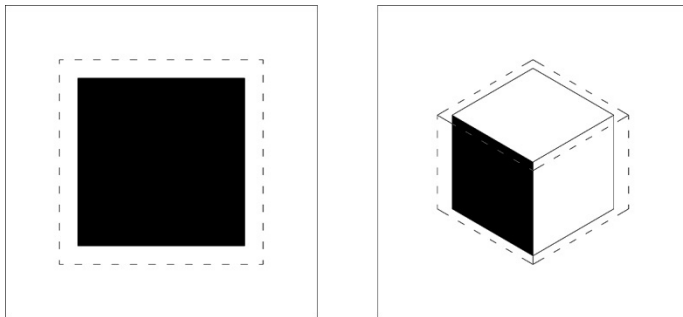


*Capitolo I*

***EVOLUZIONE DI UN CONCETTO***

[...] C'era fondamentalmente la visione di una architettura che si sviluppa all'interno di un Involucro già preformato, dove la terra oltre già la sua protezione... [...]

H. H.<sup>1</sup>



I processi di analisi scientifica e di linguaggio architettonico degli elementi costruttivi e dei componenti tecnologici che caratterizzano l'involucro si distinguono secondo i diversi

approcci con cui questi vengono affrontati. Per proporre una lettura storica della genealogia della tipologia dell'*edificio contenitore*, di un edificio contenuto all'interno di un involucro assolutamente indipendente da esso, vanno analizzati i caratteri storici dell'architettura in relazione agli sviluppi delle tecnologie della costruzione e della percezione del concetto di *edificio*, intercettando tendenze, evoluzioni e informazioni che hanno dato origine alla sua attuale immagine, dove la *tecnica*<sup>2</sup> si eleva a poetica della costruzione, divenendo *arte*.

**Fig. 1:** Schematizzazione concettuale dell'involucro edilizio nell'eccezione di contenuto all'interno di un contenitore

<sup>1</sup> H. Hollein, *Progetti sotterranei*, in *Domus* 812, 1999

<sup>2</sup> Tecnica: per i Greci τέχνη è in generale la capacità pratica di operare per raggiungere un dato fine, in quanto basata sulla conoscenza ed esperienza del modo in cui è possibile raggiungerlo: tale è quindi, per es., la scienza-abilità del medico, del ceramista, del musicista, del poeta, ecc. Il termine di τέχνη, nella sua latitudine di significato, viene con ciò a corrispondere a quello latino di *ars*: e assume di conseguenza una posizione particolare rispetto a quest'ultimo quando i diretti eredi semantici di *ars* nel mondo moderno

*L'edificio è prima di tutto una costruzione e solo successivamente un ragionamento astratto relativo a pianta, volume e superficie<sup>3</sup>.*

Sulla base di questa considerazione potremmo affermare, quindi, che la costruzione si realizza sempre attraverso la *modellazione* della conoscenza come metodo, dove il complesso degli elementi costruttivi, strutturali, statici, in azione congiunta con il topos, ed il typos, tende a contrastare l'attuale tendenza dell'architettura a legittimarsi facendo appello ad altri linguaggi<sup>4</sup>, dove *l'unità greca della tekne si è scissa in una relazione conflittuale tra tecnica e arte, tra espressione e oggettività, mentre il compito dell'opera è restituire per mezzo dell'arte l'unità<sup>5</sup>.*

Il concetto di *modellare la conoscenza*, oltre che la capacità di *instaurare* un rapporto nuovo tra *tecnica* e *arte*, sembra confermare l'atteggiamento del dominio dell'uomo sulla natura. L'innovazione tecnologica in architettura, deve riguardare il miglioramento del

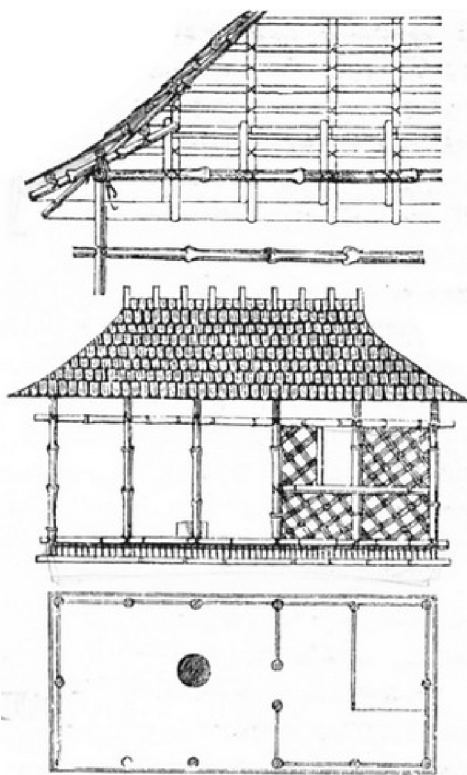
---

(*arte, art, Kunst*) sono sempre maggiormente volti a significare l'esperienza artistica nel suo più proprio valore estetico. Nel concetto di "tecnica" viene infatti a riversarsi quanto nell'antica τέχνη e *ars* dell'artista era propriamente pratico-strumentale, e insieme basato su esperienza conoscitiva e non su immediata ispirazione e genialità. Ne nasce il concetto e il problema della "tecnica" quale si presenta nella moderna filosofia dell'arte (e non soltanto a proposito delle arti figurative, in cui la cosa appare più evidente, ma a proposito di ogni forma estetica): donde il vario modo di valutare la tecnica stessa come "antecedente" o come "strumento" dell'effettiva realizzazione estetica (problema del "padroneggiamento", o del "superamento" della tecnica, e via dicendo). Enciclopedia treccani.

<sup>3</sup> Le Corbusier, *Tre avvertenze agli architetti*, in *Vers une architecture*, Parigi, Cres, 1923. trad. it. (a cura di Pierluigi Cerri e Pierluigi Nicolin), *Verso un'architettura*, Milano, Longanesi, 1973

<sup>4</sup> G. Leoni, *Poetica della costruzione, intervista a Kenneth Frampton*, "AREA", 31, 1996, marzo-aprile, pp. 48-51, citato in G. Di Ruocco, *Dettagli di facciata. Tra tettonica e rivestimento dell'involucro edilizio*, Cooperativa Universitaria Editrice, Salerno, 2007

<sup>5</sup> V. Gregotti, *Introduzione*, in K. Frampton, *Tettonica e Architettura*, SKIRA, Milano, 1999, ed. orig. *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, Mit press, Cambridge, 1995



*Fig. 2: Capanna caraibica nella Grande Esposizione del 1851 (Gottfried Semper, Der Stil);*

*Fig. 3: Frontespizio di Marc-Antoine Laugier: Essai sur l'Architecture 2nd ed. 1755 by Charles Eisen (1720-1778).*



rapporto tra architettura ed ambiente (Bugatti, 2003): questo miglioramento va però specificato rispetto al significato ed alle relazioni reciproche che si instaurano tra uomo, architettura ed ambiente.

### ***1.1 Genesi della forma***

Nell'idea primordiale di rifugio, era già sedimentata la tendenza ad instaurare delle relazioni tra uomo, architettura ed ambiente, attraverso la definizione di nuove *forme* architettoniche, genesi di un modello tipologico formale sviluppato per soddisfare un determinato bisogno. Nel tempo questi bisogni antropici si sono evoluti in relazione al susseguirsi dei fenomeni che tendono alla ricerca di prestazioni che vanno aldilà della capacità adattiva ed emergenziale<sup>6</sup>, mirando a paradigmi progettuali che determinano *la nascita di sistemi complessi nei quali la componente tecnologica contribuisce significativamente alla definizione di un nuovo linguaggio architettonico, plasmatosi sulle nuove tecnologie impiegate*<sup>7</sup>.

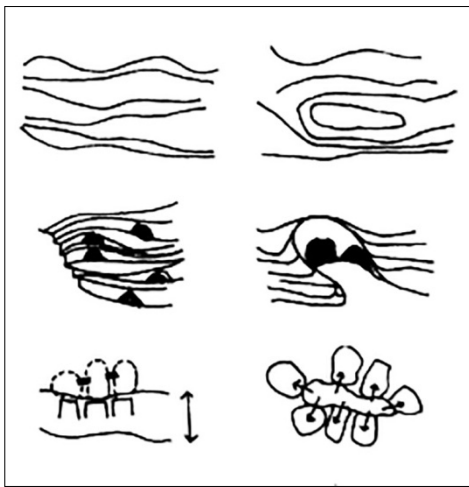
In prima analisi, la ricerca di queste prestazioni, che coniugano *forma* architettonica e morfologica quale tentativo di stabilire la relazione tra uomo, architettura ed ambiente, può trovare risposta nella cosiddetta *architettura vernacolare*<sup>8</sup>, identificando nelle

---

<sup>6</sup> F. Tucci, *Involucro, Clima, Energia, Qualità bioclimatica ed efficienza energetica in architettura nel progetto tecnologico ambientale della pelle degli edifici*, Altralinea Edizioni, Firenze, 2014

<sup>7</sup> F. Conato, V. Frighi, *Il ruolo dell'innovazione nella definizione di nuovi paradigmi formali in Architettura*, in "TECHNE", 16, 2018. p.107

<sup>8</sup> Si definisce come vernacolare *il modo naturale e tradizionale attraverso cui le comunità hanno prodotto il loro proprio habitat. Forma parte di un processo, che include i cambiamenti necessari e un continuo adattamento, come risposta alle esigenze sociali ed ambientali*. Carta sul patrimonio vernacolare costruito, Ratificata dalla 12a Assemblea Generale dell'ICOMOS, Messico, 1999.



**Fig. 4:** Schemi principi vernacolari. Antropizzazioni ipogee come ottimizzazione delle risorse disponibili per una "visione" moderna di rifugio

antropizzazioni ipogee o rupestri le soluzioni morfologiche che mediano al bisogno di ottimizzare le risorse disponibili, declinando l'evoluzione del concetto di rifugio, alla nozione più attuale di *habitat*<sup>9</sup>; se da un lato, queste architetture, rappresentano l'evoluzione di un modello abitativo formale, dall'altro sono la prima risposta alla primordiale ricerca di controllo ambientale.

## **1.2 Involucro primitivo**

L'*architettura della sottrazione* rappresenta il bisogno antropico di modellare il paesaggio naturale fronteggiando le avverse condizioni climatiche nel più evoluto concetto di *habitat*, dove la progressiva emancipazione della cultura abitativa, nel processo di trasformazione dal *rifugio* alla *capanna*, definisce compiutamente nuove forme abitative, mimesi del paesaggio naturale, definite dal carattere della morfologia topografica.

Questo processo di antropizzazione si sviluppa nella fascia climatica compresa tra la zona temperata ed equatoriale, registrando una larga diffusione nel territorio attorno al bacino

<sup>9</sup> R. Banham, *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Editori Laterza, Roma, 1995

del Mediterraneo, dove le escursioni termiche mitigano verso *orizzonti deserti*; sfruttandone la massa termica, il terreno è il *moderatore* di questo processo, in grado di ottimizzare le interazioni tra interno ed esterno, favorendo la termoregolazione naturale del microclima interno.

Il raggiungimento di queste prestazioni è subordinato al carattere morfologico del *topos*, di conseguenza si è alla ricerca costante di soluzioni più vantaggiose; questa ricerca, combinata all'evolversi delle operazioni di sottrazione, identifica delle tipologie adattive come *modelli formali* di questi insediamenti, distinguendo tra configurazioni naturali e configurazioni originate da una azione antropica di scavo: *grotte, strutture rupestri, strutture ipogee e strutture miste*<sup>10</sup>.

Le prime non erano implicite alla necessità di un rifugio o di una difesa, ma rappresentavano la scelta più vantaggiosa rispetto le alternative presenti. Tra le condizioni che favoriscono questa scelta l'orientamento e l'esposizione sono i caratteri predominanti; garantivano un maggiore controllo delle variazioni climatiche *indoor* e *outdoor*; garantendo un efficace isolamento termico. Le seconde tendono a mimetizzarsi con il paesaggio circostante fino a scomparire nel sottosuolo. Questa configurazione archetipica si riferisce ad un modello morfologico consolidato, che si sovrappone alle tipologie cinesi o tunisine del *pozzo di luce*, in tipologie tridimensionali ben più articolate<sup>11</sup>; il riferimento

---

<sup>10</sup> R. Bixio, V. Castellani e C. Succhiarelli, *Cappadocia: le città sotterranee*, Ed. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma, 2002

<sup>11</sup> I. Delsante, *La ricerca PRIN. Progettare il sottosuolo: esiti compositivi e riscontri applicativi*, in *Il progetto d'architettura fra didattica e ricerca. Atti*, (A cura di) Claudio D'Amato, arti Grafiche Favia, Bari, 2011. pp. 877-886

agli insediamenti in Cappadocia è fondamentale, e rappresentano una dimensione organizzativa strutturata a scala urbana, dove, spingendosi nelle viscere della terra, come fosse l'anticamera delle Ade<sup>12</sup>, vengono codificati quei principi di ventilazione e di controllo ambientale, che saranno alla base delle attuali sperimentazioni tecnologiche.

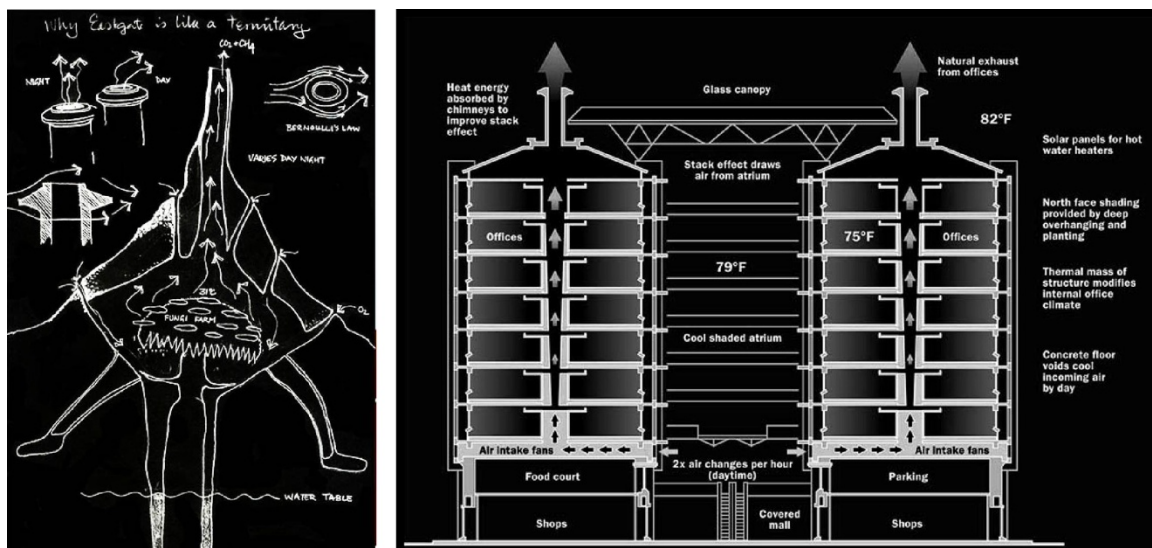


Fig. 5: Confronto tra sezione ipogea e sezione del Eastgate building - Progetto Pearce Architects, Harare (Zimbabwe)

### 1.3 Architettura in superficie

Il valore intangibile che emerge dal processo di antropizzazione, subordinato alla dimensione sociale e culturale, si riflette nell'architettura vernacolare<sup>13</sup>, che rappresenta

<sup>12</sup> Omero, *Odissea*, XI LIBRO

<sup>13</sup> Il termine “vernacolare”, dal lat. *Vernaculus* «domestico, familiare» è un aggettivo che si riferisce a ciò che è autoctono, nativo, proprio di un luogo. È in occasione della mostra “Architecture without architects”, allestita dall'architetto Bernard Rudoksky al MOMA di New York nel 1964, che il termine vernacolare

*il risultato di una stratificazione di conoscenze empiriche, segni e linguaggi, che hanno preso forma, in stretta relazione con la morfologia dei luoghi, le risorse locali, le caratteristiche climatiche e ambientali e le esigenze socio-economiche, culturali e di protezione dall'ambiente di una determinata comunità<sup>14</sup>.*

Definire compiutamente delle soluzioni costruttive valide, strettamente legate ad una specifica problematica è il carattere che sta alla base del processo evolutivo; le prime sperimentazioni, in ottemperanza al bisogno primordiale di rifugio, come ad esempio l'archetipo della capanna primitiva, devono ora adattarsi al contesto sociale e culturale, nonché quello geografico, dove, unitamente all'esigenza fisica di riparo, vengono sviluppate delle strategie comportamentali e costruttive, per un approccio metodologico definito dai principi delle più attuali *tecnologie sostenibili*.

Gli esempi delle architetture ipogee, in Cappadocia, sono l'emblema del tentativo di massimizzare la reattività dell'edificio alle condizioni esterne, codificando dei principi tecnologici, dati dall'equilibrio tra contesto naturale e contesto antropizzato, identificati nell'adattamento della tecnica costruttiva al luogo. Il concetto, ancora primitivo di *edificio passivo*, quale modello tipologico in grado di garantire le interazioni tra interno ed esterno attraverso lo sfruttamento delle risorse offerte in natura, quali ad esempio *luce, aria e terreno*, trae origine da questa considerazione.

---

viene riferito per la prima volta all'architettura, in riferimento a quelle forme architettoniche che appartengono alla tradizione più antica dell'uomo: dalle tende dei nomadi alle tombe celtiche fino ai portici come dispositivo urbano e che non sono attribuibili a nessun progettista o autore in particolare.

<sup>14</sup> P. Oliver, *Built to meet needs: cultural issues in vernacular architecture*, Elsevier, Oxford, 2006. Citato in L. Dipasquale, I. Mecca, *L'architettura vernacolare come modello codificato per il progetto contemporaneo sostenibile*, "TECHNE", 12, 2016. p.190

La *casa di Socrate*, è il manifesto dell'evoluzione di queste tecnologie, strettamente legate ora al concetto di *comfort*, inteso come benessere ambientale, dato dal rapporto tra l'individuo e dai fattori *esterni* legati all'ambiente stesso, manifesto della conoscenza come metodo, come l'indagine che mette in evidenza come la morfologia di nuove configurazioni spaziali sono l'esito tangibile di un processo finora teorizzato.

[...] *Nelle case che sono affacciate a Sud i raggi del sole penetrano nel portico in inverno, mentre in estate il percorso del sole si sposta più in alto sopra alle nostre teste ed oltre il tetto, così da regalarci l'ombra. E se questa soluzione è la migliore, dovremmo costruire gli edifici più alti verso Sud per sfruttare il sole durante l'Inverno e più bassi verso Nord per tenere fuori i venti freddi. Per farla breve, la casa in cui il proprietario può nel contempo trovare un rifugio piacevole in tutte le stagioni e custodire i suoi averi in modo sicuro è presumibilmente anche la più piacevole e la più bella. [...]*<sup>15</sup>

Il progetto si riconduce ad un edificio di pianta trapezoidale, dove il lato lungo, la base del trapezio, volge a Sud. In sezione, il tetto si inclina verso Nord, dimensionato in modo da garantire un maggiore controllo della luce, e proteggere l'edificio dai venti; un modello tipologico che però non soddisfaceva i requisiti di conduzione termica<sup>16</sup>, propri della fisica tecnica.

---

<sup>15</sup> Senofonte, *Memorabili di Socrate*, libro III, 430-355 a.C

<sup>16</sup> In fisica, in particolare in termodinamica, per conduzione termica si intende il trasporto diffusivo del calore, ovvero la trasmissione di calore che avviene in un mezzo solido, liquido o aeriforme dalle zone a temperatura maggiore verso quelle con temperatura minore, all'interno di un corpo solo o due corpi tra loro in contatto. Oltre alla conduzione termica, esistono altre due modalità di trasferimento di calore, che sono la convezione e l'irraggiamento.

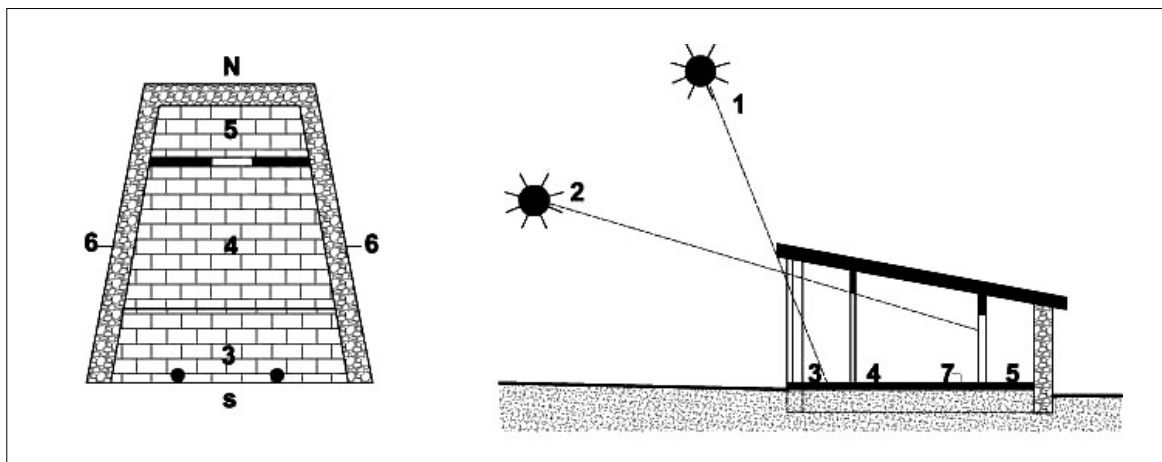


Fig. 6: Casa di Socrate secondo la descrizione delle Memorable di Senofonte, IV sec. a. C.

Influenzati dalla cultura ellenica, la quale sviluppa il modello tipologico del *megaron a prosta*, cioè di un ambiente rettangolare preceduto da un porticato, lo stesso modello tipologico del tempio, i Romani intuirono come sfruttare passivamente l'energia solare, *filtrandola* attraverso il portico; codificarono inoltre la tecnica dell'ipocausto, tecnica che consisteva nel fare circolare l'aria sotto il pavimento, a sua volta rialzato, in maniera tale da garantire una maggiore efficienza energetica in termini di comfort.

Il portico come archetipo di involucro, *filtro* tra ambiente esterno ed ambiente interno capace di regolare i flussi di calore, radiazione, aria e di convertire l'irraggiamento solare in energia, elemento cardine del processo di interazione con i fattori ambientali naturali, un processo che varia in funzione del clima; nelle zone con clima mediterraneo e arido, ad esempio, lo sforzo era quello di ridurre al minimo le infiltrazioni di calore, il modello tipologico sviluppato in Egitto e Iran, assolveva a questa esigenza attraverso un sistema di

condotti: *le torri a vento*; dove, penetrando nella torre da apposite aperture laterali, l'aria, si raffreddava a contatto con la superficie, la sua densità aumentava creando una corrente discendente e si creavano quei moti convettivi da garantire un arieggiamento sempre continuo. Considerare quindi le condizioni climatiche in cui si opera è il primo passo da seguire per una corretta pratica progettuale che possa garantire il soddisfacimento dei requisiti tecnici e prestazionali delle più generiche innovazioni tecnologiche, considerazione già descritta da Vitruvio (80-15 a.C.): [...] *Se vogliamo che il progetto delle nostre case sia corretto dobbiamo cominciare a capire come è il clima dei paesi in cui verranno costruite. Ci sono tipi di abitazioni appropriate per l'Egitto, altri per la Spagna, altri ancora differenti per Roma e così per tutte le terre ed i paesi con caratteristiche differenti [...]*, matrice comune, nel passaggio *dalla caverna alla casa ecologica*, è il soddisfacimento del fabbisogno energetico, nell'evoluta esigenza primordiale di rifugio.

### **1.3.1 Involucro di "massa"**

Dai primitivi modelli emergenziali, quali le capanne o le grotte, le tipologie architettoniche, nel dualismo fisico e formale della crescente sperimentazione tecnologica, si affidano alla propria consistenza materica per garantire il corretto comportamento dell'edificio in termini prestazionali. Lo spessore del diaframma murario, garantisce una notevole inerzia termica<sup>17</sup>;

---

<sup>17</sup> Per inerzia termica, in termodinamica, si intende la capacità di un materiale o di una struttura di variare più o meno lentamente la propria temperatura come risposta a variazioni di temperatura esterna o ad una



[...] *l'inerzia termica è la capacità di attenuare le oscillazioni della temperatura ambiente, dovuta ai carichi termici interni ed esterni variabili durante la giornata, e di accumulare il calore per rilasciarlo gradualmente con un determinato sfasamento. Essa, contribuisce a ritardare il tempo che intercorre tra l'impatto dell'onda termica sulla superficie esterna e il suo apparire sulla faccia interna, con intensità esterna, generando così significative ripercussioni sulle prestazioni energetiche complessive dell'involucro, sia in inverno che in estate. L'inerzia termica rappresenta una proprietà fondamentale per la definizione delle capacità prestazionali dell'involucro edilizio, così come la trasmittanza termica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ), ma a differenza di quest'ultima risulta strettamente legata alla massa superficiale della parete<sup>18</sup> [...].*

E' facile intuire che, questa capacità di controllo è subordinata all'utilizzo dei materiali con cui l'involucro è realizzato: *pietre, materiali argillosi, leganti minerali, legno*; bisognerà attendere gli inizi dell'800, in corrispondenza della Rivoluzione Industriale, affinché nuovi materiali, quali *ghisa, ferro e vetro*, variano questo punto di vista, ribaltando la concezione stessa di struttura portante.

L'archetipo della capanna primitiva, si evolve in un modello tipologico *massivo*, dove la materialità della costruzione e la sua rappresentazione tecnica e formale definisce l'avanzamento della ricerca tecnologia e l'espressione culturale di un determinato luogo, sfociando nella definizione di *forme* proprie di architettura.

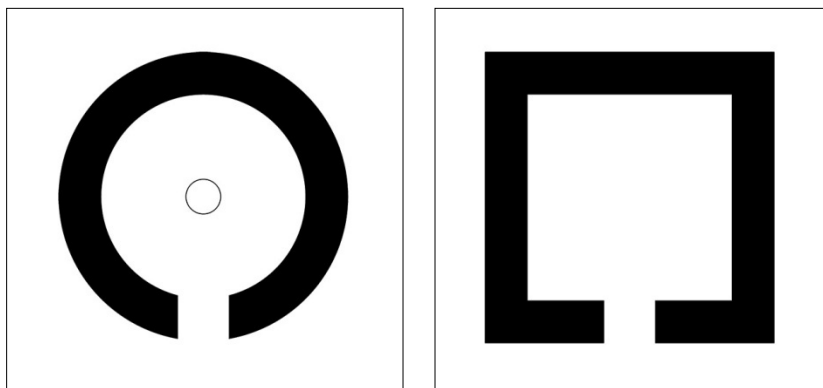
La ricerca di queste *forme architettoniche*, si identifica anche nell'evoluzione dei sistemi costruttivi; da un sistema in cui elementi portanti ed elementi portati erano separati tra di

---

sorgente di calore/raffreddamento interno. Il concetto è in piena analogia con l'inerzia nel moto dei sistemi meccanici, dove l'energia meccanica è l'equivalente dell'energia termica.

<sup>18</sup> C. Mazzoli, *Sistemi tecnologici innovativi di involucro per il recupero del patrimonio edilizio recente. L'edilizia scolastica nel Comune di Bologna*, tesi di dottorato, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, a. a. 2014 - 2015, relatori R. Gulli, M. Brocato, p. 86

loro, il sistema costruttivo *a secco* consente di realizzare degli *organismi biologici*, dove ad ogni elemento vengono demandate una o più funzioni specifiche, con requisiti prestazionali ben definiti e quantificabili. Il modo in cui questi elementi entrano in rapporto reciproco tra di loro definisce il comportamento, in termini prestazionali, di questi organismi. Nell'area mediterranea, si possono identificare una serie di modelli *tipologico - formali*, espressione autoctona di questo processo evolutivo: *il trullo pugliese* o *il dammuso dell'isola di Pantelleria*.



**Fig. 7 - 8:** Schematizzazione sull'impianto geometrico del trullo (a sx) e del dammuso dell'isola di Pantelleria (a dx). Dis. a cura dell'autore

La tipologia a pianta circolare del trullo pugliese, tipologia a guscio, in pietra calcarea, costituita da due pareti con interposta una intercapedine e sormontata da una cupola conica, affida il controllo delle prestazioni climatiche a tre elementi: il tipo di materiale, lo spessore delle murature e la forma dell'edificio. Il materiale è un calcare duro e compatto, reperibile sul luogo sia in blocchi squadrabili, utilizzati per le fondazioni, la muratura portante e la cupola, che in lastre di piccolo spessore usate, per le

pavimentazioni e le coperture; i residui del pietrame vengono adoperati per il riempimento a sacco. L'elemento determinante è lo spessore delle murature che varia dagli uno ai due metri, raggiungendo quasi tre metri negli esempi più antichi<sup>19</sup>.

Analogamente, anche la tipologia del dammuso dell' isola di Pantelleria, probabilmente di origine araba data la corrispondenza etimologica del nome *dammus* o *mdamnes* in arabo che significa costruire a volta, *a secco*, affida al diaframma murario, spesso fino a due metri, realizzato con la tecnica della *casciata*, una doppia parete in pietra ed una intercapedine, il compito di garantire il controllo delle variazioni climatiche garantendo un efficace isolamento termico, lo stesso affidato alla copertura, costituita da una o più volte realizzate in pietre rotte disposte a taglio, rivestite in terra battuta e impermeabilizzate con un impasto di calce, tufo e lapilli vulcanici.

Questi modelli tipologici, la cui funzione in origine era stagionale ed agricola, rappresentano oggi un modello di *architettura bioclimatica* legata al principio dell'autosufficienza, attraverso il controllo del microclima interno, con strategie progettuali *passive* per realizzare edifici termicamente efficienti in grado di soddisfare i requisiti di *comfort termico*, usando gli elementi naturali del sito, *quali il sole, il vento, l'acqua, il terreno e la vegetazione*; modello presente anche in altre regioni geografiche, così come descritto dallo storico dell'arte Cesare Brandi:

[...] *Ancora ricordo nel deserto siriano, mentre s'andava per le labili carovaniere verso Palmira, la sorpresa con cui scorsi, all'orizzonte piatto, dei trulli, identici, o quasi, a quelli che si vedono nella valle*

---

<sup>19</sup>G. Di Ruocco *Oltre la facciata: l'evoluzione tecnologica dell'involucro edilizio tra tradizione e innovazione*, CUES Edizioni, Salerno, 2012

*d'Itria [...] Erano fattorie isolatissime, ma con certi tappeti verdi più che smaglianti: non lontane dalla pipe-line che porta il petrolio iracheno al Mediterraneo. Più tardi seppi che non erano un'eccezione, né un'architettura tipica del deserto, ma che altri se ne trovano nei dintorni di Aleppo, sicché quelli del deserto, fanno da propaggine. Ma certo colpiva, oltre l'analogia con i trulli pugliesi, anche la somiglianza delle condizioni: terra cosparsa di sassi scheggiati, mancanza di corsi d'acqua, calore del clima<sup>20</sup> [...]*



**Fig. 9 - 10:** Tipologie a confronto: trullo (a sx) e dammuso dell'isola di Pantelleria (a dx)

### **1.3.2 Il carattere espressivo dell' involucro di "massa"**

Nella contemporaneità la *concretezza* del diaframma murario riconduce al valore estetico della solidità come carattere della forma costruttiva e della permanenza come carattere dell'architettura. I dogmi compositivi ricercano la *mimesi* del carattere, intesa come l'espressività fisica e materica dei materiali, rinnovando il rapporto tra struttura formale e struttura tettonica del sistema murario; come il rapporto tra una idea di architettura legata alla materialità della costruzione e alla sua rappresentazione attraverso forme e tecniche

<sup>20</sup> C. Brandi, *Martina Franca*, Milano 1968, p. 131

contemporanee. In adesione a tale principio, le forme appaiono differenti da quelle dell'esperienza storica, ma ne riprendono i caratteri espressivi esaltando la fisicità e la materialità della costruzione muraria tradizionale. La storia come un *contenitore* di idee da adattare alla contemporaneità<sup>21</sup>.

La ri-scoperta espressiva dello spessore del diaframma murario, insieme al di-svelamento della forma costruttiva, sono le costanti espressive nella ricerca sulle forme e sui caratteri dell'architettura muraria. In questo processo di astrazione, lo spazio viene inteso come *interno*; il muro diviene, quindi, l'elemento che contiene, rappresenta l'unitarietà tra *contenitore* e *contenuto*, funzione propria dell'involucro edilizio nella sua accezione contemporanea, dove questa visione verrà distorta nel processo che vede la realizzazione di contenitori indipendenti dal proprio contenuto; in questo momento la forma e l'immagine esterna di un edificio prescinde dal programma interno, in cui il rapporto tra contenitore e contenuto assume diverse declinazioni volte a rappresentare il carattere della costruzione stessa. Sarà il processo tecnologico a determinare la scarnificazione materica del muro, producendo immagini leggere ed incorporee.

---

<sup>21</sup> Cfr. in F. Cacciatore, *Il muro come contenitore di luoghi. Forme strutturali cave nell'opera di Louis Khan*, Siracusa, 2008, pp. 93-94

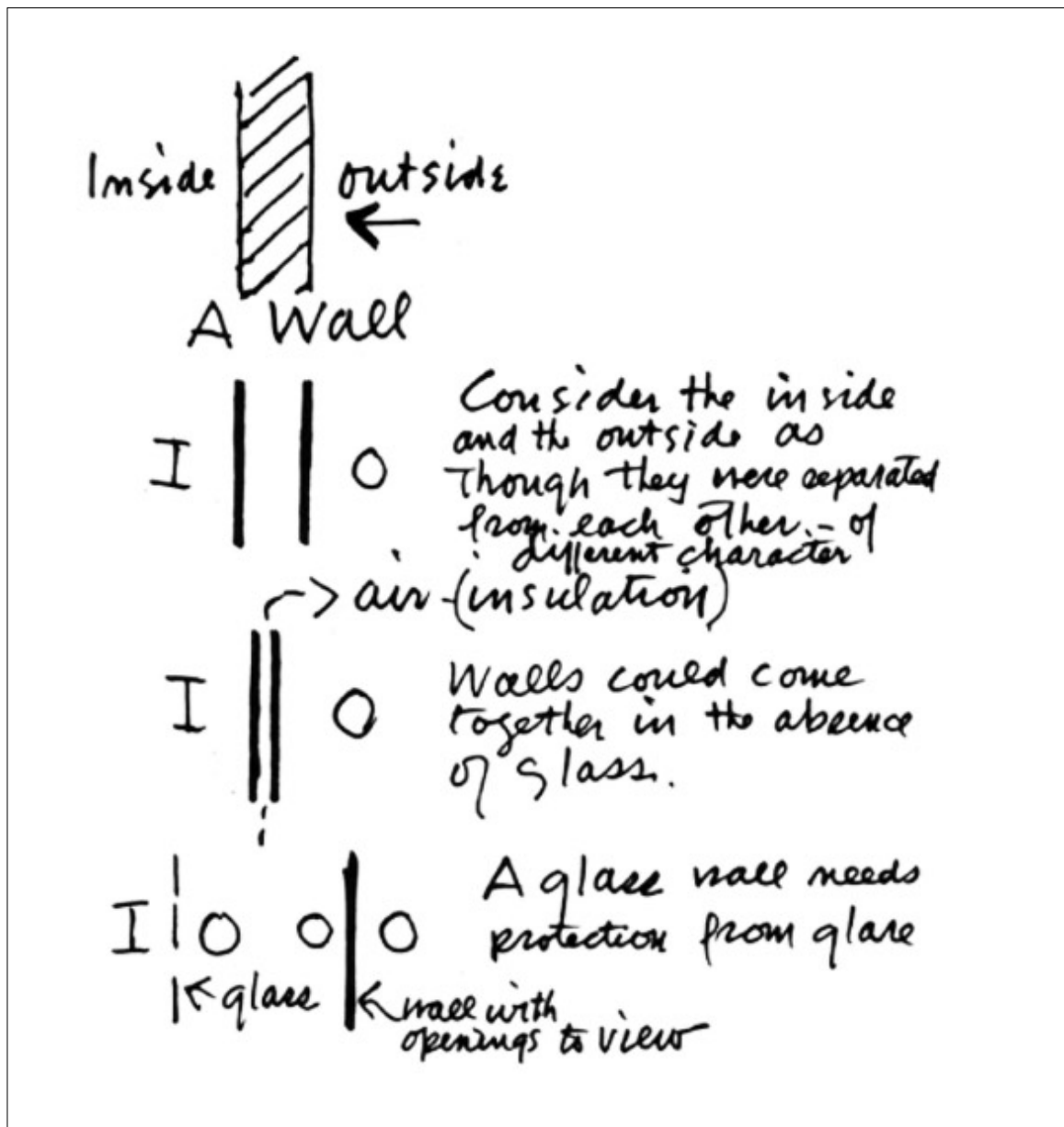


Fig. 11: Louis I. Khan, Salk Institute for biological studies, La Jolla, 1959 - 1965, schizzi

“*Ho fatto del muro un contenitore invece di un solido*<sup>22</sup>”, scrive Louis I. Kahn descrivendo la natura tettonica della First Unitarian Church and School (Rochester, New York, 1959/67), concepita come *cavità* abitata, dove nella materialità e nello spessore, individua i mezzi espressivi idonei a rappresentare il carattere di *internità* dello spazio, paradigma del rapporto tra *Form* e *Design*. Il riferimento analogico alla materialità della superficie, rappresenta in Khan, l'eloquenza degli edifici a ripensare l'*eidos*<sup>23</sup> dell'involucro edilizio come il rapporto tra l'*idea* (Platone) e la *forma* (Aristotele), aspetto che verrà ripreso da Robert Venturi sulla separazione tra aspetti costruttivi e aspetti simbolico-comunicativi dell'architettura.

In Kahn, la ricerca volta a legittimare il carattere espressivo del muro, il quale perde l'omogeneità e consistenza *monomaterica* per diventare una complessa stratificazione di componenti fortemente integrati, dove il confine tra interno ed esterno è definito dalla differenza architettonica del carattere della parete, definisce uno dei principi cardine dell'architettura bioclimatica, che è quello della separazione degli strati e della

<sup>22</sup> L. I. Khan, *Kahn on Beaux - Arts Training*, in *The Architectural Review*, n. 928, 1974, p. 332, riportato in: G. Roberto, *Rem Koolhaas/OMA*, Laterza, Bari, 2006, p. 160

<sup>23</sup> *eidos*: Traslitterazione del gr. εἶδος «aspetto, forma». Termine filosofico con cui Platone designa l'idea, Aristotele la forma. Ripreso da Husserl per designare l'essenza oggetto d'intuizione. Il valore assunto dal concetto di idea nel pensiero sull'arte deriva dall'aver Platone opposto agli imitatori tecnici i veri artisti che mirano a rappresentare non l'oggetto quale appare, ma l'idea dell'oggetto. Per Platone, la forma (εἶδος, ἰδέα) è l'essere vero, l'essenza delle cose; per Aristotele, la stretta unità tra forma e materia costituisce per la realtà concreta, che riceve il suo essere in atto dalla prima e la sua determinazione spazio-temporale dalla seconda; in tal modo la distinzione tra materia e forma si congiunge con altri due binomi fondamentali della metafisica aristotelica: potenza e atto, causa materiale e causa formale; quest'ultima può essere intesa come principio intrinseco, entelechia, che si unisce alla materia per ridurne in atto la potenzialità; oppure come principio estrinseco, quale esemplare archetipo di tutta la realtà. Enciclopedia Treccani

individuazione di uno strato "neutro", intercapedine, approccio risolutivo alle problematiche ambientali<sup>24</sup>.

L'approccio *compositivo - formale*, nella definizione dell'involucro massivo, o dell'involucro edilizio in generale, rimanda dunque, all'archetipo del recinto, reso autonomo e completamente identificabile dal processo tecnologico, dove il dibattito sulla "tecnica" e sulla "tecnologia" rimanda al concetto di *entità autonoma*, definendo, attraverso gli strumenti delle innovazioni tecnologiche<sup>25</sup>, una nuova libertà formale nella definizione dei volumi; un percorso che è stato esplorato e sperimentato soprattutto nell'ambito del decostruttivismo a partire dal Parc de la Villette di Bernard Tschumi, in cui si possono leggere diversi elementi anticipatori di questa posizione teorica. Intendere l'involucro come un elemento che si distacca dalla struttura genera delle ripercussioni nella concezione stessa dell'architettura, dove l'involucro assume un ruolo predominante e inedito nel rapporto tra il manufatto e la città, sia da un punto di vista compositivo che da un punto di vista comunicativo.

---

<sup>24</sup> M. Beccu, S. Paris, *L'involucro architettonico contemporaneo tra linguaggio e costruzione*, Tipografia Ceccarelli, Roma, 2008. p. 34

<sup>25</sup> G.Nardi, *Tecnologie dell'architettura. Teorie e storia*, Clup, Milano, 2001



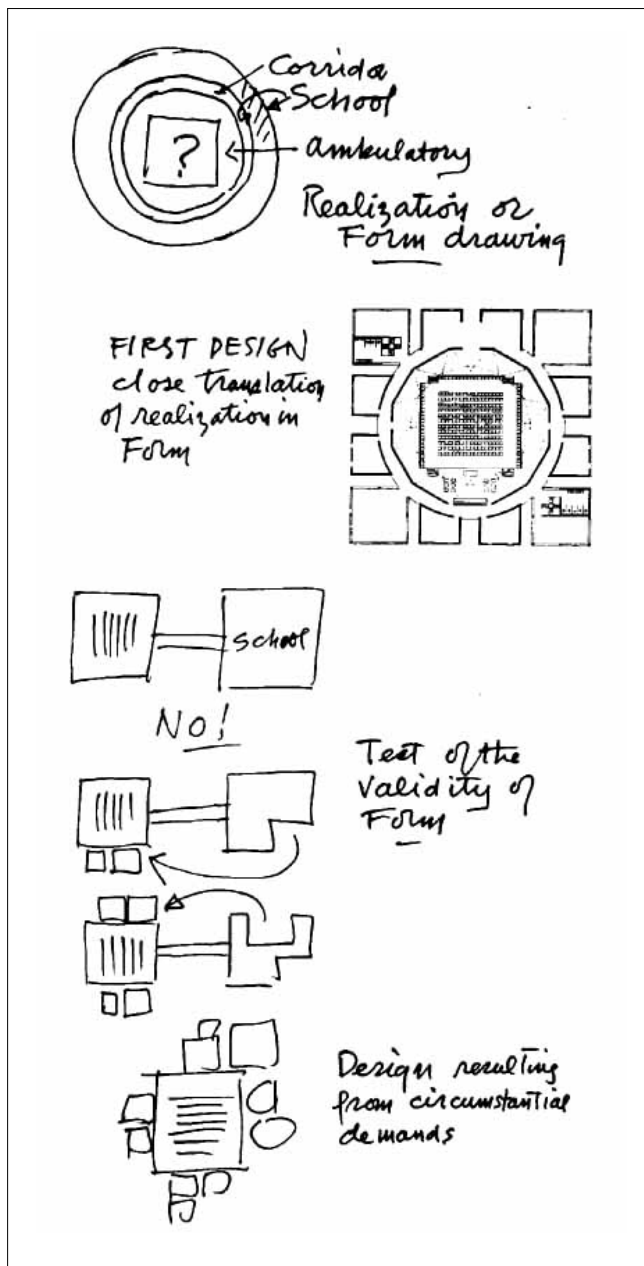


Fig. 12: Louis I. Khan, First Unitarian Church and School, Rochester, New York, 1959, schizzi





*Capitolo II*

***L'EVOLUZIONE DEL CONCETTO DI INVOLUCRO  
NELLA CONTEMPORANEITA'***

*“Vedo arrivare una rivoluzione totale, e se è una rivoluzione di sangue l'uomo perderà. Se è una rivoluzione nel design, nell'uso competente ed efficiente delle risorse, allora l'uomo può vincere.”*

R. B. F.

Il processo di innovazione di *prodotto* e di innovazione di *progetto* vede l'accrescersi di un rinnovato interesse verso uno stile architettonico che rappresenti la modernità e l'identità nazionale, adeguato alle nuove tecnologie per l'edilizia introdotte sul mercato. L'impiego di materiali come ghisa, ferro e vetro determinano una svolta percettiva e progettuale decisiva nella storia delle costruzioni, una innovazione non solo estetica ed architettonica, ma soprattutto funzionale; l'edificio, *ri-pensato* come un immenso contenitore viene raffigurato attraverso il principio saliente della sua *composizione*, intesa come l'assemblaggio delle parti che lo compongono, *per saperne qualcosa di più dobbiamo ricorrere a due specificazioni caratteristiche: una è di tipo fisiognomico, l'altra fa appello a un'etichetta, a una titolazione<sup>1</sup>*, dove il logo diviene l'elemento di riconoscibilità dell'edificio.

### **2.1 Il processo di smaterializzazione**

L'evoluzione che coinvolge la pratica costruttiva a *Regola d'Arte<sup>2</sup>*, invariata nel tempo ed essenzialmente legata all'uso di materiali naturali (pietre, materiali argillosi, leganti

---

<sup>1</sup> Toyo Ito, *L'architettura evanescente*, a cura di Giovanni Longobardi, Ed. Kappa, Roma, 2003, pp. 38-39

<sup>2</sup> La locuzione regola d'arte indica l'insieme delle tecniche considerate corrette per l'esecuzione di determinate lavorazioni, in genere artigianali, e della realizzazione di manufatti, risale al tempo delle *corporazioni delle arti e mestieri*, d'origine medievale, che disponevano dettagliati regolamenti in

minerali, legno), ha determinato in un primo momento, le condizioni per assolvere a determinate esigenze di rifugio e di protezione, nonché di *comfort*, nell'accezione di benessere interno, privilegiando soprattutto un comportamento volto a conservare l'equilibrio con la natura. L'involucro edilizio era concepito come la superficie di confine in grado di ottimizzare le interazioni tra microambiente esterno ed interno; successivamente svincolandosi dalla tradizione e legandosi al processo di industrializzazione edilizia, il rapporto tra forma e funzione del *contenitore* edilizio, subisce delle sostanziali modifiche interrompendone il naturale equilibrio con il contesto. La tecnica, quindi nel processo evolutivo, inizialmente filtro tra l'uomo e la natura, diviene il mezzo con cui percorrere le vie dell'organizzazione industriale e della crescente richiesta di benessere, sia sociale che economico.

Questo atteggiamento si riverbera nella ricerca del *daimon*<sup>3</sup> nella tecnologia dell'architettura, dove, alla *regola* che stabiliva che il controllo ambientale fosse gestito dal diaframma murario, *archetipo essenziale dell'architettura, strumento con cui si racchiude lo spazio e si forma l'involucro*<sup>4</sup>, vengono demandate ad altre tecniche e all'utilizzo di altri materiali le funzioni primigenie dell'involucro edilizio, definendo una nuova logica progettuale per la quale l'edificio (*contenuto dentro un contenitore*) è rivolto a definire spazi interni in contrapposizione a quelli esterni, dove materiali e tecnologie

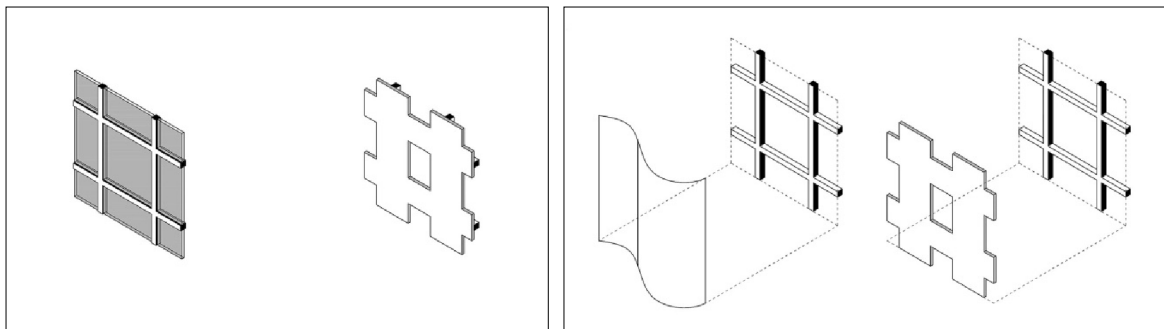
---

genere riguardanti l'utilizzo di determinati materiali, strumenti, procedure e soluzioni realizzative volte a garantire la qualità del prodotto o del servizio finale. Oggi, l'*arte* cui si fa riferimento nella locuzione è generalmente la categoria professionale cui appartiene il soggetto che all'osservanza della regola è tenuto.

<sup>3</sup> R. Rizzi, *Il Daimon di Architettura*, voll. 1, 2. Sesto San Giovanni: Mimesis / Estetica e Architettura n. 10. Collana diretta da Renato Rizzi, 2016

<sup>4</sup> P. Portoghesi, *L'involucro e il volto*, in *Materia* n.55, "Involucri", 2007

diverse diventano il *filtro* con cui vengono garantite le qualità prestazionali richieste, attraverso la collaborazione con altri sistemi chiamati a soddisfare le necessità determinate dall'abbandono dei vecchi materiali e delle passate tecnologie. Se l'esterno si differenzia dall'interno<sup>5</sup>, l'involucro come superficie in cui agiscono diversi fattori tecnologici diviene un elemento di transizione che assume un ruolo di primaria importanza nel definire il carattere dello spazio urbano della città, [...] *l'architettura scrive e viene letta entro i tessuti urbani attraverso i suoi caratteri di facciata. La facciata è il punto di incontro tra articolazione interna e dimensione urbana, filtro e diaframma che scherma privato e pubblico e li relaziona*<sup>6</sup> [...].



**Fig. 1:** (a sx) Schematizzazione e confronto tra facciata gotica e facciata rinascimentale; (a dx) evoluzione del concetto di involucro

Font: <https://iris.unipa.it/retrieve/handle/10447/101758/136343/>  
Ridisegno a cura dell'autore

<sup>5</sup> R. Venturi, *Complexity and contradiction in architecture*, The Museum of Modern Art New York, 1966. tr. it. *Complessità e Contraddizioni nell'architettura*, Dedalo, Bari, 1980. p.103

<sup>6</sup> C. Dardi, dalla relazione al progetto per *La strada Novissima*, in *La Presenza del Passato. Prima mostra internazionale di architettura*, La Biennale di Venezia, Venezia, 1980

Etimologicamente, il termine facciata indica la *forma esteriore*, definendo il volto dell'edificio e ne costituisce insieme allo sviluppo volumetrico l'immagine esterna su cui si proietta la propria identità, si può osservare come, prescindendo dal rigore dell'analisi storica, considerare l'edificio come un individuo, dotato di un proprio carattere definisce compiutamente la ricerca di equilibrio del rapporto *edificio - città*. In epoca medievale, soprattutto, la costruzione della città assume connotati di maggiore complessità e inizia quel processo di definizione della *forma urbis* in cui grande peso avranno le facciate edilizie sia quando sono involucri di emergenza pubbliche sia quando descrivono e compongono nella loro serialità spazi urbani; in epoca gotica si confonde lo spazio interno con l'esterno: lo spesso diaframma murario e la sua consistenza materica progressivamente si assottigliano, si dissolvono; dalla fine del Settecento e con l'Ottocento, il sistema edilizio, sperimenta le nuove tecnologie del ferro, del vetro e del cemento ed infine con il Moderno si evidenzia il punto di crisi nell'equilibrio di un sistema di rapporti tra interno ed esterno degli edifici, analizzato nei processi che ne modificano le superfici esterne<sup>7</sup>. In questo processo evolutivo, l'involucro edilizio non si limita solo ad un aspetto superficiale e quindi *bidimensionale*, ma definisce un sistema complesso, quale *sistema tridimensionale* di chiusura integrale dell'edificio, che in riferimento al concetto di involucro desunto dall'archetipo della capanna primitiva, rappresenta un sistema costituito da elementi tecnici strettamente indipendenti tra di loro, *gli strati*, e da elementi di chiusura integrale in continuità con quelli che lo compongono; le diverse declinazioni che questi assumono: *trasparenza, opacità, massa, traslucenza*,

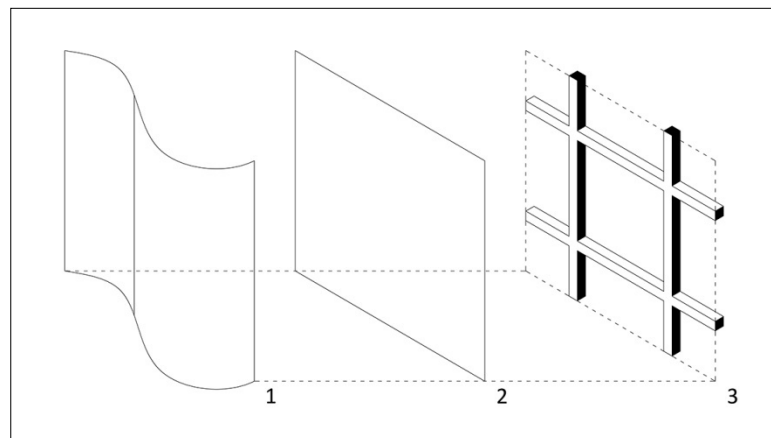
---

<sup>7</sup> D. Colafranceschi, *Architettura in superficie. Materiali, figure e tecnologie delle nuove facciate urbane*, Gangemi Editore, Roma, 1995

determinano il comportamento dell'involucro in termini tecnologici. Un sistema che si distacca dalla struttura e prescinde dal programma interno.

**Fig. 2:** L'involucro come elemento che si distacca dalla struttura. Scomposizione concettuale: 1) Involucro; 2) Strato isolante; 3) Struttura

Font: <https://iris.unipa.it/retrieve/handle/10447/101758/136343/>  
Ridisegno a cura dell'autore



## 2.2 Involucro trasparente

Comprendere la natura dell'involucro come elemento indipendente dalla struttura dell'edificio consente di definire la fenomenologia che ha portato dalla *massa muraria*, dell'involucro massivo, alla definizione di superfici leggere, espressione di una nuova architettura capace di rigenerare e affrancare la società che la produce attraverso la sua consistenza effimera e assume, nel mondo contemporaneo, un valore *ermeneutico*<sup>8</sup>, interpretando la realtà e facendone emergere l'essenza più profonda<sup>9</sup>. Il concetto di

<sup>8</sup> L'*ermeneutica* è l'arte di interpretare il senso di testi antichi, leggi, documenti storici e simili. Le origini risalgono al mondo classico, dove sorse per stabilire l'esatto senso dei testi letterari (per es., i poemi omerici), sceverarne le parti autentiche da quelle spurie, ricostruirne l'organicità della struttura e del linguaggio.

<sup>9</sup> O. De Paoli, *L'involucro vetrato nella progettazione ambientale in I percorsi della progettazione per la sostenibilità ambientale*, M. Sala, a cura di, (Firenze, 20 e 21 Ottobre 2004), Alinea Editrice, 2004, citato in



leggerezza e trasparenza, nel processo industriale della standardizzazione, porta la massa muraria ad essere scavata, scarnificata, attraverso l'impiego di materiali che ne consentono l'innovazione della tradizione costruttiva, superandone *la pesantezza, l'inerzia, l'opacità del mondo*<sup>10</sup>. Con l'affermarsi della produzione industriale e delle nuove tecniche diffuse grazie alle esposizioni universali questi concetti divengono dei paradigmi progettuali, espressione emblematica della contemporaneità. L'impiego di questi materiali, *ghisa, ferro e vetro*, inizialmente per la costruzione di edifici destinati ad attività produttive ed industriali, quali le serre ad esempio, raggiunge la sua esaltazione *espressivo - formale* nell'esperienza del Crystal Palace, di Joseph Paxton realizzato in occasione dell'Esposizione Universale di Londra del 1851, *icona* simbolo della Rivoluzione industriale. L'innovazione però, non fu solo a livello estetico ed architettonico, ma anche funzionale; pensato come un immenso contenitore, il palazzo venne realizzato con il montaggio direttamente in cantiere di elementi semplici e prefabbricati, dove il linguaggio formale viene definito attraverso il *montaggio* degli elementi che lo compongono, definendo quindi un sistema che ne permetteva oltre che la riproducibilità degli elementi prodotti in serie, espressione della moderna prototipazione, il *ri-uso* ed una eventuale *ri-collocazione*, come successe quando il palazzo venne trasferito al centro del grande parco di Sydenham, nel Borough di Lewisham, conclusa l'Esposizione, in cui, in riferimento all'ambiguità del linguaggio architettonico nel rapporto interno ed esterno, traducibili in contenitore e contenuto, fanno sì che l'edificio

---

R. Romano, *Smart Skin Envelope. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico*, Firenze University Press, Firenze, 2011. p. 26

<sup>10</sup> I. Calvino, *Lezioni americane*, Collana Oscar Moderni, Milano, Mondadori, 2016

diventi l'oggetto dell'Esposizione stessa, uno spazio che Venturi definirebbe del tipo *e-e*: interno ed esterno allo stesso tempo<sup>11</sup>. Il Cristal Palace *riuniva in se due componenti della cultura ottocentesca : la ricerca di un rapporto tra natura e tecnologia (la serra) e l'intento di dare una risposta al fenomeno incipiente dell'estetica commerciale e del consumo di massa (la galleria commerciale)*<sup>12</sup> la cui peculiarità era la precarietà costruttiva<sup>13</sup>.

L'utilizzo del vetro, trova comunque applicazione già nel I secolo d.C., dove in riferimento al processo di formazione dell'ossidiana, un vetro vulcanico la cui formazione è dovuta al rapidissimo raffreddamento della lava, viene sviluppato il procedimento a cilindro<sup>14</sup> per la produzione dei primi vetri trasparenti piani, ed il successivo procedimento a corona<sup>15</sup>, entrambi sviluppati in Siria, che

---

<sup>11</sup> R. Venturi, *Complexity and contradiction in architecture*, The Museum of Modern Art, New York, 1966. tr. it. *Complessità e Contraddizioni nell'architettura*, Dedalo, Bari, 1980.

<sup>12</sup> P. Nicolini, *Elementi di architettura*, Skira editore, Milano, 1999. p.57

<sup>13</sup> M. Berman, *All that is Solid Melts into Air*, Simon and Schuster, New York, 1982 (trad. it. *L'esperienza della modernità*, il Mulino, Bologna, 1985) citato in P. Nicolini, *Elementi di architettura*, Skira editore, Milano, 1999. p.57

<sup>14</sup> Il vetro è soffiato all'interno di stampi metallici cilindrici, quindi dalla forma ottenuta vengono asportati gli estremi e praticato un taglio lungo una generatrice del cilindro. È quindi posto in un forno, dove, rammollendosi, si apre e si stende in lastra. Prima dell'introduzione del metodo Pilkington a galleggiamento, questa tecnica era molto diffusa per la produzione del vetro comune.

<sup>15</sup> Fatta la levata e portata la stessa alla temperatura della lavorabilità, le si dà la forma di un fiasco, trasformato poi, a mano a mano, per successivi riscaldamenti e ripetute soffiature, in un grande globo, questo, avvicinato da una parte al calore della fiamma, e poi sollevato rapidamente a canna verticale, si ovalizza per effetto della gravità; allora sulla parte del vetro diametralmente opposta alla canna si salda una bacchetta di ferro e si distacca la canna; dove questa si trovava rimane un foro; riscaldata ora la metà forata del vetro e impresso alla bacchetta e al vetro un movimento rotatorio, il foro man mano si allarga per effetto di forza centrifuga: viene ad assumere dapprima l'aspetto di una corona (dandone il nome del procedimento, per poi finire in un disco completamente piatto il cui diametro arriva generalmente a m. 1,50. Ad eccezione del centro, nel quale rimane il segno della bacchetta, tutto il disco riesce di spessore regolare e può essere tagliato a lastre da finestre. Va da sé che, prima del taglio, passa al lento raffreddamento che anticamente si faceva per copertura sotto uno strato di sabbia. Enciclopedia Treccani.

formarono la base della produzione vetraria fino a buona parte del XIX secolo<sup>16</sup>. L'innovazione più significativa è data dall'invenzione del procedimento definito *float*, nel 1959, dove la massa vetrosa viene depositata su un bagno di stagno fuso a circa 1000° C, dove, fondendo, si distribuisce in maniera del tutto uniforme a causa del suo peso specifico; sottoposta a raffreddamento controllato permette a realizzazione di lastre di vetro di alta qualità<sup>17</sup>.

I vetri, formati in gran parte da sabbia quarzosa, carbonato di sodio, calcare ed altri componenti, sono *solidi amorfi*<sup>18</sup>, ovvero dei solidi in cui non c'è ordine a lungo raggio nelle posizioni degli *atomi* o delle *molecole* che lo costituiscono, dunque non possiedono un reticolo cristallino ordinato, ma una struttura disordinata e rigida composta da atomi legati covalentemente<sup>19</sup>. Non è possibile determinare con precisione la resistenza a trazione a causa dell'elevata fragilità e della tensione superficiale relativamente elevata. Quindi la qualità della superficie vetrata risulta un fattore decisivo per la resistenza.

Annulare con la trasparenza la materialità dell'involucro, è il dibattito avviato dopo l'esperienza del Crystal Palace, dove l'abbandono della tradizione massiva rivoluziona completamente concezioni ormai consolidate tra cui quella che vede la partizione esterna come barriera visiva tra interno ed esterno<sup>20</sup>. Tuttavia, le superfici dell'involucro

<sup>16</sup> G. Staib, *Von den Ursprungen bis zur klassischen Moderne*, in: C. Schittich et al., *Glasbau Atlas*, Munchen/Basel, 1998, pp. 9-33, citato in T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.183

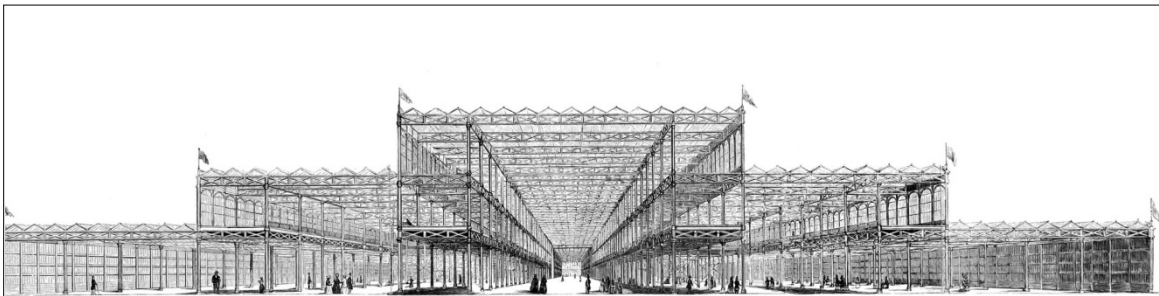
<sup>17</sup> D. Button, *Glass in Building. A guide to Modern Architectural Glass Performance*, Pye, Brian (a cura di), Oxford, 1993. Citato in T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.183

<sup>18</sup> C. Brisi, *Chimica applicata*, 3ª ed., Torino, Levrotto & Bella, 1997. p. 240

<sup>19</sup> In chimica, un legame covalente è un legame in cui due atomi mettono in comune delle coppie di elettroni. Il legame covalente è il risultato di un'interazione elettrostatica che coinvolge gli atomi. Questa interazione elettrostatica si ha tra i nuclei degli atomi (carichi positivamente) e gli elettroni condivisi (carichi negativamente).

<sup>20</sup> G. Di Ruocco, *Dettagli di facciata. Tra tettonica e rivestimento dell'involucro edilizio*, Cooperativa Universitaria Editrice, Salerno, 2007. p. 51

trasparente costituiscono un elemento critico per il comfort microclimatico e per il bilancio energetico degli edifici. L'involucro trasparente ha minori capacità isolanti del sistema massivo (opaco) e una bassissima inerzia termica: il suo impatto sulla prestazione energetica dell'edificio risulta quindi molto elevato. Secondo alcuni studi l'involucro trasparente è responsabile del 60 % delle dispersioni totali di un edificio<sup>21</sup>, dovuto alla differenza del rapporto tra temperatura radiante e la mancanza di uniformità di temperatura superficiale tra le superfici che delimitano l'ambiente.



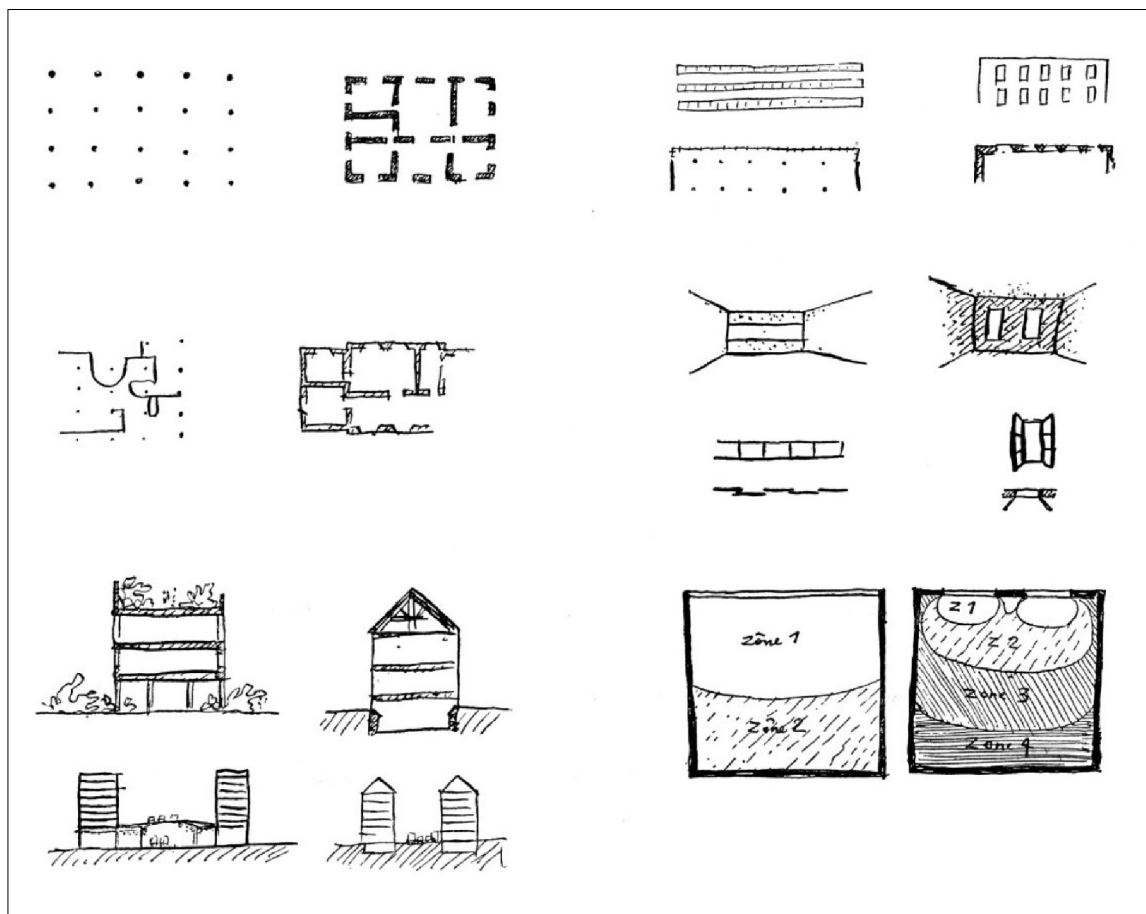
**Fig. 3:** *Involucro massivo (in alto) First Unitarian Church and School, Rochester, Louis I. Khan, New York, 1959; Involucro trasparente (in basso) Crystal Palace, Joseph Paxton realizzato in occasione dell'Esposizione Universale di Londra del 1851*

<sup>21</sup> B. P. Jelle, A. Hynd, A. Gustavsen, D. Arasteh, H. Goudey, and R. Hart, *Fenestration of today and tomorrow: A state-of-the-art review and future research opportunities. Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2012. Citato in L. Bianco, *Involucri trasparenti innovativi. Modellazione e sperimentazione su componenti dinamici e sistemi di facciata attivi*, tesi di dottorato, Politecnico di Torino, a. a. 2014, relatori V. Serra, M. Perino, p. 12

Il progetto architettonico è messo a disposizione del processo tecnologico, il cui unico scopo era quello di rinnovare il linguaggio attraverso la definizione di un modello che esaltasse le rinnovate capacità produttive, arginando il problema relativo al controllo ambientale; se da un lato è il processo che definisce l'espressione di nuovi linguaggi formali, dall'altro manifesta l'esigenza di ripensare alla rivoluzione (industriale) come quel momento in cui le regole indotte dalla conoscenza, vengono abbandonate per rincorrere un imminente processo, che potremmo definire *involuzione* industriale, dove il soddisfacimento delle prestazioni primigenie, definite e soddisfatte dal comportamento dell'involucro edilizio in relazione all'ambiente circostante sviluppate dalle esperienze del passato viene declassato e declinato alla mera rappresentazione di oggetti, in cui il rapporto tra tecnica e tecnologia, porta alla smaterializzazione dell'involucro, il quale verrà concepito come un padiglione smontabile, indifferente al luogo (*la città*) e alla sua evoluzione (*la storia*). In questa ottica il concetto di *involucro trasparente*, dovrebbe tendere al concetto di *gestione dell'involucro trasparente*, rappresentando l'evoluzione delle regole dell'arte, tornando a strutturarsi come un sistema complesso in grado di agire e interagire con l'ambiente circostante, mediando in modo attivo il rapporto tra uomo e ambiente.

### ***2.3 Il carattere espressivo dell'involucro "moderno"***

Con il Movimento Moderno si evidenzia il punto di crisi nell'equilibrio di un sistema di rapporti tra interno ed esterno degli edifici, analizzata nei processi che ne modificano le superfici esterne. [...] *La netta separazione tra le parti portanti e quelle portate, la moralista corrispondenza tra interno ed esterno, la interazione teoricamente illimitata*



**Fig. 4:** Le Corbusier Schizzi comparativi per evidenziare i vantaggi de Les 5 Points d' une architecture nouvelle, 1926

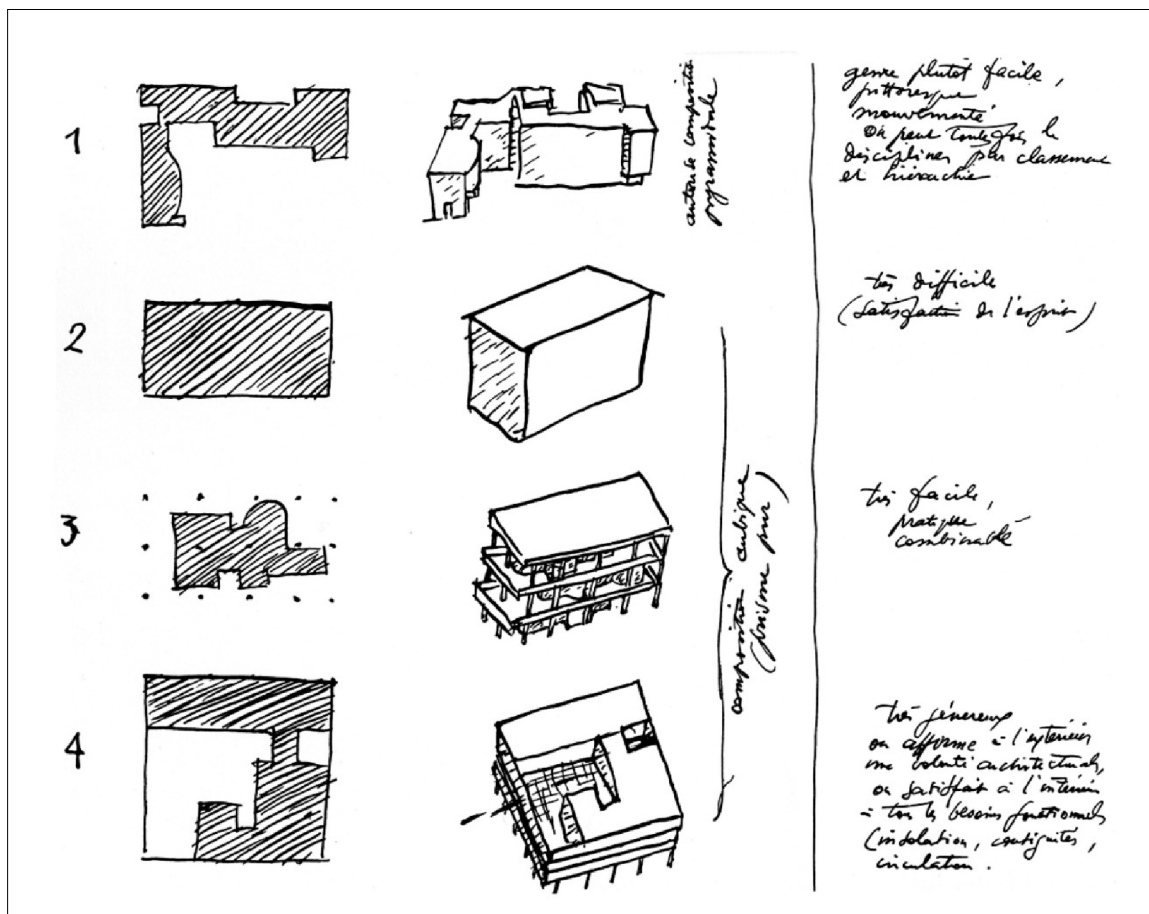


Fig. 5: Le Corbusier, Quattro studi sulle potenzialità dei 'Cinque punti', 1929. (1) Maison La Roche-Jeanerret, (2) Villa Stein, (3) Villa a Cartagine, (4) Villa Savoye, schizzi

*del modulo spaziale, la dissimmetria aspirante tra l'altro all'idea della costruzione aperta*<sup>22</sup> [...] sono i caratteri che determineranno la definizione di un nuovo modello architettonico, in cui *liberando la facciata*, ciò che ne rimane, l'involucro, viene definito come la *pelle* dell'edificio, elemento indipendente dalla struttura. In questa astrazione, cui massimo esponente Le Corbusier, la facciata, indipendente dalla struttura portante, rispetto le esperienze massive del passato, genera nuove qualità espressive, accentuandone il carattere volumetrico.

Il linguaggio formale, dato dal rapporto tra struttura portante ed involucro, che deriva da questo processo di smaterializzazione, ovvero il processo di annullamento della parete come entità costruttiva, favorisce un nuovo modo di concepire lo spazio, e l'applicazione di materiali, quali acciaio e vetro, contribuiscono alla affermazione concettuale di continuità tra lo spazio interno e quello esterno, dove questo rapporto diventa fluido, e di conseguenza la progettazione non avviene più dall'esterno verso l'interno, ma al contrario dall'interno verso l'esterno, come ad esempio nella soluzione sperimentata da Walter Gropius nella Bauhaus di Dessau.

*Il modello architettonico proposto dal movimento moderno, comincia a manifestare le sue carenze in termini di efficienza energetica negli anni Settanta, in corrispondenza della prima crisi energetica, quando i sistemi impiantistici di condizionamento, a causa della mancanza delle fonti energetiche fossili, non riescono a garantire le prestazioni*

---

<sup>22</sup> R. de Fusco, *Storia dell'architettura contemporanea*, Bari, Laterza, 1982. p 265, citato in D. Colafranceschi, *Architettura in superficie. Materiali, figure e tecnologie delle nuove facciate urbane*, Gangemi Editore, Roma, 1995. p. 24



*termiche degli spazi confinati*<sup>23</sup>. Si sviluppa quindi una nuova esigenza, ovvero quella di ripensare al modello dell'abitare riferendosi alle sperimentazioni e alle considerazioni che si sono sviluppate in passato, ovvero quelle in cui l'edificio rispondeva in maniera passiva alle sollecitazioni dell'esterno, raggiungendo l'equilibrio e il soddisfacimento termigrometrico applicando delle leggi fisiche strettamente legati al comportamento dei



*Fig. 6: L'esperienza del Bauhaus, tra progetto ed esecuzione*  
*Fig. 7: Walter Gropius e Adolf Meyer, Officine Fagus, 1910-1912, Alfed-an-der-Leine, Germania.*



<sup>23</sup> R. Piano, C. Piano, *Almanacco dell'architetto. Viaggi nell'architettura*, Proctor edizioni S.p.a, Bologna, 2012., p. 275

materiali che definivano il *contenuto*; l'attenzione volta all'isolamento termico ad esempio porta a ripensare all'impiego dei materiali in funzione del loro *comportamento*, favorendo lo sviluppo di sistemi sempre più complessi in termini prestazionali. Una innovazione che coinvolge la filiera produttiva, in un panorama sempre più articolato, dove le scelte progettuali, caratterizzati dall'applicazione di un materiale piuttosto che un altro, determineranno il comportamento dell'involucro edilizio. Il carattere univoco che ne scaturisce legittima alla ricerca tecnologica la capacità di definire *un sistema in grado di pubblicizzare la tecnologia che lo ha generato*<sup>24</sup>.

#### **2.4 Innovazione tecnologica**

L'evoluzione dell'involucro edilizio, come sistema in grado di agire e interagire con l'ambiente circostante, mediando in modo attivo il rapporto tra uomo e ambiente, rappresenta l'aspetto più significativo nella definizione di un nuovo modello architettonico dell'abitare. Viene definita una seconda natura<sup>25</sup>, dove il concetto di ambiente non può essere definito, dall'uomo, solo da quello *naturale*, ma deve comprendere anche quello *costruito*; l'innovazione tecnologica viene definita, quindi, come quel processo di miglioramento del rapporto tra architettura ed ambiente<sup>26</sup>. *Appare necessario tenere in considerazione che il rapporto tra uomo e ambiente espresso attraverso la tecnica e la tecnologia si pone, in senso heideggeriano, come opposizione*

---

<sup>24</sup> V. Olgyay, *Design with climate*, Princeton University Press, 1962

<sup>25</sup> P. Portoghesi, *Geoarchitettura*, Skira, Milano, 2005

<sup>26</sup> A. Bugatti, *Lezione al corso di Dottorato in Ingegneria Edile/Architettura dell'Università degli Studi di Pavia*, 2003

*tra soggetto ed oggetto: un miglioramento appare possibile nel superamento del senso di dominio che l'uomo ha instaurato con la natura, le cose, il mondo*<sup>27</sup>.

Le suggestioni evocate dalla rivoluzione industriale e dalle successive avanguardie, che tendono a valorizzare il concetto di innovazione tecnologica, come quel processo legato alla industrializzazione del prodotto, spingono la ricerca verso la definizione di una nuova condizione dell'abitare, definendo dei sistemi di controllo ambientale flessibili, strettamente legati al rapporto tra condizioni interne ed esterne, l'involucro edilizio come interfaccia dinamica in grado di ottimizzare le prestazioni cui è sollecitato.

Ripensare al rapporto tra architettura e tecnologia, propriamente intesa come produzione industriale, in un'epoca in cui la questione sulla sostenibilità è diventata di primaria importanza, è la capacità di operare delle scelte volte a soddisfare la *dimensione umana*, nel tentativo di trovare un equilibrio tra soluzioni architettoniche e condizioni climatiche locali, definendo, attraverso la ricerca tecnologica, dei componenti di controllo degli agenti fisici locali, in particolare della radiazione solare e della ventilazione. Le Corbusier è stato uno dei primi che ha affidato il controllo ambientale a dei sistemi passivi di condizionamento dell'aria, un approccio definito da due concetti chiave *la respiration exacte e il mur neutralisant*. Il primo concetto significa semplicemente ventilazione forzata, Le Corbusier si ispirò al sistema impiegato da Gustave Lyon nella Salle Pleyel, ed il secondo, *il muro neutralizzante è semplicemente un doppio vetro con aria calda o*

---

<sup>27</sup> I. Delsante, *Innovazione tecnologica ed architettura. Contributi ed esiti per il linguaggio e la composizione architettonica*, tesi di Dottorato, Università degli studi di Pavia - dipartimento di Ingegneria Edile e del Territorio, Relatore: A. Bugatti

*fredda che circola fra i due involucri*<sup>28</sup>. La ricerca, mira quindi alla definizione di un modello architettonico volto a rendere l'uomo indipendente dalle condizioni ambientali e dal luogo in cui vive, considerando l'edificio una *macchina per abitare*<sup>29</sup>. Da questa considerazione si avviano, nei primi anni del Novecento, una serie di sperimentazioni, che tendono proprio a definire degli oggetti architettonici funzionali in termini di efficienza energetica. Tra questi il tentativo di migliorare le condizioni di vita dell'uomo, sviluppate da Richard Buckminster Fuller, nel progetto più ampio della *Dymaxion Philosophy*, definito da altri tre progetti: *Dymaxion House*, *Dymaxion Car* e la *Dymaxion Map*, in cui l'acronimo della stessa parola dymaxion racchiude l'essenza e l'ambizione di questa ricerca: dynamic, maximum e tension. Il riferimento della *Dymaxion House* alla yurta, quale paradigma formale nella definizione primitiva del concetto di involucro edilizio, come riparo, rappresenta l'evoluzione del concetto stesso, in relazione al processo tecnologico. La casa si basava sul principio strutturale della torre, un elemento esagonale sospeso e retto da un pilastro centrale, progettata per una produzione seriale, principio che sviluppò nel progetto per delle unità abitative d'emergenza, la *Dymaxion Development Unit*, in cui si perdeva il principio strutturale dell'unico pilastro centrale e quindi il rapporto con lo spazio esterno, ma l'innovazione principale di questo progetto risiede nella modularità delle unità abitative che potevano essere collegate tra loro.

---

<sup>28</sup> R. Banham, *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, Architectural Press, London, 1969. Trad. it., *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Bari, 1978. p. 158

<sup>29</sup> La frase viene riportata da Le Corbusier nel manuale teorico *Vers une architecture*, (1923). Una frase che rappresenta una sintesi: la casa diventa *macchina* ossia un insieme di componenti che armonizzando le loro funzioni generano una sinergia per il comfort e il risparmio energetico.



*Fig. 8: Dymaxion House, Buckminster Fuller*

*Fig. 9: Paragone tra la yurta mongola e la Dymaxion house*



L'idea che l'edificio possa diventare una macchina per l'abitare, è stato un concetto che, per quanto utopico, ha portato all'esaltazione dell'innovazione tecnologica, come processo con cui considerare il versante meccanico, pensare all'edificio con un organismo biologico, che si attiva per garantire le funzioni essenziali dell'abitare. *Una grande epoca è cominciata. Esiste uno spirito nuovo. L'industria, irrompente come un fiume che scorre verso il proprio destino, ci porta gli strumenti nuovi adatti a quest'epoca animata da un nuovo spirito [...]. L'architettura ha come primo compito, in un'epoca di rinnovamento, quello di operare la revisione dei valori, la revisione degli elementi costitutivi della casa*<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> Le Corbusier, *Vers une architecture*, Parigi, Cres, 1923. trad. it. (a cura di Pierluigi Cerri e Pierluigi Nicolini), *Verso un'architettura*, Milano, Longanesi, 1973









*Capitolo III*

***INVOLUCRO: CONTENUTO O CONTENITORE?***

“Se guardo la facciata, dato che è più grande dell’edificio, non so se vedo il riflesso del cielo oppure il cielo in trasparenza [...] Se poi osservo l’albero attraverso i tre piani vetrati, non so mai se vedo l’albero in trasparenza, davanti, dietro, oppure il riflesso dell’albero.”

J. N.<sup>1</sup>

L'indipendenza dell'involucro edilizio, nel processo di sperimentazione tecnologica che lo vede evolversi da elemento *barriera* ad elemento *filtro*, definisce dei paradigmi progettuali che tendono a modificare il linguaggio architettonico in funzione della tecnologia che lo ha prodotto. I meccanismi dettati dal rinnovato processo tecnologico, quale la tendenza all'*industrializzazione della architettura*, definiscono uno stile in cui la ricerca verso la definizione di nuovi aspetti formali assume un ruolo secondario rispetto l'utilità dell'oggetto architettonico, sia nella fase ideativa, riferita al *concept* sia in quella realizzativa relativa alla *applicazione*; se da un lato questo processo porta alla smaterializzazione intesa come libertà formale, dall'altro tende a condizionare l'intero processo, poiché individuare delle soluzioni, *tecnicamente valide* incide sulla scelta di quelle che sono le soluzioni che il mercato propone. Il dibattito quindi, porta a considerare una nuova interferenza nel rapporto *architettura - tecnologia* che è quella dell'industria, intesa come produzione, che rappresenta la contaminazione di saperi che non si limitano a definire i processi di ideazione, progettazione e realizzazione di un involucro architettonico per momenti consequenziali, ma definisce un processo complesso direttamente proporzionale alle prestazioni richieste ed alle variabili presenti

---

<sup>1</sup> J. Baudrillard, J. Nouvel, *Architettura e nulla, oggetti singolari*, Electa, Milano, 2003

in ogni intervento. Per questo motivo è importante definire a priori le caratteristiche principali dell'involucro e giungere, attraverso queste, ad organizzare un sistema di priorità nella fase della sua progettazione e realizzazione<sup>2</sup>. Questa contaminazione, rappresenta un nuovo orizzonte, in cui tutte le figure che concorrono alla definizione dell'involucro edilizio, integrando gli aspetti che vanno dall'arte all'artigianato, sanciscono il rapporto tra architettura e produzione industriale; *il n'y a pas de différence entre la construction d'un meuble et d'une maison*<sup>3</sup>. La tendenza che porta quindi a definire l'integrazione tra architettura e produzione industriale, espressa da Jean Prouvé, come *immaginazione costruttiva*, rappresenta l'aspetto più innovativo dell'intero processo tecnologico, dove l'involucro, paradigma dell'intero processo, verrà percepito, data la multidisciplinarietà, come un *padiglione smontabile*, indipendente dalla struttura, caratterizzato da specifiche soluzioni morfologico - strutturali. Queste soluzioni, *risposte generali a problemi specifici*<sup>4</sup>, definiscono il rapporto tra modello architettonico e contesto, declinano al principio della forma il carattere espressivo dell'involucro edilizio, introducono un nuovo rapporto tra manufatto e città, divenendo un *prodotto* dell'industria e di conseguenza un *oggetto* architettonico.

---

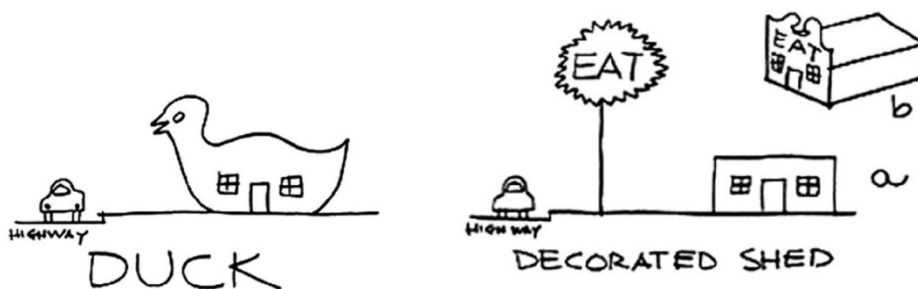
<sup>2</sup> R. Romano, *Smart Skin Envelope : Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico*, Tesi di dottorato, Firenze University Press, 2011. p. 35

<sup>3</sup> B. Huber, J. C. Steinegger, *Jean Prouvé. Une architecture per l'industrie. Architektur aus der Fabrik. Industrial Architecture*, Les Editions d'Architecture Artemis Zurich, Basel, 1971. pp 98, 108, 120, 142

<sup>4</sup> S. Brandolini, P. A. Croiset, *Strategie della modificazione*, op cit

### 3.1 Edifici oggetto

La scomposizione della facciata, *contenitore* e luogo fenomenologico dell'architettura, in parti: *struttura - strato isolante - involucro*, è un passaggio metodologico essenziale per comprendere la natura dell'involucro come contenuto tecnologico (*della facciata*), come elemento indipendente dalla struttura dell'edificio dove la distanza e il rapporto di queste parti tra loro determinano di volta in volta configurazioni diverse che coinvolgono sia l'interno dell'edificio che la sua superficie esterna.



**Fig. 1 - 2:** *The duck and the decorated shed.* R. Venturi, D. Scott Brown, S. Izenour, *Learning from Las Vegas*, 1972  
**Fig. 3 - 4:** *Big Duck, Flanders, New York; Islington square, family housing, Manchester*

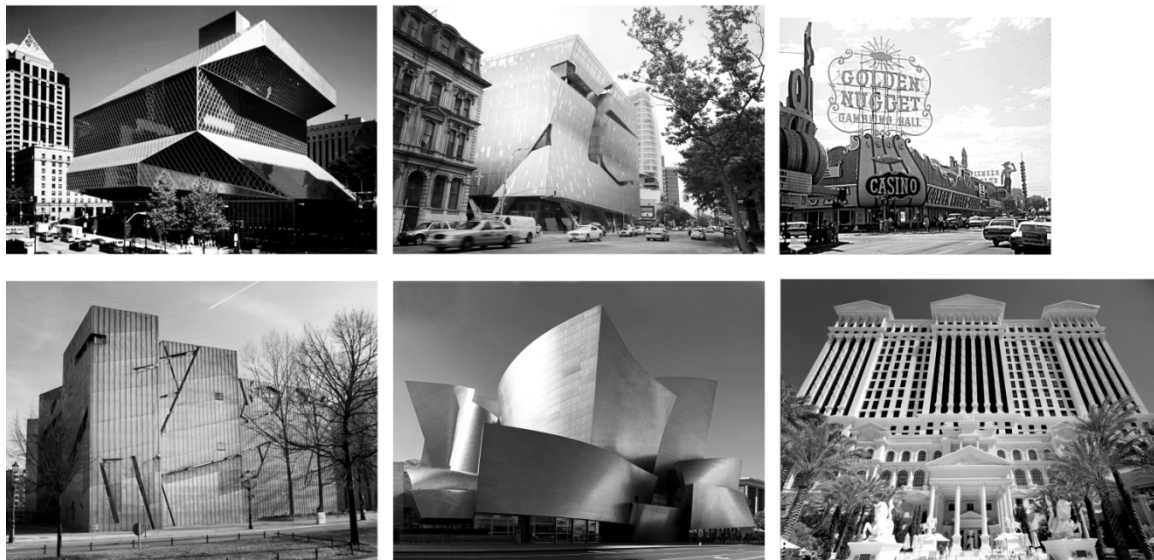
Con la pubblicazione nel 1972 di *Learning from Las Vegas* di Robert Venturi, Denise Scott Brown e Steven Izenour, nel quale gli autori coniavano due nuovi termini per descrivere l'architettura simbolica della città del Nevada: the duck (*l'anatra*) e the decorated shed (*il capannone decorato*), in riferimento alle sperimentazioni sul progetto dell'involucro architettonico negli showroom della catena commerciale Best Products negli Stati Uniti progettati dal gruppo SITE (Sculpture In The Environment) tra il 1972 e il 1984, la facciata acquisisce all'interno del progetto d'architettura una inedita centralità, divenendo un elemento dotato di un proprio significato, predominante rispetto al rapporto tra edificio - città; è l'elemento con cui l'edificio diviene un *oggetto architettonico*, una icona, un elemento simbolico e rappresentativo in cui forma, struttura e programma sono in contraddizione. *Possiamo studiare questa contraddizione nelle sue due principali manifestazioni: dove i sistemi architettonici di spazio, struttura e programma sono sommersi e distorti da una forma simbolica che li sovrasta. Questa sorta di edificio che diventa scultura la chiameremo the duckin in onore del drive-in a forma di anatra, The Long Island Duckling; dove i sistemi di spazio e struttura sono direttamente a servizio del programma, e l'ornamento è applicato indipendentemente da essi, lo chiameremo the decorated shed*<sup>5</sup>.

Pierluigi Nicolin propone una lettura storica della genealogia della tipologia dell'*edificio contenitore*<sup>6</sup>, un edificio in cui la forma e l'immagine esterna prescinde dal programma interno, un contenitore, appunto; un tipo di edificio di forma e programma complessi, ma

<sup>5</sup> R. Venturi, D. Scott Brown, S. Izenour, *Learning from Las Vegas*, The MIT Press, 1972, p.88

<sup>6</sup> P. Nicolin, *Elementi di architettura*, Skira editore, Milano, 1999

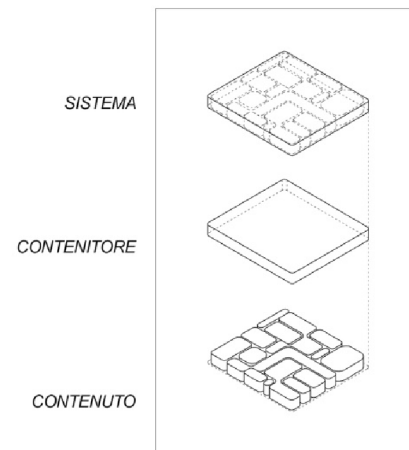
dotato di forte unitarietà<sup>7</sup>. Questa unitarietà, nella definizione del rapporto tra involucro e struttura, si esprime attraverso l'equilibrio tra *interno/esterno*, *figura/sfondo*, *pieno/vuoto*, a prescindere dal proprio contenuto. Si può osservare come, in funzione al contenuto questi binomi, demandano al concetto di involucro (*contenitore*) le proprietà di contenere, filtrare e stratificare traducibili in termini di prestazioni nel processo tecnologico.



**Fig. 5:** *The Duck and the decorated shed.* Da six. in senso orario: Seattle public library, Rem Koolhaas, Seattle, Washington; Cooper Union, Thom Mayne, Manhattan, New York; Golden Nugget, Las Vegas, Post - 1964; Caesar Palace, Extended sig, Las Vegas; Walt Disney Concert Hall, Frank Gehry, Los Angeles, Jemish Museum, Daniel Libeskind, Berlin, Germany.

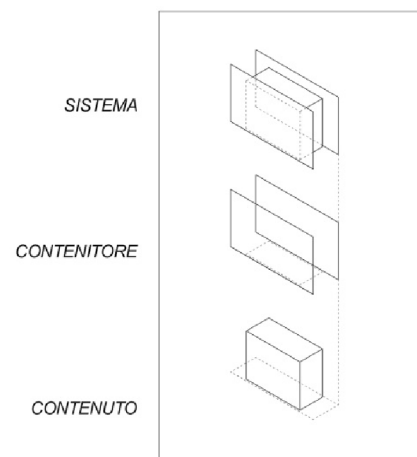
<sup>7</sup> R. Venturi, *Complessità e contraddizioni nell'architettura*, Ed. Dedalo, Bari, 1980

## L'INVOLUCRO COME MEDIATORE



**Fig. 6:** *Involucro nel rapporto contenuto/contenitore. Glass Pavilion at Toledo Museum of Art (2001 - 2006)*  
Font: <https://iris.unipa.it/retrieve/handle/10447/101758/136343/>  
Ridisegno a cura dell'autore

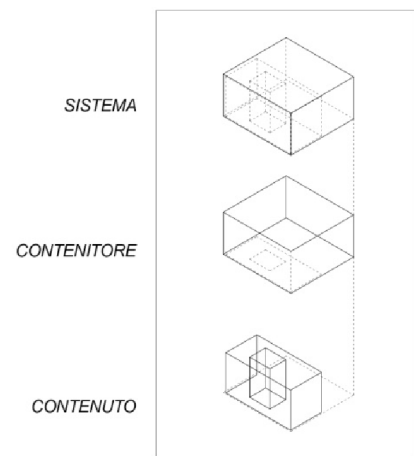
## L'INVOLUCRO COME FILTRO



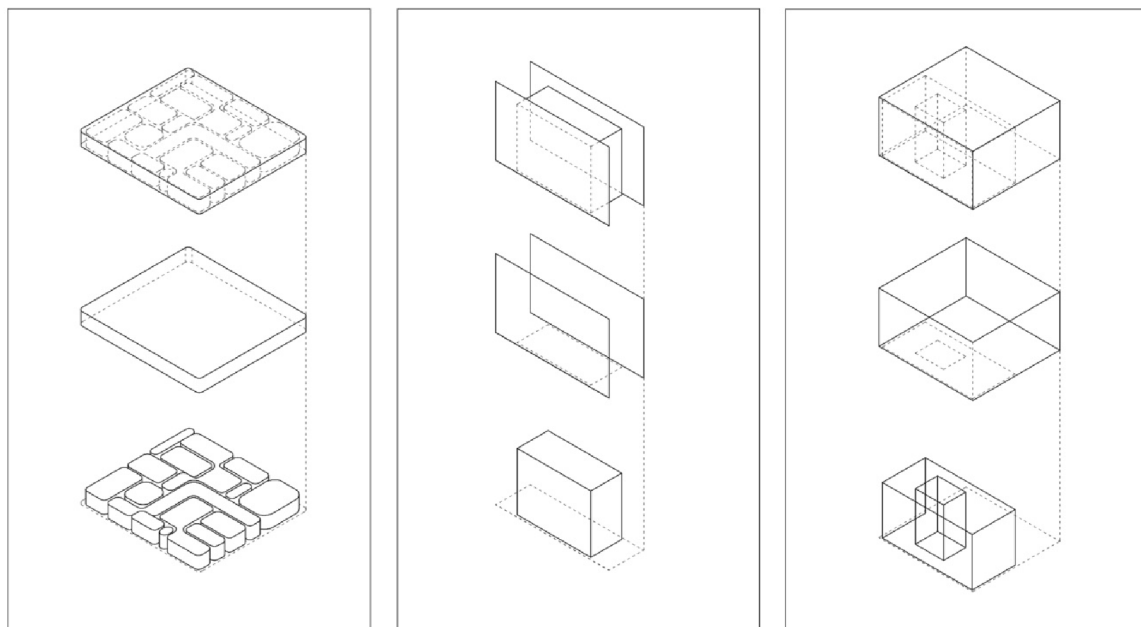
**Fig. 7:** *Involucro nel rapporto figura/sfondo. Fondazione Cartier (1991 - 1995)*  
*Font:* <https://iris.unipa.it/retrieve/handle/10447/101758/136343/>  
Ridisegno a cura dell'autore



## L'INVOLUCRO COME BARRIERA



**Fig. 7:** *Involucro nel rapporto pieno/vuoto. Latapie House, Floirac (1993)*  
*Font:* <https://iris.unipa.it/retrieve/handle/10447/101758/136343/>  
Ridisegno a cura dell'autore



**Fig. 8:** (In alto): Generazione di spazi di tipo E-E; (In basso) Scenari contemporanei. Collage basato su una fotografia di Robert Venturi. Fotografia originale di Denise Scott Brown a cura di Sabrina Syed

### 3.2 Edifici prodotto

In riferimento alla Rivoluzione Industriale e all'applicazione di materiali, quali ghisa, acciaio e vetro, il carattere espressivo degli edifici viene demandato alla innovazione tecnologica dei sistemi con cui esso è realizzato. In questo processo la realizzazione di modelli architettonici sempre più assimilabili ad oggetti, a prescindere dalle tecnologie costruttive che fanno del modello architettonico un *prodotto* industriale; *i prodotti della scienza e dell'industria sono a dir poco entusiasmanti. Non c'è bisogno di parlarne. Parlano da soli*<sup>8</sup>.

In questa ottica, l'involucro edilizio, un elemento indipendente che si distacca dalla struttura portante, coniuga i principi della standardizzazione con l'applicazione di sistemi tecnologici caratterizzati da una specifica funzione, in cui l'indifferenza del rapporto tra involucro e struttura nega il controllo del solo dato *tettonico*, determinato dai principi di intercambiabilità e trasformabilità. Il carattere effimero, nel rapporto tra manufatto e contesto, debilita la funzione dell'involucro edilizio, modificandone l'identità<sup>9</sup>, dove la precarietà costruttiva, definisce la tendenza volta a legittimare lo *statuto tipologico* e materiale dell'architettura.

Le esperienze progettuali che hanno accompagnato il processo di innovazione, sia di prodotto che di progetto, in termini tecnologici, hanno permesso di tradurre le proprietà di contenere, filtrare e stratificare relative all'involucro edilizio, demandando al processo

---

<sup>8</sup> P. Nils, *Prouvé*, Taschen, Colonia, 2007

<sup>9</sup> A. Petrillo, *Le figure della trasparenza*, in *Area*, 11, settembre 1992. p 4

produttivo la capacità di determinare nuove articolazioni spaziali e funzionali inaugurando un nuovo rapporto dell'edificio con lo spazio e con il tempo, il cui carattere espressivo viene rappresentato attraverso il principio saliente della sua composizione, intesa come l'assemblaggio delle sue parti. Da questo processo, determinare il carattere di permanenza dell'edificio è l'approccio progettuale ed interpretativo nel rapporto tra tecnologia ed architettura, in cui il fattore *tempo* è la variabile più discussa nella concezione di un modello architettonico come *prodotto industriale*. La questione è quella di determinare quale struttura edilizia sarà in grado di resistere alle mutazioni del tempo<sup>10</sup>. Questa tendenza demanda alla innovazione tecnologia il fattore determinante per le ricerche formali ed espressive dell'architettura, in cui il sistema di chiusura è luogo fisico e figurato dove si concentrano le maggiori attenzioni ed innovazioni, traducibile in un *pacchetto*.

Nella disciplina configurativa, come principio di definizione del modello architettonico e come processo produttivo, l'involucro è *figura metonimica* della prefabbricazione, dove il crescente livello di complessità del processo di definizione di specifiche soluzioni

---

<sup>10</sup> M. Beccu, S. Paris, *L'involucro architettonico contemporaneo tra linguaggio e costruzione*, Tipografia Ceccarelli, Roma, 2008. p. 64. [...] *In occasione di un simposio internazionale di architettura, tenutosi a Pontresina (Svizzera) nel 2000, furono infatti presenti a tenere delle conferenze due esponenti della produzione architettonica contemporanea, fortemente in contrasto, per filosofia e per linguaggio architettonico, che, non a caso non si trovarono a doversi fronteggiare in un dibattito diretto: da un lato Hans Kollhoff, architetto berlinese e autore, tra le altre opere, del famoso grattacielo di Potsdamer Platz a Berlin interamente rivestito in mattoni cotti, che "dissimula" la cantierizzazione industrializzata attraverso una immagine "duratura" di edificio appartenente ad una cultura "artigianale" del buon costruire; dall'altra parte Jean Nouvel, star francese dell'architettura, che presentò tra i suoi progetti il complesso culturale di Lucerna, "tetto" dal prodigioso sbalzo rivolto sul lago, emblema di una contemporaneità lucente, moderna, spettacolare. [...]*

morfologico - strutturali, porta alla necessità di acquisire nuovi strumenti di controllo e di progettazione esecutiva, in grado di correlare la fase ideativa delle opere con quella realizzativa, guidando la definizione dei dettagli tecnici e di installazione, volti al raggiungimento degli standard qualitativi e prestazionali attesi<sup>11</sup>.

Da questa considerazione, si evince quindi che non è vero che non c'è differenza tra costruire un mobile o costruire una casa; da una lato *il dettaglio costruttivo nel senso tradizionale del termine non esiste più: la collaborazione reciproca tra progettista ed industria ne ha preso il posto*, dall'altro la considerazione che *una casa non può svolgere al cento per cento la sua funzione se è concepita in modo tipizzato come un'automobile. In tale modo dunque la standardizzazione architettonica non può essere dello stesso tipo della standardizzazione industriale, adatta in modo generico per l'appunto solo all'automobile*<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> P. Rigone, P. Giussani, *La progettazione multidisciplinare delle facciate. Il ruolo emergente del Facade Engineer, il tecnologo dell'involucro edilizio*, Costruzioni Metalliche, n. 2 /2019

<sup>12</sup> Alvar Aalto, *La ricostruzione europea fa emergere i principali problemi architettonici del nostro tempo*. Articolo pubblicato in «Arkkitehti» nel 1941, in Marcello Fagiolo (a cura di), *Alvar Aalto idee di architettura. Scritti scelti 1921- 1968*, Zanichelli Editore, Bologna, 1987, p.77.





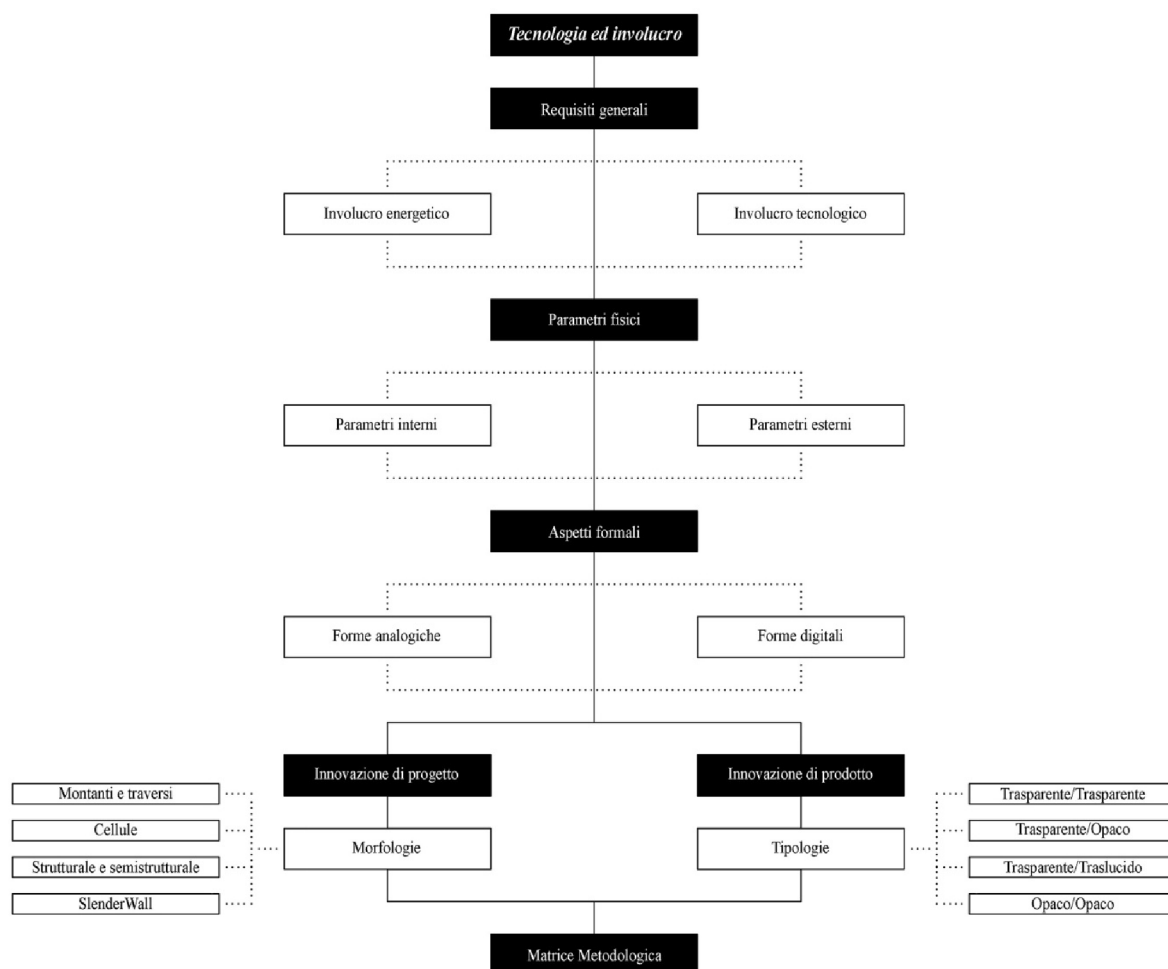
*Parte Seconda*

***TECNOLOGIA ED INVOLUCRO***





Quadro sinottico







*Capitolo IV*

**QUADRO DI RIFERIMENTO**

Ad oggi, esistono diversi modelli per classificare gli edifici in base alle sollecitazioni per cui sono chiamati a rispondere, in termini di performance, un modello che si basa sull'integrazione delle variabili che in genere vengono considerate indipendenti<sup>1</sup>. In questa ottica, nella definizione di un metodo per classificare le performance dell'involucro edilizio, in base agli aspetti formali e funzionali, presuppone che venga fatto riferimento sia a quello che è il quadro relativo al mercato, per una maggiore consapevolezza aziendale, sia al quadro normativo per quanto riguarda la progettazione di questi sistemi, determinando le variabili trasversali che concorrono alla definizione delle *performance* dell'intero organismo edilizio. Un modello che tiene conto dei fattori che ne influenzano la realizzazione in termini di qualità. Pertanto, la determinazione della qualità delle performance dell'involucro edilizio, prevede che vengano messe in relazione le caratteristiche economico-finanziarie (azienda) e le caratteristiche tecniche, *raccomandate* dalla normative (progettista), per un modello che possa descrivere l'innovazione tecnologica, legata alle innovazioni dei prodotti presenti sul mercato, a alle soluzioni apportate al progetto architettonico.

Nel definire i dati relativi al rapporto sul mercato italiano dell'involucro edilizio, si fa riferimento al rapporto pubblicato dalla UNICMI, Unione Nazionale delle Industrie delle Costruzioni Metalliche, dell'Involucro e dei Serramenti, il quale rappresenta lo strumento con cadenza annuale, per fornire alle imprese e agli analisti di mercato, *in un unico quadro di insieme, informazioni sulla evoluzione del mercato italiano dei serramenti e delle facciate continue. Il rapporto è focalizzato sulle imprese italiane e sul mercato interno, anche se non mancano dati puntuali su import ed export di facciate continue*<sup>2</sup>. Le stime presentate nel rapporto 1\_2020 non hanno tenuto in considerazione gli effetti relativi all'effetto COVID-19, il quale, incidendo sull'economia in generale, genera delle ripercussioni che anche il mercato delle costruzioni subisce. Pertanto, le previsioni

---

<sup>1</sup> V. Puglisi, *Sistemi, tecnologie e materiali innovativi per gli involucri contemporanei*, Aracne Editrice Srl, Roma, 2014. p.84

<sup>2</sup> UNICMI, *Rapporto sul mercato italiano dell'involucro edilizio*, n. 1, 2020. p. 2

previste a Marzo 2020 vengono messe in discussione dagli scenari di mercato per il prossimo biennio nell'era post COVID-19.

### ***Rapporto sul mercato italiano dell'involucro edilizio.***

Nel settore delle costruzioni, distinto in residenziale e non residenziale, nel 2019 gli investimenti sono ammontati, a livello nazionale, a 129.853 milioni di euro, determinando una crescita degli investimenti pari al 2,3% in termini reali<sup>3</sup>.

<b>Costruzioni</b>	<b>2019</b> Milioni di euro	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
		Variazione % in quantità			
	<b>129.853</b>	<b>1,0%</b>	<b>1,7%</b>	<b>2,3%</b>	<b>1,7%</b>
<b>Residenziale</b>					
<i>Abitazioni</i>	64.940	1,8%	1,5%	1,9%	1,8%
<i>Nuove</i>	17.545	7,7%	4,5%	5,4%	2,5%
<i>Manutenzione straordinaria</i>	47.395	0,0%	0,5%	0,7%	1,5%
<b>Non Residenziale</b>					
<i>Private</i>	41.831	4,2%	4,9%	2,5%	0,4%
<i>Pubbliche</i>	23.083	-6,0%	-6,0%	-6,0%	-6,0%

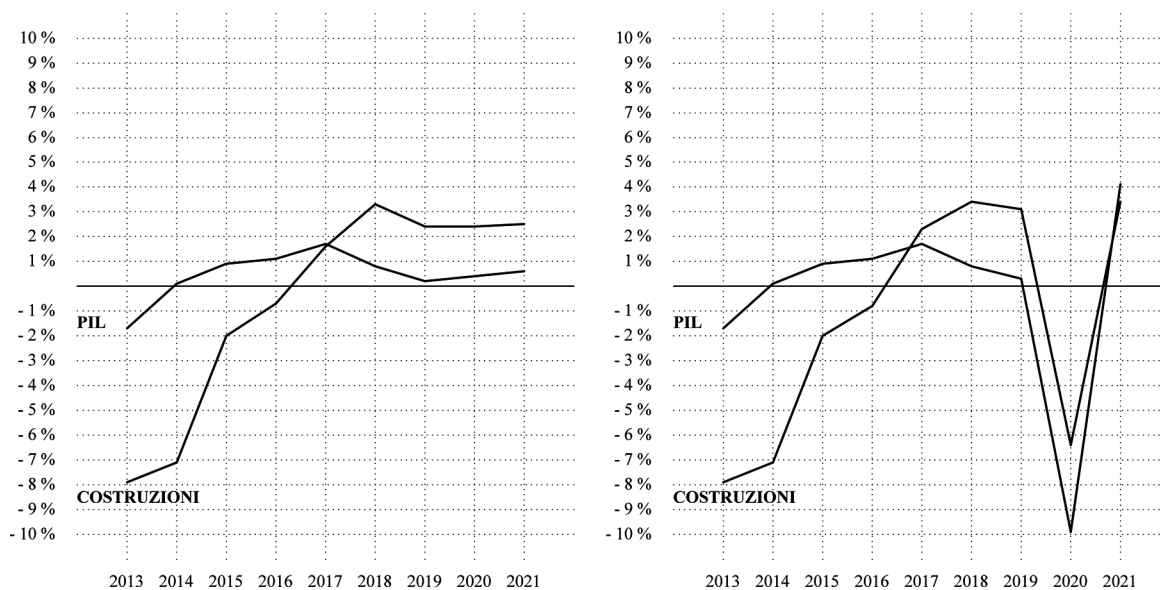
**Fig. 1** Rielaborazione dei dati Ance, *Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni*, Roma, 2020

Un andamento positivo che, già dal 2016 aveva ripreso a crescere a ritmi superiori del PIL con un picco significativo nel 2018, per poi rallentare nel 2019, conseguenza all'andamento dell'economia generale, in merito, soprattutto, alla componente non-residenziale. Le stime previste dalla UNICMI demandavano al biennio 2020-2021 la ripresa del trend positivo che ha caratterizzato gli anni precedenti, in concomitanza con un aumento di una presunta crescita economica, e all'andamento positivo dei permessi di costruire registrato negli ultimi tre anni, tra il 2016 ed il 2018, che in riferimento ai dati

<sup>3</sup> ANCE, *Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni*, Roma, 2020

Istat sull'attività edilizia si stima un aumento del 25% del numero di permessi, Scia e Dia ritirati per nuove costruzioni e ampliamenti.

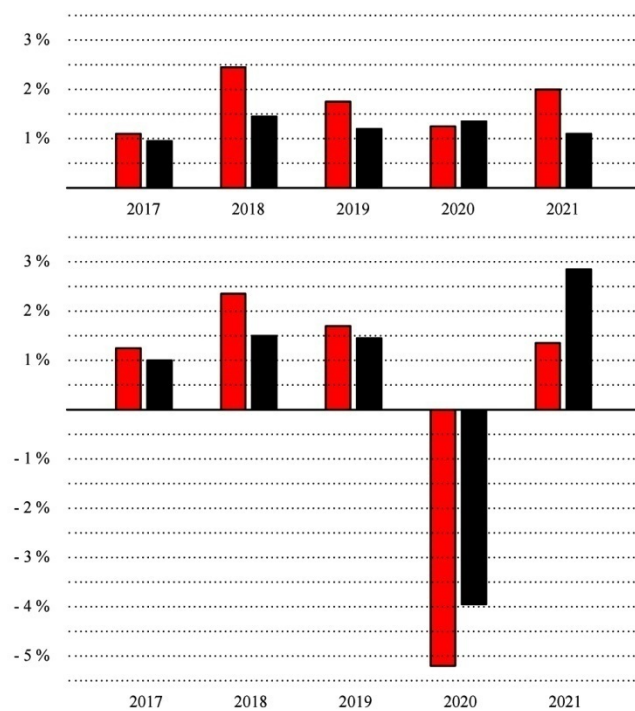
Gli effetti dovuti alla crisi pandemica da COVID-19 si riverbera su queste previsioni, e dalla stima prevista per il 2020, pari al 2,4%, tale crisi determina il collasso di questo valore al -6,4%, prevedendone una crescita nel 2021 in cui questo valore si stima al 3,4%, tali dati sono comparabili con il confronto delle previsioni ante e post pandemia desunti dai valori stimati dall'Istituto Nazionale di Statistica e dalla Commissione Europea.



**Fig. 2** Elaborazione UNICMI su dati ISTAT e Commissione Europea. Confronto crescita PIL e investimenti nelle costruzioni (2012-2021). Ante e post pandemia COVID 19. Rapporto

Tale crescita potrebbe essere determinata, anche dall'impatto degli incentivi economici per il settore Edilizia e Costruzioni, tra questi il superbonus 110% determinerebbe un impatto potenziale sul mercato di 2,4 miliardi di euro nel 2021, e, nell'ipotesi di un

prolungamento dei benefici a tutto il 2022, di 8 miliardi di euro, dei quali 1.614 nel 2021 e 6.455 nel 2022<sup>4</sup>.



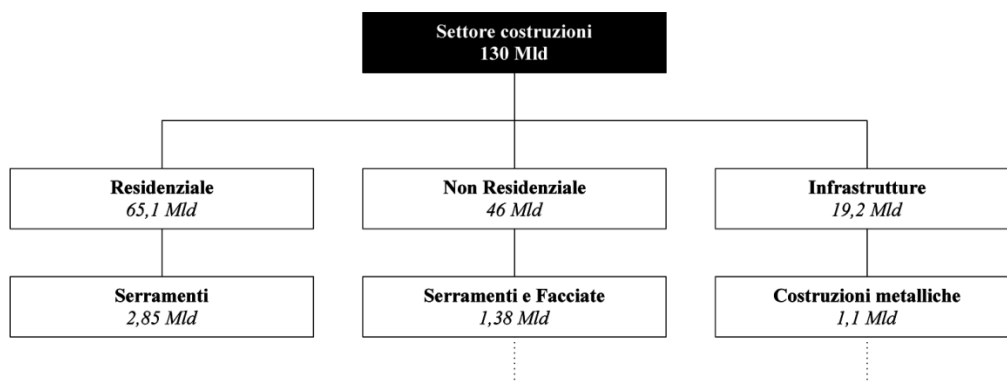
Questa considerazione può essere confermata, comparando ulteriormente i dati stimati dell'Istituto Nazionale di Statistica e della Commissione Europea, dove, da una stima iniziale in cui si prevedeva per l'anno 2021 un aumento degli investimenti in nuove costruzioni, gli effetti post-pandemia, rovesciano tali dati e oltre al collasso relativo agli investimenti per l'anno 2020, sia in nuove costruzioni (in rosso), che in interventi di rinnovo (in nero), si prevede, per il 2021 un aumento degli investimenti in interventi di rinnovo.

**Fig. 3** Elaborazione dei dati UNICMI su dati Istat. Confronto delle previsioni sugli investimenti nelle costruzioni, nuovo (in rosso) e rinnovo (in nero) ante e post pandemia COVID 19

Declinare questi aspetti, a quelli che coinvolgono gli investimenti relativi al mercato sull'involucro edilizio, presuppone la ri-definizione della tipologia di investimento, classificando nello specifico gli aspetti che riguardano la destinazione d'uso dell'edificio se esso residenziale o non residenziale, dove l'impiego dei sistemi di involucro, quali, serramenti, rivestimenti e facciate influiscono sulla costruzione in termini di consumo.

<sup>4</sup> Camera dei Deputati, *Il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: una stima dell'impatto delle misure di incentivazione*, n 32/2, 2020

Dal 2015 gli investimenti nelle costruzioni non residenziali segnano una ripresa che, si conferma nel 2018 e nel 2019, determinata dalla realizzazione di edifici destinati al settore terziario, caratterizzato da progetti di grandi dimensioni che hanno una pianificazione ed uno sviluppo pluriennale, pertanto l'andamento positivo registrato nel 2019 è determinato dal contributo fornito dai cantieri iniziati nell'anno precedente, in maniera analoga anche gli investimenti nelle costruzioni residenziali registrano un andamento positivo<sup>5</sup>, ciò determina un aumento della domanda di serramenti (residenziale) e di facciate continue (non residenziale), che in termini di performance, rappresentando gli elementi di chiusura del sistema involucro, assolvono al bisogno di interazione e controllo delle condizioni interne e delle condizioni esterne, in cui parametri come calore, luce, aria, suono, umidità possono essere tradotti nella più generale *regolazione della permeabilità*<sup>6</sup>.



**Fig. 4** Elaborazione dati UNICMI. Investimenti nel settore delle costruzioni in termini di domanda di serramenti, facciate e costruzioni metalliche. Novembre 2020

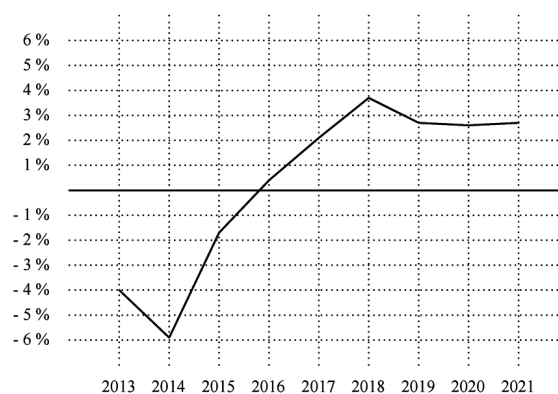
Il mercato dell'involucro edilizio, si caratterizza quindi dalla frammentazione delle offerte, che sulla base della destinazione d'uso, residenziale o non residenziale, determina l'andamento degli investimenti nel settore delle costruzioni, che nonostante le stime

<sup>5</sup> UNICMI, *Rapporto sul mercato italiano dell'involucro edilizio*, n. 1, 2020, pp. 5-8

<sup>6</sup> T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.39



positive registrate ante crisi pandemica, segnano, in riferimento al Rapporto UNICMI del 20 novembre 2020, una perdita di 346 milioni di Euro, pari a 650.00 unità di serramenti<sup>7</sup>.



**Fig. 5** Elaborazione dati UNICMI. Tasso di crescita dei ricavi nel settore dei serramenti e delle facciate continue. Previsione che non ha tenuto conto degli effetti della pandemia COVID 19

Il mercato relativo al residenziale, caratterizzato dalla produzione di serramenti, secondo il rapporto UNICMI 1\_2020 è determinato da investimenti che riguardano interventi di rinnovo, uno scenario che porta ad un radicale cambiamento delle quote di mercato dei tre principali materiali utilizzati per la produzione di serramenti: alluminio, legno e PVC<sup>8</sup>; un mercato in cui i serramenti in PVC sono stati caratterizzati, dal 2014, da una significativa crescita, raggiungendo una quota di mercato pari al 32,2% nel 2019, che, caratterizzata dal segmento del rinnovo residenziale, copre in modo più efficace la fascia medio-bassa del mercato.

Il trend positivo che caratterizza la produzione di serramenti, indipendentemente dal materiale, è determinato anche dagli interventi di riqualificazione energetica degli edifici, che con il contributo degli incentivi fiscali, come ad esempio il "bonus casa" del 2018,

<sup>7</sup> UNICMI, *Il comparto dell'involucro edilizio nell'era post COVID. Lo scenario di mercato per il prossimo biennio*, Milano, 2020. pp. 15-17

<sup>8</sup> PVC - cloruro di polivinile, noto come polivinilcloruro

determinano un incremento nelle vendite, determinando, secondo il Rapporto UNICMI il 39% del fatturato dei costruttori. Ciò detto, l'era post COVID-19, secondo anche i dati elaborati dall'Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), potrebbe rappresentare uno scenario analogo, in cui, l'impatto degli incentivi economici, potrebbe contribuire positivamente alla ripresa economica per il settore Edilizia e Costruzioni.

Le analisi delle quote di mercato in volumi, definiti dalle unità di finestra vendute, attribuiscono ai serramenti in PVC la leadership del trend positivo che caratterizza il mercato nelle stime ante COVID-19, per il quale veniva riconosciuta una quota del 40% in volume ai serramenti in PVC, una quota del 33% ai serramenti in alluminio ed infine ai serramenti in legno una quota del 27%<sup>9</sup>.

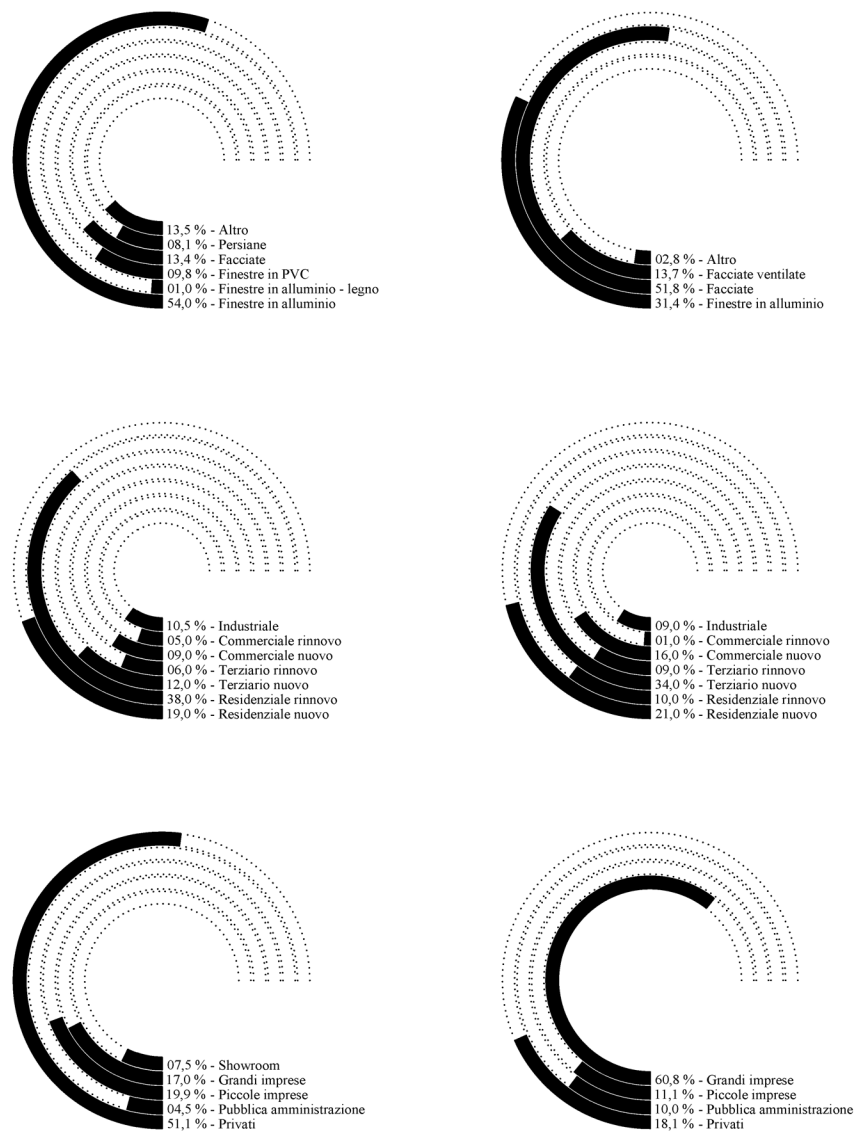
La caduta della redditività commerciale, in termini di mercato, per le aziende produttrici di serramenti metallici è stata da un lato determinata da una forte pressione sui prezzi, dall'altro determinata dalla significativa crescita della redditività dei costruttori di facciate, che dal 2017 vedono l'uscita dal mercato di aziende in forte crisi finanziaria, pertanto, tali aziende *devono continuare a presidiare il segmento premium della domanda puntando alla differenziazione nel prodotto e nel servizio (compresa l'istallazione), e devono ricercare spazi di crescita in altri segmenti, come le costruzioni non residenziali*<sup>10</sup>.

Il mercato italiano delle facciate continue, ha un indirizzo strettamente legato ad investimenti non residenziali, predominando il settore terziario e commerciale. A differenza del mercato relativo ai serramenti metallici, che come abbiamo visto è stato caratterizzato dalla crescente domanda di interventi di rinnovo, il mercato delle facciate continue è caratterizzato per il 70% da interventi di nuova costruzione. Secondo le stime del Rapporto UNICMI, il 2019 ha visto un andamento positivo con una progressione del

---

<sup>9</sup> UNICMI, *Rapporto sul mercato italiano dell'involucro edilizio*, n. 1, 2020. p. 11

<sup>10</sup> *Ibidem*. p. 26



**Fig. 6** Elaborazione dati UNICMI. Confronto tra il mercato dei serramenti (residenziale) a sinistra, e mercato delle facciate continue (non residenziale) a destra, distinto per ripartizione dei prodotti, vendita per segmento di mercato, ripartizione per tipologia di clienti. UNICMI, *Rapporto sul mercato italiano dell'involucro edilizio*, n. 1, 2020

4,5%, tale risultato è strettamente dipendente anche dalla presenza consolidata, di alcune aziende nei mercati internazionali: Europa, Stati Uniti, Medio Oriente. La stessa Cianciolo Group S.r.l, con sede a Palermo, partner della ricerca, leader nella progettazione e realizzazione di sistemi per facciate in alluminio, rientra in questi circuiti.

Nonostante il trend positivo, c'è da considerare un aspetto che penalizza le aziende operanti nel settore delle facciate continue, che in riferimento soprattutto alla crisi pandemica da COVID-19, in cui *tutto si ferma*, condiziona il progredire della redditività commerciale: il credito.

Tale aspetto è determinante per garantire una certa competitività in termini di valori, rappresenta l'altra faccia della medaglia, dove, all'andamento positivo delle performance economiche è subordinato il *rischio* negli investimenti, caratterizzato dall'aumento del capitale investito dalle aziende produttrici di facciate, strettamente legato al rapporto tra lavori in corso di realizzazione e crediti verso i clienti. Un aspetto, che in parte coinvolge anche le aziende produttrici di serramenti, ma *i costruttori di facciate sono strutturalmente più esposti verso i grandi clienti per i quali realizzano progetti di grandi dimensioni, con tempi di pagamento più lunghi che mettono sotto pressione la struttura finanziaria delle aziende*<sup>11</sup>.

L'effetto della pandemia da COVID-19 si riverbera su questo andamento, pertanto non essendoci la certezza di una ripresa imminente nel mercato italiano delle facciate continue, la presenza sul mercato internazionale potrebbe rappresentare quella opportunità di sviluppo che permetterebbe alla aziende, diversificando il tipo di rischio e considerando, soprattutto, la conoscenza dei sistemi e non la speculazione dei prodotti, di mantenere il trend positivo che ha caratterizzato l'andamento del mercato negli ultimi anni (2017-2019), determinato, in gran parte, dal valore *export* della produzione italiana, che secondo i dati elaborati dall'Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo

---

<sup>11</sup> UNICMI, *Rapporto sul mercato italiano dell'involucro edilizio*, n. 1, 2020. p. 24

sviluppo economico sostenibile (ENEA) ha un valore di 284 milioni di Euro<sup>12</sup>. Le aziende del comparto dell'involucro edilizio, da un punto di vista finanziario, assorbiranno l'impatto della crisi post pandemia, in quanto, considerato il rapporto *credito (rischio) - tempo (pagamento)*, gran parte delle commesse hanno avviato i propri cantieri nel periodo precedente il diffondersi della pandemia, di conseguenza questo rapporto si dilata, allungando, fondamentalmente, i tempi di assorbimento del rischio.

Il processo di innovazione tecnologica, caratterizzato dall'innovazione del prodotto e dall'innovazione del processo produttivo, indipendentemente da quelli che sono i dati e le stime in termini finanziari, rappresenta un ulteriore *trend* a cui le aziende dovrebbero riferirsi per intercettare l'innovazione delle domande sul mercato nazionale ed internazionale dell'involucro edilizio, che non è riferibile esclusivamente a produttori di serramenti e produttori di facciate, ma dovrebbe includere anche altri aspetti che definiscono la competitività di una azienda, determinandone un elevato valore aggiunto. Tra questi, l'approccio costruttivo, l' utilizzo di materiali innovativi, la ricerca verso prestazioni sempre più innovative, ecosostenibili ed energeticamente più efficienti, rappresentano alcune delle competenze a cui una azienda, che opera nel settore dell'involucro edilizio dovrebbe, ad oggi, riferirsi. L'affermazione del *brand* aziendale, specialistico e statico, non è esclusiva alla richiesta di competitività, in quanto l'introduzione nel mercato delle soluzioni tecnologiche deve considerare l'aspetto relativo all'innovazione, e non esclusivamente quello relativo ad un modello tecnologico di chiusura verticale. Questo è il motivo per cui numerose aziende, indirizzano la propria specializzazione nella produzione di prodotti ad alte prestazioni tecnologiche, riuscendo ad inserirsi in un contesto internazionale promuovendo dei prodotti altamente innovati, aspetto che demanda alla conoscenza dei sistemi l'essere competitivi, in un mercato caratterizzato dalla speculazione di un prodotto, che esprime, attraverso l'applicazione, il *brand*, monodirezionale, di una azienda.

---

<sup>12</sup> UNICMI, *Il comparto dell'involucro edilizio nell'era post COVID. Lo scenario di mercato per il prossimo biennio*, Milano, 2020. p. 25

## **6.2 Riferimenti normativi**

Definiti gli scenari che descrivono i valori che caratterizzano il mercato sull'involucro edilizio, e definiti, in termini di prestazioni energetiche, le performance di questi sistemi, appare necessario, prima del tentativo di definire la matrice metodologia, quale supporto alla progettazione del sistema involucro, fare riferimento anche al quadro normativo che ne disciplina la stessa progettazione.

Definito, ad oggi, come un filtro in grado di ottimizzare le interazioni tra ambiente interno ed ambiente esterno, l'involucro edilizio, in relazione al soddisfacimento dei requisiti energetici, è l'elemento principale nella regolazione dei flussi energetici gestiti all'interno del sistema edificio. Tale *riconoscimento* è dato dal processo di certificazione energetica, che rappresenta uno strumento strategico-gestionale, in grado di supportare le scelte progettuali in vista di un miglioramento delle prestazioni energetiche complessive del sistema edificio, ottimizzando il rapporto edificio-sistema<sup>13</sup>.

Gli aspetti normativi, che caratterizzano questa dissertazione, possono essere suddivisi in due categorie, efficienza energetica e sicurezza.

L'efficienza energetica, sia su scala nazionale che internazionale, rappresenta lo scenario di sviluppo a cui il settore delle costruzioni, da un punto di vista ambientale, è quello maggiormente rappresentativo. In questa ottica, sono diversi i provvedimenti e gli strumenti che promuovono l'efficienza energetica degli edifici *in modo qualitativo e quantitativo in relazione alle caratteristiche morfologiche, funzionali, tecnologiche ed impiantistiche proposte*<sup>14</sup>, in un contesto, in cui, viene demandata all'applicazioni di sistemi aggiuntivi, quali appunto l'involucro edilizio, ad esempio, il controllo delle performance, in termini energetici, dell'intero edificio. Il contesto ambientale, e di conseguenza quello geografico, è il primo dato che permette di comparare i vari

---

<sup>13</sup> V. Puglisi, *Sistemi, tecnologie e materiali innovativi per gli involucri contemporanei*, Aracne Editrice Srl, Roma, 2014. p.69

<sup>14</sup> *Ibidem*. p.70

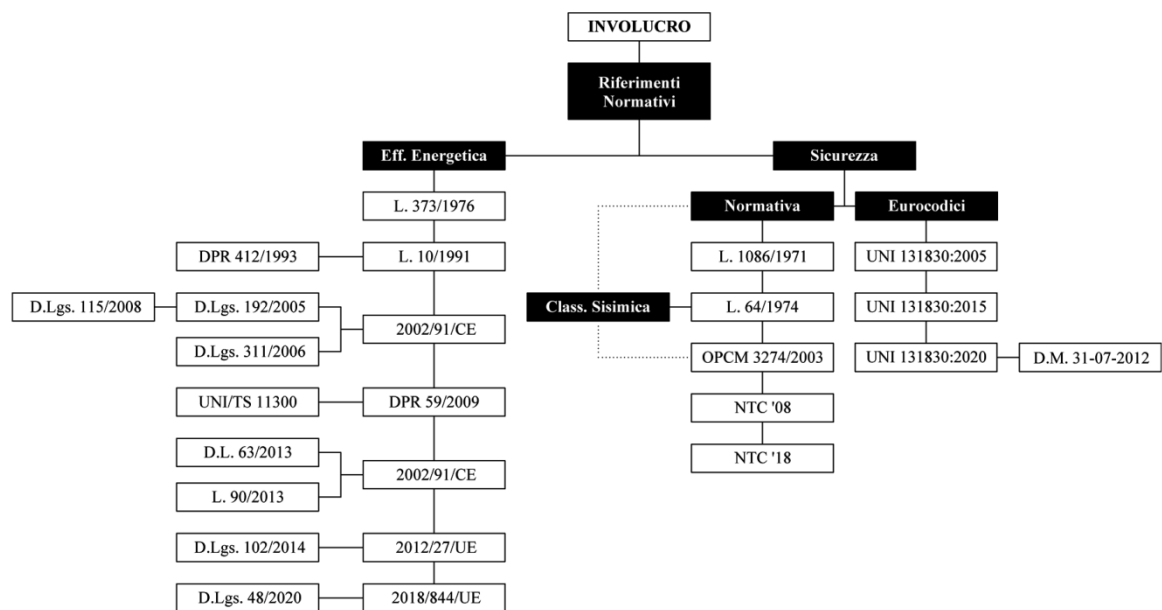


Fig. 7 Quadro sinottico riferito alla dissertazione normativa che disciplina la progettazione dell'involucro edilizio

provvedimenti di classificazione energetica che i diversi Paesi adottano, per garantire il raggiungimento delle performance energetiche in una strategia di controllo che ha avvio già dalla fase progettuale.

Sul territorio internazionale, diversi sono gli strumenti con cui valutare l'efficienza energetica degli edifici, e facendo riferimento ai provvedimenti emanati negli Stati Uniti, intercettando quelli riferibili, nello specifico all'involucro edilizio, si fa capo agli standard previsti dal modello ANSI / ASHRAE / IES 90.1-2019 - *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Uno standard dell' American National Institute (ANSI)<sup>15</sup> pubblicato da ASHRAE<sup>16</sup>, strutturato in due percorsi, uno prescrittivo ed uno

<sup>15</sup> L'American National Institute (ANSI) è una organizzazione privata, no profit, che sovrintende lo sviluppo di standard di consenso volontario per prodotti, servizi, processi e sistemi, coordinati agli standard internazionali.

<sup>16</sup> L'American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) è una associazione professionale che promuove il benessere umano attraverso la tecnologia sostenibile per l'ambiente costruito. La Società

prestazionale, distinguendo soltanto due categorie funzionali, residenziale e non residenziale, in cui, in riferimento alla Sezione 5, sull'involucro edilizio, le performance energetiche vengono demandate allo spessore degli elementi che lo costituiscono, essi opachi o trasparenti, aggiornati per guadagno solare e trasmissione, e per diverse zone climatiche.

Per quanto riguarda, invece, la prevenzione sismica, in termini di sicurezza, il riferimento è la NEHRP/FEMA 450<sup>17</sup>, *Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures*, il cui fine è quello di determinare i criteri per la progettazione e la costruzione di componenti architettoniche soggette ad azioni sismiche, prevedendo, per quanto riguarda le componenti di involucro, che i requisiti minimi richiesti soddisfino determinati metodi di fissaggio e ancoraggio alla struttura portante. Pertanto, nella progettazione dei sistemi di involucro, particolare attenzione deve essere riferita alle connessioni, in particolare alle deformazioni generate dagli spostamenti differenziati. La staticità degli elementi non strutturali, condiziona, quindi, quella complessiva dell'organismo edilizio, definita dal coefficiente di massimo spostamento.

L'involucro edilizio, come filtro, rappresenta quindi il limite fisico, tra ambiente interno ed ambiente esterno, che alla luce di ridurre i carichi energetici, in un contesto normativo in cui il controllo su isolamento termico e inerzia termica determinano il raggiungimento delle prestazioni energetiche dell'intero organismo edilizio, assolve al controllo dei flussi energetici. Da questa considerazione, per garantire delle performance ottimali bisogna considerare due aspetti: il primo, di natura formale, pone l'attenzione sul rapporto superficie/volume dell'edificio con il contesto climatico locale, in quanto l'indice di prestazione energetica limite è stabilito, da normativa, in funzione a questo rapporto; il

---

si concentra sui sistemi di costruzione, l'efficienza energetica, la qualità dell'aria interna, la refrigerazione e la sostenibilità.

<sup>17</sup> Federal Emergency Management Agency (FEMA), può essere considerata come il corrispettivo Americano del Dipartimento della Protezione Civile. la FEMA ha pubblicato negli anni e continua a pubblicare una serie di Linee Guida per la riduzione del rischio sismico di costruzioni esistenti e di nuova progettazione, dedicate sia ai proprietari che ai progettisti. Queste Linee Guida non hanno ovviamente valore legale in Europa ed in particolare in Italia ed oltretutto sono calibrate per la sismicità e le caratteristiche delle costruzioni proprie del territorio USA.



secondo aspetto riguarda la scelta tecnico-costruttiva, che, oltre all'aspetto energetico determina l'integrità dell'organismo edilizio in termini di sicurezza.

### ***Normativa energetica***

Sul territorio nazionale, il primo riferimento in materia di efficienza energetica viene riconosciuto con la Legge 373/1976<sup>18</sup>, redatta per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici. Attraverso la legge, venivano emanati i primi vincoli per una progettazione mirata alle dispersioni energetiche, e viene fatto riferimento per la prima volta alle zone climatiche, ovvero a quei territori con valori omogenei delle variabili climatiche che influenzano il fabbisogno energetico dell'edificio. La successiva Legge 10/1991<sup>19</sup>, pone la questione su tre obiettivi principali: risparmio energetico, salvaguardia ambientale, benessere degli individui all'interno dell'ambiente confinato, imponendo la verifica della tenuta dell'isolamento di chiusure verticali e chiusure orizzontali, al fine di controllare la dispersione del calore, nel tentativo di accumularlo senza disperderlo. Il suo decreto di attuazione<sup>20</sup>, DPR 412/1993, stabiliva i criteri di progettazione energetica sulla base del FEN (Fabbisogno Energetico Normalizzato) e dal rendimento globale stagionale dell'impianto termico, classificando il territorio in sei zone climatiche, in funzione del numero di gradi giorno (GG)<sup>21</sup>, venivano, inoltre classificati gli edifici in base alla loro destinazione d'uso (residenziale, non residenziale).

---

<sup>18</sup> Legge 373/1976, *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*, GU n. 148 del 07-06-1976

<sup>19</sup> Legge 10/1991, *Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*, GU n. 13 del 16-01-1991

<sup>20</sup> DPR 412/1993, *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4 della legge 9 gennaio 1991, n. 10*, GU Serie Generale n. 242 del 14-10-1993 - Suppl. Ordinario n. 96

<sup>21</sup> Per numero di gradi giorno (GG) è intesa la somma, estesa su tutto il periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle differenze positive giornaliere tra la temperatura ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera ricavata dalla UNI 10349-1:2016.

Nel 2002 viene emanata, dal Parlamento europeo e dal Consiglio dell'Unione europea la direttiva 2002/91/CE<sup>22</sup>, conosciuta come Energy Performance of Building Directive (EPBD), con l'obiettivo di promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici nella Comunità, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni per quanto riguarda il clima degli ambienti interni e l'efficacia sotto il profilo dei costi, prevedendo un documento che certifichi l'efficienza energetica degli immobili. Tali obiettivi vengono recepiti ed aggiornati dai successivi Decreti Legislativi 192/2005<sup>23</sup> e 311/2006<sup>24</sup>. Il successivo DPR 59/2009<sup>25</sup>, promuove un'applicazione omogenea delle norme per l'efficienza energetica sul territorio nazionale, definendo metodologie, criteri e requisiti minimi, adottando le norme tecniche nazionali, definite nel contesto delle norme EN, UNI/TS 11300<sup>26</sup> (1-2) per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, così come era stato previsto dal Decreto Legislativo 115/2008, che per sopperire all'essenza dei Decreti Attuativi al Decreto Legislativo 192/2005, indicava le specifiche della normativa tecnica UNI/TS 11300 come riferimento per il calcolo delle prestazioni energetiche.

Con la direttiva 2010/31/UE<sup>27</sup>, del Parlamento europeo e del Consiglio, l'approccio, in termini energetici, viene pianificato per tutti gli Stati membri, fissando i requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici nuovi ed esistenti, prevedendo, entro il 2021 che tutte le nuove costruzioni siano *edifici a energia quasi a zero*. Tale direttiva viene

---

<sup>22</sup> Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia, GU L 1 del 04-01-2003

<sup>23</sup> Decreto Legislativo 192/2005, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*, GU n. 222 del 23-09-2005

<sup>24</sup> Decreto Legislativo 311/2006, *Disposizioni correttive e integrative al decreto legislativo 19/8/05 n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*, GU n. 26 del 01-02-2007

<sup>25</sup> DPR 59/2009, *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*, GU n. 132 del 10-06-2009

<sup>26</sup> Norma UNI/TS 11300/2009, *Normativa tecnica di riferimento sul risparmio energetico e la certificazione energetica degli edifici*, GU n. 158 del 10-07-2009

<sup>27</sup> Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia, GU dell'Unione Europea L 153/13 del 18-06-2010

recepita nel panorama italiano attraverso il Decreto Legge 63/2013<sup>28</sup>, e nella successiva Legge 90/2013<sup>29</sup>.

La direttiva 2018/844/UE<sup>30</sup>, modifica la precedente sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE<sup>31</sup> sull'efficienza energetica. L'obiettivo è quello di puntare ad un modello di sviluppo sostenibile, competitivo, sicuro e decarbonizzato, fissando ambiziosi obiettivi per ridurre ulteriormente le emissioni di gas a effetto serra. Il Decreto Legislativo 48/2020<sup>32</sup>, che ha recepito nell'ordinamento italiano la direttiva 2018/844/UE sull'efficienza energetica in edilizia, ha introdotto una serie di modifiche al Decreto Legislativo 192/2005 sul rendimento energetico in edilizia.

### **Sicurezza**

Considerato come un elemento che si distacca dalla struttura, l'involucro edilizio, come sistema indipendente da essa, coniuga, sotto altre declinazioni, l'evoluzione del concetto di chiusura. Da questa considerazione, in termini di prestazioni, l'altro aspetto da considerare, oltre a quello relativo all'efficienza energetica, nella progettazione, è il

<sup>28</sup> Decreto Legge 63/2013, *Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale*, GU n. 130 del 05-06-2013

<sup>29</sup> Legge 90/2013, *Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63 Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale*, GU n. 181 del 03-08-2013

<sup>30</sup> Direttiva 2018/844/UE, direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, GU L 156 del 19-06-2018

<sup>31</sup> Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE. Tale direttiva è stata recepita nel panorama italiano con il Decreto Legislativo 102/2014, *Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE*, GU n. 165 del 18-07-2014

<sup>32</sup> Decreto Legislativo 48/2020, *Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica*, GU n. 146 del 10-06-2020

contributo che questi sistemi apportano al comportamento strutturale dell'intero edificio. L'involucro edilizio, soggetto a sollecitazioni esterne, deve garantire il trasferimento delle forze di inerzia<sup>33</sup> alla struttura di supporto, il cui livello prestazionale si differenzia in stato limite di esercizio e stato limite ultimo<sup>34</sup>, il primo è da rifarsi alla capacità di resistenza all'acqua e all'aria, il secondo prevede che ogni componente del sistema non debba subire danni in termini di accelerazione/spostamento, in risposta ad una azione sismica<sup>35</sup>.

Lo scenario normativo, in materia di sicurezza strutturale, riferita all'azione sismica, determina i criteri per costruire una struttura in modo da ridurre la sua tendenza a subire un danno, in seguito ad un evento sismico. La prevenzione si può realizzare attraverso due strumenti<sup>36</sup>, la *classificazione sismica*, che consiste nella suddivisione del territorio della Repubblica italiana in specifiche aree, caratterizzate da un comune rischio sismico, e la *normativa antisismica*, con la quale si indicano i criteri generali da dover seguire per garantire la costruzione di strutture maggiormente stabili<sup>37</sup>. L'altro strumento, in materia di prevenzione strutturale, legata sempre all'azione sismica sono i criteri *raccomandati* dagli Eurocodici<sup>38</sup>, ovvero le norme europee per la progettazione strutturale, che consentono di progettare e controllare la stabilità dei lavori di costruzione o delle loro

---

<sup>33</sup> In meccanica, una forza di inerzia, è una forza che, anche se non vi viene applicata direttamente, agisce su un corpo al pari delle forze e dei momenti reali, o effettivi.

<sup>34</sup> [...] *La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata* [...]. Decreto Ministeriale 17-01-2018, *Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*, GU n. 42 del 20-02-2018

<sup>35</sup> J. Sisinni, *Studio, analisi e modellazione FEM di facciate continue: impiego di materiali innovativi per la sicurezza in zona sismica*, tesi di Laurea, Facoltà di Ingegneria - Università degli Studi di Pavia, a. a. 2015 - 2016, relatore F. Auricchio, p. 9

<sup>36</sup> Consiglio Nazionale dei Geologi, *Normativa antisismica: il quadro sinottico delle Regioni italiane*, 21-12-2016 (<https://www.cngeologi.it/2016/12/21/normativa-antisismica-il-quadro-sinottico-delle-regioni-italiane/>)

<sup>37</sup> Ordinanza 3274/2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri, *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*, GU n. 105 del 08-05-2003

<sup>38</sup> Direttiva 2003/887/CE della Commissione europea, *Raccomandazione della commissione dell'11 dicembre 2003 relativa all'applicazione e all'uso degli Eurocodici per lavori di costruzione e prodotti strutturali da costruzione* [notificata con il numero C(2003) 4639], GU L n. 332 del 19-12-2003

componenti e fornire le corrette dimensioni dei prodotti strutturali da costruzione, criteri di calcolo comuni a tutti i Paesi dell'Unione Europea.

Il primo riferimento, per quanto concerne la normativa antisismica, è la legge 64/1974<sup>39</sup>, successiva alla Legge 1086/1971<sup>40</sup>, secondo cui, in tutti i comuni della Repubblica, le costruzioni, sia pubbliche che private, debbono essere realizzate in osservanza di comprovate motivazioni tecnico-scientifiche, che saranno fissate attraverso decreti successivi del Ministero dei Lavori pubblici. A seguito del terremoto che ha colpito le Regioni di Puglia e Molise, nel 2002, ha avviato il processo di aggiornamento di tale normativa, che vede, con l'OPCM 3274/2003<sup>41</sup>, la riclassificazione, ferma al 1986, del territorio nazionale in quattro zone a diversa pericolosità, e con il Decreto Ministeriale del 14-01-2008<sup>42</sup>, l'approvazione delle norme tecniche per le costruzioni, ferme al 1996, dove vengono definiti i criteri di progettazione degli elementi secondari non strutturali, aggiornato dal Decreto Ministeriale del 17-01-2018<sup>43</sup>.

In riferimento al paragrafo 7.2.3 del Decreto Ministeriale 17-01-2018, *per elementi costruttivi non strutturali s'intendono quelli con rigidezza, resistenza e massa tali da influenzare in maniera significativa la risposta strutturale e quelli che, pur non influenzando la risposta strutturale, sono ugualmente significativi ai fini della sicurezza e/o dell'incolumità delle persone*<sup>44</sup>, dove la capacità di questi elementi, compresi quelli strutturali che li sostengono e collegano, deve essere maggiore della domanda sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite da considerare.

---

<sup>39</sup> Legge 64/1974, *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*, GU n. 76 del 21-03-1974

<sup>40</sup> Legge 1086/1971, *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica*, GU n. 321 del 21-12-1971

<sup>41</sup> Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3274/2003, *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*, GU n. 105 del 08-05-2003

<sup>42</sup> Decreto Ministeriale 14-01-2008, *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*, GU n. 29 del 4-02-2008

<sup>43</sup> Decreto Ministeriale 17-01-2018, *Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*, GU n. 42 del 20-02-2018

<sup>44</sup> *Ibidem*, p. 42

In ambito europeo, i fattori di sicurezza vengono raccomandati dagli Eurocodici<sup>45</sup>, che nel contesto riferito alla sicurezza dell'involucro edilizio, fanno riferimento all' Eurocodice 8, dedicato all'aspetto sismico, con due obiettivi prestazionali: assenza di collasso e limitazione del danno. Obiettivi che vengono recepiti dalla norma UNI EN 13830:2020<sup>46</sup> “*Facciate continue - Norma di prodotto*”, che recepisce la CEN11070447 e sostituisce la UNI EN 13830:2015<sup>47</sup>, in cui viene determinato che *gli elementi non strutturali (appendici) degli edifici (come per esempio: parapetti, facciate continue, tramezzi, ringhiere) che potrebbero, in caso di crollo, produrre rischi per le persone in influenzare il comportamento della struttura principale dell'edificio o la sua funzionalità, devono, insieme ai loro supporti essere verificati nei confronti dell'azione sismica di progetto.*

---

<sup>45</sup> Decreto 31-07-2012, *Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici*, GU n. 73 del 27-03-2013

<sup>46</sup> UNI EN 13830:2020, *Facciate Continue - Norma di prodotto*, entrata in vigore il 12-06-2020. La norma specifica i requisiti delle facciate continue utilizzate come involucro edilizio al fine di fornire resistenza agli agenti atmosferici, sicurezza d'esercizio e risparmio energetico e ritenzione del calore. La norma fornisce metodi di prova/valutazione/calcolo e i criteri di prestazione ad assicurare la conformità.

<sup>47</sup> UNI EN 13830:2015, *Facciate Continue - Norma di prodotto*, entrata in vigore il 12-06-2020. La norma specifica i requisiti delle facciate continue utilizzate come involucro edilizio al fine di fornire resistenza agli agenti atmosferici, sicurezza d'esercizio e risparmio energetico e ritenzione del calore. La norma fornisce metodi di prova/valutazione/calcolo e i criteri di prestazione ad assicurare la conformità.









*Capitolo V*

**EFFICACIA ED EFFICIENZA ENERGETICA  
DELL' INVOLUCRO**

"[...] il dettaglio costruttivo nel senso tradizionale del termine non esiste più: la collaborazione reciproca tra progettista ed industria ne ha preso il posto (... con) l'intenzione di far capire i flussi che, passando per un certo nucleo, governano movimenti, correnti percorsi: è come se un respiro vitale riempisse le strutture e raccontasse come si genera il clima artificiale o quale sia il percorso del sole".

H. J.

Nei processi di analisi scientifica e di linguaggio architettonico degli elementi costruttivi e dei componenti tecnologici che caratterizzano l'involucro, si evidenzia l'importanza di definire etimologicamente il concetto di facciata. Questo elemento, definito come *la parte esterna anteriore, frontale, o comunque principale, di un fabbricato*<sup>1</sup>, rappresenta il carattere ed il volto dell'edificio, strettamente legato agli altri aspetti che lo costituiscono, sia formalmente che tecnologicamente. L'involucro invece, non si limita a definire solo l'aspetto superficiale, ma trattandosi di un elemento indipendente dalla struttura definisce un sistema più complesso. In questa seconda parte, *tecnologia ed involucro*, l'intento è quello di descrivere la genealogia di questi sistemi, definendo requisiti, prestazioni e tecnologie, al fine di definire il processo metodologico che caratterizza la progettazione di questi sistemi, a completamento del concetto di *innovazione tecnologica*, intesa come innovazione di prodotto ed innovazione di progetto.

Definire compiutamente il processo di innovazione, attraverso il tema dello straniamento, permette di decodificare i codici linguistici che caratterizzano questi sistemi, estraniandoli dal contesto generale e assoggettandoli alla *pura forma*, come paradigma di un sistema più complesso, a sostegno della considerazione che il funzionamento dell'involucro edilizio è dato dall'equilibrio delle sue parti, ovvero dagli elementi che lo costituiscono e che di conseguenza ne definiscono il comportamento energetico.

---

<sup>1</sup> [https://www.treccani.it/vocabolario/facciata\\_%28Sinonimi-e-Contrari%29/](https://www.treccani.it/vocabolario/facciata_%28Sinonimi-e-Contrari%29/)

### 5.1 Requisiti generali

L'equilibrio del rapporto tra interno ed esterno, è il requisito principale per garantire il corretto funzionamento dell'involucro edilizio in termini di prestazioni. Le esigenze primordiali di rifugio e di riparo, vengono integrate con la necessità di controllare i flussi che coinvolgono questi sistemi, al fine di declinare alla ricerca di benessere, intesa nel senso più ampio di *comfort*, le scelte progettuali e tecnologiche tramite cui può realizzarsi *quel processo di interazione tra gli elementi ambientali interni ed il mondo esterno, quel flusso 'adattivo' di scambi materiali ed immateriali da cui dipende il mantenimento delle condizioni di benessere e di comfort all'interno degli spazi abitati*<sup>2</sup>. Nelle attuali sperimentazioni tecnologiche la qualità osmotica<sup>3</sup> di questo processo è regolata dall'involucro edilizio, che diventa una interfaccia dinamica, dove il tamponamento, verticale o orizzontale diviene il *filtro* pensato per proteggere e contenere.

Da un punto di vista fisico l'involucro edilizio è la superficie di controllo che delimita il sistema termodinamico dell'edificio<sup>4</sup>, ed è lo strumento in grado di ottenere, anche in architettura, *quello stato omeostatico indispensabile alla vita del mondo animale e vegetale*<sup>5</sup>.

La definizione del processo metodologico che porta alla definizione di questi sistemi, strettamente legati, quindi alle condizioni climatico/ambientali, non prescinde dalla definizione degli strati che ne garantiscano il funzionamento, garantendo, sulla base del loro contributo, il funzionamento del sub sistema a cui appartengono. La distinzione tra strato ed involucro, che può essere intesa come il rapporto tra elemento portato ed

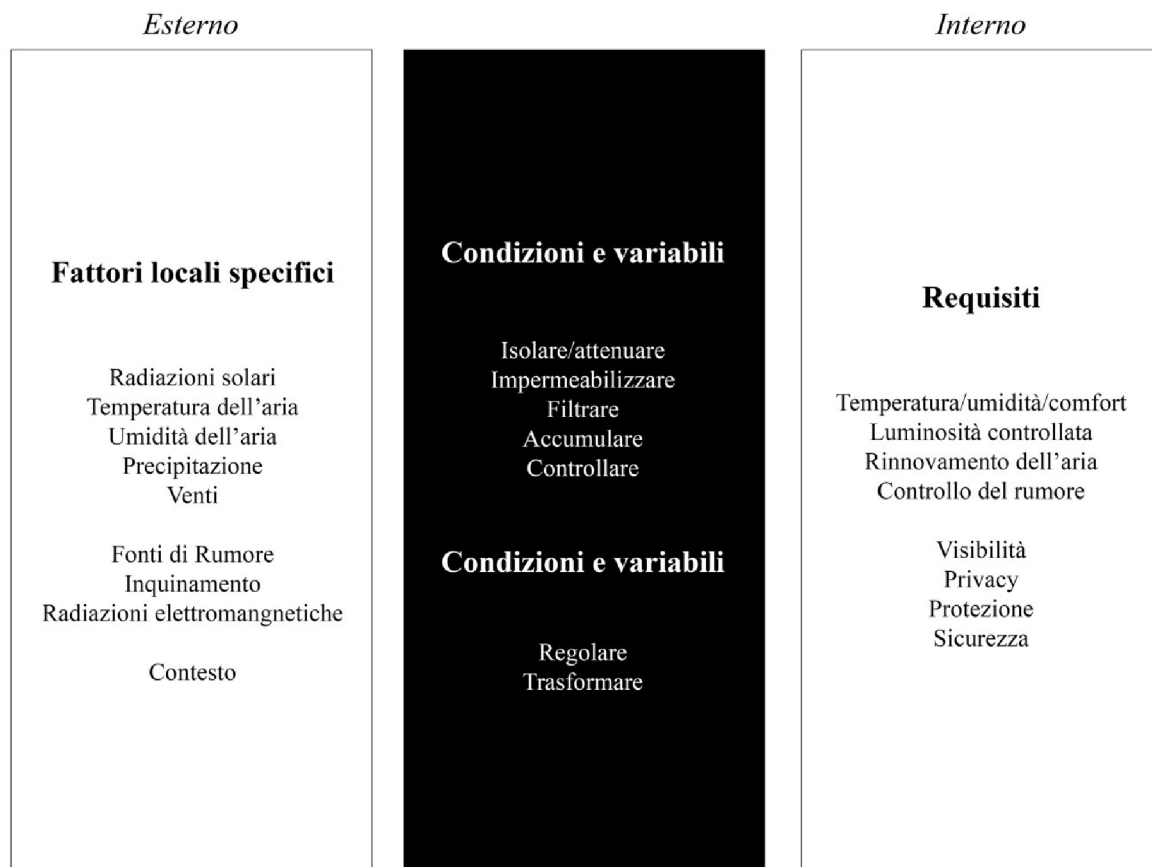
<sup>2</sup> R. Romano, *Smart Skin Envelope. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico*, Firenze University Press, Firenze, 2011. p. 28

<sup>3</sup> S. Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, prefazione di Giorgio Peguiron, Editrice Alinea, Firenze 2004

<sup>4</sup> M. Filippi, *L'involucro edilizio: passivo, attivo o ibrido*, da *Progettare l'involucro edilizio: correlazioni tra il sistema edificio ed i sistemi impiantistici*, Aicarr, 2001

<sup>5</sup> R. Romano, *Smart Skin Envelope. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico*, Firenze University Press, Firenze, 2011. p. 31

elemento portante, nel primo riferimento archetipico della capanna primitiva, determina l'autonomia strutturale dell'intero sistema.



**Fig. 1:** Schematizzazione delle prestazioni a cui l'involucro è chiamato a rispondere. Filtro delle interazioni tra ambiente interno ed ambiente esterno.

Nella fase di definizione di questi sistemi, è opportuno sottolineare che le condizioni esterne non sono condizionate dalla progettazione, ma rappresentano una qualità intrinseca di un dato contesto, che coinvolge non solo gli aspetti legati alle condizioni climatiche in generale, ma soprattutto quelle *inquinanti*, quali ad esempio inquinamento

acustico o olfattivo; viceversa, le condizioni interne, non vengono definite preventivamente, ma stanno alla base della progettazione, subordinate alle performance per cui è richiesto l'intervento, strettamente legate al concetto di *benessere*<sup>6</sup>. Questi fattori sono alla base delle considerazioni preliminari che coinvolgono la progettazione dell'involucro edilizio, concepito come *terza pelle*, in grado di ottimizzare le interazioni tra ambiente esterno ed ambiente interno, determinando le prestazioni globali dell'edificio. Il rapporto tra edificio ed ambiente, nel dibattito contemporaneo, apre nuovi scenari, dove *i requisiti corrispondenti alle necessità di migliorare la qualità della vita nel rispetto dei limiti ricettivi degli ecosistemi, della possibilità di rinnovo delle risorse naturali, ai fini della loro conservazione per le generazioni future, dell'equilibrio tra sistemi naturali ed antropici (esigenze ecosostenibili)*<sup>7</sup>, determinano le dinamiche termico - funzionali che caratterizzano l'involucro edilizio, in relazione alla qualità di risposta alle condizioni esterne.

### 5.1.1 Involucro energetico

Per quanto riguarda le prestazioni si identificano, secondo Benham<sup>8</sup>, quattro modelli di controllo ambientale dell'organismo edilizio, codificati in relazione alla qualità di risposta alle sollecitazioni dell'ambiente esterno:

*Involucro conservativo*, caratterizzato da un tipo di controllo ambientale che utilizza grandi masse murarie con poche aperture per ridurre le dispersioni termiche nelle varie stagioni dell'anno e nelle varie fasce climatiche in cui viene proposto;

*Involucro selettivo*, che si caratterizza per un controllo ambientale basato su principi generali analoghi all'involucro conservativo ma con l'innovazione di utilizzare grandi pareti trasparenti per l'illuminazione e il riscaldamento passivo. (ad esempio, parete

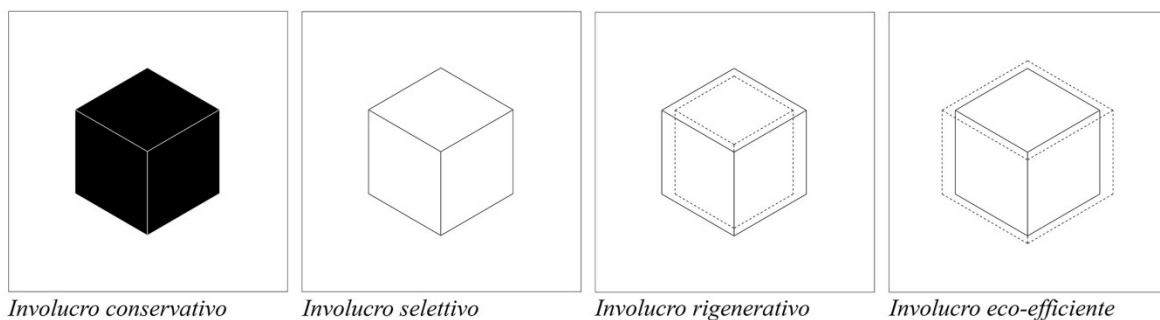
<sup>6</sup> T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.19

<sup>7</sup> Giacomo Di Ruocco *Oltre la facciata: l'evoluzione tecnologica dell'involucro edilizio tra tradizione e innovazione*, CUES Edizioni, Salerno, 2012. p. 80

<sup>8</sup> R. Benham, *The Architecture of the Well – Tempered Environment*, Architectural Press, Londra, 1969

trasparente semplice o doppia con dispositivi per il controllo solare). La corretta proposizione di questa tipologia d'involucro genera soluzioni di "anisotropia" in facciata, ovvero, la facciata esposta a nord sarà caratterizzata da una massa muraria massiva con piccole aperture, mentre la facciata a sud avrà grandi vetrate per sfruttare l'irraggiamento solare diretto, anche se dotate di apposite schermature;

*Involucro rigenerativo*, che affida a sistemi impiantistici tutti i problemi del controllo ambientale e assume l'involucro esclusivamente come barriera per diminuire l'interazione tra l'interno e l'esterno (ad esempio: parete trasparente con vetrata normale o selettiva). La sua configurazione è quella trasparente con vetrata normale selettiva, anche riflettente. Sono da considerare edifici rigenerativi tutti quelli dotati di isotropia in facciata, ovvero soluzioni uguali per tutte le esposizioni;



**Fig. 2:** Classificazione delle prestazioni energetiche dell'involucro. Da sx: Involucro conservativo (es. trulli); Involucro selettivo (es. intervento sui serramenti.); Involucro rigenerativo (es. sistema fotovoltaico integrato); Involucro eco efficiente (es. involucro dinamico ad assetto variabile)

*Involucro eco-efficiente o ambientalmente interattivo o bioclimatico avanzato*, che propone un controllo basato sull'armonia tra ambiente esterno ed edificio con la possibilità di gestire i complessi flussi di energia (calore, luce, suono) attraverso le modifiche dell'intorno, la forma dell'edificio, l'organizzazione degli spazi interni e le configurazioni e azioni dell'involucro. Quest'ultimo modello gestisce i flussi attraverso la regolazione di dispositivi fissi o ad assetto variabile (frangisole, apertura/chiusura di finestre, bocchette di ventilazione ecc.) o con controllo e regolazione manuale o automatica in relazione al tipo di utenza e alla complessità dell'edificio. La caratteristica di tale tipologia è l'anisotropia dinamica, ovvero la capacità di offrire delle soluzioni differenziate per le diverse esposizioni dell'edificio, dove il cambiamento dell'assetto modulano i vari flussi ambientali a seconda delle condizioni climatiche del luogo<sup>9</sup>.

Metodologicamente, quindi, le sperimentazioni sulle qualità dell'involucro edilizio, inteso come pelle dell'edificio, in relazione alle condizioni ambientali, definisco un sistema che non solo è in grado di regolare i flussi di calore, radiazione, aria e vapore, ma soprattutto la capacità di convertire la radiazione in energia e di riutilizzarla al fine di garantire il corretto *funzionamento* degli edifici, attribuendo a specifici componenti la capacità di governare il processo tecnologico, inteso come l'evoluzione delle tecnologie in rapporto alle prestazioni energetiche, divenendo l'elemento cardine del processo di interazione eco-efficiente con i fattori ambientali naturali. Questa considerazione porterà ad identificare un altro modello, a quelli descritti da Benham, la cui capacità di adattarsi al variare delle condizioni ambientali esterne, determina il comportamento *intelligente* dell'intero sistema in termini di prestazioni, un sistema di controllo attivo e dinamico in grado di ottimizzare l'energia in relazione alle sollecitazioni termiche esterne.

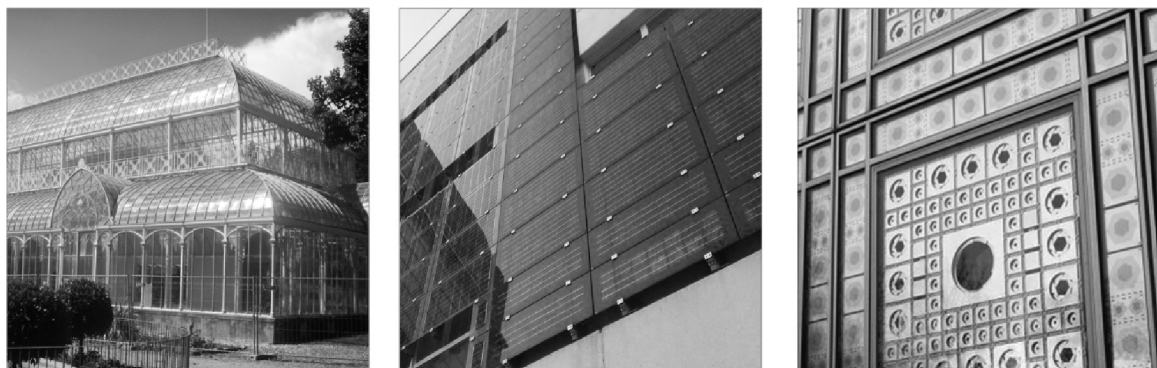
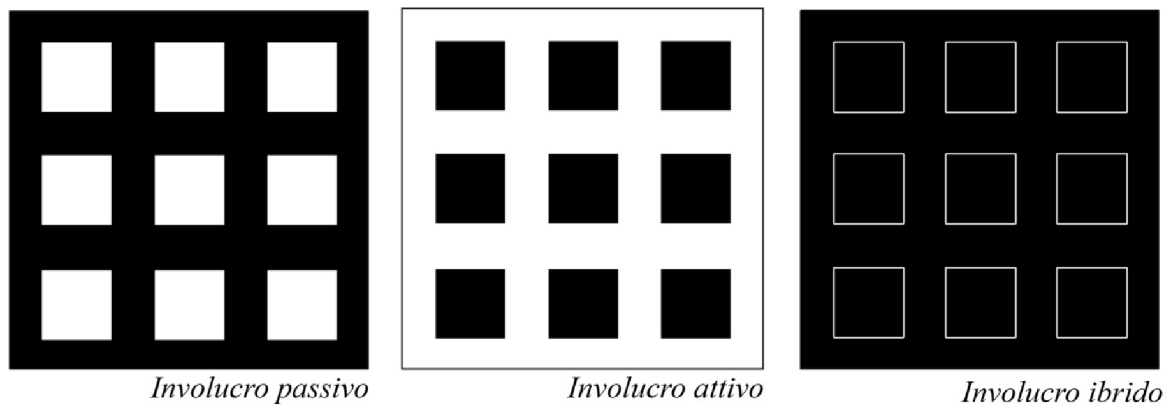
### **5.1.2 Involucro tecnologico**

Il processo di sperimentazione tecnologica dell'involucro edilizio, come sistema dinamico in grado di variare le proprie prestazioni sulla base delle condizioni ambientali esterne e

---

<sup>9</sup> R. Benham, *The Architecture of the Well – Tempered Environment*, Architectural Press, Londra, 1969

del raggiungimento del *benessere interno*, attraverso anche l'applicazione di dispositivi utili ad ottimizzare tale esigenza, *strutturato e integrato di materiali, componenti e sistemi*<sup>10</sup>, porta a classificare questi sistemi in tre categorie, in relazione al funzionamento che questi assumono sfruttando le caratteristiche ambientali; nello specifico: *involucro passivo, involucro attivo, involucro ibrido*.



**Fig. 3:** Classificazione delle prestazioni tecnologiche dell' involucro. Da sx: Involucro passivo (es. serre); Involucro attivo (es. sistema fotovoltaico integrato); Involucro ibrido (Institut du monde arabe - IMA, Jean Nouvel. Parigi, 1987)

<sup>10</sup> S. Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze, 2005



L'involucro edilizio come sistema passivo, in riferimento anche agli esempi proposti nella prima parte di questa dissertazione, è un sistema in cui il guadagno solare avviene mediante la conversione dell'energia assorbita e/o filtrata dalle superfici; le serre, sono un esempio del funzionamento tecnologico di questo sistema, dove la superficie vetrata, trasparente, permette ad una parte dell'energia radiante di essere convertita in calore. Il sistema attivo è caratterizzato dalla presenza di sistemi impiantistici, quali ad esempio, quelli per la raccolta e la trasformazione dell'energia solare e quelli per la ventilazione naturale o artificiale degli ambienti interni. Le soluzioni che hanno fatto riscontrare il maggiore successo nell'utilizzo di questo sistema, sono rappresentate dalla parete vetrata ventilata e dalla facciata integrata con un impianto fotovoltaico<sup>11</sup>. La prima è costituita da due superfici trasparenti separate da un'intercapedine e ventilate artificialmente tramite delle bocchette d'aria; la seconda è composta da una serie di celle fotovoltaiche integrate nelle facciate. In termini energetici, il sistema attivo risulta più efficace di quello passivo; i sub-sistemi che vengono applicati per garantire il funzionamento dell'intero sistema hanno prestazioni già testate, la cui modularità vincola però il carattere espressivo della facciata. In ultimo, il sistema ibrido, è un sistema dinamico, attivo e passivo allo stesso tempo, poiché in grado di garantire diverse soluzioni a seconda delle esigenze cui deve assolvere, sia in termini termo-igrometrici che funzionali. Si tratta di un sistema tecnologico, che contribuisce al bilanciamento energetico dell'edificio limitando la necessità di declinare ad altri dispositivi terzi il carattere performante dell'intero sistema, con una conseguente riduzione dei consumi in termini energetici<sup>12</sup>. Si tratta di un sistema, che Oliver Schaeffer definisce in *movimento*, mutabile e reversibile, in cui il movimento non incide sulle funzioni o sulle destinazioni d'uso, ma è il meccanismo funzionale pensato per adattarsi alle continue mutazioni delle condizioni cui è soggetto<sup>13</sup>.

---

<sup>11</sup> P. Mencagli, 2015, *Le mutazioni dell'involucro architettonico. Il linguaggio e la tecnologia delle facciate tra semplicità costruttiva e complessità ideativa*, Ingenio, menzione online, <https://www.ingenio-web.it/4259-le-mutazioni-dellinvolucro-architettonico>, 2020

<sup>12</sup> R. Romano, *Smart Skin Envelope. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico*, Firenze University Press, Firenze, 2011. p. 39

<sup>13</sup> O. Schaeffer, *Architettura in movimento: tra ludiche scenografie e costruzioni efficienti*, Detail 12, 2009

## 5.2 Parametri fisici

Per definire il funzionamento dell'involucro edilizio, come sistema *climaticamente attivo*<sup>14</sup>, in termini di prestazioni energetiche è opportuno fare riferimento ai principi generali della fisica tecnica, quale aspetto determinate della progettazione che consente di verificare l'attendibilità delle scelte progettuali, legittimando i processi che regolano lo *scambio metabolico di materia ed energia necessario a rispondere alle variazioni degli stimoli ambientali e alle necessità degli occupanti*<sup>15</sup>.

Il soddisfacimento dell'equilibrio del rapporto tra ambiente interno ed ambiente esterno, dato dalle prestazioni a cui l'involucro edilizio assolve, diviene il *misuratore* della qualità del progetto architettonico<sup>16</sup>, rappresentando l'ambito di indagine da cui avviare il dibattito sulla ricerca tecnologica, il cui scopo è quello di demandare all'architettura il compito *di interporsi tra l'uomo e l'ambiente naturale nel quale questi si trova, in modo da togliere dalle sue spalle gran parte del carico ambientale. La funzione centrale dell'architettura è quindi di alleviare lo stress della vita. Il suo scopo è quello di massimizzare le capacità dell'uomo*<sup>17</sup>.

In questa ottica, l'involucro edilizio è il filtro che media a questa esigenza, definendo la condizione di soddisfacimento tra le *condizioni ambientali normalizzate, fisiche e misurabili (temperatura interna, intensità luminosa, livello del rumore) e quelle*

---

<sup>14</sup> G. Kähler, M. Schuler, G. Hausladen, H. F.O. Müller, E. Oesterle, G. Battle, *Die klimaaktive Fassade*, Verlagsanstalt Alexander Koch, Leinfelden-Echterdingen, 1999

<sup>15</sup> G. Peguiron, *Prefazione*, in S. Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze, 2005, p. 9

<sup>16</sup> N. Sinopoli, *Il controllo della qualità ambientale. Relazione tra i modelli d'uso dell'abitazione e i parametri di comfort*, in G. Blachère, N. Sinopoli, F. Laner, V. Manforn, G. Roccatagliata, P. Zennaro, *Qualità*

*norma e progetto*, Arsenale Editrice, Venezia, 1988, p. 35

<sup>17</sup> J. M. Fitch, *American Building 2: The Environmental Forces that shape it*, Houghton Mifflin, Boston, 1972 (tr. it. a cura di Girolamo Mancuso, *La progettazione ambientale – analisi interdisciplinare dei sistemi di controllo dell'ambiente*, Franco Muzzio & C. editore, Padova, 1980) p. 11

*fisiologiche dell'individuo*<sup>18</sup>, traducendo in requisiti ambientali le esigenze utili a definire le prestazioni che questo sistema sviluppa in termini di benessere e comfort<sup>19</sup>.

Sulla base di queste considerazioni, per definire la metodologia di supporto alla progettazione dell'involucro edilizio, inteso come sistema filtro in grado di ottimizzare le interazioni tra ambiente interno ed ambiente esterno bisogna definire i fattori che agiscono sul funzionamento di questi sistemi, analizzandoli al fine di identificare quei *parametri esterni* e quei *parametri interni*, che determinano le scelte progettuali, considerata la tipologia edilizia per cui è previsto l'intervento: *isolata, a schiera, in linea, a torre*.

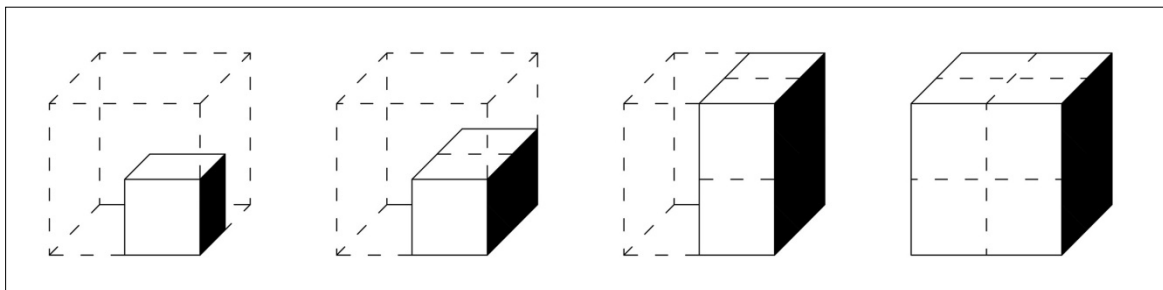


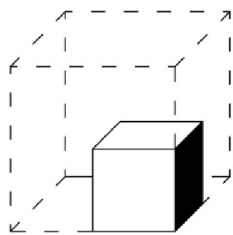
Fig. 4: Schematizzazione delle tipologie di intervento Da sx: Isolato; a schiera; in linea; a torre.

### 5.2.1 Parametri esterni

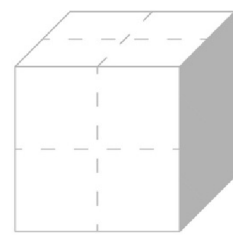
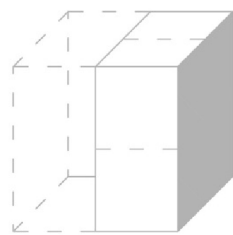
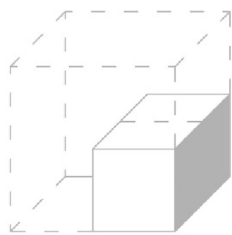
La definizione dei parametri esterni, è legata alla contestualizzazione dell'intervento entro una determinata posizione geografica, da cui dipende il comportamento dell'involucro edilizio in termini di performance. Il clima, quale *complesso delle condizioni meteorologiche che caratterizzano una regione o una località relativamente a lunghi*

<sup>18</sup> M. Hegger, M. Fuchs, T. Stark, M. Zeumer, *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano, 2008, p. 55

<sup>19</sup> Il benessere o comfort ambientale costituisce una delle sette classi di esigenze definite dalla norma UNI 8289:1981. Edilizia. Esigenze dell'utenza finale. Classificazione definisce sette classi di esigenze: sicurezza, benessere, fruibilità, aspetto, gestione, integrabilità e salvaguardia dell'ambiente.

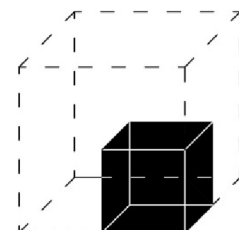


Edificio Isolato

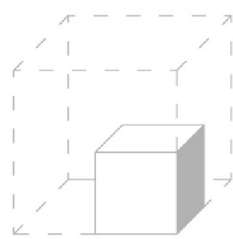


**Centro Georges Pompidou**

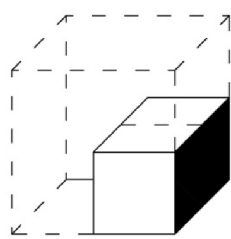
Renzo Piano  
Parigi, 1971



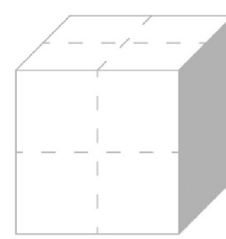
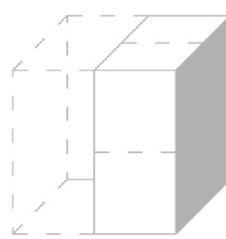
**Fig. 5:** Schematizzazione della tipologia di intervento isolato; tutte le facciate coinvolte. L'esempio proposto è il Centro Georges Pompidou, Renzo Piano, Parigi, 1971



Edificio Isolato

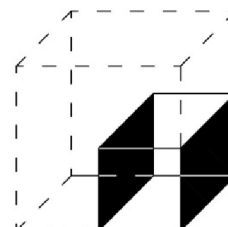


A schiera

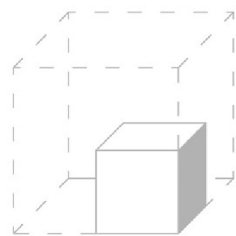


**Lafayette Park**

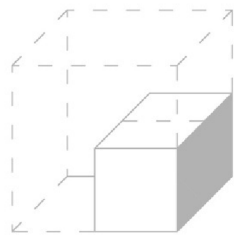
Ludwing Mies van der Rohe  
Detroit, 1955-1960



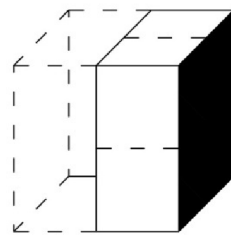
**Fig. 6:** Schematizzazione della tipologia di intervento a schiera; coinvolte solo due facciate. L'esempio proposto è Lafayette Park, Mies van der Rohe, Detroit, 1955 - 1960



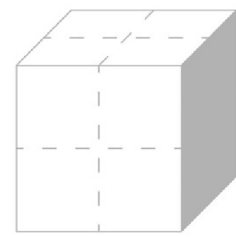
Edificio Isolato



A schiera

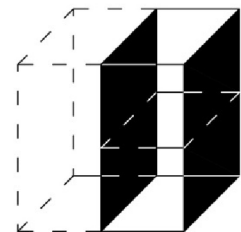


A linea

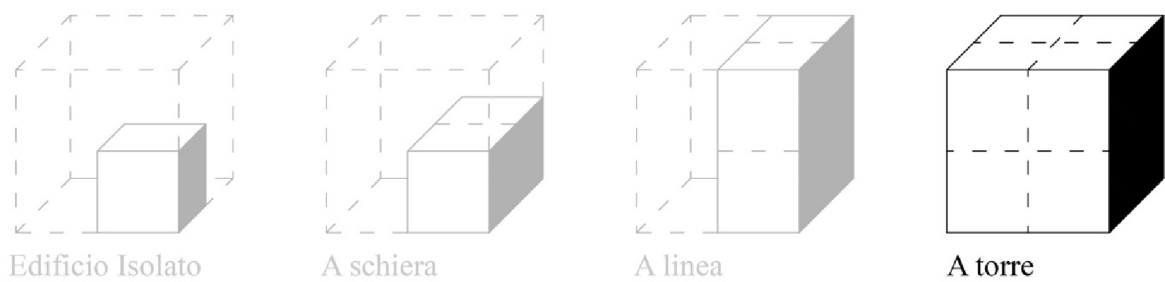


**Weissenhof**

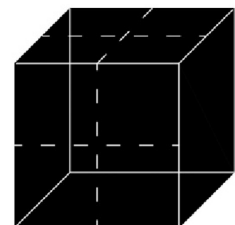
Ludwing Mies van der Rohe  
Stoccarda, 1927



**Fig. 7:** Schematizzazione della tipologia di intervento a linea; coinvolte solo due facciate ed uno sviluppo verticale contenuto. L'esempio proposto è Weissenhof, Mies van der Rohe, Detroit, 1955 - 1960



**Freedom Tower**  
Daniel Libeskind  
New York, 2006-2013



**Fig. 8:** Schematizzazione della tipologia di intervento a torre; coinvolte tutte le facciate ed uno sviluppo verticale considerevole. L'esempio proposto è la Freedom Tower, Daniel Libeskind, New York, 2006 - 2013

periodi di tempo, e che sono determinate, o quanto meno influenzate, da fattori ambientali e astronomici come latitudine, altitudine e movimenti della terra<sup>20</sup> rappresenta l'elemento imprescindibile per la progettazione dell'involucro edilizio, con l'obiettivo di fare dialogare l'edificio con il contesto utilizzando in modo ottimale le condizioni ambientali del sito e di ridurre il peso dell'intervento, mirando al miglioramento complessivo delle condizioni sia dell'utente che dell'ambiente<sup>21</sup>.

Le variabili da considerare possono essere tradotte in:

**Controllo della radiazione solare**, ovvero dell'energia radiante emessa dal Sole nello spazio interplanetario, definita come la misura dell'intensità della radiazione elettromagnetica che colpisce la Terra<sup>22</sup>. Ad ogni località corrisponde una specifica radiazione solare, calcolata sulla base dell'intensità. Tale intensità è determinata dalla relazione tra la posizione del sole in una data ora di un dato mese, considerato l'orientamento e l'inclinazione delle superficie di supporto e la loro interazione<sup>23</sup>. La capacità di controllare tale intensità è determinante per garantire il carattere performante dell'involucro edilizio; tale radiazione, filtrata ad esempio attraverso una superficie trasparente, verrà assorbita dai corpi presenti nell'ambiente e riemessa con una lunghezza d'onda da non permettere alla radiazione di uscire, determinando quindi un aumento della temperatura *indoor*, un effetto negativo considerata la ricerca di benessere termogrametrico.

**Controllo delle precipitazioni**. Per precipitazioni si intendono tutti quei fenomeni legati allo stato fisico dell'acqua (pioggia, neve, grandine) che, analogamente a quanto accade per le radiazioni solari, coinvolgono la superficie terrestre. Vengono definiti dalla

---

<sup>20</sup> Enciclopedia Treccani on-line. Definizione di Clima

<sup>21</sup> A. Paolella, *Abitare i luoghi. Insediamenti, tecnologia, paesaggio*, BFS edizioni, Pisa, 2004. pp. 27 - 28

<sup>22</sup> G. Archetti, *Involucri evoluti a comportamento dinamico: tecnologie e modelli applicativi nel contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia Romagna*, tesi di dottorato, Università degli Studi di Ferrara, a. a. 2007 - 2009, relatore F. Conato, p. 80

<sup>23</sup> T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.21



*quantità*, espressa in mm per la pioggia ad esempio, o in cm per la neve, e dalla *frequenza*, definita dal numero di giorni in cui si verifica la precipitazione all'interno di un intervallo temporale<sup>24</sup>.

Un altro fenomeno che coinvolge l'aspetto legato alle precipitazioni, sono le correnti di aria nell'atmosfera, *moti ventosi*, i quali, legati al luogo e a specifiche condizioni atmosferiche, differiscono per *direzione, velocità e frequenza*. In fase di progettazione è importante tenere conto di alcune considerazioni generali che derivano dalle leggi primarie della termodinamica<sup>25</sup>, evitando qualsiasi fenomeno di SBS - Sick building syndrome<sup>26</sup>, il quale condiziona il funzionamento dell'involucro edilizio in termini prestazionali.

**Controllo dell'orientamento.** Per determinare le variabili che influenzano, il controllo dell'orientamento, subordinato al controllo della radiazione solare, bisogna considerare innanzitutto la morfologia dell'intorno, la quale condiziona la fase di progettazione in termini di controllo dell'esposizione solare. Il calcolo del fabbisogno, in relazione alla esposizione, si basa sulla suddivisione dell'edificio in zone climatiche. Nello specifico, ad esempio, l'esposizione di alcune zone a sud permettono un maggiore controllo delle radiazioni solari, mentre nell'esposizione a nord, bisogna garantire elevate prestazioni di isolamento termico. Per determinare tale controllo si applicano i principi della geometria solare, definendo *l'altezza solare ( $\alpha$ ) come la misura espressa in gradi dell'angolo verticale compreso tra il piano orizzontale e i raggi solari incidenti e l'azimut solare ( $\psi$ )*

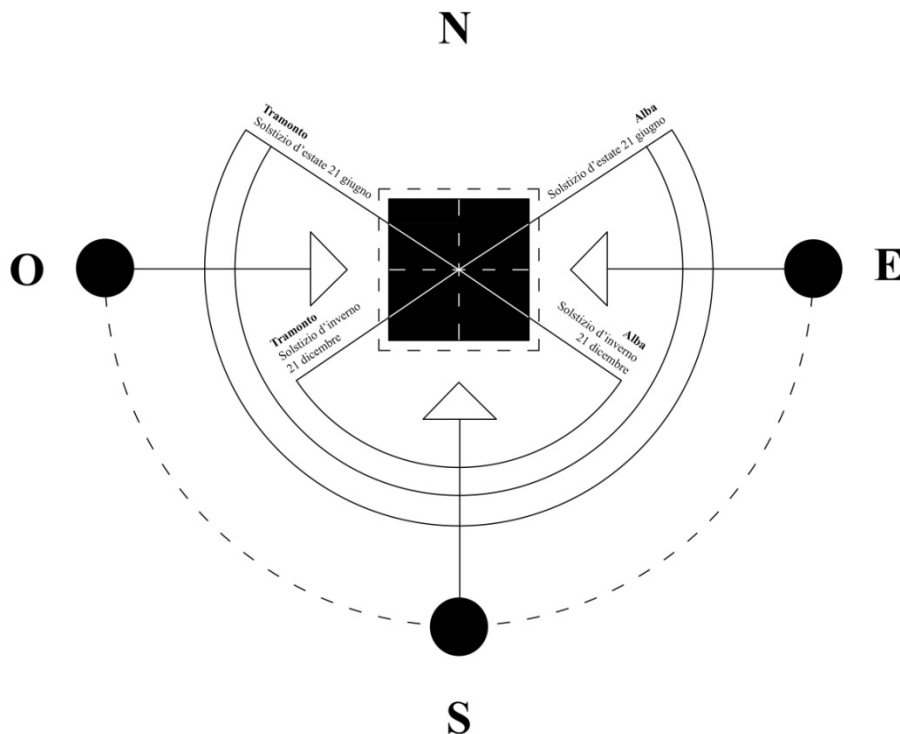
<sup>24</sup> G. Archetti, *Involucri evoluti a comportamento dinamico: tecnologie e modelli applicativi nel contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia Romagna*, tesi di dottorato, Università degli Studi di Ferrara, a. a. 2007 - 2009, relatore F. Conato, p. 82

<sup>25</sup> T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.23

<sup>26</sup> Per contrastare il fenomeno di *sick building syndrome*, sindrome dell'edificio malato, nella fase di progettazione bisogna ottenere un sistema che consente una ventilazione il più possibile naturale, evitando l'aumento del fabbisogno termico, correnti di aria, fenomeni legati alla temperatura, ed in particolare fenomeni legati all'umidità e alla condensa.

[www.salute.gov.it/portale/temi/p2\\_6.jsp?lingua=italiano&id=4404&area=indor&menu=salute](http://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_6.jsp?lingua=italiano&id=4404&area=indor&menu=salute)

come la misura espressa in gradi dell'angolo orizzontale, formato con la direzione sud, dalla proiezione della retta sole-terra, cioè l'angolo di deviazione del sole rispetto al sud, considerato positivo verso est, negativo verso ovest coordinate geografiche che dipende dall'angolo orario e dalla declinazione solare. L'angolo orario ( $\omega$ ) è la distanza angolare tra la posizione del sole a una determinata ora e la sua posizione a mezzogiorno lungo la sua traiettoria apparente sulla volta celeste mentre la declinazione solare ( $\delta$ ) è l'angolo formato dalla direzione del sole con il piano dell'equatore e dipende dal giorno e dal mese<sup>27</sup>.



**Fig. 9:** Sul controllo all'orientamento. Schematizzazione del percorso solare

<sup>27</sup> A. Catani, *L'involucro edilizio: verifiche delle strategie progettuali*, Mondadori Education S.p.A., Milano

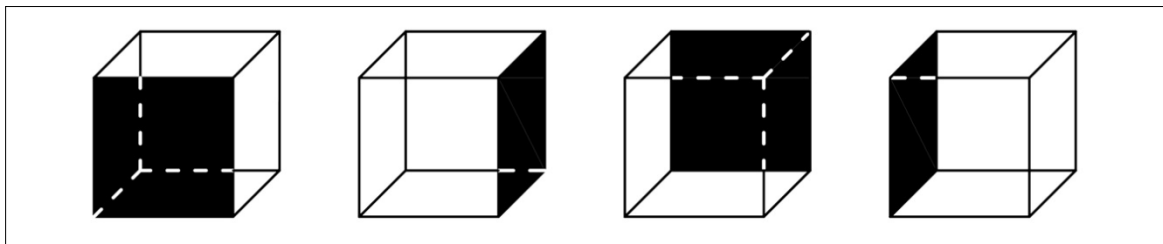


Fig. 10: Ideogrammi sull'orientamento dell'involucro. Da sx.: Sud, Est, Nord, Ovest.

La definizione e la valutazione dei parametri esterni è il fondamento per garantire una corretta risposta dell'involucro edilizio alle sollecitazioni esterne, tali qualità di controllo sono chiaramente influenzate dalle condizioni meteorologiche; definire l'intensità delle radiazioni solari, ad esempio, considerata una condizione avversa ha delle ripercussioni negative nella fase di progettazione, così come i moti ventosi influiscono positivamente o negativamente nel bilanciamento termico di un involucro a seconda delle stagioni, pertanto per la determinazione dei parametri si fa riferimento a dei valori che indicano le condizioni ottimali espressi nelle varie normative.

### 5.2.2 Parametri interni

L'altro aspetto da considerare, in fase di progettazione, nel definire il funzionamento dell'involucro edilizio, quale filtro che media alle sollecitazioni tra ambiente esterno ed ambiente interno è quello di determinare quei fattori interni che vincolano il rapporto di connessione tra l'edificio ed il suo involucro, i quali determinano la condizione in cui *la temperatura, l'umidità e il movimento dell'aria sono tali per cui l'individuo prova un senso di soddisfazione e non desidera condizioni di maggiore o minore calore né umidità*<sup>28</sup>, tale che la somma del calore metabolico e di quello che il corpo può ricevere dall'ambiente siano uguali alla quantità di calore che può essere ceduto all'ambiente stesso. Sebbene tale condizione sia influenzata dai parametri relativi alla temperatura

<sup>28</sup> Norma DIN 1946-2 *Ventilation and air conditioning; technical health requirements* (VDI ventilation rules)

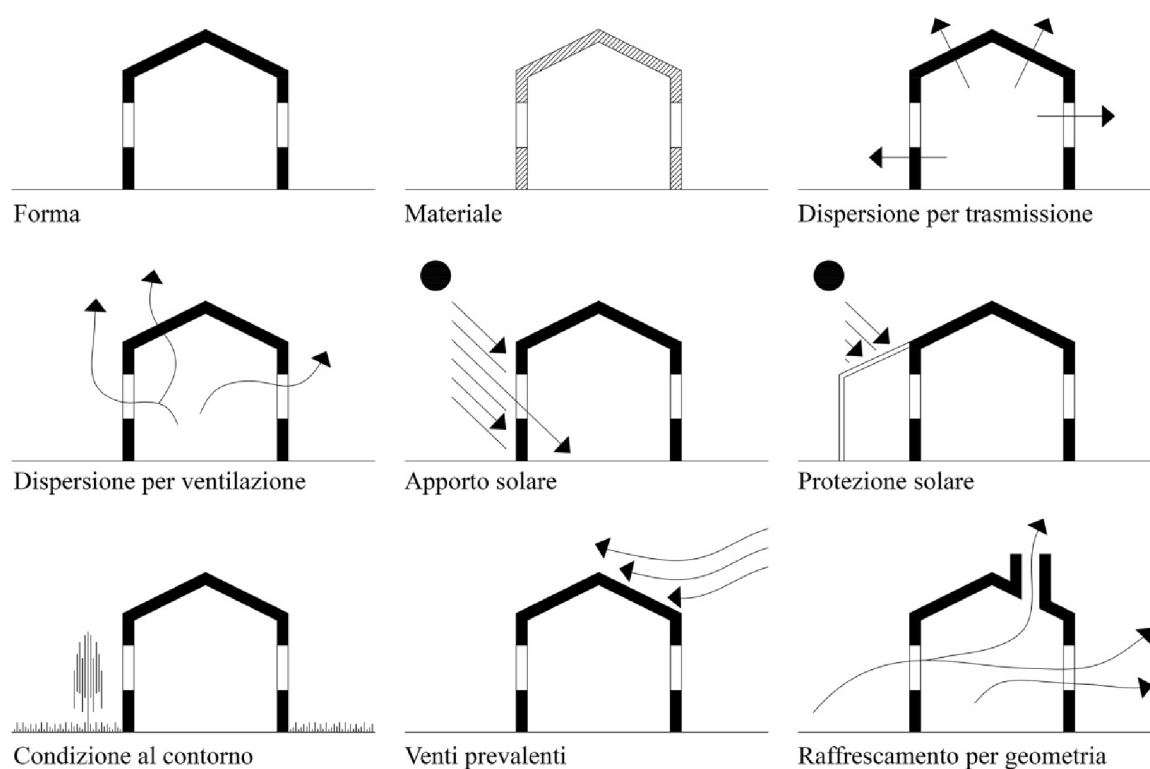
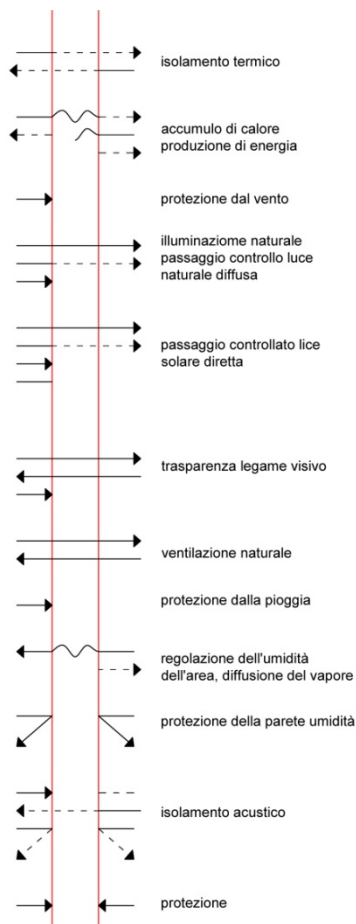


Fig. 11: Schematizzazione delle condizioni che influiscono sulle variabili energetiche. Elaborazione a cura dell'autore

dell'aria e all'umidità dall'ambiente, dalla temperatura superficiale degli elementi costruttivi adiacenti l'ambiente ed infine dalle correnti di aria in prossimità del corpo<sup>29</sup> è possibile definire alcuni valori che indicano le condizioni ottimali di benessere, concetto che va oltre le esigenze prettamente climatiche, determinati da quei fattori atti a individuare le condizioni di soddisfacimento la cui analisi *esigenziale - prestazionale* è la traduzione in termini tecnici dei bisogni dell'utente<sup>30</sup>.

<sup>29</sup> T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.21

<sup>30</sup> UNI 10838:1999. Edilizia. *Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia*.



In questa ottica, i parametri da definire sono relativi ai flussi termici, alla pressione del vapore acqueo e al trasporto dell'energia irradiata<sup>31</sup>, che traducono in termini energetici il carattere dell'involucro edilizio. Tali parametri, hanno in genere terminologie e presupposti diversi, ognuno di essi influenza gli altri, per cui definire gli scenari di controllo climatico in relazione alla ricerca di *benessere* è necessario analizzarli congiuntamente.

Considerati i principi di trasferimento del calore, *conduzione convezione e irraggiamento*<sup>32</sup>, si definiscono i coefficiente di trasmissione, specifici per ogni materiale:

**Valore U:** La trasmittanza o conduttività termica U indica la quantità di energia/calore che, nelle condizioni di regime stazionario, passa attraverso una parete esterna per un metro quadrato e per un grado di differenza tra le temperature, misurata in  $W/m^2K$ . Più basso è il valore U, tanto migliore è l'isolamento<sup>33</sup>.

**Valore G:** Il coefficiente di trasmissione di energia solare G indica la percentuale della radiazione solare (di lunghezza d'onda 320-2500 nm) trasmessa attraverso pareti

**Fig. 12:** Schematizzazione delle sollecitazioni che incidono sulle prestazioni energetiche dell'involucro

<sup>31</sup> T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.22

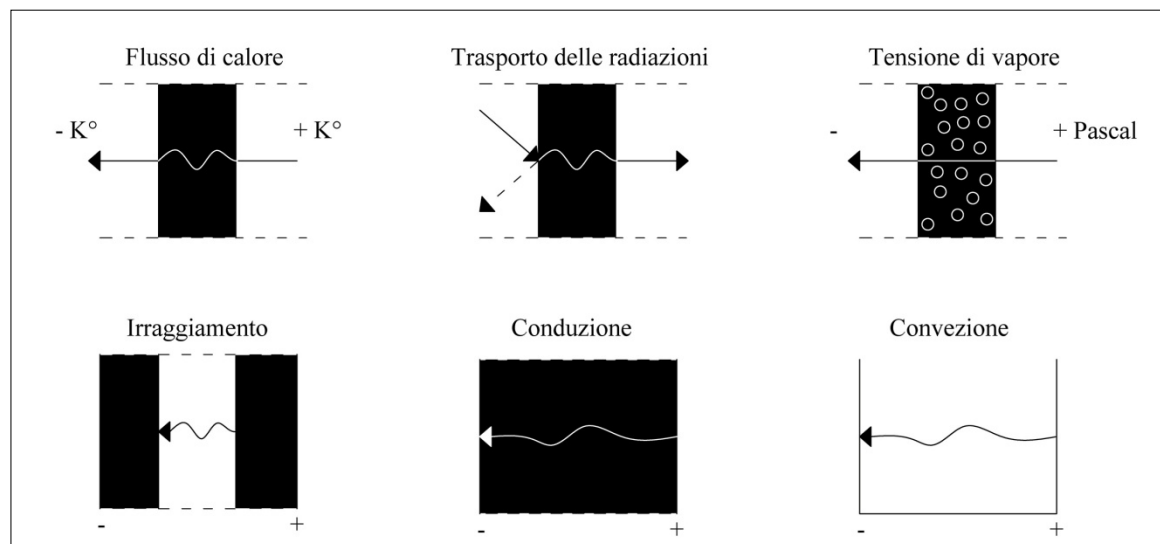
<sup>32</sup> Nello specifico la conduzione termica si verifica quando il calore si trasmette all'interno di un corpo (solido, liquido o gassoso) senza movimento di materia ma soltanto per scambio di energia cinetica delle molecole dalle zone a più alta temperatura verso le molecole delle zone a bassa temperatura; la convezione termica quando esso si propaga da un corpo solido a un liquido o gas, o viceversa per effetto dello spostamento relativo delle particelle costituenti il fluido, sempre associata a un trasporto di materia; l'irraggiamento termico avviene quando la trasmissione di calore non avviene per contatto diretto fra due corpi bensì per effetto di onde elettromagnetiche.

<sup>33</sup> UNI 7357

esterne trasparenti o traslucide. Tale valore è il risultato della somma della radiazione trasmessa e dell'emissione di calore dalla faccia interna all'interno dell'ambiente. Il coefficiente G può essere riferito alla trasmissione globale dell'energia solare ( $G_g$ ) o alla sola radiazione solare perpendicolare alla superficie vetrata su cui incide.

**Valore R:** Il calcolo della resistenza termica è legato alla scelta del materiale, e di conseguenza alla sua conducibilità termica e al suo spessore. Più è alta la resistenza termica, minore è il trasferimento di calore. Espressa in  $m^2C/W$

**Valore Z.** Tale fattore si riferisce ai sistemi di protezione solare installate sulla *parete* ed indica la percentuale di energia radiante che li attraversa, il cui valore è strettamente legato alla esposizione e all'inclinazione del sistema stesso.



**Fig. 13:** Principi generali della fisica tecnica e principi generali della trasmissione del calore.  
Rif. T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.22. Ridisegno a cura dell'autore

Chiaramente questi valori, che traducono in prestazioni termiche i bisogni dell'utente devono considerare il comportamento dell'involucro edilizio in regime termico variabile, dove la differenza delle condizioni tra la stagione invernale e quella estiva, ad esempio,

caratterizza l'intero approccio progettuale, considerando comunque che, nonostante i riferimenti normativi a sostegno di tale pratica, questo processo è influenzato dai bisogni dell'utente. I riferimenti normativi, nel processo tecnologico, inducono a *calcolare* i bisogni dell'utente attraverso un sistema informatico automatizzato, limitando la possibilità di interazione dell'utente, sottovalutando che il livello maggiore di soddisfacimento si ha nel momento in cui, lo stesso utente, può gestire personalmente ed indipendentemente la condizione ambientale dello spazio in cui vive. Da questa considerazione l'approccio progettuale, deve fare riferimento alle più innovate tecnologie, ma non demandare esclusivamente ad altri sistemi il soddisfacimento di benessere interno, deve portare a compimento un sistema di involucro edilizio in grado di ottimizzare le interazioni tra ambiente interno e quello esterno, attraverso il gioco sapiente dei materiali, della forma, ai quali, riconoscendone i valori fisici in termini di prestazioni, questi diventano *una risorsa e non una forza contro cui lottare*<sup>34</sup>. Non bisogna cercare l'isolamento contro tutto, le considerazioni sull'orientamento porterebbero ad esempio, ad una analisi volta a determinare l'accumulo energia, sfruttando l'esposizione tecnicamente più vantaggiosa, favorendo il *funzionamento sintropico del nostro pianeta nella rigenerazione cosmica. Perché usare energie per fermare energie? Sarebbe come far correre locomotive contro locomotive*<sup>35</sup>.

---

<sup>34</sup> T. Herzog, *A house is not a car, una conversazione con Thomas Herzog*, in M. Perriccioli, M. Rossi, Thomas Herzog - *Reacting Skin*, edizioni Kappa, Roma, 2005. p. 88.

<sup>35</sup> B. Fuller, *Utopia or Oblivion: The Prospects for Humanity*, Bantam Books, New York, 1969.







*Capitolo VI*

**CARATTERI ED ASPETTI FORMALI**

*"The nineties started angular and ended curvilinear,  
In architecture started Decoconstructivist and ended Topological".*

G.L.

Da una prima fase, di definizione dei parametri tecnologici, volti a tradurre in prestazioni energetiche le capacità dell'involucro edilizio di gestire e governare i flussi e gli scambi tra ambiente interno ed ambiente esterno, segue l'analisi relativa alla forma, la quale, da un punto di vista concettuale, rappresenta il modo con cui l'involucro edilizio si relaziona con l'ambiente<sup>1</sup>.

Nel processo di innovazione tecnologica, così come descritta nella prima parte di questa dissertazione, l'involucro edilizio diviene il mezzo con cui definire nuovi linguaggi architettonici, che da un lato seguono l'evolversi dei processi che coinvolgono la cultura contemporanea, dall'altro definiscono nuovi paradigmi dettati dalla volontà di coniugare le nuove possibilità strumentali offerte dalle nascenti tecnologie digitali, verso la definizione di forme nuove *che interiorizzano uno spazio che deve essere necessariamente continuo con il luogo*<sup>2</sup>. Pertanto, descrivere l'involucro edilizio analizzando solo gli aspetti tecnologici, in termini di prestazioni, appare riduttivo, in quanto può essere considerato l'elemento in grado di cogliere l'evolversi del pensiero

---

<sup>1</sup> G. Pellitteri, *L'involucro edilizio. Declinazioni digitali e nuovi linguaggi*, Edizioni Fotograf, Palermo, 2010. p. 26

<sup>2</sup> M. Meossi, 2007, *Info-Architecture. L'architettura performativa dell'età dell'informazione*, in M. Meossi, *Esempi di Architettura*, 3. pp. 5 -13

architettonico, che coniugando le possibilità offerte dagli strumenti digitali, rappresenta un nuovo modo di pensare architettura, il quale, indipendentemente dagli approcci tecnologici, definisce gli aspetti teorici che segnano il passaggio verso una nuova tendenza, in cui la parola digitale, rappresenta il paradigma con cui trasferire al progetto architettonico le innovazioni offerte dagli attuali strumenti tecnologici, in una nuova libertà espressiva<sup>3</sup>.

In questa ottica, nell'obiettivo di definire la matrice metodologica, quale strumento per decodificare l'involucro edilizio, il presupposto con cui descrivere la morfogenesi di questi sistemi, si avvia dalla considerazione che, a seguito dell'applicazione degli strumenti informatici per definire il progetto architettonico, il disegno rimane comunque lo strumento con cui comunicarne il pensiero, esso sia digitale o analogico, e attraverso l'analisi geometrica definire i paradigmi alla base delle procedure progettuali. Se pensiamo che il carattere performante dell'involucro edilizio è dato dal gioco sapiente delle componenti tecnologiche che lo definiscono, estraniarne la geometria è il processo con cui legittimare le scelte progettuali, dove il rapporto tra funzione e forma rappresenta il vincolo per garantirne il funzionamento. Le strumentazioni e le tecnologie digitali hanno introdotto una nuova dialettica nella rappresentazione e comunicazione dell'architettura<sup>4</sup>, dove è possibile distinguere tra forme analogiche, che possiamo ricondurre a "forme primitive" quali archetipi su cui si basa la geometria euclidea, e forme digitali riferibili ai processi di modellazione, digitale appunto, che seppur

---

<sup>3</sup> G. Pellitteri, *L'involucro edilizio. Declinazioni digitali e nuovi linguaggi*. op. cit.

<sup>4</sup> S. Brusaporci, *Modelli digitali per la rappresentazione dell'architettura*, in *DisegnareCon* (a cura di E. Ippoliti, A. Meschini) Vol. 4, n. 8, *Cultural Heritage communication technology*, 2011

rappresentati in uno spazio geometrico virtuale, rimangono saldi ai principi tradizionali, per cui la rappresentazione viene fatta attraverso un sistema di assi cartesiani<sup>5</sup>. L'analisi geometrica diviene, quindi, lo strumento con cui decostruire concettualmente il sistema involucro, assoggettandolo alla pura forma come paradigma di una più ampia visione del sistema architettonico contemporaneo.

In architettura, la tecnologia è riferita all'applicazione ottimale dei principi e dei processi che ne governano la produzione, e rappresenta l'*avanguardia* con cui riferirsi agli scenari attuali, divenendo il mezzo con cui trasferire la conoscenza. Tale trasferimento non è un processo meccanico, ma è dato dalla manipolazione di dati, di numeri, che, se pur rappresentando l'evoluzione della tecnica, fa riferimento ad una azione, ad un gesto che attiene alle dita<sup>6</sup>: *digitare*. Pertanto, appare evidente, che la manipolazione tattile di qualsiasi processo informatico, digitale appunto, tende a sovrapporsi a quello monodirezionale della creatività, attraverso una condizione probabilistica che permette di simulare le scelte progettuali, una dimensione sempre più pervasiva e sempre meno legata esclusivamente alla geometria<sup>7</sup>, fulcro del processo ideativo ed espressione stessa dell'architettura. *Con il computer si è precisi, ma non si arriva all'essenza delle cose*<sup>8</sup>. La conseguenza è che si viri ad una maggiore qualità dei processi, e si demandi sempre meno alla conoscenza la qualità dei risultati. La stessa progettazione dell'involucro edilizio, indipendentemente dalle scelte e dalle soluzioni tecnologiche, viene operata in maniera

---

<sup>5</sup> B. Kolarevic, *Back to the future*, International Journal of Architectural Computing, Vol. 01, Issue 02, 2001

<sup>6</sup> digitale: agg. [dal lat. *digitalis*, der. di *digitus* «dito»]. Del dito, delle dita; fatto, compiuto con le dita. <https://www.treccani.it/vocabolario/digitale1/>

<sup>7</sup> A. L. C. Ciribini, *Il pensiero Digitale nell'architettura*, Ingenio web, 2018

<sup>8</sup> Dall'intervista a Vittorio Gregotti di Francesco Ermani, La Repubblica, 12 luglio, 2017

meccanica, confezionando un prodotto tecnicamente valido, atto ad assolvere a specifiche esigenze. Questa operazione non può esimersi dall'analisi morfologica, e nello specifico dall'adattabilità con cui questo si adatta alla struttura di supporto, che definito come un elemento che si distacca dalla struttura, la avvolge divenendone la seconda pelle. Da questa considerazione, il concetto di adattabilità tende a fornire gli strumenti che, indipendentemente dalle figure specialistiche che concorrono alla definizione di questi sistemi, determinano il know-how di una azienda: *sapere, saper fare, saper essere*. Distinguere tra conoscenze teoriche e conoscenze pratiche, permette, quindi, di gestire la progettazione dell'involucro edilizio per momenti consequenziali, è chiaro che la sola geometria non può fornire delle soluzioni all'intero processo, ma nel panorama contemporaneo, rappresenta lo strumento con cui determinare le variabili topologiche alla base delle nuove forme architettoniche, espressione della conseguente manipolazione digitale, il cui obiettivo è quello di creare delle forme dirompenti, riconoscibili. Da questa considerazione l'involucro edilizio, concettualmente rappresenta l'espressione analogica di questo processo.

### **6.1 Forme analogiche**

Considerare l'involucro edilizio come *codice morfologico*, oltre che rappresentare l'evoluzione del pensiero architettonico, permette, riferito ad un contesto aziendale, di definire il rigore metodologico con cui affrontarne, in forma ragionata e non mnemonica, la progettazione. Indipendentemente dalle influenze offerte dalle tecnologie digitali, il *saper fare*, consente, per analogie, nella fase ideativa, di esaltare le potenzialità comunicative e formali dell'involucro, trasformando l'utilitarismo tecnologico *nell'essenza*

*del processo conoscitivo*<sup>9</sup>, esteriorizzandone la logica formale, attraverso il processo di sintesi dei singoli componenti, estraniati a forme primitive.

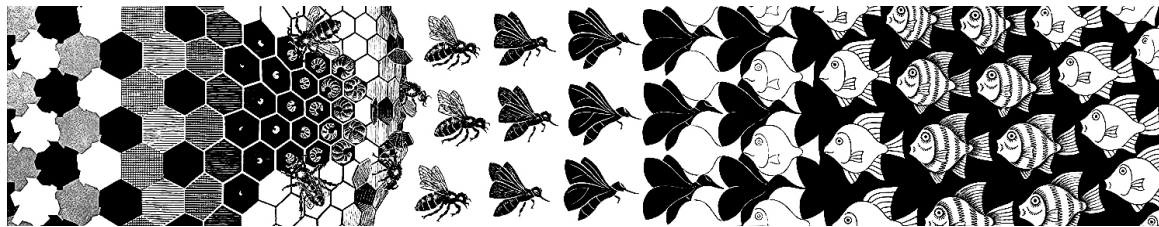


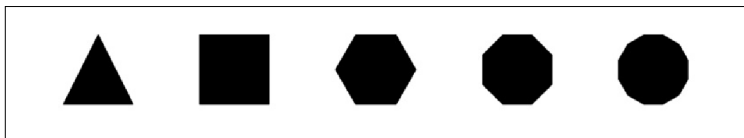
Fig. 1 *Metamorfosi II*, MC Escher, xilografia, 1939 - 1940

Il processo, definito nella geometria piana dalla *Teoria delle Tassellazioni*, configurazione costituita da un'infinita serie di poligoni che ricoprono l'intero piano euclideo, senza sovrapporsi<sup>10</sup>, è il principio con cui decostruire concettualmente l'immagine dell'involucro edilizio, determinandone la forma generatrice. Le configurazioni geometriche, alla base della progettazione di questi sistemi, possono ricondursi, in riferimento alle cinque figure platoniche<sup>11</sup>, a tre figure geometriche

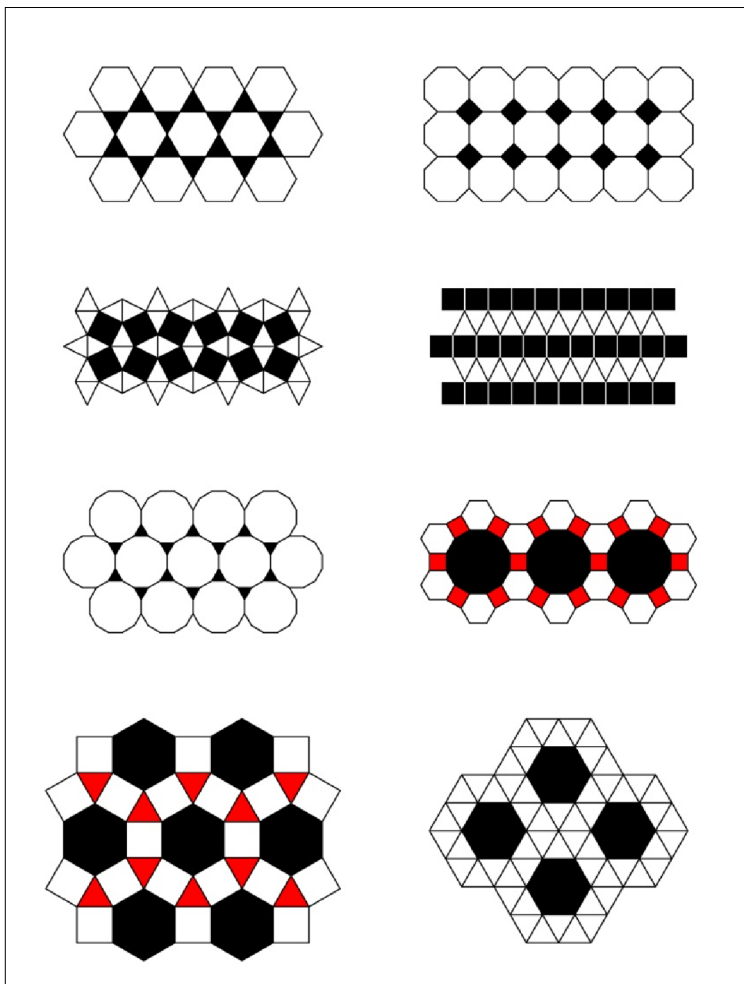
<sup>9</sup> P. Y. von Wartenburg, *Coscienza e storia*, (a cura di Francesco Donadio), Guida Editori, Napoli, 1980. p.148

<sup>10</sup> tassellazione s. f. [der. di tassellare]. "In geometria, configurazione costituita da poligoni che ricoprono l'intero piano, senza sovrapporsi a due a due; il termine è usato, con sign. analogo, anche nella geometria dello spazio. Utilizzando poligoni regolari uguali, sono possibili tassellazioni solo con triangoli equilateri, quadrati, esagoni regolari." Enciclopedia Treccani. [<https://www.treccani.it/vocabolario/tassellazione/>]

<sup>11</sup> [...] "Platone era stato colpito, studiando la geometria, dall'osservazione che un triangolo ha sempre la forma di un triangolo, qualunque sia la combinazione degli angoli, e che differisce dunque in modo discontinuo da un quadrilatero o da qualsiasi altro poligono. Questa considerazione gli faceva supporre l'esistenza di un principio responsabile della forma, o éidos, o essenza, del triangolo; anche il quadrilatero o le altre forme di poligono possedevano il loro éidos specifico. Platone poneva questa riflessione a fondamento della sua interpretazione di tutti gli altri fenomeni dell'universo. Per lui, l'universo variabile dei fenomeni non era che il riflesso di un numero limitato di forme fisse e immutabili, che chiamava éide, le "essenze" dei tomisti medievali." [...]. E. Mayr, *Biologia ed Evoluzione*, Boringhieri, Torini, 1989

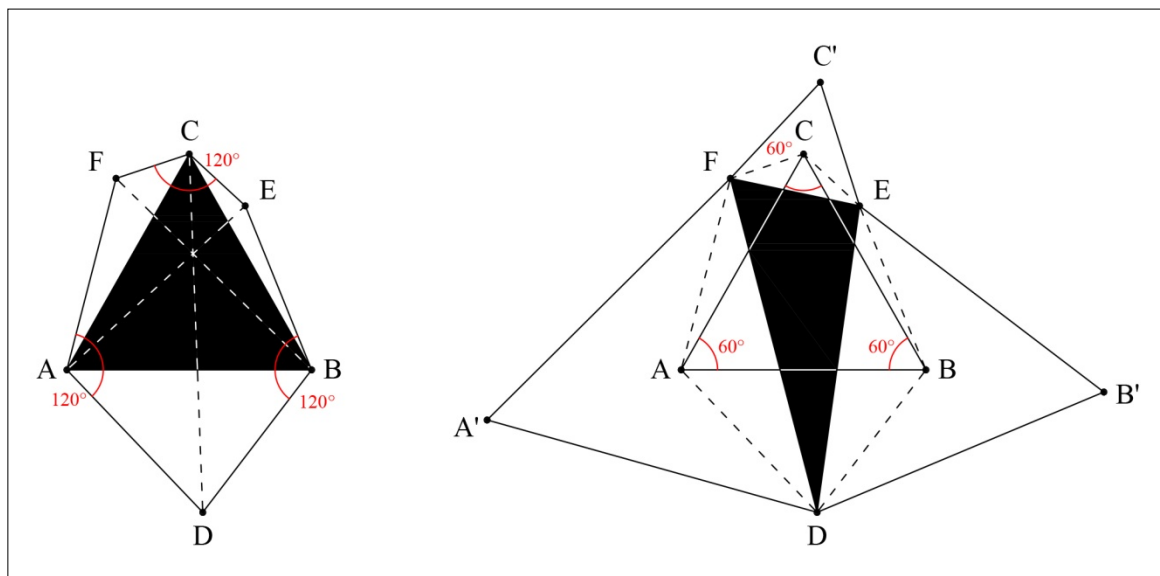


**Fig. 2** Principio delle tassellazioni:  
Figure geometriche regolari ammissibili



**Fig. 3** Unici otto casi possibili di tassellazione semiregolare dello spazio euclideo, ottenuti dall'assemblaggio di due o più differenti figure geometriche regolari elementari (*triangoli, quadrati, esagoni, ottagoni e dodecagoni*).

regolari:quadrato, triangolo ed esagono. Esigenza data dalla condizione per cui, oltre che per ragioni legate alla tecnica costruttiva, per suddividere un piano in poligoni, la somma degli angoli attorno ad ogni vertice deve essere di  $360^\circ$ , pertanto, assolvono a questa esigenza soltanto i poligoni aventi un numero di lati sottomultiplo di  $360^{12}$ .



**Fig. 4** Comparazione delle analogie tra Teorema di Escher (a sx) e Teorema di Napoleone (a dx).

In riferimento al *Teorema di Escher*, 1941, sull'approccio geometrico dato dalla proprietà dei triangoli, con cui tassellare un piano mediante la ripetizione infinita di un esagono,

<sup>12</sup> C. Mazzoli, *Sistemi tecnologici innovativi di involucro per il recupero del patrimonio edilizio recente. L'edilizia scolastica nel Comune di Bologna*, Tesi di Dottorato, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, tutor R. Gulli, 2015. p. 151



descritte dal matematico F.Haag in un articolo del 1923<sup>13</sup> e dimostrato da J.F. Rigby nel 1991<sup>14</sup>, e in maniera analoga dal *Teorema di Napoleone*, 1800, il quale afferma che i baricentri dei triangoli equilateri costruiti sui lati di un triangolo qualsiasi individuano i vertici di un triangolo equilatero<sup>15</sup>, è possibile determinare i paradigmi compositivi dati dall'ottimizzazione geometrica delle superfici, che per continuità o scomposizione rappresentano un valido momento di riflessione per la formulazione di soluzioni progettuali efficienti.

Alla luce di queste considerazioni, l'approccio metodologico, tenuto conto delle variabili proprietà geometriche, deve riferirsi a tre diverse proprietà topologiche, attraverso cui determinare i dogmi compositivi alla base della configurazione formale dell'involucro dettati dalle proprietà geometriche di rigidità e stabilità strutturale: il nodo, rappresenta il punto in cui convergono più spigoli; la valenza di un nodo, il numero di bordi incidenti al nodo; la torsione dei nodi, che rappresenta la tendenza di una forza a ruotare un oggetto attorno ad un asse. Queste proprietà determinano i diversi approcci con cui trattare le superfici, ottimale considerando la figura geometrica regolare del triangolo, buona per il quadrato e l'esagono. Il triangolo è infatti, in virtù delle sue proprietà geometriche, l'unico poligono stabile, per questo spesso utilizzato per superfici di forma libera, data l'elevata rigidità in grado di conferire al sistema complessivo, pertanto, una maglia triangolare, a differenza di qualsiasi altra geometria, risulta indeformabile anche se sollecitata da forze

<sup>13</sup> F. Haag, *Die regelmäßigen Planteilungen und Punktsysteme*, *Zeitschrift für Kristallographie*, Volume 58, 1923, pp. 478–489

<sup>14</sup> J.F. Rigby, *Napoleon, Escher and Tessellations*, *Mathematics Magazine* 64, 1991, pp 242-246

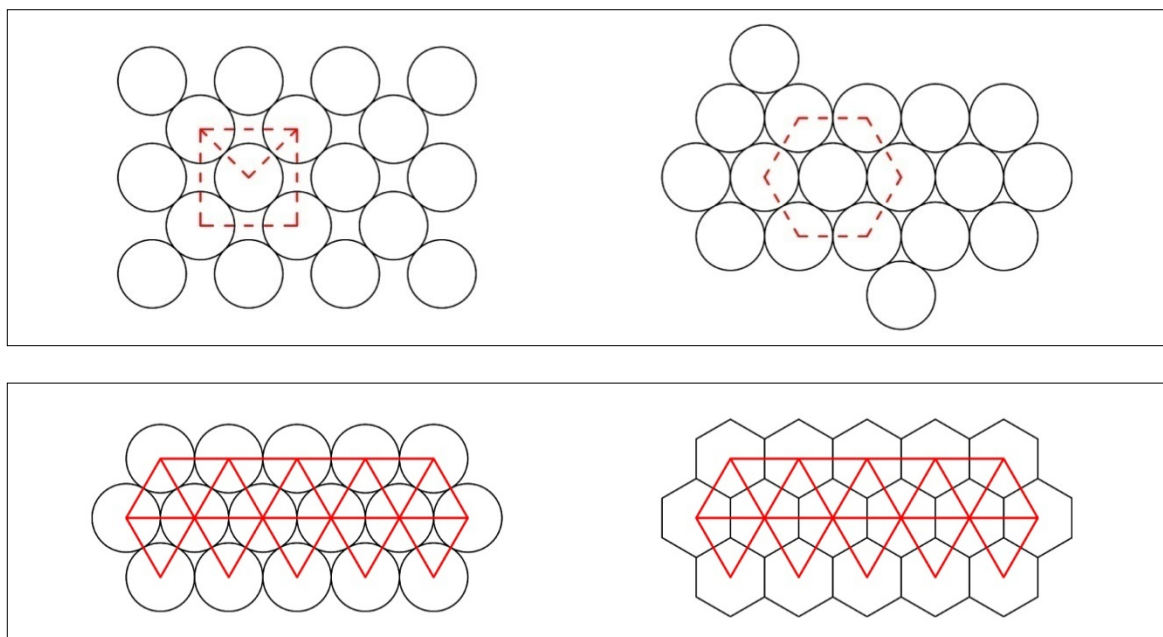
<sup>15</sup> G. Vitale, G. Vincenzi, S. Donisi, *Il teorema di Napoleone per i quadrilateri convessi*, in *Archimede* 3, Mondadori Education, 2012. pp. 139-144

esterne. Nonostante tutto però bisogna fare alcune considerazioni sugli svantaggi che l'adozione delle maglie triangolari determina. In ogni nodo confluiscono sei bordi, ciò comporta una maggiore complessità tecnica del nodo stesso, il quale oltre ad incidere in termini di peso alla stabilità strutturale presenta una maggiore torsione geometrica. Tale criticità può essere superata attraverso il processo di ottimizzazione della forma, attraverso il quale la geometria si adatta a specifiche esigenze, declinando gli aspetti formali a quelli funzionali e dell'ingegnerizzazione, un approccio computazionale, basato sul *simulation-driven design* offerto dalle contemporanee strumentazioni digitali. Ad ogni modo, considerando ancora l'aspetto analogico, dato dalla trattazione geometrica con cui decostruire concettualmente l'involucro, le maglie triangolari, se pur versatili nell'adattarsi al relazionismo progettuale, ne condizionano le scelte, in quanto, oltre ad influenzare la dimensione dei *tasselli*, incidono in termini economici sul costo totale dell'opera; si pensi, infatti, che il costo dei pannelli di vetro triangolari, ad esempio, è superiore rispetto a quello di pannelli quadrilateri, caratterizzati da un tipo di lavorazione e di taglio diverso. Tale condizione, è forse, uno dei motivi, per cui le tassellazioni quadrate, sono maggiormente diffuse in architettura, sia per la produzione semplificata di eventuali pannelli, sia perché, in termini di ridotta complessità dei nodi sono più efficienti di quelle triangolari<sup>16</sup>. In maniera analoga, le geometrie esagonali, riferibili ai principi geometrici delle tassellazioni triangolari, definiscono un sistema statico efficiente, dato dalla bassa valenza dei nodi, che ne facilita la produzione. Seppur in maniera meno intuitiva, ne

---

<sup>16</sup> M. Froli, D. Tonelli, *Progettare involucri di forma libera: l'ingegnerizzazione dell'involucro*, in *Costruzioni Metalliche* 3, 2014

determina, inoltre, una maggiore flessibilità<sup>17</sup>, e di conseguenza una maggiore adattabilità con cui *discretizzare* le superfici. L'impiego di tali geometrie, è poco diffuso, nonostante, in natura, rappresentino la sintesi di un processo generativo in funzione della struttura<sup>18</sup>. Il fiocco di neve, o gli alveari, possono essere considerati come *archetipo* funzionale dell'espressione *fisicogeometrica*<sup>19</sup>.



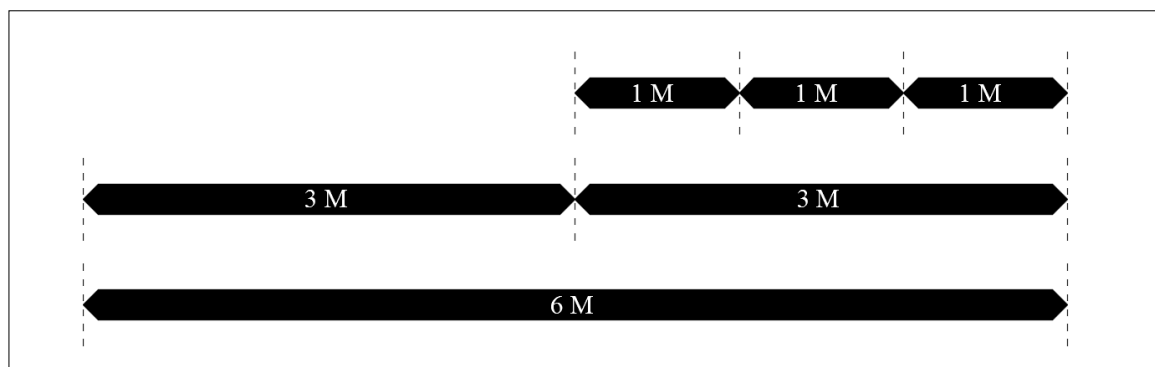
**Fig. 5** (In alto) Principio del *closest packing*: possibili dislocazione di circonferenze disposte secondo il principio dell'impacchettamento compatto; (in basso) tassellazione di una superficie, comparando il principio del *closest packing* generato da identiche circonferenze e quello generato da identici esagoni regolari. Tra i due, soltanto gli esagoni, e dunque anche i triangoli, consentono una tassellazione completa dello spazio bidimensionale.

<sup>17</sup> F. De Fabritiis, *Dual Shells. Tettonica multi-scala per la generazione di scocche autoportanti e applicazione nel progetto di un padiglione temporaneo per il chiostro di Vicolo Bolognetti (BO)*, Tesi di Laurea in Architettura e Composizione Architettonica III, relatore A. Erioli Scuola di Ingegneria e Architettura, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, 2017. p. 59

<sup>18</sup> A. Forty, *Words and Buildings. A vocabulary of Modern Architecture*, Thames & Hudson, Londra 2004

<sup>19</sup> P. Pearce, *Structure in nature is a strategy for Design*, The MIT Press, Cambridge (Massachusetts) 1990

Pertanto, l'utilizzo che ne viene fatto, sul versante architettonico, assolve a specifiche esigenze strutturali, e non a pragmatici processi geometrici, espressione del tentativo di modulazione delle superfici.



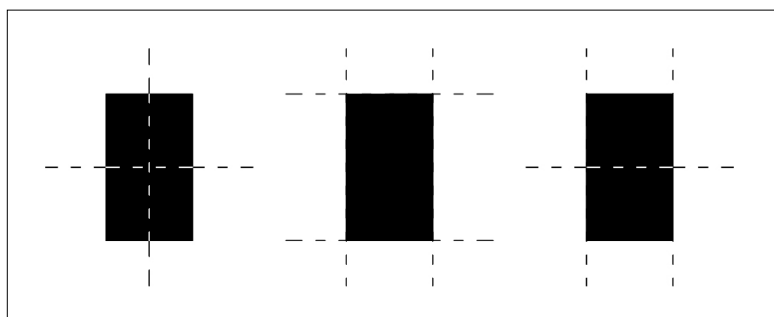
**Fig. 6** *Ordine modulare.* (In alto) *Modulo base*, unità dimensionale che viene utilizzata come origine delle misure negli ordini dimensionali. Il modulo base unificato M, misura 100 mm, (Al centro) *Multimodulo*, multiplo normalizzato del modulo secondo un moltiplicatore interno. (In basso) *Modulo strutturale*, multiplo del multimodulo e stabilisce sotto forma di valore numerico le dimensioni di coordinazione per la struttura portante.

In termini operativi, declinare il concetto geometrico delle tassellazioni al *disegno* dell'involucro edilizio, presuppone la definizione, attraverso l'ausilio di reticoli e sistemi di coordinazione, di un ordine modulare per il dimensionamento degli elementi che lo costituiscono, e che rappresenti il riferimento che tiene legate la fase ideativa, della produzione e dell'assemblaggio<sup>20</sup>. Tale modulo, in termini geometrici fa riferimento al concetto di *closet packing*, ovvero di impacchettamento compatto, per il quale la costituzione di un reticolo regolare, permette di definire le dimensioni generali di un elemento modulare, per garantire che lo spazio tra ciascun elemento sia eliminato o

<sup>20</sup> T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.48

mantenuto al minimo<sup>21</sup>. In termini tecnici, nel panorama normativo Europeo, vengono proposte delle specifiche grandezze ricavabili da un modulo base M, il cui valore corrisponde a 10 cm<sup>22</sup>. Tali grandezze, nel processo di industrializzazione, si riferiscono sia alla progettazione che alla produzione; un riferimento con cui, oltre che controllarne la modulazione in termini geometrici, permette di massimizzare l'utilizzo dei prodotti presenti sul mercato, essi siano pannelli o barre, ad esempio.

Il coordinamento modulare, viene controllato attraverso un sistema di riferimento, un reticolo, che ne definisce la posizione e la dimensione generale di un elemento (modulo). Si possono distinguere due diversi approcci con cui correlare gli elementi al reticolo modulare. Definita la geometria, il primo riferimento per determinarne la giacitura sul reticolo è considerare gli assi di simmetria degli elementi, i quali disegnano un reticolo assiale, da cui è possibile ricavarne solo la posizione e l'intervallo tra gli assi, ma non i riferimenti formali che tassellano le superfici, definibili, invece attraverso il sistema detto a luci; tale sistema, considera la proiezione degli elementi in almeno una direzione



**Fig. 7** Sistemi di riferimento: a sx riferimento a interassi, al centro riferimento a luci, a dx combinazione

<sup>21</sup> M. Hann, *Structure and Form in Design: Critical Ideas for Creative Practice*, Berg Pub Ltd, 2012

<sup>22</sup> Norma UNI ISO 21723-2019, Buildings and civil engineering works . Modular coordination.

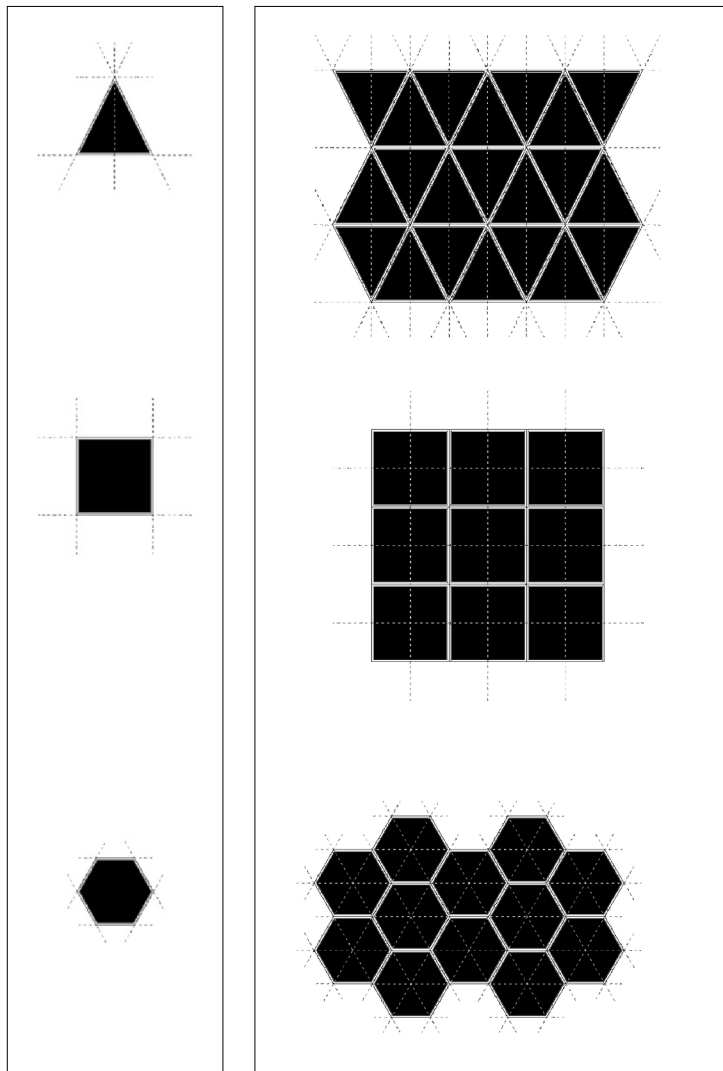
attraverso due linee di coordinazione parallela, determinandone, posizione, dimensione e forma<sup>23</sup>. In fase di progetto è possibile distinguere due reticoli: uno principale, riferito al reticolo strutturale, ed uno secondario riferito agli elementi di completamento. Il disegno della facciata si svincola, quindi, dalle geometrie strutturali, definendo un proprio ordine modulare, di derivazione, quando reticolo principale e reticolo secondario si sovrappongono, e di indipendenza quando questa condizione non si verifica. Da queste considerazioni, inoltre, si demanda ai riferimenti geometrici del reticolo, la misura con cui la struttura portante diviene un elemento di organizzazione formale con cui gestire il complesso sistema topologico che disegna la facciata, sia si tratti di superfici di emergenza, sia di rientranza.

La sola geometria, come già anticipato precedentemente, nel processo morfologico/generativo, non è il solo strumento analitico con cui governare la progettazione formale dell'involucro edilizio, ma rappresenta l'analogia con cui definire, concettualmente, le variabili topologiche alla base delle nuove forme architettoniche, connubio tra geometria e tecnologie digitali. Nel contesto industriale, la logica cognitiva affidata ai processi geometrici, consente di filtrare le potenzialità offerte dalle strumentazioni digitali, per uno uso consapevole di tali dispositivi; consente, inoltre, di comprendere la natura empirica dei processi formali generazionali, che trasferiti ad uno spazio virtuale tridimensionale, governato da algoritmi matematici, determinano il *disvelamento* della forma secondo un processo di astrazione concettuale, a volte disconnesso tra realtà e virtualità, tra *concept* e realizzazione. Pertanto, alla base di

---

<sup>23</sup> T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.49

qualsiasi manipolazione computazionale, il processo ideativo deve considerare le logiche geometriche, assioma con cui legittimare l'efficienza delle soluzioni progettuali, sia da un punto di vista formale, che funzionale.



**Fig. 8** *Archetipo geometrico*. Scomposizione geometrica della superficie dell'involucro attraverso il principio delle tassellazioni, con il quale si riconducono a tre forme primitive i dogmi compositivi: *Maglie triangolari*, *Maglie quadrate*, *Maglie esagonali*



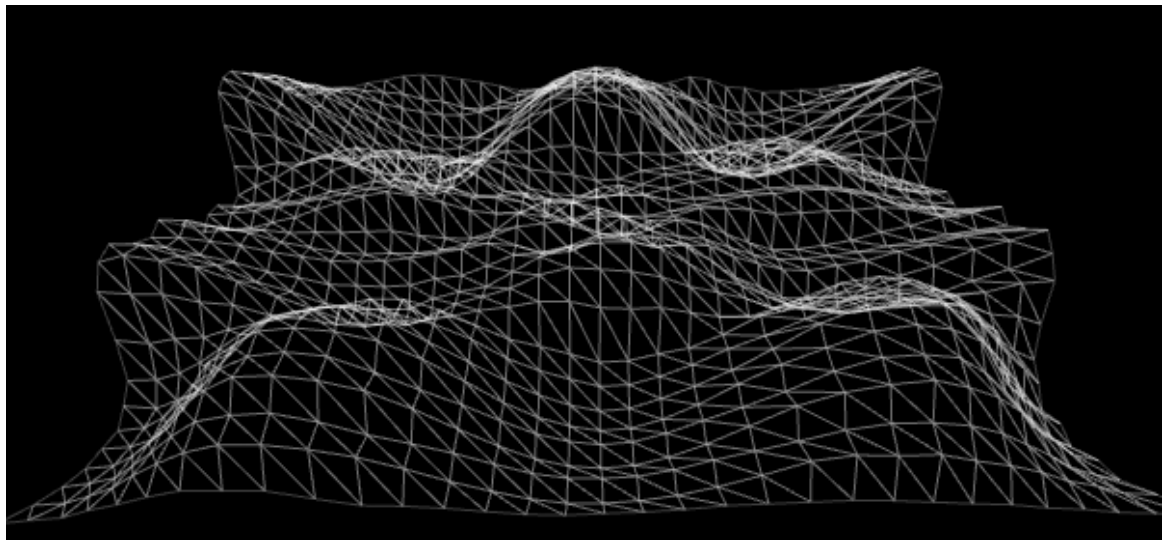
**Fig. 9** *Forme analogiche*. Da sx in senso orario: British Museum Great Court Roof, Londra; Buro Ole Scheeren, Old Scheeren, Singapore; Mannheim Grid Shell, Mannheim; Hamburg History Museum Court Roof, Hamburg; Auditorium, Ravello;**Fig. 10** *Forme digitali*. Superficie elaborata con un software di modellazione digitale

## **6.2** *Forme digitali*

Il processo di digitalizzazione, inserito nel contesto tecnologico che vede l'applicazione delle nuove tecnologie informatiche alle procedure progettuali, rappresenta l'evoluzione del linguaggio architettonico, che, seppur rivoluzionario, è determinato, comunque,



dall'interazione tra tecnica e creatività. Pertanto, le analogie dedotte dalla discretizzazione euclidea delle superfici dell'involucro, attraverso la disamina geometrica descritta precedentemente, vengono riconsiderate, a favore di una tecnica basata sul controllo matematico che, attraverso la manipolazione di dati e di numeri, offre la possibilità di sperimentare nuove configurazioni morfologico-concettuali, ottimizzandone la topologia, per una maggiore efficienza sia in termini formali, di sostenibilità che di produzione industriale. Il reticolo di tale manipolazione, descrive, formalmente, le deformazioni geometriche come l'essenza del progetto stesso, in quanto traduce le informazioni algoritmiche in poligoni costituenti la porzione minima della superficie totale.



Ciò significa che una superficie digitale tridimensionale, se pur non riferendosi ad uno spazio euclideo, può essere decostruita attraverso il principio delle tassellazioni, che, identificata la geometria di base, ne descrive il carattere morfologico attraverso l'analisi

delle deformazioni dei vertici, degli spigoli e delle facce che la definiscono<sup>24</sup>. Non a caso, infatti, i principi su cui si sviluppano i vari *software* di modellazione digitale si riferiscono a queste grandezze per rappresentare un oggetto, che con una operazione analoga alla scultura, viene generato dall'addizione o sottrazione di informazioni.

Aldilà di specifiche considerazioni sulla modellazione digitale, e sulle modalità di creazione ed interpretazione del progetto riferite alla forma e soprattutto alla generazione di questa come organizzazione concettuale<sup>25</sup>, si vuole porre l'attenzione sulle potenzialità offerte dall' *Information Technology* (IT) del *Computer Aided Design and Drafting* (CADD), nel processo di smaterializzazione delle superfici. Un processo meccanico che combina interattivamente calcolo, azione e percezione, e rappresenta il passaggio tra un approccio *generativo* l'innovazione morfologica, ad un approccio funzionale alla gestione del progetto<sup>26</sup>. Dove il primo fa riferimento all'applicazione della singola tecnologia digitale, e rappresenta il campo della sperimentazione morfologica, appunto, ed il secondo, più evoluto, ad un sistema che integra più tecnologie digitali di base, definendo le relazioni operative tra nuove metodologie e processi generativi.

La sperimentazione morfologica del *decostruttivismo formale*, anticipata dalle teorie del Parc de la Villette di Bernard Tschumi, e presente, ad esempio, nelle opere di Zaha Hadid, Frank Gehry e Peter Eisenman, determina un nuovo codice compositivo,

---

<sup>24</sup> F. Sididi, *Grafica 3D con Blender*, Apogeo Editore, 2014

<sup>25</sup> F. De Luca, *Modelli architettonici. Dagli strumenti della progettazione alla progettazione degli strumenti. Il modello come strumento progettuale in ambito digitale informatico*, Tesi di Dottorato, tutor A. Saggio, Dottorato di Ricerca in Composizione Architettonica - Teoria dell'Architettura, Università degli Studi "La Sapienza", Roma, 2003. p. 41

<sup>26</sup> T. Maldonado, *Critica della ragione informatica. Campi del sapere*, Feltrinelli, Milano, 1998

dirompente rispetto quello tradizionale, dove i volumi vengono infatti e la geometria superata; condizione alla base dell'evoluzione digitale del fare architettura attraverso i processi computazionali di ottimizzazione della forma.

Nel panorama contemporaneo, i linguaggi formali delle nuove architetture, riflettono l'ibridazione tra il *sapere* ed il *saper fare*, che attraverso l'approccio olistico alle nuove tecnologie, determina il divenire della cultura del progettare e del costruire<sup>27</sup>. In quest'ottica, il contesto aziendale riferito al mercato dei sistemi di facciata, rappresenta il luogo di questa contaminazione; se da un lato, il carattere espressivo delle architetture è affidato al sistema di involucro, dall'altro la progettazione dell'involucro stesso assume una propria autonomia secondo il principio dell'adattabilità. Concettualmente quindi, è la progettazione dell'involucro edilizio, a definire le nuove forme architettoniche, traducendo i processi operativi ed analitici del *concept* nelle relazioni logiche e fisiche del *saper essere*. Pertanto, l'innovazione, consente, alle aziende che operano nel campo della progettazione dell'involucro edilizio, di tradurre le potenzialità offerte da tali dispositivi nei processi di fabbricazione e di assemblaggio, trasposizione analogica delle *simulate* congetture digitali.

Nel processo di industrializzazione, il legame tra progettazione e produzione, è la condizione che determina la corretta interpolazione tra dimensione teorica (virtuale) e materiale (reale); un legame che entra in crisi, nel momento in cui lo scambio di informazioni tra le due parti non conduce all'ottimizzazione del processo. In termini

---

<sup>27</sup> L. Caneparo, *Fabbricazione digitale dell'architettura. Il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire*, Franco Angeli s.r.l., Milano, 2012

informatici, la simulazione digitale rappresenta quel processo di manipolazione dei dati che definisce un *modello* virtuale, intermedio tra idea e materia, grazie al quale è possibile riprodurre un oggetto reale in scala digitale. Tale condizione, nella sperimentazione industriale caratterizzata dagli approcci monodirezionali e specifici dell'*Information Technology*, induce a ripensare ad una nuova pianificazione produttiva, che non si limiti solo all'applicazione di metodi statistici e matematici nel processo decisionale o alla simulazione di pensieri di ordine superiore attraverso programmi informatici<sup>28</sup>, ma che consideri i diversi scenari operativi, per una ottimizzazione che non sia esclusiva al modello *fisico*, ma al processo di ottimizzazione stesso. Concettualmente, quindi, l'innovazione digitale, supera la mera applicazione "*pratica*" della funzione, e connette la dimensione virtuale della progettazione alla dimensione reale della produzione, contribuendo in termini quantitativi e misurabili, all'efficacia ed all'efficienza delle scelte progettuali.

L'integrazione di tali dimensioni, riflette quelli che sono i principi alla base della quarta rivoluzione industriale, *Industry 4.0*<sup>29</sup>, in cui la tecnologia si identifica come uno strumento di controllo (logico ed elaborativo) per migliorare la produttività e la qualità produttiva, e identifica nel concetto del *digital twin* (gemello digitale), la convergenza tra strategia e innovazione tecnologica.

---

<sup>28</sup> H. J. Leavitt, T. L. Whisler, *Management in the 1980s*, in Harvard Business Review, vol. 11, 1958

<sup>29</sup> M. Tiraboschi, F. Seghezzi, *Il Piano nazionale Industria 4.0: una lettura lavoristica*, in: LaBoUR & Law Issues, vol. 2, n. 2, 2016

### 6.2.1 Narrative skin

Aldilà delle sopracitate riflessioni sugli aspetti morfologici, analogici e/o digitali, alla base della progettazione dell'involucro edilizio, appare opportuno osservare come, in un'epoca *tecnologicamente globalizzata*, questi sistemi divengono il *gate* con cui oltrepassare il confine tra realtà spaziale e realtà virtuale<sup>30</sup>, divenendo superfici di comunicazione attive e interattive; un utilizzo della tecnologia che va oltre gli aspetti puramente formali e funzionali, divenendo lo strumento con cui *disegnare* nuovi scenari urbani, in cui all'eccezione etimologica architettonica tradizionale della facciata, e nello specifico dell'involucro edilizio, la multimedialità, come progresso tecnologico, smaterializza queste superfici definendo, quello che Venturi chiama, già negli anni Sessanta, *espressionismo elettronico*<sup>31</sup>. La facciata diventa epidermide sensibile che filtra e trasmette ai più profondi strati del derma le sue informazioni<sup>32</sup>; una considerazione che vede dilatarsi il concetto di superficie, che si evolve, muta; diviene un sistema mediatico, con una propria identità, che *di-svela* la dipendenza o l'interdipendenza del rivestimento rispetto l'apparato tecnologico. Un analogismo con la struttura fisica dell'organismo umano, in cui tutto si riconduce al rapporto tra ossa e pelle, dove la pelle non è soltanto la superficie che riveste l'organismo interno, ma è piuttosto essa stessa un organo<sup>33</sup>.

In questa ottica, assistiamo oggi, alla fusione del mondo reale e virtuale a scala urbana, attraverso superfici multimediali e interattive; *utopie*, considerando le architetture di

---

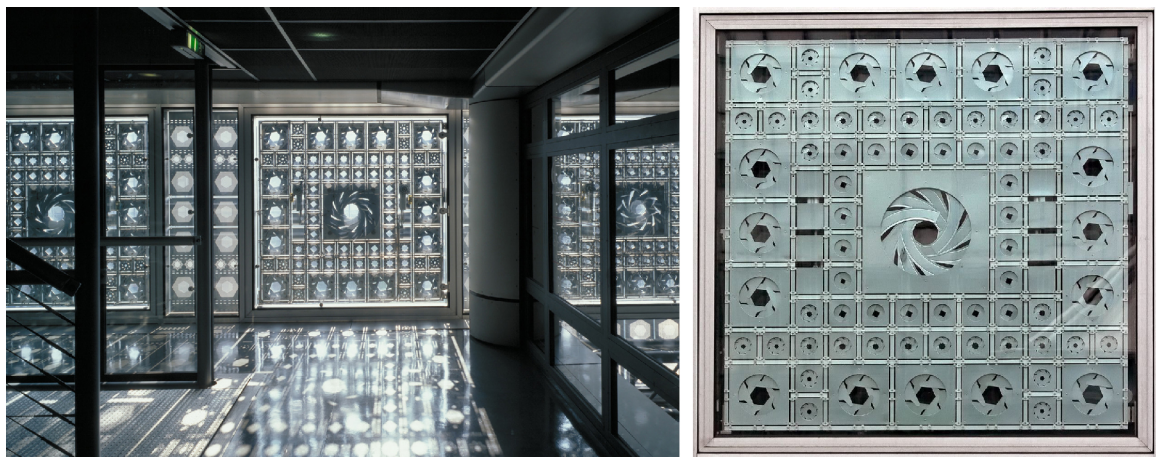
<sup>30</sup> G. Ranulo, *Light Architecture*, Torino, Testo & Immagine, Torino, 2001

R. Venturi, D. Scott Brown, S. Izenour, *Learning from Las Vegas*, The MIT Press, 1972

<sup>32</sup> D. Colafranceschi, *Architettura in superficie*, Gangemi, Napoli 1995. p. 83

<sup>33</sup> M. C. Taylor, *Hiding*, The University of Chicago Press, 1997

qualche decennio fa. Ciò significa che vengono riviste le competenze affidate all'architettura di fronte alle modificazioni e alle alterazioni prodotte dalla rivoluzione digitale. Una rivoluzione che si riferisce più all'involucro dell'edificio, alla sua pelle, che a tutto il complesso della costruzione.



**Fig. 11** *Institut du monde arabe - IMA*, Jean Nouvel. Parigi, 1987. Dettaglio Facciata

Per osservare come, in architettura, vengono esplorate e sviluppate queste riflessioni, possiamo guardare alle opere di Toyo Ito e Jean Nouvel ad esempio, dove il carattere *responsive* affidato alle superfici rappresenta la sintesi tra interattività e multimedialità, tra dimensione *tattile* e dimensione *sensoriale*, strumento di mediazione tra ricerca e sperimentazione tecnologica. L'involucro diventa un diaframma vibrante, dinamico, vero e proprio filtro *attivo* e *reattivo* che oltre a garantire una migliore fruibilità degli spazi interni, come nel caso dell' *Institute du Monde Arabe* (1987), in cui la facciata principale è dotata di appositi meccanismi che reagiscono alla luce solare, determina la

codificazione di un nuovo linguaggio architettonico, la cui forza espressiva è affidata alle potenzialità tecnologiche dell'involucro, che declina verso altre frontiere i concetti di luminosità e trasparenza, ad esempio; un linguaggio non più definibile esclusivamente dalla analisi diacronica dello spazio che viene proposto, ma dalla capacità con cui questo riesce ad adattarsi alla mutevolezza del tempo. Un'architettura che non rappresenta più l'immutabilità ma il movimento. La metamorfosi<sup>34</sup>.

In questa ottica, in riferimento al paragrafo precedente, l'applicazione della tecnologia digitale, non riguarda la *genesis* del processo ri-elaborativo delle tecniche tradizionali, ma diviene lo strumento essenziale per elaborare, rappresentare o simulare le informazioni, attraverso un processo immateriale, in cui, il trasferimento dell'universo telematico, in un'epoca di pura informazione come quella che stiamo vivendo, passa attraverso i canali della fruibilità, in una nuova concezione architettonica dove la funzione dell'informazione prevale su quella dell'abitazione<sup>35</sup>. La superficie (architettonica), da questa considerazione, diviene il luogo fisico in cui si materializza questa sperimentazione, una *tavolozza* di flussi virtuali, che rendono possibile la fusione tra mondo reale e mondo virtuale, una infrastruttura multimediale che integra lo spazio fisico a quello dell'informazione. L'implicazione di questi concetti porta alla nozione di *Media Building*, o *Light Architecture*, quali paradigmi della *superficie interattiva*<sup>36</sup>.

---

<sup>34</sup> C. Petracci, *I media building*, in *Extended Mind. Viaggio, comunicazione, moda, città*, (a cura di C. Petracci), 2006

<sup>35</sup> G. Ranulo, *Light Architecture*, Torino, Testo & Immagine, Torino, 2001

<sup>36</sup> Lev Manovich, *The poetics of urban media surface*, First Monday, Special Issue , 4, 2015

**Fig. 12** Proposta per un *Media Building*, Napoli, 2000 e *Port Administration San Diego, USA*, Gianni Ranaulo.  
*Involucro interattivo multimediale*: un sistema ottenuto grazie alla retroproiezione di immagini su vari supporti trasparenti: vetro a visione angolare, a punti iridescenti, a micro-opalizzazione iridescente.





*La facciata, nel senso tradizionale del termine, scomparirà per dare luogo ad una trama di cellule abitabili librate nello spazio; un mosaico di facciate, un bombardamento di immagini; un'aggregazione di elementi in flusso continuo e senza specifica sequenza<sup>37</sup>.*

I tasselli di questo mosaico, possono essere, ancora una volta, se pure innovativi da un punto di vista tecnologico, ricondotti ai principi analogici che li definiscono, quali ad esempio, il linea con la dissertazione sviluppata in questo capitolo, ai principi della tassellazione delle superfici in pannelli, che segue comunque le logiche geometriche della composizione, con la differenza però, che ai pannelli realizzati con materiale tradizionale, si sostituiscono i più innovativi e sofisticati schermi a tecnologia LED (*Light Emitting Diode*); dei dispositivi *optoelettronici* che interagiscono con la luce e la propria implicazione; delle superfici di scambio tra tecnologie elettriche e tecnologie informatiche. In questo senso, il concetto di luce va inteso in senso lato, includendo tutti quegli aspetti che non sono percepibili all'occhio umano. Il risultato è una *fenomenologia di scenari* che definisce quale funzione principale di un edificio quella di trasmettere informazioni; che supera la concezione limitata della tecnologia intesa come semplice *mezzo*. Un fenomeno architettonico a scala urbana, che ne ri-definisce la natura disciplinare, ovvero quella capacità di stabilire legami e relazioni con altri ambiti<sup>38</sup>; piazze come *Times Square* a New York o il *Millenium Park* di Chicago sono un chiaro esempio di questa ri-definizione, di come *l'architettura oggi è più che mai*

---

<sup>37</sup> B. Zevi, *Il linguaggio moderno dell'architettura*, Einaudi, Torino, 1973. p. 222

<sup>38</sup> R. Magri, *Ibrido come nuova natura*, in *Urban Hybridization* (a cura di F. Zanni), Maggioli, Milano, 2012. p.233

*un'architettura di relazioni anziché di oggetti, di spazi relazionali, dinamici, anziché di scene statiche*<sup>39</sup>.

Questo dinamismo, nell'intento tecnologico di ri-disegnare la scena urbana, attraverso l'aggregazione e/o l'integrazione fra tecnologie provenienti da settori diversi è affidato alla versatilità della superficie *mediatica* dell'involucro edilizio, nell'eccezione analogica di elemento che si distacca dalla struttura, indipendente da essa, frutto della sperimentazione tra i processi costruttivi e le nuove tendenze *informatizzate* dell'architettura. In questa ottica possono essere analizzati due principali tipi di approccio: uno di tipo attivo/interattivo che fa riferimento alla riproduzione di un segnale digitale; un altro di tipo passivo, che del segnale digitale ne proietta *l'immagine*. Un terzo tipo di approccio, antesignano dei precedenti, ma comunque, ancora oggi molto diffuso, è quello che identifica la superficie dell'involucro non come il supporto multimediale che proietta una immagine, ma come il supporto analogico con cui l'immagine viene *fissata*, una impalcatura, *dove i sistemi di spazio e struttura sono direttamente a servizio del programma, e l'ornamento applicato indipendentemente da essi*<sup>40</sup>.

Riferendoci allo scenario contemporaneo, appare evidente che la superficie dell'involucro è intesa in maniera diversa dal *I am a monument* venturiano<sup>41</sup>, e rappresenta qualcosa di estremamente flessibile e deformabile, la cui funzione non è solo quella di *contenere*<sup>42</sup>,

---

<sup>39</sup> R. Bocchi, *Architettura Peripatetica*, in Parametro, 2006

<sup>40</sup> R. Venturi, D. Scott Brown, S. Izenour, *Learning from Las Vegas*, The MIT Press, 1972, p.88

<sup>41</sup> A. Cornaro, *Kunsthau Graz-BIX: alta tecnologia a bassa risoluzione*, in arch'it, 2004

<sup>42</sup> M.L. Palumbo, *Inhabiting Media*, in *L'architettura dell'intelligenza* (a cura di D. De Kerckhove), Testo&Immagine, Torino, 2001. pp.88-90

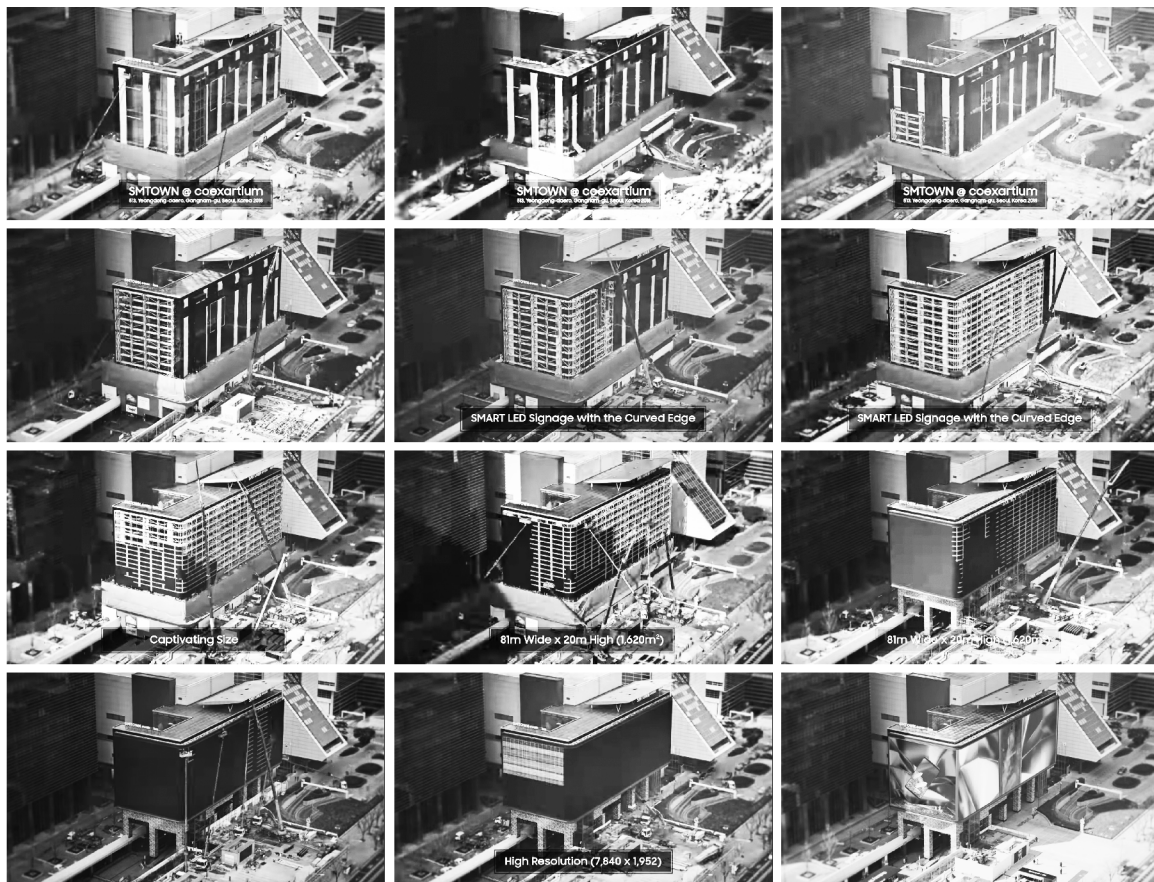
ma quella di *comunicare*, paradigma di una nuova concezione architettonica fatta di immagini, che si sovrappone alla *architettura neutra* di Venturi<sup>43</sup>. Una architettura in cui forma, spazio e percezione si sviluppano in funzione dell'oggetto architettonico, inteso come un grande *totem multimediale*. In questo senso, l'involucro edilizio, quale seconda pelle dell'edificio, filtro che media alle interazioni tra condizione interne e condizione esterne, diviene un sistema di *illusioni anamorfiche*, in cui i principi analogici della progettazione si identificano con quelli relativi all'installazione, definita dalle soluzioni tipologiche su cui si articola l'intero sistema, mentre i principi tecnologici non saranno più definite come quella soluzione tecnicamente valida per definire il processo di produzione, quindi il mezzo, ma verranno identificati come quel processo di fusione tra realtà reale e realtà virtuale, la cui conseguenza, nella definizione di nuovi scenari urbani, verte nella definizione di un nuovo sistema: *narrativo, mediatico, multimediale*; un sistema cablato, ibrido tra comunicazione e percezione.

---

<sup>43</sup> T. Firrone, *Trasparenze Mediatiche*, in *Eda - Esempi di Architettura: Trasparenza e Leggerezza* (a cura di G. De Giovanni, R. Corrao), il Prato, Saonara (PD), anno III, n. 6/2009

**Fig. 13** Pannelli Samsung Electronics a tecnologia LED installati sul muro esterno della SM Town of COEX, Seoul, Corea del Sud. Samsung SMART LED Signage supporta il display con alta luminosità fino a 9.000 nit e la risoluzione di 7.840 X 1.952, che è quasi il doppio della risoluzione di UHD, in modo che possa mostrare immagini chiare anche in pieno sole e immagini ad alta densità applicando il 10 mm di distanza tra ogni pixel.

Font: <https://displaysolutions.samsung.com/showcase/success-stories/detail/coex-sm-town-kpop-square>



**Fig. 14** *Progettazione tecnologica o animazione digitale?* Esperienze di Public Media Art realizzate dall'azienda D'strict, specializzata nella progettazione, realizzazione e distribuzione di contenuti visivi su *Digital Out of Home*. Nello specifico: Public Media Art #1 "WAVE", 2020 e Public Media Art #5 "ART PERFORMANCE", 2021.

Font: <http://www.dstrict.com/kr/>







*Capitolo VII*

**MATRICE METODOLOGICA**

Nel capitolo precedente ha avvio quel processo di smaterializzazione della superficie dell'involucro edilizio, alla base della formulazione della matrice metodologica con cui descrivere la natura progettuale di questi sistemi. Se il principio delle *tassellazioni geometriche* è stato utilizzato per decostruire la tendenza all'*industrializzazione della architettura* definendo un approccio formale volto a definire dei codici compositivi che, tradotti in geometrie legittimano le scelte e le soluzioni progettuali che definiscono l'oggetto architettonico, il principio dello *straniamento*, applicato invece al processo che ne vede l'industrializzazione, consente di analizzare gli aspetti pragmatici della realizzazione, quale sintesi dei processi tecnologici-prestazionali e fisico-formali.

Come più volte sottolineato, il progresso tecnologico porta ad una svolta percettiva e progettuale decisiva nella storia delle costruzioni, sia nella fase ideativa, riferita al *concept* sia in quella realizzativa relativa alla *applicazione*. Svolta che definisce un nuovo stile architettonico, manifesto della contemporaneità, in cui il concetto di innovazione non si riferisce solo al processo edilizio, ma anche all'individuazione delle soluzioni costruttive e delle tecniche più adeguate tra quelle tradizionali e quelle proprie dell'innovazione tecnologica più avanzata.

Per anni, la cultura progettuale dei sistemi di facciata, oggi evoluta dal convenzionale ruolo di chiusura, è stata caratterizzata dall'utilizzo di tecniche empiriche basate essenzialmente sul sovradimensionamento delle parti portanti, in funzione della sicurezza statica e strutturale degli edifici<sup>1</sup>. Progettare oggi, non significa solo governare il processo edilizio nelle sue fasi di espressività e realizzazione costruttiva, ma soprattutto identificare lo scenario applicativo dei prodotti più adeguati con cui definire concettualmente i sub-sistema di chiusura, dei sistemi sempre più dinamici, contaminati dalla sperimentazione tra nuove componenti tipo-tecnologiche e nuovi materiali che, oltre a segnare il passaggio

---

<sup>1</sup> M. Rossetti, *Lo scheletro in legno. Le facciate continue con struttura lignea*, LegnoLegno News, 2010



*dalla caverna alla casa ecologica*<sup>2</sup>, inducono a ripensare alle diverse declinazioni che connotano il tema stesso dell'innovazione.

In questa ottica, quando questi temi si riferiscono al contesto aziendale, si possono distinguere due principali tendenze con cui il concetto di innovazione è trasferito al progetto architettonico; la prima *rileva un'evidente tensione all'innovazione trainata con forza da una ricerca estetica orientata alla spettacolarizzazione dell'architettura. In questo caso l'innovazione tecnologica dei sistemi costruttivi e dei componenti è indotta dalla necessità di realizzare soluzioni architettoniche inedite, spesso connotate da un eccesso di formalismo, che pongono ancora una volta in termini di netta contrapposizione il progetto e la costruzione*<sup>3</sup>; la seconda invece si riferisce al processo di innovazione tecnologica evocato dai nuovi assetti normativi, in modo particolare alla tendenza volta al contenimento dei consumi energetici, del miglioramento del comfort interno e più in generale sul versante dell'ottimizzazione delle prestazioni ambientali. Una innovazione che si caratterizza dal trasferimento di saperi e tecniche diverse come strumento di rilancio del settore delle costruzioni e come veicolo per il raggiungimento di più elevati livelli di qualità architettonica

In maniera molto più pragmatica, coerente con l'obiettivo che questa Tesi si pone, ovvero quello di definire dei codici che per continuità, composizione o scomposizione definiscono l'iter progettuale che porta alla definizione dell'involucro edilizio, c'è la necessità di ripensare alla fase propositiva, del *concept*, come a quel momento in cui vengono formulate le strategie che concorrono al funzionamento del sistema sia in termini di prestazioni ed efficienza energetica, che in termini di linguaggio propriamente architettonico. Un approccio operativo, che guardando alle varie scale dimensionali - territorio, paesaggio, città, edificio - e riflettendo su come, il *progetto* in architettura sia il luogo teorico e operativo delle contaminazioni, non può riferirsi alla mera considerazione

---

<sup>2</sup> F. Butera, *Dalla caverna alla casa ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano, 2007

<sup>3</sup> Andrea Campioli, *Qualità dell'architettura: innovazione, ricerca tecnologica e progetto*, Techne, 01, 2011

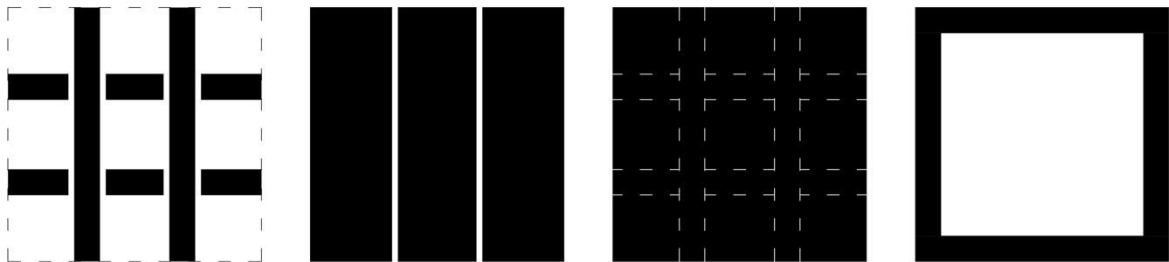
dei prodotti presenti sul mercato in termini di innovazione. Pertanto il concetto di innovazione, in termini di competitività aziendale deve essere riflesso del *know how* istruttorio in termini di conoscenza, per un approccio progettuale che non sia di tipo meccanico, caratterizzato dalla "speculazione" del prodotto ma di tipo mnemonico, definito dai processi fondati sulla conoscenza intesa funzionalmente come guida cognitiva alla progettazione.

Il tentativo di definire una matrice metodologica nasce quindi dall'esigenza di pensare ai concetti di efficienza e di funzionamento, non come a due momenti indipendenti e separati tra di loro, ma fondanti la genesi progettuale, che definita per punti, o per codici, rappresenta l'espressione tangibile di questa contaminazione: *sapere, saper essere e saper fare*; l'innovazione intesa non come punto di arrivo, ma come punto di partenza, nella più ampia intenzione di definire e di descrivere non le potenzialità innovative di un prodotto ma del processo che porta alla progettazione tecnologico-architettonica dell'involucro edilizio.

## **7.2 Innovazione di progetto**

Prima di procedere all'astrazione metodologica dei codici che definiscono la matrice, bisogna fare due considerazioni: una di tipo *morfologico* (innovazione di progetto) ed una di tipo *tipologico* (innovazione di prodotto), intesa la prima come l'identificazione delle tecniche costruttive che definiscono l'involucro, mentre la seconda come quella che ne definisce i tamponamenti. Nel primo caso si identificano tre sistemi costruttivi: *montanti e traversi, a cellule, strutturale e semi strutturale*; nel secondo invece il sistema di tamponamento si riconduce alle caratteristiche fisiche e prestazionali dei materiali con cui sono realizzati - trasparenza, traslucenza, opacità, massa, accumulo, conduttanza, valore fonoisolante e resistenza al vapore - i quali concorrono, come descritto nel capitolo 4, al funzionamento energetico dell'involucro, definendo a loro volta il potenziale attivo, passivo o ibrido del sistema.

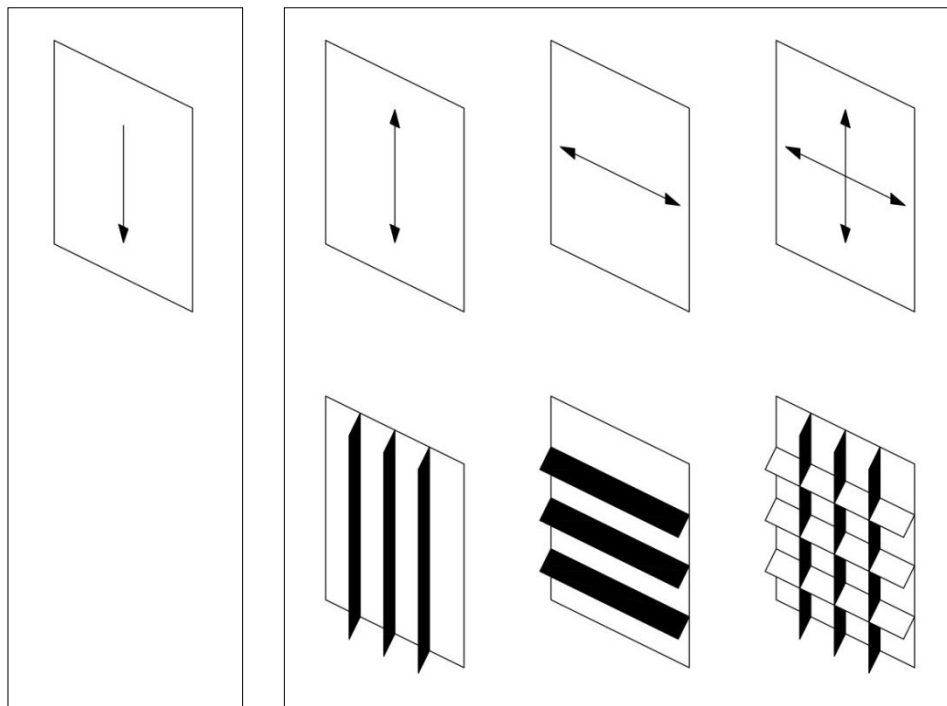
L'assunto è quello di considerare l'edificio come un padiglione smontabile, motivo per il quale la fase del montaggio è il perno attorno a cui ruota tutto il decostruttivismo di questa dissertazione.



**Fig. 1:** Ideogrammi sulle tipologie di involucro. Da sx: montanti e traversi, a cellule, strutturale e semistrutturale, silicone strutturale. Disegni realizzati dall'autore

Da questa considerazione, il primo dei sistemi costruttivi da analizzare, e che tra l'altro è lo stesso che caratterizza il processo progettuale delle aziende partners della ricerca, nonché quello maggiormente diffuso è il sistema a montanti e traversi (*stick system*). Consta di elementi verticali che definiscono il telaio portante, *montanti*, e di elementi orizzontali di collegamento a cui vengono fissati i pannelli di tamponamento, *traversi*. Tali elementi, nel processo di industrializzazione, analogo a quanto avvenuto nell'Ottocento con l'esperienza del Crystal Palace di Pexon, vengono prodotti in serie e di dimensioni standard, la cui dimensione vincola la progettazione in termini di fattibilità; ecco perché quando si parla di "*speculazione di prodotto*" il riferimento è immediato al fatto che spesso la standardizzazione del prodotto non assolve a specifiche esigenze pratiche divenendo, piuttosto un dato dispendioso in termini economici, talvolta non rispondente alle disponibilità finanziarie che concorrono alla realizzazione dell'opera, una declinazione negativa in termini di fattibilità. Alcune aziende, quali ad esempio la tedesca Schüco, leader nel campo dello sviluppo e distribuzione di sistemi in alluminio per finestre, porte e facciate, definiscono lo standard in lunghezza dei propri prodotti ad una lunghezza convenzionale pari a 6 m, che in riferimento allo scenario normativo Europeo,

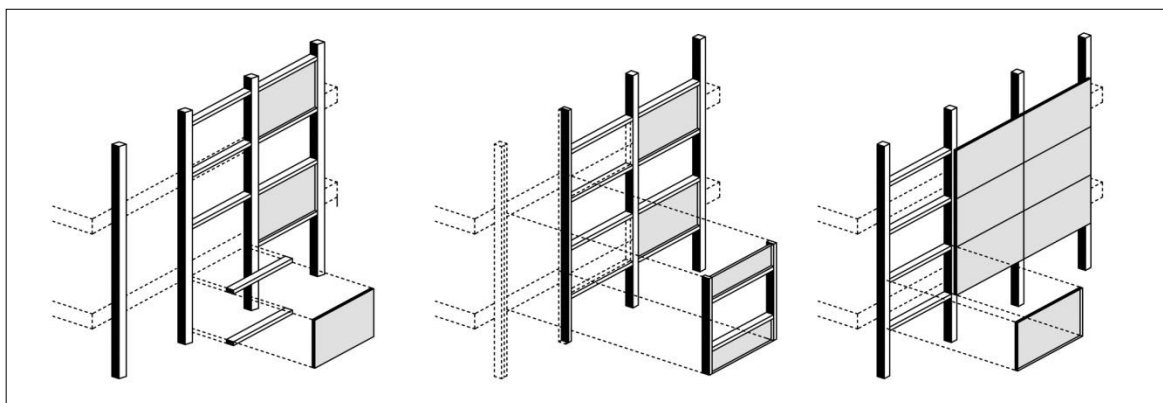
riflette quella specifica grandezza ricavabile dal modulo base M, il cui valore corrisponde a  $1 \text{ m}^4$ , un riferimento con cui, oltre che controllare la modulazione in termini geometrici, permette di massimizzare l'utilizzo del prodotto. In termini di larghezza, invece questa può variare a seconda del sistema che viene utilizzato o per ragioni di natura estetiche, definita in un intervallo che va tra i 5 o i 10 cm. Gli elementi orizzontali di collegamento a cui vengono fissati i pannelli di tamponamento, essi trasparenti, opachi o multimediali (vedi capitolo precedente) ad esempio, solitamente sporgono verso l'interno della facciata mentre in esterno vi è la complanarità del sistema e la sporgenza delle copertine. Inoltre è facile dedurre che la dimensione dei traversi è chiaramente vincolata dal passo dei montanti, compreso solitamente tra gli 80 e i 150 cm.



**Fig. 2:** Strutture portanti di facciata. Schematizzazione sollecitazioni. Da sx: solo compressione, a dx flessione più sollecitazioni normali. Rif. T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.30. Ridisegno a cura dell'autore

<sup>4</sup> Norma UNI ISO 21723-2019, Buildings and civil engineering works . Modular coordination.

Da un punto di vista strutturale, nell'eccezione al funzionamento statico, i montanti sono "appesi" alla struttura orizzontale portante dell'edificio in modo da essere sollecitati soltanto a sforzi di trazione e flessione; sono *collegati* tra di loro tramite un vincolo a carrello che consente lo spostamento verticale, mentre i traversi, *dipendenti* da quest'ultimi, in riferimento al vincolo a cui sono soggetti alle estremità (un incastro in una e da una cerniera in quella opposta) consentono il movimento opposto, ovvero quello orizzontale<sup>5</sup>.



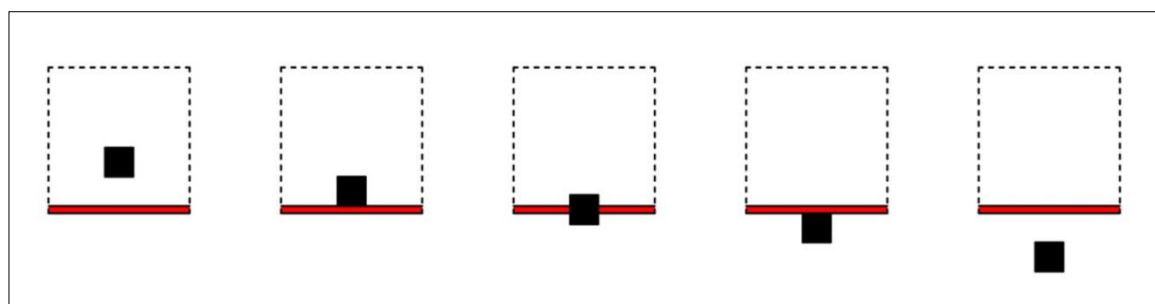
**Fig. 3:** Schematizzazione strutturale delle tipologie di involucro. Da sx: montanti e traversi, a cellule, strutturale e semistrutturale. Disegni realizzati dall'autore

Un sistema dunque, che se pur distaccandosi dalla struttura portante dell'edificio, si muove insieme ad essa; un movimento che può essere valutato sulla base della diversa configurazione che l'involucro assume rispetto alla struttura portante che, oltre a configurarsi come elemento di organizzazione formale, ne definisce la funzione in termini statici di tutto organismo edilizio. In quest'ottica, in merito ad esempio al comportamento sismico, vediamo che l'involucro è soggetto alle sollecitazioni conseguenti gli spostamenti interpiano della struttura a cui è vincolato, dove, nel caso di analisi sismica, la condizione più gravosa da considerare è il *drift* interpiano, ovvero lo spostamento relativo tra due piani adiacenti che l'involucro deve essere in grado di sopportare. Vanno

<sup>5</sup> F. Giovine, *La cultura progettuale e la facciata*, in Nuova Finestra 393, 2013. pp 74 - 77

distinte due tipologie di risposta: la prima è quella *duttile* del telaio, della griglia costruita dai montanti e dai traversi, che sollecitata tenderà a deformarsi nella direzione degli spostamenti, la seconda invece è quella rigida dei pannelli di tamponamento, soprattutto nel caso di pannelli trasparenti, quali ad esempio in vetro, per cui diversi studi ne identificano la risposta alle sollecitazioni secondo due differenti fasi. La prima, in cui la lastra di vetro trasla in direzione dell'azione sismica fino a ruotare al contatto con il telaio e la seconda in cui le sollecitazioni derivanti dalla deformazione del telaio, soggette a compressione, vengono assorbite dagli angoli opposti della lastra di vetro, la quale tenderà a curvarsi e contemporaneamente ad accorciarsi lungo la diagonale con conseguente deformazione fuori piano del pannello<sup>6</sup>.

Per quanto riguarda invece l'organizzazione formale delle diverse soluzioni fisico-tecnologiche che il piano di facciata determina, in funzione alla struttura portante, è la giacitura dell'involucro a stabilire quanto quest'ultima possa essere identificata come un elemento di organizzazione<sup>7</sup>.

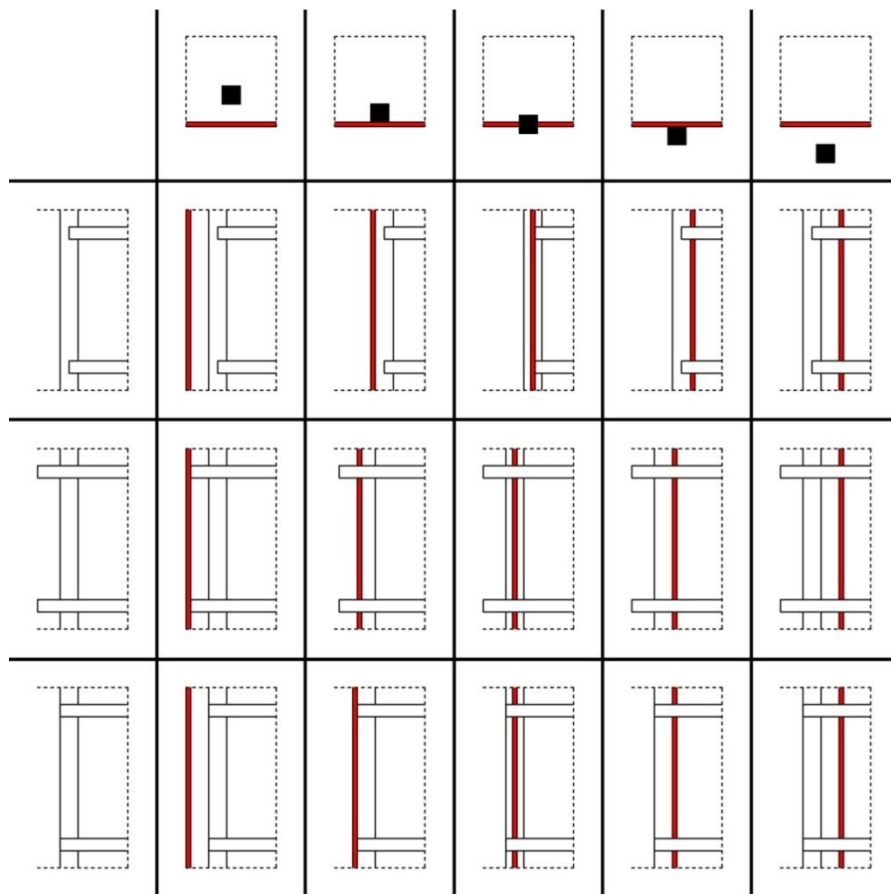


**Fig.4:** Schematizzazione del piano di facciata (in rosso) rispetto la struttura portante. Da sx: staccata e dietro la struttura, davanti la struttura, in adiacenza, compresa tra la struttura, dietro la struttura, in adiacenza, staccata dalla struttura, dietro.  
Rif. T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.51.  
Ridisegno a cura dell'autore

<sup>6</sup> M. Poso, *Studio del sistema di connessione alla struttura portante per facciate continue del tipo a cellula sottoposte ad azione sismica*, Tesi di laurea magistrale in Ingegneria Edile/Architettura, Politecnico di Milano, A.A.2013/2014

<sup>7</sup> L. Trbuhovic, *Untersuchungen der Strukturschemas und der Fassadenentwicklung beim Stahlbeton-Skelettbau*, in Girsberger, Hans (a cura di), *ac panel. Asbestzement-Verbundplatten und -Elemente für Aussenwände*, Zurich, 1967, pp. 46-49

Se concettualmente si volesse schematizzare tale riflessione si potrebbe costruire un sistema di coordinate, *ascisse* ed *ordinate*, in cui mettendo in relazione la disposizione del piano di facciata rispetto la struttura portante e le modalità di incastro degli elementi portanti orizzontali e quelli verticali (nodo trave - pilastro) si identificano i vincoli che le diverse declinazioni geometriche impongono, a loro volta condizionati da una serie di requisiti circa il comportamento fisico-tecnico, quali le variazioni longitudinali dovute agli sbalzi di temperatura, la conduzione del calore attraverso gli elementi adiacenti e la trasmissione del suono tra interno ed esterno, ad esempio.



**Fig. 5:** Matrice sulla posizione geometrica della facciata in riferimento alle tecniche di incastro tra gli elementi portanti orizzontali (solai) e quelli verticali (pilastri).  
Rif. T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.51  
Ridisegno a cura dell'autore

Appare opportuno, anche se scontato, sottolineare che, in merito alla definizione del comportamento fisico-tecnico, non sono esenti tutti gli elementi di protezione dagli agenti atmosferici, che seppur elementi di aggiunta, a quelli più generici che definiscono la facciata, concorrono a definirne il comportamento generale<sup>8</sup>.

Tra i vantaggi che derivano dall'utilizzo del sistema a montanti e traversi, si possono annoverare le potenzialità adattive e versatili, che tra l'altro sono quelle che una azienda maggiormente ricerca. Potenzialità che in un certo senso giustificano quelle meno positive che derivano invece, da quelle che emergono dalla fase di montaggio. La fase del montaggio è una fase che deve essere parallela alla stessa progettazione; spesso le figure che concorrono alla messa in opera di questi sistemi non sono le stesse che ne hanno definito la progettazione. Pertanto l'esigenza della matrice metodologica, con cui decostruire concettualmente l'involucro edilizio, non è qualcosa che si riferisce solo ed esclusivamente a dei professionisti, ma in un certo senso, ne semplifica la lettura della prassi progettuale per potersi riferire anche, e soprattutto, a tutte le figure che concorrono alla realizzazione dell'opera e non solo a quelle professionalizzanti dell'ingegneria, perché ancora una volta va sottolineato il fatto, che il *saper fare*, racchiude in sé l'essenza della conoscenza.

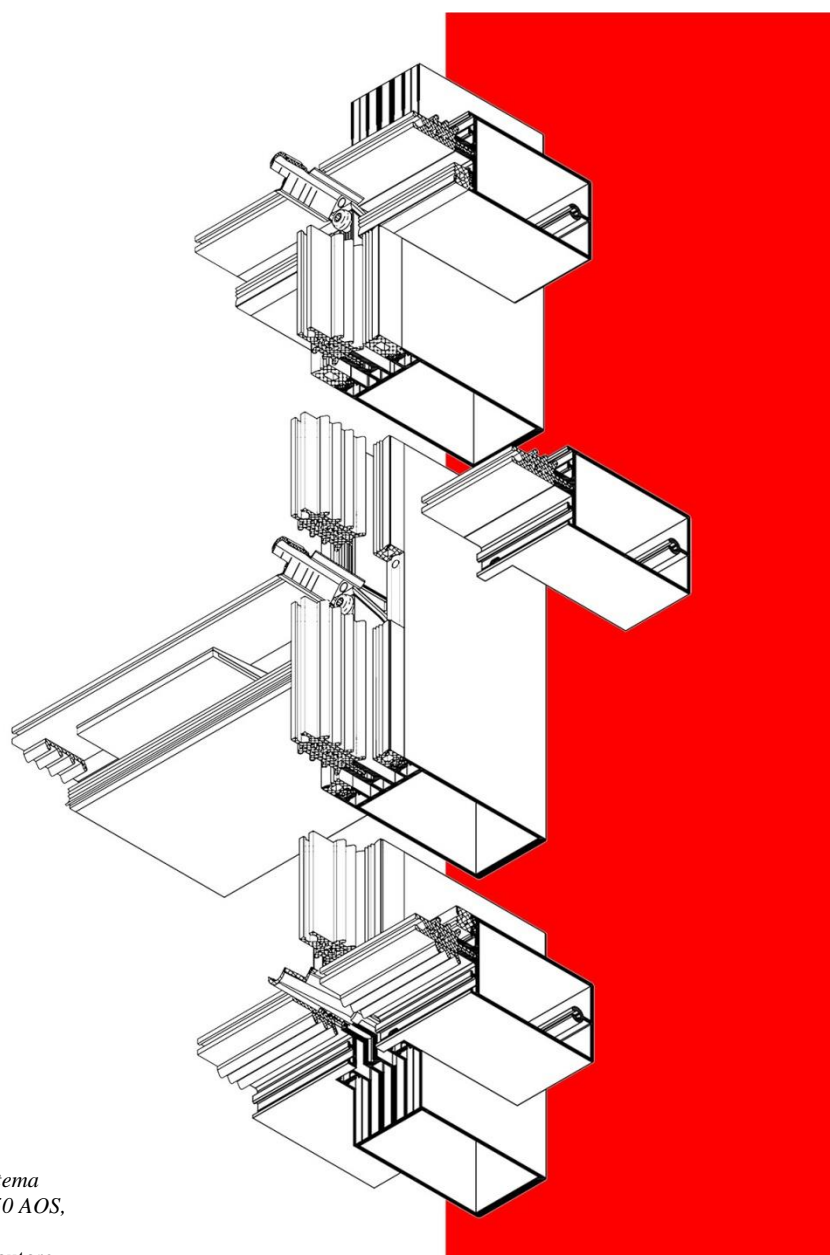
La conoscenza quindi come metodo, *know how* operativo di aziende presenti sul campo della progettazione dell'involucro edilizio in termini di standardizzazione dei prodotti, che attraverso la formulazione di apposite schede, distinte per tipologia di prodotto, riassumono tutte le performance tecniche che tali sistemi raggiungono, in maniera tale, che il progettista possa avere un riferimento dei risultati che potenzialmente, rispetto a quelli che vengono prefissati e per cui si opera l'intervento, si soddisfano.

In tal senso, ad esempio, possiamo fare riferimento ancora una volta all'azienda tedesca Schüco, la quale differenzia le proprie tipologie di prodotto sotto tre grandi categorie: *facciate* (o sistemi di base), *strutture riportare* ed *elementi ad inserimento*.

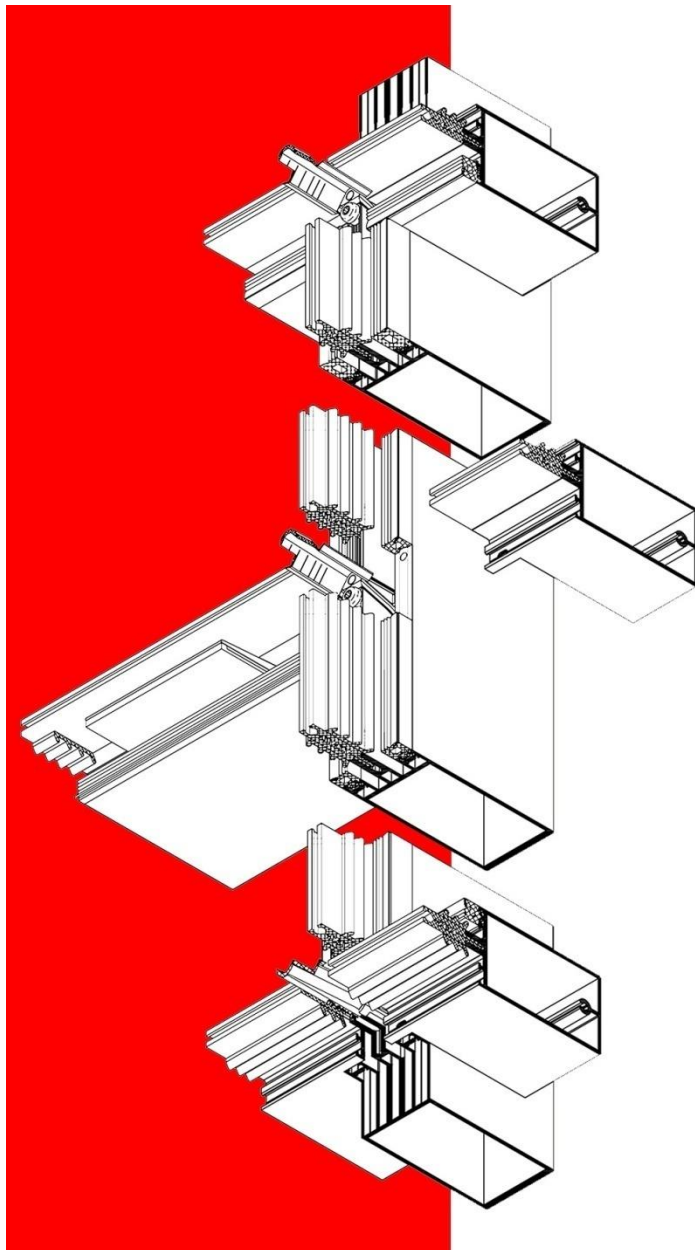
---

<sup>8</sup> T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Atlante delle facciate*, UTET, Torino 2005, p.55

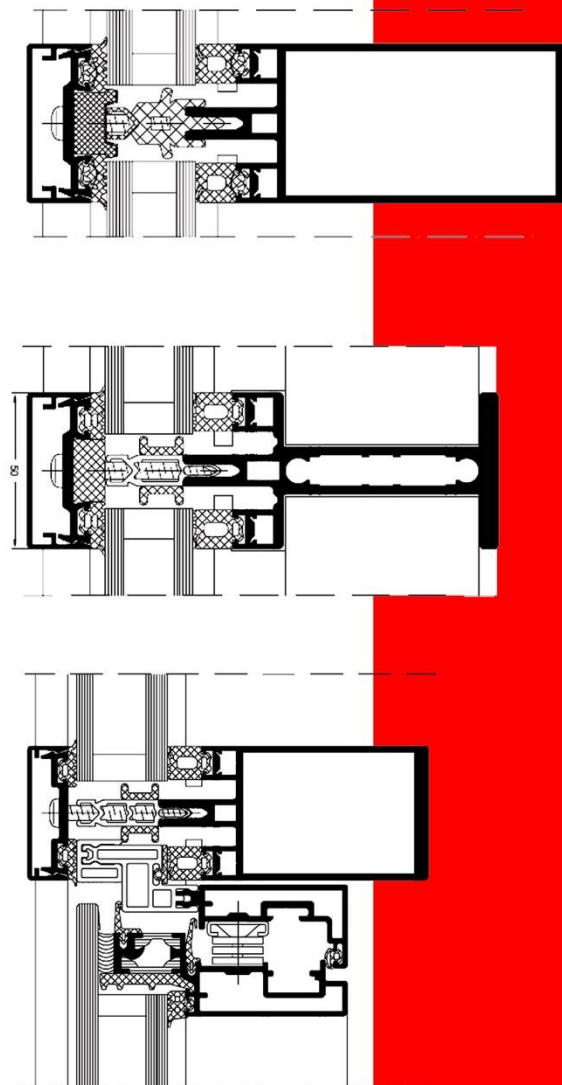




**Fig. 6:** Esploso assonometrico sistema montanti e traversi. Modello FW 50 AOS, dell'azienda tedesca Schüco. Rielaborazione grafica a cura dell'autore.



*7: Esploso assometrico sistema montanti e  
traversi. Modello FW 50 AOS, dell'azienda  
tedesca Schüco.  
Rielaborazione grafica a cura dell'autore.*



**Fig. 8:** *Tipologie di sistemi montanti e traversi dell'azienda tedesca Schüco.*  
Dall'alto: FW 50 AOS, FW 50 S, AWS 102.  
Rielaborazione grafica a cura dell'autore.

All'interno di queste categorie ci sono tutta un serie di prodotti, che si differiscono in termini di performance, i quali, comparati tra di loro, definiscono una prima matrice sulle potenzialità che questi raggiungono in base ad una determinata esigenza.

L'altro sistema da attenzionare, in merito alla morfologia è il sistema a cellule o ad elementi (unitised system), un sistema che minimizza gli interventi in cantiere, definito da un modulo prefabbricato in officina e installato in cantiere, già completo di tamponamenti.

Tale sistema rappresenta la naturale evoluzione del sistema più tradizionale a montanti e traversi affermandosi sul mercato internazionale come la tecnologia di facciata continua più diffusa. Anche in questo caso, pur rappresentando un sistema che si distacca dalla struttura, rimane comunque vincolato ad essa, infatti, la dimensione delle *cellule*, è strettamente legata a quella dell'interpiano dell'edificio, collegate ad esse con un processo analogo a quello del sistema montanti e traversi.

Tra i vantaggi, la modularità consente di assemblare la facciata per parti, analogamente attraverso il principio delle tassellazioni, in cui le cellule sono accoppiate tra di loro mediante una serie di innesti (maschio - femmina) sia in senso orizzontale che verticale. L'unione tra due cellule definisce una giunzione, *una fuga*, identifica lo spazio tra due elementi modulari, che in termini statici risponde alle sollecitazioni garantendo una maggiore versatilità nei movimenti rispetto a quello di un sistema a montanti e traversi. Un assemblaggio che avviene dal basso verso l'alto e prosegue di pari passo con l'elevazione delle strutture verticali ed orizzontali dell'edificio<sup>9</sup>. Da un punto di vista operativo, nella fase di montaggio, è necessario disporre di un certo *gioco* tra i giunti, in quanto, nella identificazione della misura più grande e di quella più piccola tra le parti, si determinano gli scostamenti ammissibili, come quelle tolleranze che validano la corretta interpolazione tra le parti; tolleranze che devono essere considerate già in fase di

---

<sup>9</sup> F. Giovine, *La cultura progettuale e la facciata*, op. cit.

progettazione, nella quale si distinguono tre diversi approcci: di tipo *lineare*, *piano* o *tridimensionale*.

Altra considerazione che bisogna fare in termini di vantaggio è il fatto che, essendo assemblate in officina, le cellule garantiscono una maggiore qualità performante degli elementi di tenuta, oltre al fatto che l'adozione di questo sistema riduce i costi di posa in opera in cantiere, nel quale si richiede comunque una possibilità di manovra molto ampia, oltre che la disponibilità di spazi per lo stoccaggio. La disponibilità dello spazio per lo stoccaggio viene richiesto anche per il sistema a montanti e traversi, con la differenza però, che in questo caso, la discretizzazione della superficie dell'involucro avviene per singole parti, pertanto non incisivo da un punto di vista di ingombro, cosa diversa per il sistema a cellule per cui tutto è in funzione al volume, essendo un prodotto già *confezionato*; tale volume, inoltre, potrebbe essere anche uno svantaggio per quanto riguarda la logistica del trasporto in cantiere, in quanto la verifica sulle dimensioni, tra l'altro vincolate in relazione al limite concesso per il trasporto su strada, è quel dato che bisogna considerare già in fase di progettazione.

In riferimento al panorama internazionale, è possibile fare, inoltre una distinzione per quanto riguarda le modalità di fissaggio con cui le cellule vengono fissate alla struttura portante, differenziando uno di tipo meccanico, realizzato mediante delle staffe, ed un'altra modalità caratterizzata, invece, dall'incollaggio delle cellule tramite silicone strutturale (*structural glazing*), con cui queste sono fissate alla struttura portante. Questo ultima modalità è conosciuta, soprattutto sul territorio americano, dove è stato sviluppato da produttori di materiali *ermetizzanti* già durante gli anni sessanta e settanta, con il termine SlenderWall; si tratta dell'utilizzo di un tipo di silicone molecolare con cui i pannelli di tamponamento sono fissati ad un'orditura metallica di supporto, nascondendola completamente o in parte. La performance data dall'utilizzo di questo sistema di fissaggio è riconducibile al fatto che riducendo la fuga tra i pannelli, si riducono i valori dati dalla trasmissione di calore, ad esempio, o in termini strutturali,

vengono ridotti i movimenti, poiché non riconducibili ai singoli elementi, ma è come se questi costituissero un unico grande pannello.

Aldilà della natura con cui si procede al fissaggio, esso sia meccanico o intenzionale, i requisiti prestazionali che questo processo deve soddisfare ha a che fare con quanto detto precedentemente in merito al concetto della tolleranza, distinta in tolleranza orizzontale e tolleranza verticale oltre che alla capacità portante nei confronti di diversi tipi di carichi, verticali e/o orizzontali, distinti a loro volta in: carico derivante dal peso proprio, carico prodotto dalla pressione del vento sulla facciata ed infine carico aggiuntivo causato dalla presenza di persone.

### **7.3 Innovazione di prodotto**

La discretizzazione geometrica, illustrata nel capitolo precedente, ha cercato di dare una prima risposta a quelli che sono i principi che regolano la composizione formale dell'involucro, alla quale bisogna includere l'analisi sulle caratteristiche fisiche dei tamponamenti per comprenderne e legittimare le riflessioni sugli aspetti tipologici che derivano da questo processo.

Definire compiutamente il processo di innovazione, esso sia di progetto o di prodotto, consente di decodificare i codici linguistici alla base del funzionamento tecnologico dell'involucro edilizio, che definito come un *insieme appropriatamente strutturato e integrato di materiali, componenti e sistemi*<sup>10</sup> raggiunge un proprio equilibrio affidandosi alle proprietà fisiche dei materiali per *fare* delle condizioni ambientali, in termini di efficienza energetica, una risorsa e non una forza con cui lottare<sup>11</sup>. Pertanto la natura dei tamponamenti, concorre al funzionamento dell'intero sistema trasformando, potenziando, riducendo o modulano i segnali termici, acustici e luminosi provenienti dall'esterno, oltre

---

<sup>10</sup> S. Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze, 2005

<sup>11</sup> M. Perriccioli, M. Rossi, *Thomas Herzog - reacting skin*, edizioni Kappa, 2005, Roma, p. 1.

che ottimizzare quelli che sono i fabbisogni interni, già descritti nel Capitolo 4 ai paragrafi 4.2.1. e 4.2.2.

In questo senso, il corretto funzionamento dell'involucro, nella sintesi del rapporto tra forma, materiali e sistema costruttivo, è strettamente legato alla individuazione e alla valutazione dei fattori fissi e variabili a cui è chiamato a rispondere, in termini di prestazioni, attraverso l'innesto e/o lo sfruttamento di specifici fenomeni fisici. Alcuni di questi fenomeni sono chiaramente conseguenti la contestualizzazione dell'intervento, mentre altri derivano da specifiche scelte progettuali di ordine architettonico<sup>12</sup>. Riconoscere i principi, o le criticità che possono insorgere dalla adozione di una o di più tipologie è il riferimento con cui accingersi *culturalmente* alla progettazione dell'involucro; una progettazione cosciente, complementare alla applicazione di tecnologie abilitanti il concetto più ampio di innovazione. In termini funzionali quindi, la soluzione dovrebbe essere determinata attraverso lo sviluppo di un sistema metodologico ben preciso, tenuto conto che il riferimento alle proprietà fisiche dei materiali con cui saranno realizzati i tamponamenti influisce sulle prestazioni dell'intero sistema, oltre a rappresentare quella variabile con cui valutare la coerenza tra quelli che possiamo definire fenomeni fisici indotti e fenomeni fisici prodotti.

In linea generale, queste proprietà si riconducono ad alcune categorie - *trasparenza, traslucenza, opacità, massa, accumulo, conduttanza, valore fonoisolante e resistenza al vapore* - che nella definizione della matrice metodologica, ed in funzione a quanto osservato in termini operativi nella cooperazione con le aziende partners della ricerca, in linea tra l'altro con gli obiettivi che questo lavoro di ricerca si pone, possono essere ricondotte soltanto a quattro, poiché l'interplanarità e l'integrazione dei materiali risponde in maniere molto più efficaci alle richieste di efficientamento energetico.

---

<sup>12</sup> G. Archetti, *Involucri evoluti a comportamento dinamico: tecnologie e modelli applicativi nel contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia Romagna*, tesi di dottorato, Università degli Studi di Ferrara, a. a. 2008 - 2009, tutor F. Conato, p. 332

Si differenziano quindi, da un punto di vista tipologico, involucro *trasparente/trasparente*, *trasparente/opaco*, *opaco/opaco*, *traslucido/opaco*; una differenziazione che non è legata solo ed esclusivamente a ragioni fisiche ma che tiene conto anche e soprattutto della complessità costruttiva e funzionale in termini compositivi.

In merito a quanto sviluppato nella prima parte di questa dissertazione, circa l'evoluzione dell'involucro edilizio da *barriera* a *filtro*, e validato il comportamento tecnologico in termini energetici, vengono descritte le tipologie sopracitate in funzione alle variabili, interni ed esterne, che influiscono sul progetto.

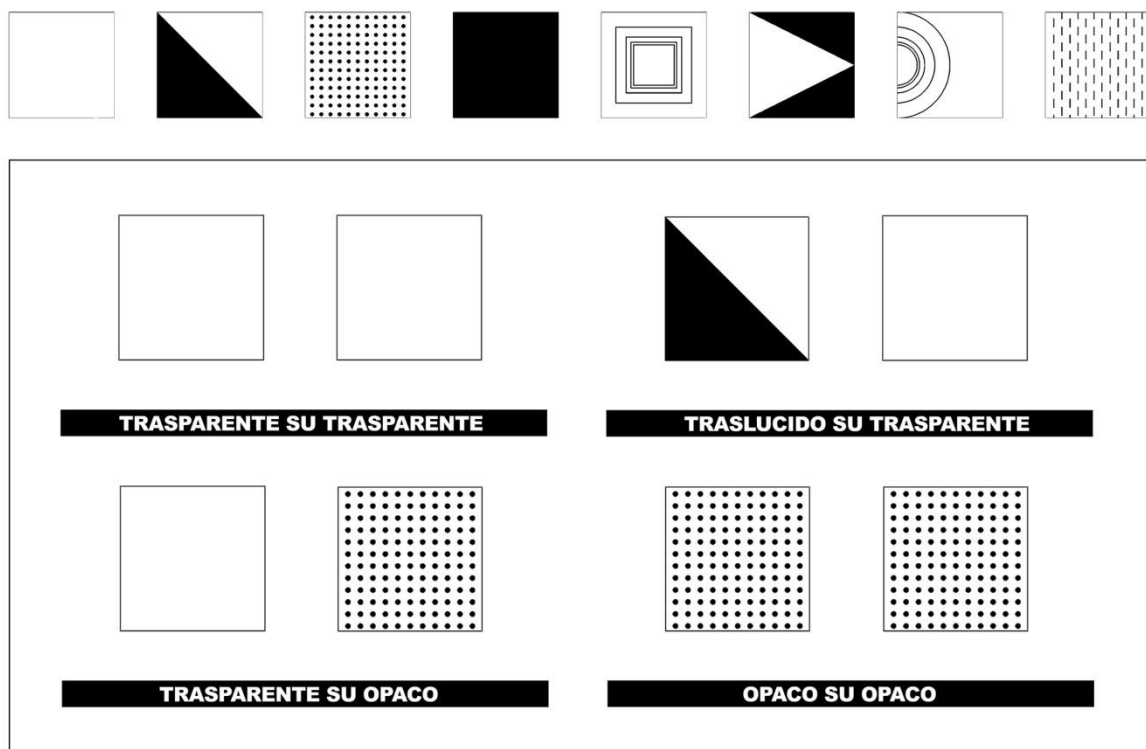
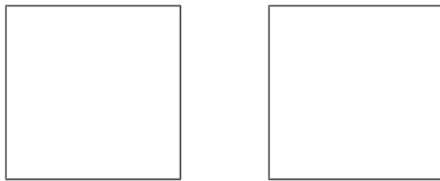


Fig. 9: Ideogrammi delle caratteristiche tipologiche. In alto da sx trasparenza, traslucenza, opacità, massa, accumulo, conduttanza, valore fonoisolante e resistenza al vapore. In basso combinazione tipologica. Disegni a cura dell'autore





#### TRASPARENTE SU TRASPARENTE

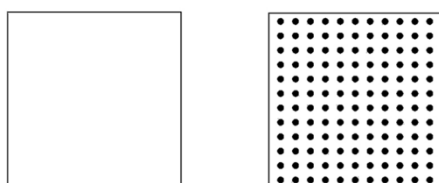
L'involucro *trasparente/trasparente*, la cui applicazione è molto diffusa sia ad uso residenziale, ma soprattutto nel settore terziario, si caratterizza nella predisposizione di una intercapedine, collocata tra le due facciate vetrate, adeguatamente ventilata. Le prestazioni

sono strettamente legate all'orientamento, ovvero alla collocazione delle lastre di vetro di entrambe le facciate rispetto al movimento che compie il sole durante la giornata e durante l'anno solare. Appare evidente quindi, che in fase di progettazione bisogna escludere categoricamente l'impiego di questa tipologia nella facciata esposta a nord. L'esposizione a nord di questa tipologia, non presuppone risvolti negativi in merito alle prestazioni, ma non raggiunge quella dinamicità propria del sistema costruttivo, se non ad esempio, attraverso l'impiego di impianti centralizzati per il movimento dell'aria. Oltre che alla esposizione, il riferimento geografico, in termini di latitudine, influisce sulla prestazione di questa tipologia. In contesto mediterraneo ad esempio, bisogna garantire un elevato isolamento termico, in grado di sopperire alle rigide condizioni invernali ed analogamente a non trattenere il calore recuperato dall'intercapedine nelle condizioni estive. In merito, si agisce controllando il comportamento fisico delle due lastre di vetro, differenziandone facciate isolanti e facciate semplici in posizione interna o esterna a seconda dei requisiti richiesti. Nella maggior parte dei casi, si verifica l'adozione di facciate isolanti nella sezione interna, così da potere definire delle prestazioni intermedie, valide sia nelle condizioni invernali che in quelle estive. Esternamente, invece, si opta per un unico strato vetrato, maggiormente permeabile, cosicché il calore immagazzinato all'interno dell'intercapedine riesce ad uscire più velocemente, ed al contrario, grazie al ridotto coefficiente di trasmissione termiche dello strato isolante, dell'altra lastra di vetro, non riesce a raggiungere i vani.

In fase di progettazione, il dato determinante per il funzionamento di questa tipologia di involucro è la dimensione dei dispositivi in ingresso dell'aria, tali da prevedere una

elevata compartimentazione dell'intercapedine, tanto più sono contenute queste dimensioni, maggiore è la possibilità di controllo delle prestazioni.

Tale controllo è chiaramente vincolato anche alla tipologia edilizia per cui si richiede l'applicazione del sistema. Ad esempio, gli edifici isolati sono quelli in cui l'applicazione soddisfa i requisiti funzionali poiché corrisponde una sola gestione funzionale dell'involucro, essendo applicato ad una unica unità immobiliare.



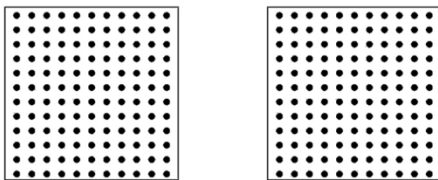
#### **TRASPARENTE SU OPACO**

L'intercapedine è anche quell'elemento che definisce il funzionamento nella tipologia *trasparente/opaco*, dove le partizioni opache si differenziano in funzione alle scelte architettoniche con cui definire la modularità della facciata. Un primo dato sulle prestazioni offerte da questa tipologia possono essere tratte dallo sviluppo altimetrico dell'intercapedine, funzionale l'innescò dell'effetto camino<sup>13</sup>, quel fenomeno per cui una massa di aria più calda e meno densa (quindi più leggera) sale verso l'alto lasciando, in basso, l'aria più fredda. Maggiore è la differenza di temperatura, più veloce sarà il movimento dei flussi. L'applicazione di questa tipologia presuppone notevoli vantaggi, soprattutto applicata in regioni climatiche per cui si richiede un maggiore controllo in merito al fenomeno fisico della trasmissione. Controllo governato dalle potenzialità che derivano dall'adozione di un tamponamento massivo.

Ci sono dei casi in cui, il tamponamento altro non è che la stessa struttura portante dell'organismo edilizio, in questi casi, riferendoci ai *monumenti venturiani*, la pelle esterna può essere sostenuta da un telaio indipendente rispetto al volume dell'edificio. Da questa considerazione, è possibile identificare la tipologia che prevede che le unità di ventilazione abbiano uno sviluppo orizzontale, la cui altezza corrisponde a quella di un

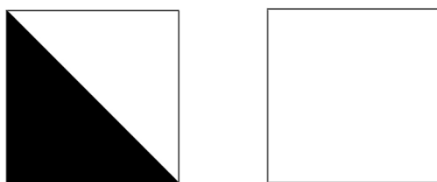
<sup>13</sup> F. Faragò (a cura di), *Manuale pratico di edilizia sostenibile*, Esselibri - Simone, Napoli, 2008

interpiano; tanti sono i numeri di piani, tanto è il numero delle intercapedini. Difficilmente vengono realizzati canali verticali a causa della complessità costruttiva che contraddistingue il sistema di composizione e compartimentazione degli spazi di intercapedine.



#### OPACO SU OPACO

La tipologia di involucro *opaco/opaco* è definito da una intercapedine d'aria a gestione controllata. La dimensione dell'intercapedine è funzionale alla corretta ventilazione tra le parti, indotta esclusivamente anche questa dall'effetto camino generato dal riscaldamento dello strato esterno. A differenza della tipologia trasparente/opaco, in questo caso, quando uno dei due strati coincide con la struttura portante si possono prevedere dei canali di ventilazione a sviluppo verticale, la cui altezza corrisponde al modulo di fissaggio dello strato esterno. Lo strato interno assolve alle prestazioni generali di chiusura, mentre lo stato esterno è quello su cui si riflettono i fenomeni che permettono di descrivere le prestazioni a cui risponde tale sistema in termini energetici. La versatilità data dall'adozione di tale sistema è il fatto che qualsiasi punto è penetrabile, senza alterare le peculiarità che detiene.



#### TRASLUCIDO SU TRASPARENTE

L'ultima definizione, riguarda la tipologia *traslucida/trasparente*, dove lo strato interno, trasparente, svolge quelle che sono le funzioni principali di chiusura, oltre che contraddistinguersi per le capacità relative all'isolamento termico ed al recupero del calore per irraggiamento. Al contrario invece, quando lo strato interno è opaco, si deve ottemperare alle dispersioni termiche, attraverso l'inserimento di appositi strati isolanti. Le partizioni

traslucide, oltre che influire sulle proprietà fisiche di riflessione o assorbimento della radiazione luminosa, sono garanzia di un'efficace interruzione del passaggio di calore per irraggiamento dall'edificio verso l'esterno. Partizioni che possono essere sia fisse che mobili, o *aggiuntive*, come ad esempio schermature solari, la cui versatilità nell'orientamento permette una maggiore efficacia in termini di modulazione della percentuale di energia riflessa o trasmessa allo strato interno. La natura dei materiali con cui si realizza lo strato esterno influisce sulle proprietà fisiche di riflessione o assorbimento della radiazione luminosa<sup>14</sup>.

In merito alla descrizione delle diverse tipologie di involucro, nell'eccezione di definirle come l'innovazione di quei prodotti che meglio rispondono a determinate esigenze e comportamenti energetici, si fa sempre più incisiva la necessità di definire un linguaggio metodologico che possa riferirsi a tutte le figure che concorrono alla progettazione e alla realizzazione di questi sistemi. Il concetto di innovazione, tecnologica in questo contesto, a monte delle applicazioni contemporanee, deve riferirsi a tutte le figure ed a tutti i processi che concorrono alla definizione dell'involucro edilizio come sistema responsive, sia culturale che energetico, nel concetto più ampio di *design and build*, dove progetto e costruzione sono appannaggio di una stessa intenzione.

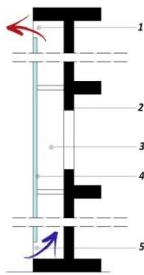
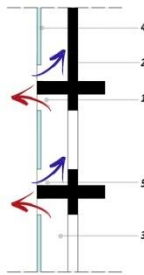
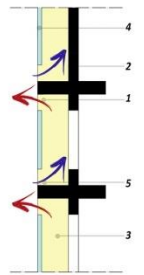
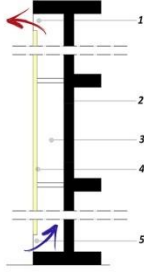
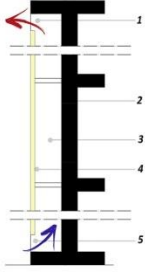
In questa ottica, le definizioni sopra descritte esulano dal definire o dall'essere considerate esclusive definizioni o trattazioni fisiche e prestazionali, definiscono invece, in un contesto generale riferito non al singolo prodotto, i fattori che influenzano il funzionamento dell'involucro; funzionamento che può essere descritto attraverso la definizione di un abaco, che tenuto conto delle diverse tipologie, così come delle condizioni descritte nei capitoli precedenti, definisce una panoramica sulle specifiche condizioni di applicabilità e sulle possibili criticità che possono insorgere.

---

<sup>14</sup> G. Archetti, *Involucri evoluti a comportamento dinamico: tecnologie e modelli applicativi nel contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia Romagna*- op. cit. pp. 335 - 364

TRASPARENTE SU TRASPARENTE		
<p><b>TUTTA SUPERFICIE</b></p> <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Griglia di ventilazione superiore;</li> <li>2. Facciata o semplice infisso con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro;</li> <li>4. Facciata con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>5. Griglia di ventilazione inferiore;</li> </ol>	<p><b>CANALI</b></p> <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Griglia di ventilazione superiore;</li> <li>2. Facciata o semplice infisso con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro;</li> <li>4. Facciata con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>5. Griglia di ventilazione inferiore;</li> </ol>	<p><b>SINGOLI ELEMENTI</b></p> <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Griglia di ventilazione superiore;</li> <li>2. Facciata o semplice infisso con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro;</li> <li>4. Facciata con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>5. Griglia di ventilazione inferiore;</li> </ol>
<p><b>Orientamento:</b> Sud, Est, Ovest</p> <p><b>Criticità:</b> Le principali criticità sono rilevabili nei sistemi di supporto della pelle esterna che presenta prestazioni di chiusura non necessariamente richieste; spesso è da definire, quindi, quando possibile la tecnologia di supporto e quella di fissaggio delle lastre della pelle esterna. Il rischio è quello di comporre involucri con pelli che svolgono entrambe le stesse funzioni doppiando così prestazioni non richieste. Inoltre l'applicazione dei dispositivi complementari, quali griglie di ventilazione, sistemi di oscuramento, ventilatori meccanici, deve essere progettata di volta in volta, in quanto non sono presenti sistemi integrati. La struttura di supporto della pelle esterna deve essere configurata attraverso l'applicazione di un aggiuntivo telaio di sostegno esterno all'edificio o di staffe fissate alla struttura portante del fabbricato.</p>	<p><b>Orientamento:</b> Sud, Est, Ovest, Nord (se con aria proveniente da ambienti a temperatura controllata e non dall'esterno)</p> <p><b>Criticità:</b> Le principali criticità sono relative a prestazioni di chiusura non richieste, ridondanti rispetto all'insieme dell'involucro. E' necessario inoltre definire, sin dalle prime fasi progettuali, soluzioni semplificate per i dispositivi complementari, come quelli di compartimentazione, sostituendoli attraverso lo sfruttamento di solai interplaneti.</p>	<p><b>Orientamento:</b> Sud, Est, Ovest</p> <p><b>Criticità:</b> Questa tipologia non presenta particolari criticità, forse però consigliabile una certa attenzione per la progettazione dei componenti che delimitano i singoli elementi per evitare sovraccarichi sulla struttura portante dell'edificio.</p>
TRASLUCIDO SU TRASPARENTE		
<p><b>SCHERMATURE VERICALI - ORIZZONTALI</b></p> <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Facciata con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>2. Elementi frangisole</li> </ol>	<p><b>RETI - TESUTI</b></p> <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Facciata con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>2. Reti o tessuti metallici;</li> </ol>	<p><b>SINGOLI ELEMENTI</b></p> <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>2. Aggetti in metallo o legno, frangisole con montaggio orizzontale o verticale, reti frangisole;</li> </ol>
<p><b>Orientamento:</b> Sud (facciate orizzontali), Est, Ovest (facciate verticali)</p> <p><b>Criticità:</b> Ad esclusione di sistemi integrati (dove la pelle esterna si fissa al telaio di facciata della pelle interna), la principale criticità è data dal sistema di supporto della pelle esterna rispetto alla pelle interna. La tecnologia di supporto della pelle esterna è quindi da definire attraverso la predisposizione di opportuni elementi di collegamento meccanico alla struttura portante dell'edificio (non alla pelle interna); in alternativa è possibile utilizzare un aggiuntivo telaio di sostegno esterno rispetto al volume dell'edificio (soluzione percorribile anche negli interventi di ristrutturazione edilizia dove la pelle interna trasparente e esistente)</p>	<p><b>Orientamento:</b> Sud, Est, Ovest, Nord</p> <p><b>Criticità:</b> Per le reti metalliche deve essere valutata la struttura di supporto indipendente, direttamente fissata alla struttura portante dell'edificio; in questo caso, gli elementi di fissaggio della rete metallica si agganciano direttamente al nuovo telaio da realizzare in cemento armato, acciaio o legno. Inoltre, attraverso opportuni elementi di supporto, la rete metallica si applica alla struttura portante dell'edificio. In questo caso, gli elementi di rinvio sono costituiti da profili metallici da realizzare appositamente per ogni intervento edilizio; a questi ultimi si fissano poi i profili di supporto della rete metallica.</p>	<p><b>Orientamento:</b> Sud, Est, Ovest</p> <p><b>Criticità:</b> In questa tipologia, mantenendo la facciata originaria può essere necessario aggiungere un sistema di supporto indipendente dalla pelle perpendicolare, se non è possibile prevedere un prolungamento dei solai esterni alla pelle interna.</p>

**Fig. 10:** Definizione delle criticità in funzione agli accostamenti tipologici. Rif. G. Archetti, *Involucri evoluti a comportamento dinamico: tecnologie e modelli applicativi nel contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia Romagna*, tesi di dottorato, Università degli Studi di Ferrara, a. a. 2008 - 2009, tutor F. Conato, p. 332 Rielaborazione grafica a cura dell'autore

TRASPARENTE SU OPACO			
TUTTA SUPERFICIE	CANALI	SINGOLI ELEMENTI	
 <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Griglia di ventilazione superiore;</li> <li>2. Pelle interna, muratura;</li> <li>3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro;</li> <li>4. Facciata con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>5. Griglia di ventilazione inferiore;</li> </ol>	 <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Griglia di ventilazione superiore;</li> <li>2. Pelle interna, leggera, opaca;</li> <li>3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro;</li> <li>4. Facciata con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>5. Griglia di ventilazione inferiore;</li> </ol>	 <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Griglia di ventilazione superiore;</li> <li>2. Facciata interna, leggera, opaca;</li> <li>3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro;</li> <li>4. Facciata con tamponamento traslucido o trasparente;</li> <li>5. Griglia di ventilazione inferiore;</li> </ol>	
<p><b>Orientamento:</b> Sud, Est, Ovest, Nord</p> <p><b>Criticità:</b> Le principali criticità sono rilevabili nella pelle esterna che presenta sistemi di supporto non integrati con la pelle interna. Nella maggior parte dei casi, infatti si tratta di sistemi costruttivi a secco, la cui struttura portante, integrata nel pacchetto murario, non è in grado di sorreggere altri carichi se non con adeguamenti dimensionali che porterebbero alla composizione di una pelle interna pesante.</p>	<p><b>Orientamento:</b> Sud, Est, Ovest, Nord</p> <p><b>Criticità:</b> Le principali criticità sono rilevabili nell'applicazione dei dispositivi complementari quali griglie di ventilazione, sistemi di oscuramento, ventilatori meccanici, che dovrebbero essere direttamente progettati come sistemi di facciata integrati. Inoltre i sistemi costruttivi a secco, che compongono a pelle interna, generalmente prevedono soluzioni strutturali complesse, integrando frontiere verticali ed orizzontali. Nel modificare la struttura in elevazione orizzontale per poter creare elementi di compartimentazione si potrebbero verificare criticità difficilmente risolvibili.</p>	<p><b>Orientamento:</b> Sud, Est, Ovest, Nord (se con aria proveniente da ambienti a temperatura controllata e non dall'esterno)</p> <p><b>Criticità:</b> Alle precedenti criticità si aggiunge, per questa tipologia di involucro, il problema di protezione dell'acqua, dell'aria e dell'eccessivo surriscaldamento dell'intercapedine per i materiali che compongono la pelle interna.</p>	
OPACO SU OPACO			
PELLE INTERNA LEGGERA		PELLE INTERNA PESANTE	
 <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Griglia di ventilazione superiore;</li> <li>2. Pelle interna, muratura;</li> <li>3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro;</li> <li>4. Sistema di facciata ventilata fissata alla pelle interna o al telaio dell'edificio;</li> <li>5. Griglia di ventilazione inferiore;</li> </ol>		 <p><b>Legenda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Griglia di ventilazione superiore;</li> <li>2. Pelle interna, muratura;</li> <li>3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro;</li> <li>4. Sistema di facciata ventilata fissata alla pelle interna o al telaio dell'edificio;</li> <li>5. Griglia di ventilazione inferiore;</li> </ol>	
<p><b>Orientamento:</b> Sud, Est, Ovest</p> <p><b>Criticità:</b> Per gli edifici esistenti la principale criticità è definita dalla necessità di coordinare i moduli di facciata con le aperture esistenti, definendo necessariamente dei pezzi speciali.</p>		<p><b>Orientamento:</b> Sud, Est, Ovest, Nord (se con aria proveniente da ambienti a temperatura controllata e non dall'esterno)</p> <p><b>Criticità:</b> La principale criticità può essere definita nella verifica della resistenza della pelle interna al peso della pelle esterna; in alternativa è necessario fissare la struttura portante della pelle esterna al telaio portante dell'edificio</p>	

**Fig. 11:** Definizione delle criticità in funzione agli accostamenti tipologici. Rif. G. Archetti, *Involucro evoluti a comportamento dinamico: tecnologie e modelli applicativi nel contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia Romagna*, tesi di dottorato, Università degli Studi di Ferrara, a. a. 2008 - 2009, tutor F. Conato, p. 332 Rielaborazione grafica a cura dell'autore



**Fig. 12:** Esempi di combinazioni tipologiche. In alto da sx in senso orario: Opaco/Opaco - Trasparente/Trasparente - Traslucido/Trasparente - Traparente/Opaco. Tali esempi saranno discussi nel capitolo successivo, descritti attraverso l' applicazione della matrice metodologica, combinazione del rapporto codice-progetto.







## **CONCLUSIONI**

Come più volte sottolineato, gli obiettivi alla base di questa dissertazione, coincidono con la discretizzazione razionale del processo di progettazione del sistema involucro, con l'intento di formulare delle considerazioni teorico-pratiche, che dimostrino come l'edificio, oggi, sia espressivamente raffigurato attraverso il principio saliente della sua composizione, intesa come l'assemblaggio delle parti che lo compongono.

Da questa riflessione, il lavoro si è strutturato seguendo due filoni. Il primo - Architettura ed Involucro - ha cercato di definire, analizzati da un punto di vista teorico, gli scenari che hanno segnato l'evoluzione concettuale di questi sistemi; il secondo - Tecnologia ed Involucro - da un punto di vista operativo e pratico, invece, ne definisce tutti quelli che sono gli aspetti legati al comportamento fisico e prestazionale. L'evoluzione concettuale, definita nella prima parte, altro non è che il riflesso di una rinnovata espressione tecnologica del progetto, *selettiva*, scaturita dell'innovativo processo di produzione che, pur riconoscendo al passato la matrice di fondo, ci proietta in una dimensione profondamente mutata.

Sulla base di queste considerazioni si articolano i risultati proposti da questa Ricerca, che nella fusione tra conoscenze teoriche e pratiche, portano alla definizione di una matrice (*metodologica*) come sintesi dei processi tecnologici-prestazionali e fisico-formali.

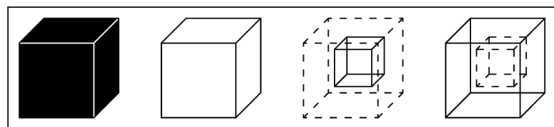
Appare necessario sottolineare che, in riferimento alle tecniche costruttive che definiscono gli aspetti funzionali dell'involucro, i concetti esposti in questa Tesi, non vogliono rappresentare l'esclusiva trattazione scientifica in materia, ma vogliono offrire piuttosto una panoramica utile a comprendere la grammatica che la matrice metodologica

tenta di definire, si rimanda pertanto ad eventuali studi o trattazioni prettamente settoriali per comprendere la natura fisica e tecnologica dell'involucro edilizio per specifiche indicazioni sulla progettazione fisico-tecnica; offrono, piuttosto la sintesi ai ragionamenti che hanno permesso di identificare i codici che costituiscono la matrice; la teoria dietro una immagine, con cui riconoscere e legittimare la valenza scientifica di un segno.

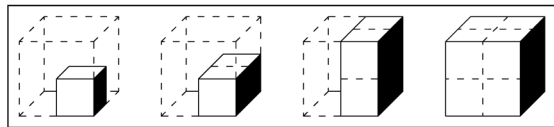
La matrice viene sviluppata sulla base della comprensione dei fenomeni che incidono sulla progettazione dell'involucro edilizio, definendo una metodologia di approccio, che dall'aderenza al Programma Operativo Nazionale - Ricerca e Innovazione 2014-2020 (Azione I.1 "Dottorati Innovativi con caratterizzazione Industriale") è stato possibile articolare in riferimento alla filiera produttiva.

L'assunto è stato quello di considerare il segno come l'espressione archetipica della comunicazione; qualcosa che assume valore nel momento in cui gli si attribuisce un significato. In questa ottica la metodologia descritta attraverso la matrice rappresenta il risultato del rapporto tra *significato* e *significante*, proprio del segno, dove il significato è il contenuto che si intende comunicare, a cui fanno capo, quindi, tutte le riflessioni e le definizioni trattate, ed il significante l'espressione fisica di questa trattazione, il suo segno, la sua icona.

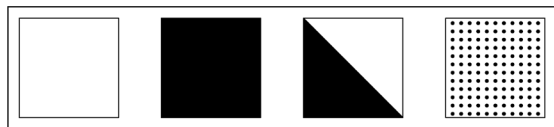
Di seguito si riportano alcune applicazioni sulla metodologia di lettura determinata dall'adozione della matrice, considerati i quattro modelli tipologici descritti in questo lavoro: Trasparente/Trasparente, Trasparente/Opaco, Opaco/Opaco e Traslucido/Trasparente.



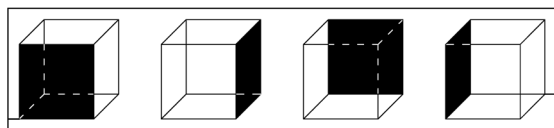
*Caratteristiche energetico-prestazionali*



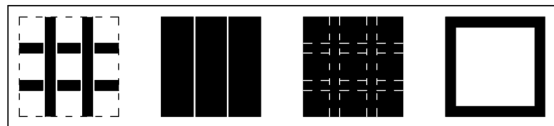
*Tipologie di intervento*



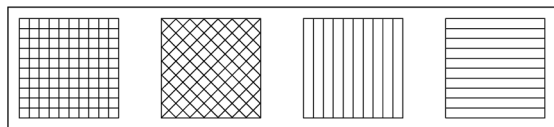
*Proprietà fisiche*



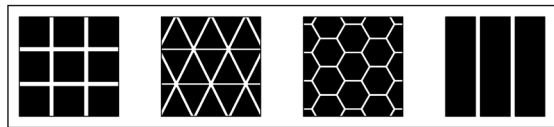
*Orientamento*



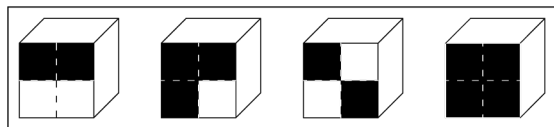
*Aspetti morfologici*



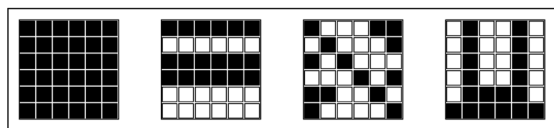
*Caratteristiche strutturali*



*Aspetti formali*



*Dinamiche di controllo*

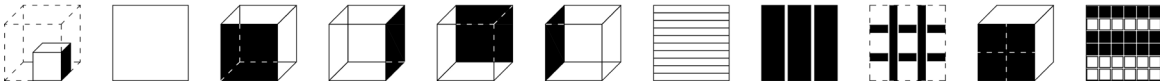


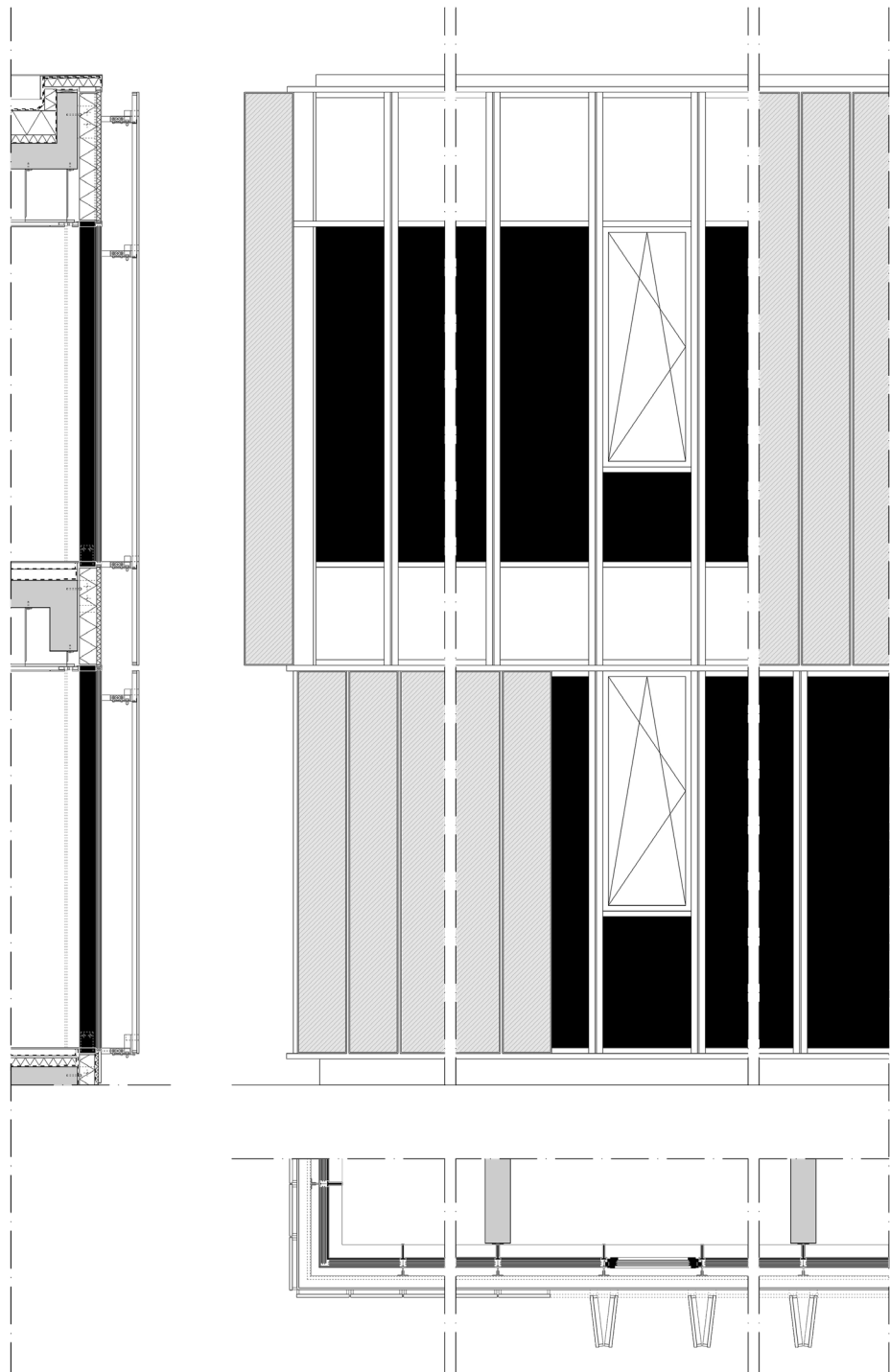
*Estetica*



**Institute for Transuranium Elements**

MGF Architects GmbH  
*Eggenstein-Leopoldshafen (Germania), 2013*





**Fig. 1:** Institute for Transuranium Elements, MGF Architects GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen (Germania), 2013. *Pianta, prospetto e sezione.* Analisi dei sistemi di involucro: *struttura.* Font: baukobox.de. Ridisegno a cura dell'autore

## Facciata montanti e traversi

I sistemi di facciata realizzati con profili portanti sono chiamati costruzioni a montanti e travi . Con questi sistemi, assegnabili alle cosiddette facciate continue , si possono realizzare aperture di grande formato o addirittura intere superfici di facciata. (Facciate interamente in vetro)

I sistemi di montanti e binari vengono solitamente utilizzati quando si realizzano grandi altezze di installazione e larghezze di campo o strutture del tetto. Come facciata continua, queste costruzioni sono particolarmente economiche quando si devono vetrare continuamente più piani.

Dimensioni del profilo variabili e materiali diversi (legno, acciaio o alluminio) dai sistemi modulari dei produttori consentono di adattare la costruzione a quasi tutte le situazioni di installazione.

Grazie al design modulare, gli elementi possono essere prefabbricati in fabbrica e assemblati in loco. È importante esaminare se nella fase di progettazione preliminare verrà utilizzata una facciata a montanti e traversi o una facciata unitaria.

## Finestre in alluminio

Finestre in alluminio

Grazie al suo peso ridotto e alla buona resistenza agli agenti atmosferici , l'alluminio viene utilizzato nella costruzione, soprattutto nelle aree esterne esposte alle intemperie.

L'alluminio è molto leggero e stabile ed è quindi ideale per la costruzione di telai di finestre.

A causa dell'elevata conduttività termica del materiale, i profili interno ed esterno devono essere prodotti e installati separatamente l'uno dall'altro. Inoltre, le prestazioni di isolamento delle finestre in alluminio sono aumentate dalle camere d'aria all'interno del telaio.

## Isolante

Come si fa riferimento ai materiali di isolamento termico , che hanno una bassa densità apparente e conduttività termica e vengono utilizzati per isolare gli edifici. Come materiali isolanti vengono utilizzati lana minerale, polistirolo, schiuma rigida PUR, pannelli in fibra di legno, lana di canapa, vetro espanso o perlite. Non tutti i materiali di isolamento termico sono adatti per ogni applicazione. Nel caso di isolamento esterno, i materiali non devono assorbire acqua, ad esempio, altrimenti l'effetto si riduce. I cosiddetti sistemi compositi di isolamento termico sono offerti soprattutto per l'isolamento delle facciate.

## Protezione solare

Si distingue tra protezione solare e protezione dall'abbagliamento. Una protezione antiriflesso è attaccata dietro la facciata, all'interno dell'edificio. Una protezione solare è montata all'esterno e riduce la luce che passa attraverso le aperture nella facciata della radiazione solare.

Una buona protezione solare garantisce un clima confortevole durante tutto l'anno. Ciò può ridurre i costi operativi e il consumo di energia di raffreddamento nelle stanze con aria condizionata.

## Sottostruttura

Gli elementi pieghevoli sono stati fissati alle traverse della facciata a montanti e traversi mediante 4 console. (2 per piano) Un elemento è montato in modo girevole, ma fissato alla sottostruttura. L'altro elemento può scorrere lungo i profili trasversali, il che significa che le ante possono essere aperte fino a 90 °.





**Fig. 2:** Institute for Transuranium Elements, MGF Architects GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen (Germania), 2013. *Pianta, prospetto e sezione.* Analisi dei sistemi di involucro: *finestre.* Font: baukobox.de. Ridisegno a cura dell'autore



## Facciata montanti e traversi

I sistemi di facciata realizzati con profili portanti sono chiamati costruzioni a montanti e travi . Con questi sistemi, assegnabili alle cosiddette facciate continue , si possono realizzare aperture di grande formato o addirittura intere superfici di facciata. (Facciate interamente in vetro)

I sistemi di montanti e binari vengono solitamente utilizzati quando si realizzano grandi altezze di installazione e larghezze di campo o strutture del tetto. Come facciata continua, queste costruzioni sono particolarmente economiche quando si devono vetrare continuamente più piani.

Dimensioni del profilo variabili e materiali diversi (legno, acciaio o alluminio) dai sistemi modulari dei produttori consentono di adattare la costruzione a quasi tutte le situazioni di installazione.

Grazie al design modulare, gli elementi possono essere prefabbricati in fabbrica e assemblati in loco. È importante esaminare se nella fase di progettazione preliminare verrà utilizzata una facciata a montanti e traversi o una facciata unitaria.

## Finestre in alluminio

### Finestre in alluminio

Grazie al suo peso ridotto e alla buona resistenza agli agenti atmosferici , l'alluminio viene utilizzato nella costruzione, soprattutto nelle aree esterne esposte alle intemperie.

L'alluminio è molto leggero e stabile ed è quindi ideale per la costruzione di telai di finestre.

A causa dell'elevata conduttività termica del materiale, i profili interno ed esterno devono essere prodotti e installati separatamente l'uno dall'altro. Inoltre, le prestazioni di isolamento delle finestre in alluminio sono aumentate dalle camere d'aria all'interno del telaio.

## Isolante

Come si fa riferimento ai materiali di isolamento termico , che hanno una bassa densità apparente e conduttività termica e vengono utilizzati per isolare gli edifici. Come materiali isolanti vengono utilizzati lana minerale, polistirolo, schiuma rigida PUR, pannelli in fibra di legno, lana di canapa, vetro espanso o perlite. Non tutti i materiali di isolamento termico sono adatti per ogni applicazione. Nel caso di isolamento esterno, i materiali non devono assorbire acqua, ad esempio, altrimenti l'effetto si riduce. I cosiddetti sistemi compositi di isolamento termico sono offerti soprattutto per l'isolamento delle facciate.

## Protezione solare

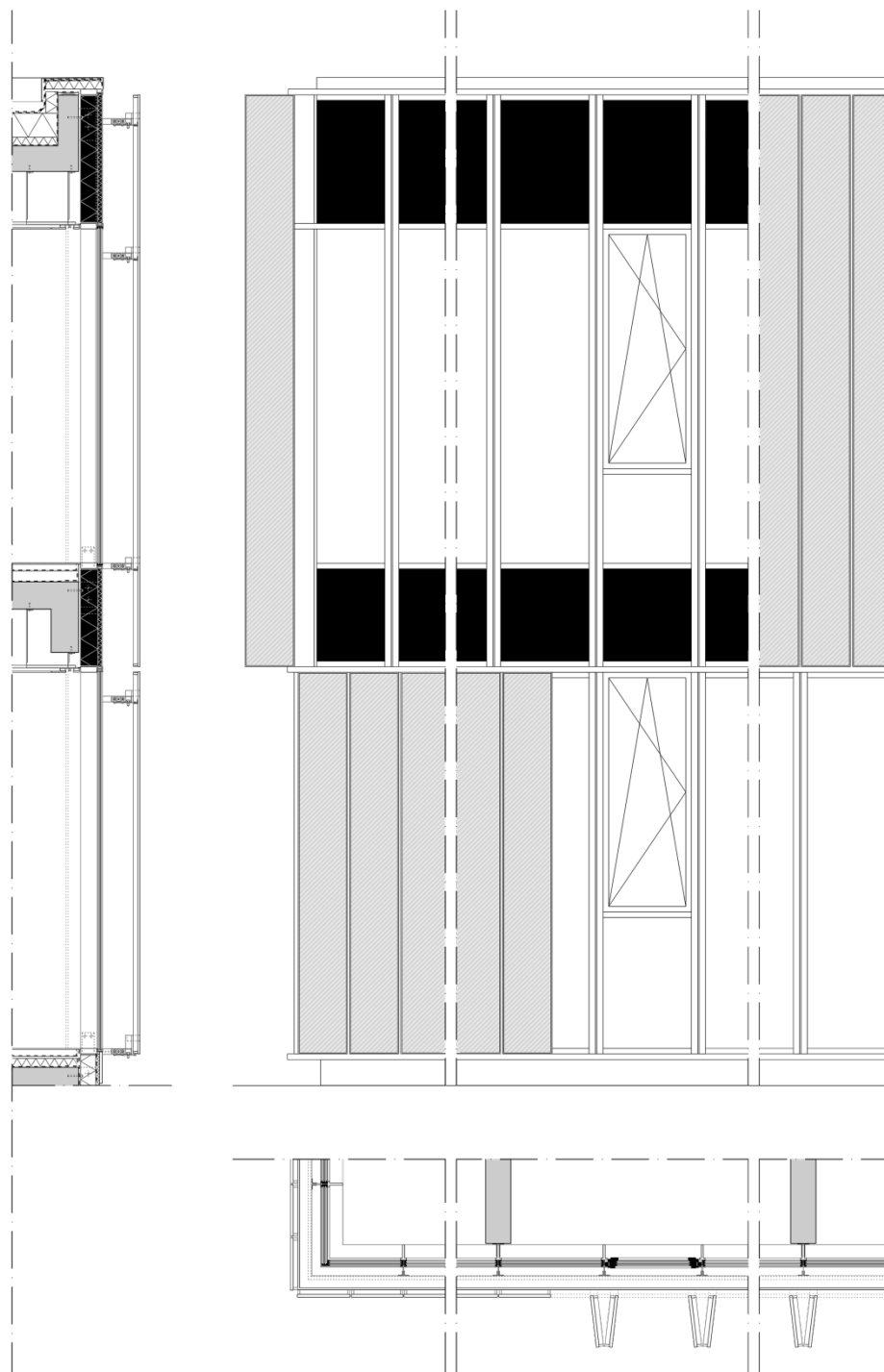
Si distingue tra protezione solare e protezione dall'abbagliamento. Una protezione antiriflesso è attaccata dietro la facciata, all'interno dell'edificio. Una protezione solare è montata all'esterno e riduce la luce che passa attraverso le aperture nella facciata della radiazione solare.

Una buona protezione solare garantisce un clima confortevole durante tutto l'anno. Ciò può ridurre i costi operativi e il consumo di energia di raffreddamento nelle stanze con aria condizionata.

## Sottostruttura

Gli elementi pieghevoli sono stati fissati alle traverse della facciata a montanti e traversi mediante 4 console. (2 per piano) Un elemento è montato in modo girevole, ma fissato alla sottostruttura. L'altro elemento può scorrere lungo i profili trasversali, il che significa che le ante possono essere aperte fino a 90 °.





**Fig. 3:** Institute for Transuranium Elements, MGF Architects GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen (Germania), 2013. *Pianta, prospetto e sezione.* Analisi dei sistemi di involucro: *isolante.* Font: baukobox.de. Ridisegno a cura dell'autore

## Facciata montanti e traversi

I sistemi di facciata realizzati con profili portanti sono chiamati costruzioni a montanti e travi . Con questi sistemi, assegnabili alle cosiddette facciate continue , si possono realizzare aperture di grande formato o addirittura intere superfici di facciata. (Facciate interamente in vetro)

I sistemi di montanti e binari vengono solitamente utilizzati quando si realizzano grandi altezze di installazione e larghezze di campo o strutture del tetto. Come facciata continua, queste costruzioni sono particolarmente economiche quando si devono vetrare continuamente più piani.

Dimensioni del profilo variabili e materiali diversi (legno, acciaio o alluminio) dai sistemi modulari dei produttori consentono di adattare la costruzione a quasi tutte le situazioni di installazione.

Grazie al design modulare, gli elementi possono essere prefabbricati in fabbrica e assemblati in loco. È importante esaminare se nella fase di progettazione preliminare verrà utilizzata una facciata a montanti e traversi o una facciata unitaria.

## Finestre in alluminio

Finestre in alluminio

Grazie al suo peso ridotto e alla buona resistenza agli agenti atmosferici , l'alluminio viene utilizzato nella costruzione, soprattutto nelle aree esterne esposte alle intemperie.

L'alluminio è molto leggero e stabile ed è quindi ideale per la costruzione di telai di finestre.

A causa dell'elevata conduttività termica del materiale, i profili interno ed esterno devono essere prodotti e installati separatamente l'uno dall'altro. Inoltre, le prestazioni di isolamento delle finestre in alluminio sono aumentate dalle camere d'aria all'interno del telaio.

## Isolante

Come si fa riferimento ai materiali di isolamento termico , che hanno una bassa densità apparente e conduttività termica e vengono utilizzati per isolare gli edifici. Come materiali isolanti vengono utilizzati lana minerale, polistirolo, schiuma rigida PUR, pannelli in fibra di legno, lana di canapa, vetro espanso o perlite. Non tutti i materiali di isolamento termico sono adatti per ogni applicazione. Nel caso di isolamento esterno, i materiali non devono assorbire acqua, ad esempio, altrimenti l'effetto si riduce. I cosiddetti sistemi composti di isolamento termico sono offerti soprattutto per l'isolamento delle facciate.

## Protezione solare

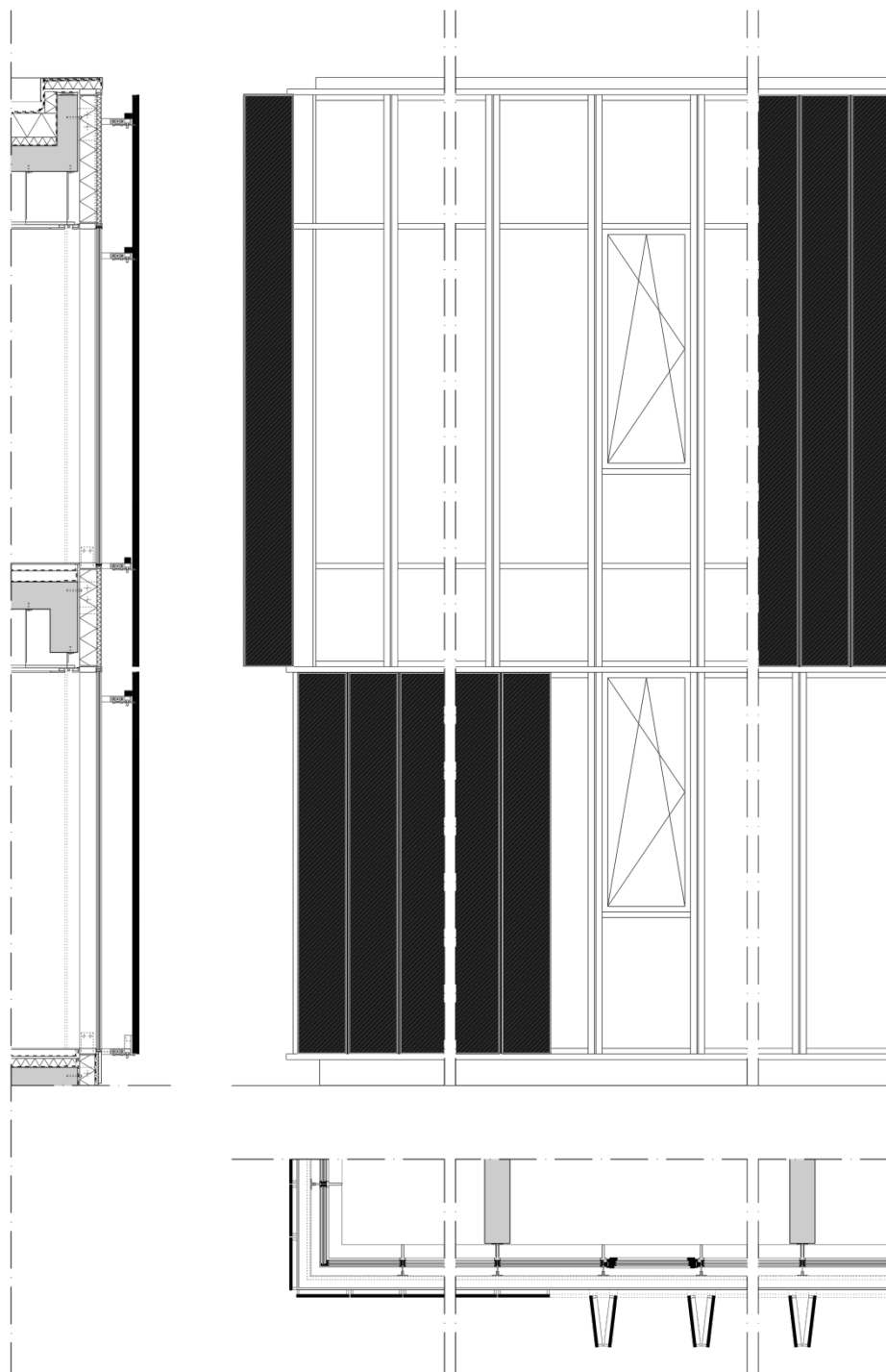
Si distingue tra protezione solare e protezione dall'abbagliamento. Una protezione antiriflesso è attaccata dietro la facciata, all'interno dell'edificio. Una protezione solare è montata all'esterno e riduce la luce che passa attraverso le aperture nella facciata della radiazione solare.

Una buona protezione solare garantisce un clima confortevole durante tutto l'anno. Ciò può ridurre i costi operativi e il consumo di energia di raffreddamento nelle stanze con aria condizionata.

## Sottostruttura

Gli elementi pieghevoli sono stati fissati alle traverse della facciata a montanti e traversi mediante 4 consolle. (2 per piano) Un elemento è montato in modo girevole, ma fissato alla sottostruttura. L'altro elemento può scorrere lungo i profili trasversali, il che significa che le ante possono essere aperte fino a 90 °.





**Fig. 3:** Institute for Transuranium Elements, MGF Architects GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen (Germania), 2013. *Pianta, prospetto e sezione.* Analisi dei sistemi di involucro: *schermature.* Font: baukobox.de. Ridisegno a cura dell'autore

## Facciata montanti e traversi

I sistemi di facciata realizzati con profili portanti sono chiamati costruzioni a montanti e travi . Con questi sistemi, assegnabili alle cosiddette facciate continue , si possono realizzare aperture di grande formato o addirittura intere superfici di facciata. (Facciate interamente in vetro)

I sistemi di montanti e binari vengono solitamente utilizzati quando si realizzano grandi altezze di installazione e larghezze di campo o strutture del tetto. Come facciata continua, queste costruzioni sono particolarmente economiche quando si devono vetrare continuamente più piani.

Dimensioni del profilo variabili e materiali diversi (legno, acciaio o alluminio) dai sistemi modulari dei produttori consentono di adattare la costruzione a quasi tutte le situazioni di installazione.

Grazie al design modulare, gli elementi possono essere prefabbricati in fabbrica e assemblati in loco. È importante esaminare se nella fase di progettazione preliminare verrà utilizzata una facciata a montanti e traversi o una facciata unitaria.

## Finestre in alluminio

Finestre in alluminio

Grazie al suo peso ridotto e alla buona resistenza agli agenti atmosferici , l'alluminio viene utilizzato nella costruzione, soprattutto nelle aree esterne esposte alle intemperie.

L'alluminio è molto leggero e stabile ed è quindi ideale per la costruzione di telai di finestre.

A causa dell'elevata conduttività termica del materiale, i profili interno ed esterno devono essere prodotti e installati separatamente l'uno dall'altro. Inoltre, le prestazioni di isolamento delle finestre in alluminio sono aumentate dalle camere d'aria all'interno del telaio.

## Isolante

Come si fa riferimento ai materiali di isolamento termico , che hanno una bassa densità apparente e conduttività termica e vengono utilizzati per isolare gli edifici. Come materiali isolanti vengono utilizzati lana minerale, polistirolo, schiuma rigida PUR, pannelli in fibra di legno, lana di canapa, vetro espanso o perlite. Non tutti i materiali di isolamento termico sono adatti per ogni applicazione. Nel caso di isolamento esterno, i materiali non devono assorbire acqua, ad esempio, altrimenti l'effetto si riduce. I cosiddetti sistemi compositi di isolamento termico sono offerti soprattutto per l'isolamento delle facciate.

## Protezione solare

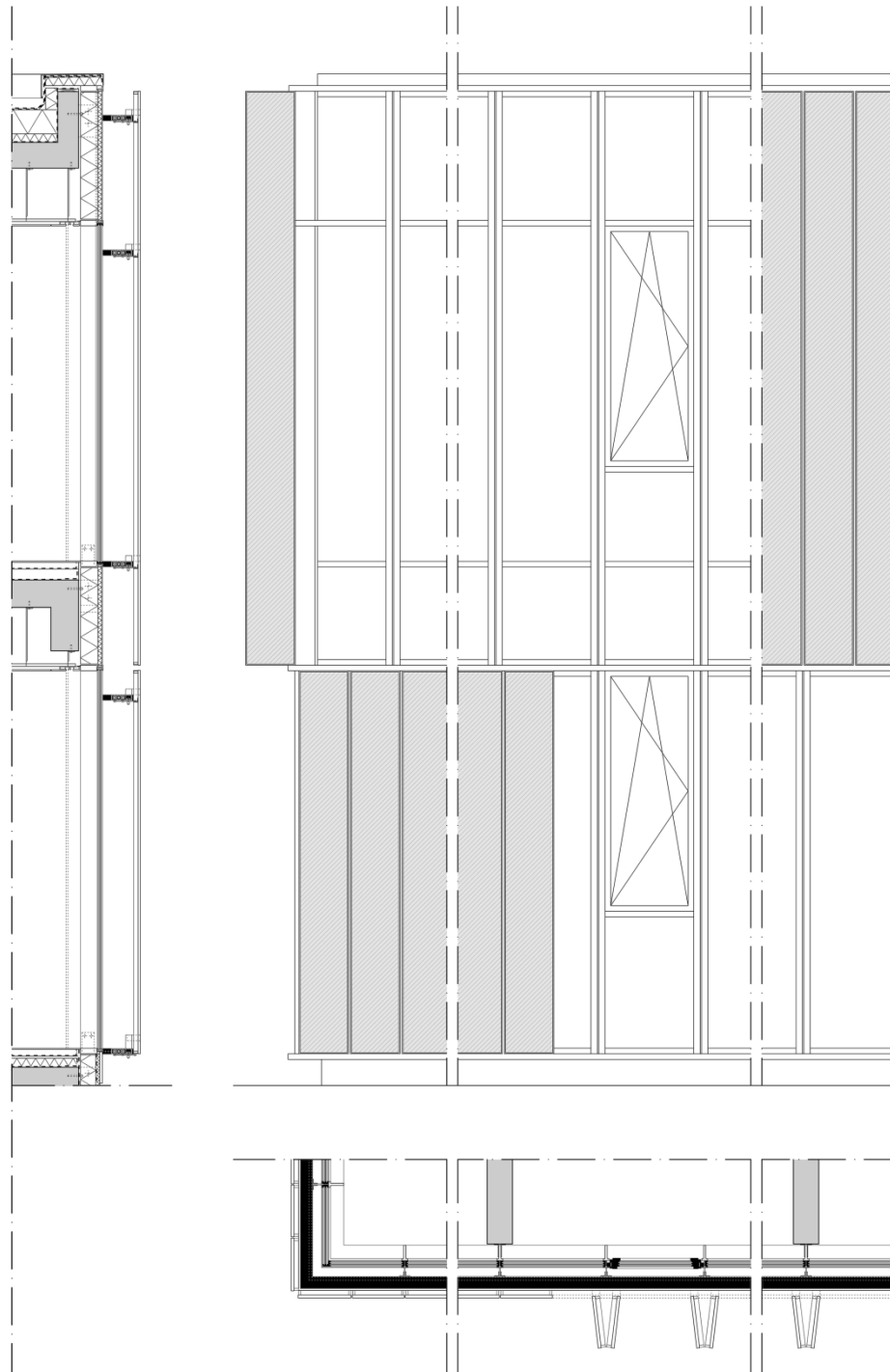
Si distingue tra protezione solare e protezione dall'abbagliamento. Una protezione antiriflesso è attaccata dietro la facciata, all'interno dell'edificio. Una protezione solare è montata all'esterno e riduce la luce che passa attraverso le aperture nella facciata della radiazione solare.

Una buona protezione solare garantisce un clima confortevole durante tutto l'anno. Ciò può ridurre i costi operativi e il consumo di energia di raffreddamento nelle stanze con aria condizionata.

## Sottostruttura

Gli elementi pieghevoli sono stati fissati alle traverse della facciata a montanti e traversi mediante 4 console. (2 per piano) Un elemento è montato in modo girevole, ma fissato alla sottostruttura. L'altro elemento può scorrere lungo i profili trasversali, il che significa che le ante possono essere aperte fino a 90 °.





**Fig. 4:** Institute for Transuranium Elements, MGF Architects GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen (Germania), 2013. *Pianta, prospetto e sezione.* Analisi dei sistemi di involucro: *sottostruttura.* Font: baukobox.de. Ridisegno a cura dell'autore

## Facciata montanti e traversi

I sistemi di facciata realizzati con profili portanti sono chiamati costruzioni a montanti e travi . Con questi sistemi, assegnabili alle cosiddette facciate continue , si possono realizzare aperture di grande formato o addirittura intere superfici di facciata. (Facciate interamente in vetro)

I sistemi di montanti e binari vengono solitamente utilizzati quando si realizzano grandi altezze di installazione e larghezze di campo o strutture del tetto. Come facciata continua, queste costruzioni sono particolarmente economiche quando si devono vetrare continuamente più piani.

Dimensioni del profilo variabili e materiali diversi (legno, acciaio o alluminio) dai sistemi modulari dei produttori consentono di adattare la costruzione a quasi tutte le situazioni di installazione.

Grazie al design modulare, gli elementi possono essere prefabbricati in fabbrica e assemblati in loco. È importante esaminare se nella fase di progettazione preliminare verrà utilizzata una facciata a montanti e traversi o una facciata unitaria.

## Finestre in alluminio

Finestre in alluminio

Grazie al suo peso ridotto e alla buona resistenza agli agenti atmosferici , l'alluminio viene utilizzato nella costruzione, soprattutto nelle aree esterne esposte alle intemperie.

L'alluminio è molto leggero e stabile ed è quindi ideale per la costruzione di telai di finestre.

A causa dell'elevata conduttività termica del materiale, i profili interno ed esterno devono essere prodotti e installati separatamente l'uno dall'altro. Inoltre, le prestazioni di isolamento delle finestre in alluminio sono aumentate dalle camere d'aria all'interno del telaio.

## Isolante

Come si fa riferimento ai materiali di isolamento termico , che hanno una bassa densità apparente e conduttività termica e vengono utilizzati per isolare gli edifici. Come materiali isolanti vengono utilizzati lana minerale, polistirolo, schiuma rigida PUR, pannelli in fibra di legno, lana di canapa, vetro espanso o perlite. Non tutti i materiali di isolamento termico sono adatti per ogni applicazione. Nel caso di isolamento esterno, i materiali non devono assorbire acqua, ad esempio, altrimenti l'effetto si riduce. I cosiddetti sistemi compositi di isolamento termico sono offerti soprattutto per l'isolamento delle facciate.

## Protezione solare

Si distingue tra protezione solare e protezione dall'abbagliamento. Una protezione antiriflesso è attaccata dietro la facciata, all'interno dell'edificio. Una protezione solare è montata all'esterno e riduce la luce che passa attraverso le aperture nella facciata della radiazione solare.

Una buona protezione solare garantisce un clima confortevole durante tutto l'anno. Ciò può ridurre i costi operativi e il consumo di energia di raffreddamento nelle stanze con aria condizionata.

## Sottostruttura

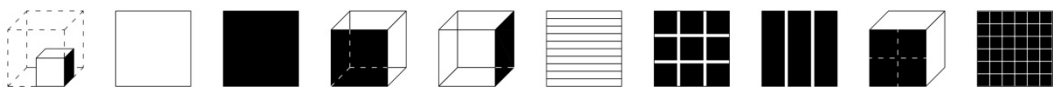
Gli elementi pieghevoli sono stati fissati alle traverse della facciata a montanti e traversi mediante 4 console. (2 per piano) Un elemento è montato in modo girevole, ma fissato alla sottostruttura. L'altro elemento può scorrere lungo i profili trasversali, il che significa che le ante possono essere aperte fino a 90 °.



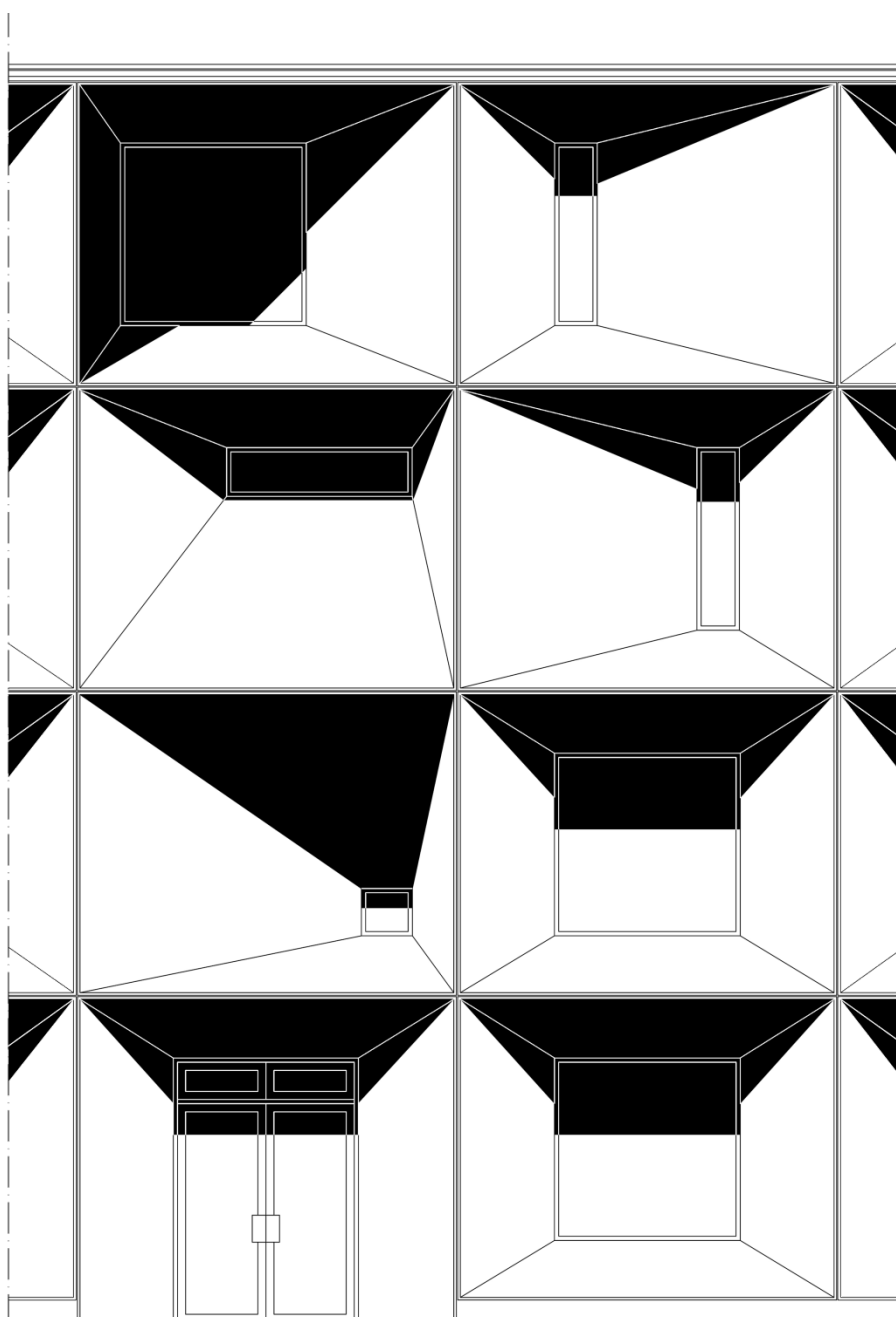


**Burntwood School**

Allford Hall Monaghan Morris Ltd Architects  
*London (Inghilterra), 2014*

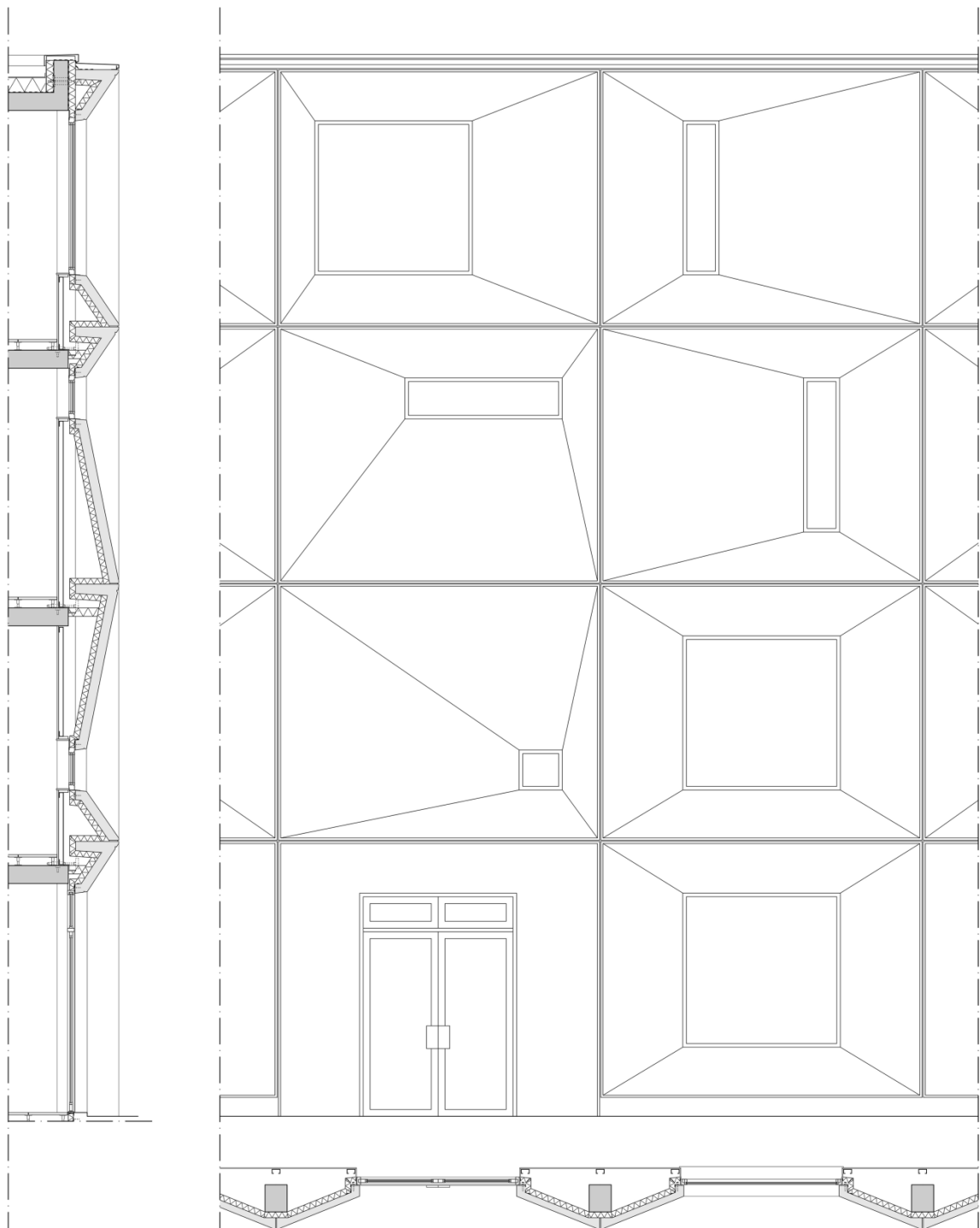






**Fig. 5:** Burntwood school,  
Allford Hall  
MonaghanMorris Ltd  
Architects, London  
(Inghilterra), 2014.  
*Ridisegno facciata.*  
*Font:* baukobox.de.  
Ridisegno a cura dell'autore

**Fig. 6:** (pagina successiva)  
*Pianta prospetti e sezione.*  
Analisi dei sistemi che  
costituiscono l'involucro.  
*Font:* baukobox.de.  
Ridisegno a cura dell'autore



## Facciata in calcestruzzo prefabbricata

Come parte prefabbricata, le pareti in cemento armato hanno un alto livello di precisione con tempi di installazione brevi. Poiché il calcestruzzo è costituito da componenti naturali ed è estremamente resistente con un basso consumo di materiale, anche le pareti in cemento armato sono considerate costruzioni sostenibili.

Non solo nell'edilizia commerciale e industriale, ma anche nell'edilizia residenziale, la costruzione con parti prefabbricate o semilavorate sta diventando sempre più importante. Forme e dimensioni ripetitive possono portare a risparmi grazie alla produzione in serie nell'impianto di prefabbricati. Una pianificazione precoce e dettagliata è essenziale per la prefabbricazione in fabbrica, poiché a volte le modifiche non sono possibili o possono essere eseguite solo con grande sforzo dopo il processo di betonaggio.

Vantaggi fondamentali delle pareti esterne realizzate con parti prefabbricate in cemento armato:

- Materiale da costruzione relativamente economico;
- Elevata capacità di carico;
- Buon isolamento acustico e protezione antincendio;
- Elevata capacità di accumulo di calore;
- Vantaggi economici speciali grazie alla produzione in serie;
- Tempi di costruzione brevi grazie all'elevato grado di prefabbricazione;
- Elevata precisione dimensionale;
- Elevata qualità della superficie per calcestruzzo a vista, lavori di intonacatura possono essere omessi.

## Finestre in alluminio

Finestre in alluminio

Grazie al suo peso ridotto e alla buona resistenza agli agenti atmosferici, l'alluminio viene utilizzato nella costruzione, soprattutto nelle aree esterne esposte alle intemperie.

L'alluminio è molto leggero e stabile ed è quindi ideale per la costruzione di telai di finestre.

A causa dell'elevata conduttività termica del materiale, i profili interno ed esterno devono essere prodotti e installati separatamente l'uno dall'altro. Inoltre, le prestazioni di isolamento delle finestre in alluminio sono aumentate dalle camere d'aria all'interno del telaio.

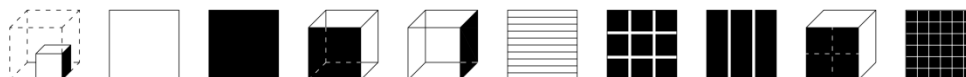
## Isolante

Il polistirene espanso (EPS) è un materiale isolante bianco organico poco costoso con ottimi valori di isolamento che è ampiamente utilizzato nella costruzione. Il polistirolo è realizzato in stirene. Questo è ottenuto dal petrolio greggio e soffiato in polistirolo con propellenti. Poiché il polistirene espanso (EPS) ha più pori aperti del polistirene estruso (XPS), assorbe più acqua e può essere utilizzato solo come isolamento per tetti piani sotto l'impermeabilizzazione. L'EPS può essere modificato molto facilmente in loco.

## Protezione solare

Si distingue tra protezione solare e protezione dall'abbagliamento. A differenza della protezione solare, la protezione antiriflesso è solitamente applicata alla stanza e serve a ridurre al minimo i fastidiosi riflessi e l'abbagliamento all'interno.

Possibili versioni antiabbagliamento sono tende a rullo in tessuto o tende pieghevoli, veneziane o veneziane esterne con elementi mobili.





**Katholische Propsteikirche St. Trinitatis**

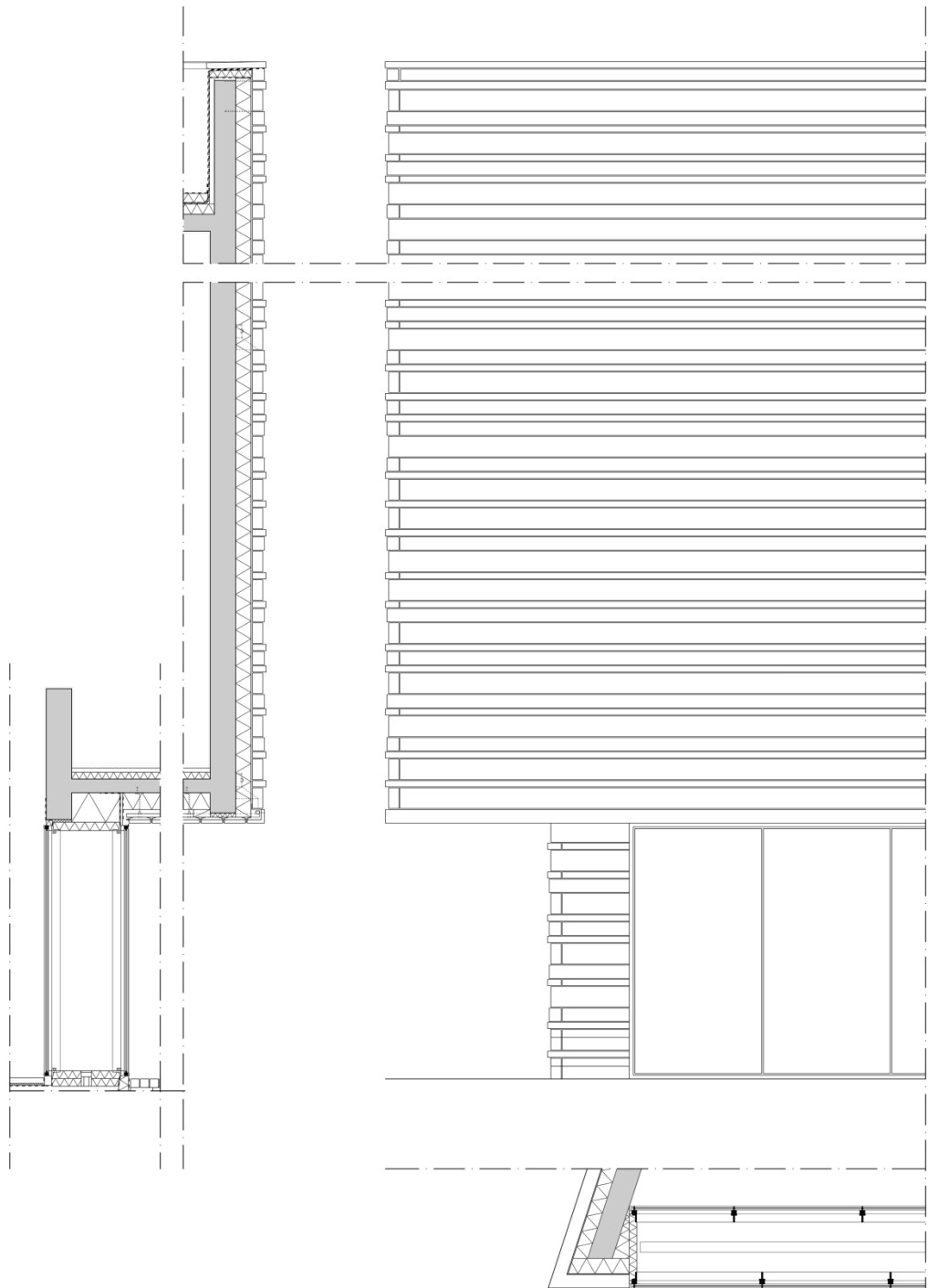
Schulz e Schulz Architects GmbH  
*Lipsia (Germania), 2015*





**Fig. 7:** Katholische Propsteikirche St. Trinitatis, Schulz e Schulz Architects GmbH, Lipsia (Germania), 2015. *Ridisegno facciata.*  
*Font:* baukobox.de.  
 Ridisegno a cura dell'autore

**Fig. 8:** (pagina successiva) *Pianta prospetti e sezione.*  
 Analisi dei sistemi che costituiscono l'involucro.  
*Font:* baukobox.de.  
 Ridisegno a cura dell'autore



## Muro di cemento armato

I muri in cemento armato sono caratterizzati da un'elevata capacità portante e una lunga durata, inoltre occupano poco spazio, forniscono un buon isolamento acustico e un'elevata capacità di accumulo di calore. I muri in calcestruzzo faccia a vista consentono una varietà di design delle superfici. Come parte prefabbricata, le pareti in cemento armato hanno un alto livello di precisione con tempi di installazione brevi. Poiché il calcestruzzo è costituito da componenti naturali ed è estremamente resistente con un basso consumo di materiale, anche le pareti in cemento armato sono considerate costruzioni sostenibili.

## Muratura in porfido Rochlitz

Il porfido Rochlitz è un tufo che si è accumulato fino a 80 m di spessore nella lava raffreddata su Rochlitz Berg, un vulcano attivo in un lontano passato.

Le pietre utilizzate nella muratura in porfido di Rochlitz hanno altezze diverse di 8,5, 17 e 25,5 centimetri. Le lunghezze risultano dalle dimensioni della roccia sabbata in connessione con il taglio massimo della sega dell'opera. Gli spessori degli strati cambiano in un'associazione selvaggia tra 12, 14 e 16 centimetri. Questo crea un offset di profondità che enfatizza nuovamente i diversi strati

## Profido granito Beuche

Nella zona degli spruzzi d'acqua (circa 50 cm) viene utilizzato il porfido granitico Beucha con ossido di ferro rossastro perché il tufo morbido di porfido non è resistente al sale stradale. A causa delle componenti rossastre del granito, si armonizza con l'altro materiale della facciata.

## Isolamento in vetro espanso

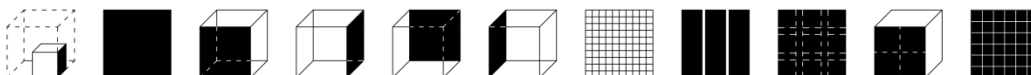
Il vetro espanso è in gran parte costituito da vetro riciclato e altre materie prime naturali (sabbia, dolomite, calce). È un materiale isolante inorganico molto resistente alla pressione, non infiammabile ea tenuta di vapore, in modo che non sia necessaria alcuna barriera al vapore sotto lo strato isolante. Foamglas è molto robusto, ad es. B. contro parassiti o acidi, ma rimane facile da modificare.

## Vetrate fisse (VSG)

Con il vetro stratificato di sicurezza (VSG), se il vetro si rompe, i frammenti si attaccano a un film ad alto polimero elastico e resistente allo strappo. Almeno due lastre di vetro piatto sono collegate tra loro tramite questa pellicola. Il film di solito è costituito da polivinil butirrale (PVB) o Sentry glass plus (SGP).

L'unità di vetro stratificato di sicurezza mantiene una capacità portante residua se viene distrutta. Il rischio di tagli e ferite da taglio a causa di vetri rotti è ridotto.

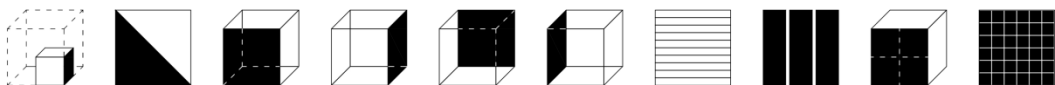
All'inizio della produzione, i vetri vengono tagliati e vengono lavorati i bordi..



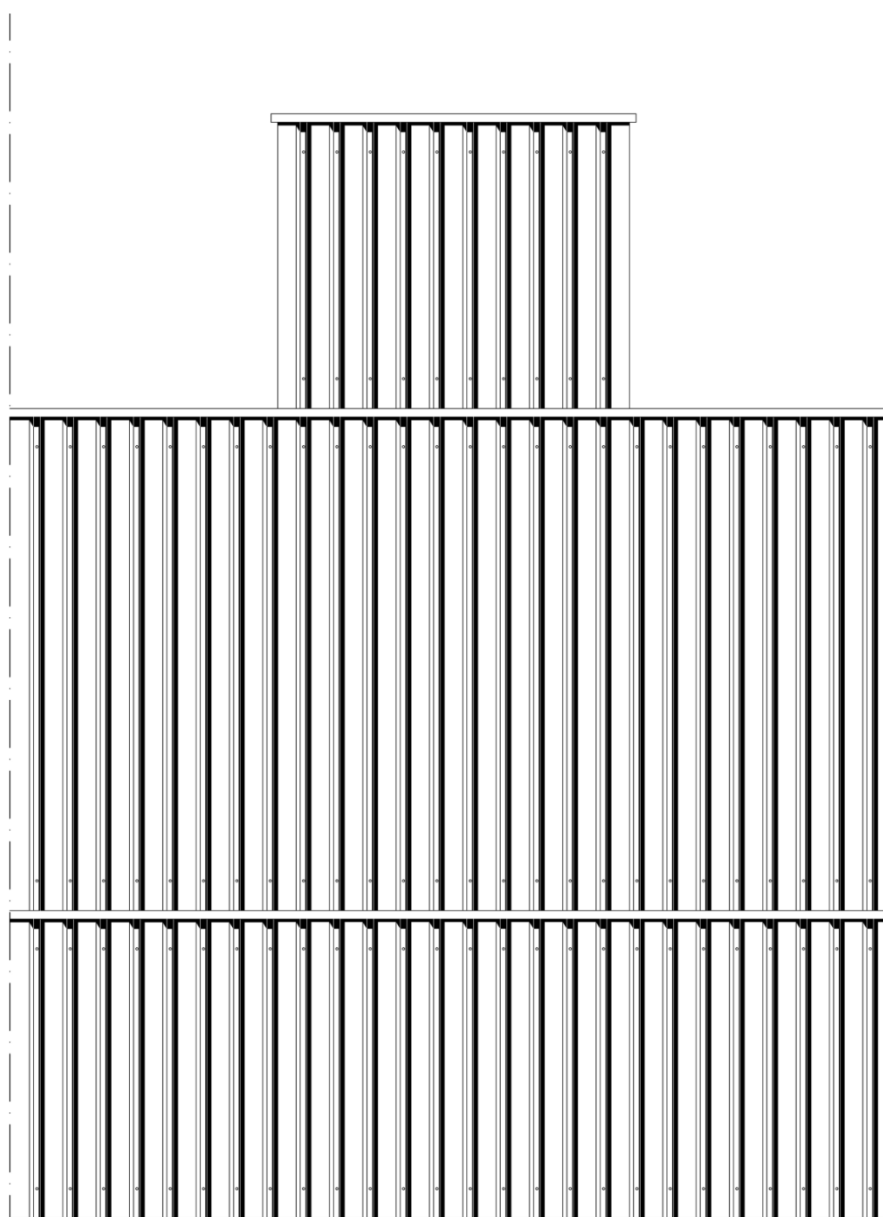


**Sporthalle Franz-Mehring-Schule, Leipzig**

Schulz e Schulz Architects GmbH  
*Lipsia (Germania), 2011*

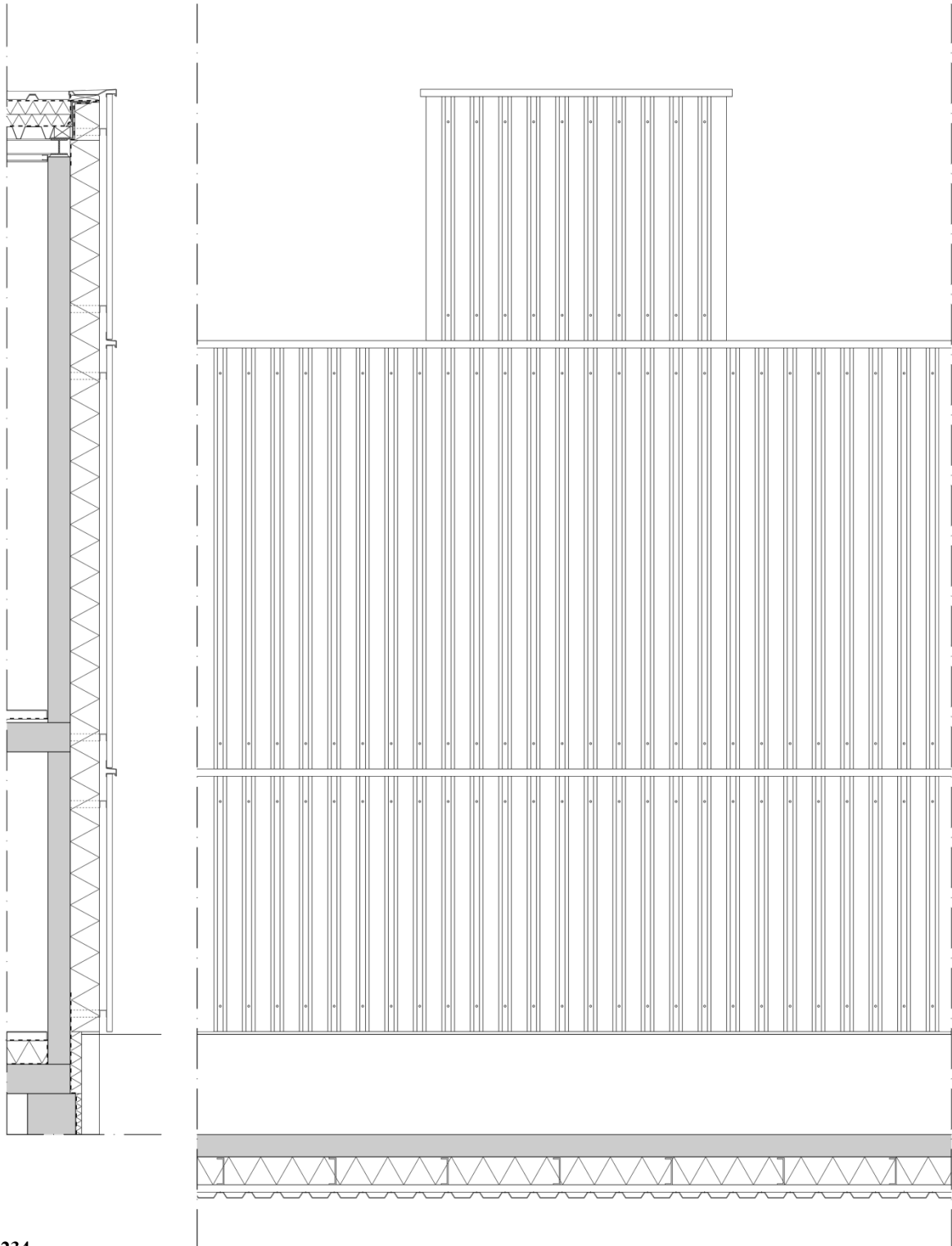






**Fig. 9:** Sporthalle Franz-Mehring-Schule, Leipzig Schulz e Schulz Architects GmbH, Lipsia (Germania), 2011. *Ridiseño facciata.* Font: baukobox.de. Ridiseño a cura dell'autore

**Fig. 10:** (pagina successiva) *Pianta prospetti e sezione.* Analisi dei sistemi che costituiscono l'involucro. Font: baukobox.de. Ridiseño a cura dell'autore



## Muro di cemento armato

I muri in cemento armato sono caratterizzati da un'elevata capacità portante e una lunga durata, inoltre occupano poco spazio, forniscono un buon isolamento acustico e un'elevata capacità di accumulo di calore. I muri in calcestruzzo faccia a vista consentono una varietà di design delle superfici. Come parte prefabbricata, le pareti in cemento armato hanno un alto livello di precisione con tempi di installazione brevi. Poiché il calcestruzzo è costituito da componenti naturali ed è estremamente resistente con un basso consumo di materiale, anche le pareti in cemento armato sono considerate costruzioni sostenibili.

Il muro esterno di un edificio costituisce la transizione tra l'interno e l'esterno. Il calcestruzzo ad alte prestazioni offre punti di forza economici e tecnici, ma anche possibilità creative grazie al calcestruzzo a vista di alta qualità. Non solo nell'edilizia commerciale e industriale, ma anche nell'edilizia residenziale, la costruzione con parti prefabbricate o semilavorate sta diventando sempre più importante. Forme e dimensioni ripetitive possono portare a risparmi grazie alla produzione in serie nell'impianto di prefabbricati. Una pianificazione precoce e dettagliata è essenziale per la prefabbricazione in fabbrica, poiché a volte le modifiche non sono possibili o possono essere eseguite solo con grande sforzo dopo il processo di betonaggio.

Vantaggi fondamentali delle pareti esterne realizzate con parti prefabbricate in cemento armato:

- Materiale da costruzione relativamente economico;
- Elevata capacità di carico;
- Buon isolamento acustico e protezione antincendio;
- Elevata capacità di accumulo di calore;
- Vantaggi economici speciali grazie alla produzione in serie;
- Tempi di costruzione brevi grazie all'elevato grado di prefabbricazione;
- Elevata precisione dimensionale;
- Elevata qualità della superficie per calcestruzzo a vista, lavori di intonacatura possono essere omessi.

## Rivestimento in metallo

Pannello standard della tecnologia applicativa **Laukien**.

Il profilo trapezoidale 50-250 è fortemente profilato con accordi superiori alti. Questo lo rende un profilo molto stabile.

## Materiale Isolante

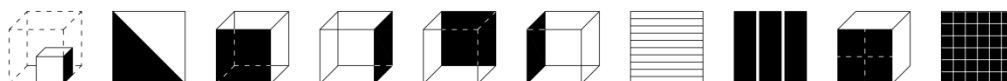
Come si fa riferimento ai materiali di isolamento termico, che hanno una bassa densità apparente e conduttività termica e vengono utilizzati per isolare gli edifici. Come materiali isolanti vengono utilizzati lana minerale, polistirolo, schiuma rigida PUR, pannelli in fibra di legno, lana di canapa, vetro espanso o perlite. Non tutti i materiali di isolamento termico sono adatti per ogni applicazione. Nel caso di isolamento esterno, i materiali non devono assorbire acqua, ad esempio, altrimenti l'effetto si riduce. I cosiddetti sistemi compositi di isolamento termico sono offerti soprattutto per l'isolamento delle facciate.

## Sottostruttura

Profilo Thermostop montato su parete in cemento armato

Profilo a U in acciaio inossidabile selettivamente

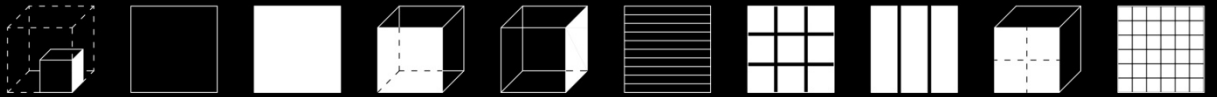
Profilo a U orizzontale per il fissaggio delle lamiera trapezoidali





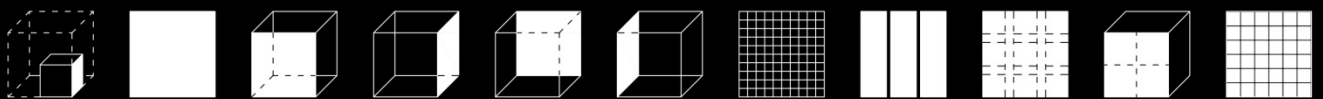
**Istitute for Transuranium Elements**

MGF Architects GmbH  
*Eggenstein-Leopoldshafen (Germania), 2013*



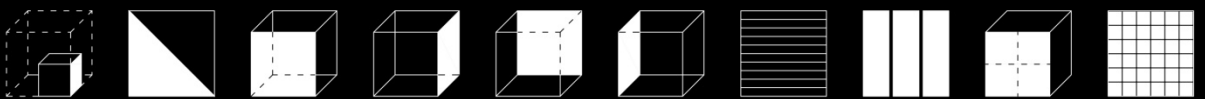
**Burntwood School**

Allford Hall Monaghan Morris Ltd Architects  
*London (Inghilterra), 2014*



**Katholische Propsteikirche St. Trinitatis**

Schulz e Schulz Architects GmbH  
*Lipsia (Germania), 2015*



**Sporthalle Franz-Mehring-Schule, Leipzig**

Schulz e Schulz Architects GmbH  
*Lipsia (Germania), 2011*

In conclusione, si può affermare che l'avanzamento della conoscenza offerto da questo lavoro, coerente con gli obiettivi che si erano prefissati, si orienta sull'opportunità di aprire degli scenari focalizzati sulla necessità di promuovere la conoscenza *analogica* in un contesto esclusivamente tecnologico. In questa ottica, la Tesi si concentra sull'identificazione di una strategia volta a definire un approccio alla progettazione caratterizzato da una visione mnemonica dei processi e non meccanica delle applicazioni.

Alla base di questa proposta strategica c'è l'identificazione, la comprensione e la sistematizzazione dei processi che, compiutamente, definiscono i caratteri performativi dell'involucro edilizio; una metodologia che si prefissa due obiettivi: il primo, quello di sistematizzare la fase progettuale; il secondo, quello di promuovere un linguaggio ad interazione dinamica tra i diversi soggetti che concorrono alla definizione del sistema, promuovendo un apprendimento attivo dei processi.

Il risultato, è la determinazione di un linguaggio unitario che consente di realizzare una sorta di *abecedario aziendale* per categorizzare progetti già realizzati, o in fase di realizzazione, il cui impiego, dall'associazione *codice-progetto*, si avvale di specifici riferimenti che non sono più funzionali la definizione di un sistema, ma in maniera molto più generale rappresentano il sistema stesso.

Questo linguaggio, come strumento per una maggiore competitività aziendale, potrebbe sovrapporsi, in uno scenario futuro, alla esclusiva gestione dei parametri progettuali che definiscono l'oggetto architettonico, promuovendo lo sviluppo di soluzioni progettuali, di involucro, che stimolano l'auto-consapevolezza come metodologia condivisa e integrata.

Uno scenario, che seppur in continuo mutamento, diviene lo stimolo per sviluppare ulteriori ricerche ed avanzamenti del sapere come re-interpretazioni tecnologiche delle visioni *scientifico-disciplinari*, indirizzate alla produzione di una *nuova* conoscenza. Gli esiti e gli sviluppi prossimi, così come quelli che questa Tesi determina, in questa ottica, saranno delle questioni che devono necessariamente rimanere aperte, non per volontà, ma perché anticipano una mutazione che in realtà li precede.









## ***BIBLIOGRAFIA***

Altomonte, Sergio (2004), *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Editrice Alinea, Firenze

Banham, Reyner (1969) *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, Architectural Press, London, Trad. it., *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Bari, 1978

Banham, Reyner (1995) *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Editori Laterza, Roma

Baudrillard, Jean, Nouvel, Jean (2003), *Architettura e nulla, oggetti singolari*, Electa, Milano

Beccu, Michele, Parigi, Spartaco (2008), *L'involucro architettonico contemporaneo tra linguaggio e costruzione*, Tipografia Ceccarelli, Roma

Benham, Reyner (1969), *The Architecture of the Well – Tempered Environment*, Architectural Press, Londra

Bixio, Roberto, Castellani, Vittorio, Succhiarelli, Claudio (2002), *Cappadocia: le città sotterranee*, Ed. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma

Butera, Federico, (2007), *Dalla caverna alla casa ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano

Cacciatore, Francesco (2008) *Il muro come contenitore di luoghi. Forme strutturali cave nell'opera di Louis Khan*, LetteraVentidue, Siracusa

- Calvino, Italo (2016), *Lezioni americane*, Collana Oscar Moderni, Milano, Mondadori
- Caneparo, Luca (2012), *Fabbricazione digitale dell'architettura. Il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire*, Franco Angeli s.r.l., Milano
- Colafranceschi, Daniela (1995), *Architettura in superficie. Materiali, figure e tecnologie delle nuove facciate urbane*, Gangemi Editore, Roma
- Delsante, Ioanne, (2011) *La ricerca PRIN. Progettare il sottosuolo: esiti compositivi e riscontri applicativi*, in *Il progetto d'architettura fra didattica e ricerca. Atti* ,(A cura di) Claudio D'Amato, arti Grafiche Favia, Bari
- Di Ruocco, Giacomo (2007), *Dettagli di facciata. Tra tettonica e rivestimento dell'involucro edilizio*, Cooperativa Universitaria Editrice, Salerno
- Filippi, Marco (2001), *L'involucro edilizio: passivo, attivo o ibrido*, da *Progettare l'involucro edilizio: correlazioni tra il sistema edificio ed i sistemi impiantistici*, Aicarr,
- Fitch, James, Marston (1972), *American Building 2: The Environmental Forces that shape it*, Houghton Mifflin, Boston, (tr. it. a cura di Girolamo Mancuso, *La progettazione ambientale – analisi interdisciplinare dei sistemi di controllo dell'ambiente*, Franco Muzzio & C. editore, Padova,1980)
- Forty, Adrian (2004), *Words and Buildings. A vocabulary of Modern Architecture*, Thames & Hudson, Londra

Fuller, R. Buckminster (1969), *Utopia or Oblivion: The Prospects for Humanity*, Bantam Books, New York

Gargiani, Roberto, (2006) *Rem Koolhaas/OMA*, Laterza, Bari

Hegger, Manfred, Fuchs, Matthias, Stark, Thomas, Zeumer, Martin (2008), *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano

Herzog, Thomas, Krippner, Roland, Lang, Werner (2005), *Atlante delle facciate*, UTET, Torino

Huber, Benedikt, Steinegger, Jean-Claude (1971), *Jean Prouvé. Une architecture per l'industrie. Architektur aus der Fabrik. Industrial Architecture*, Les Editions d'Architecture Artemis Zurich, Basel

Le Corbusier, (1923), *Tre avvertenze agli architetti*, in *Vers une architecture*, Parigi, Cres, trad. it. (a cura di Pierluigi Cerri e Pierluigi Nicolin), *Verso un'architettura*, Milano, Longanesi, 1973

Maldonado, Tomás (1998), *Critica della ragione informatica. Campi del sapere*, Feltrinelli, Milano

Nardi, Guido (2001), *Tecnologie dell'architettura. Teorie e storia*, Clup, Milano

Nicolin, Pierluigi (1999), *Elementi di architettura*, Skira editore, Milano, 1999

Nils, Peters (2007), *Prouvé*, Taschen, Colonia

Olgyay, Victor (1962), *Design with climate*, Princeton University Press, 1962

Oliver, Paul (2006) *Built to meet needs: cultural issues in vernacular architecture*, Elsevier, Oxford

Paolella, Adriano (2004), *Abitare i luoghi. Insediamenti, tecnologia, paesaggio*, BFS edizioni, Pisa

Pearce, Peter (1990), *Structure in nature is a strategy for Design*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts

Pellitteri, Giuseppe (2010), *L'involucro edilizio. Declinazioni digitali e nuovi linguaggi*, Edizioni Fotograf, Palermo

Perriccioli, Massimo, Rossi, Monica (2006), *Thomas Herzog - Reacting Skin*, edizioni Kappa, Roma

Piano, Renzo, Piano, Carlo (2012), *Almanacco dell'architetto. Viaggi nell'architettura*, Proctor edizioni S.p.a, Bologna

Ponti, Gio, (1945) *Scomparsa del muro*, in *L'architettura è un cristallo*, Milano, Editrice Italiana

Ranaulo, Gianni (2001), *Light Architecture*, Torino, Testo & Immagine, Torino

Romano, Rosa (2011), *Smart Skin Envelope. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico*, Firenze University Press, Firenze

Siddi, Francesco (2014), *Grafica 3D con Blender*, Apogeo Editore

Taylor, Mark (1997), *Hiding*, The University of Chicago Press, Londra

Toyo Ito, (2003), *L'architettura evanescente*, a cura di Giovanni Longobardi, Ed. Kappa, Roma

Tucci, Fabrizio (2014) *Involucro, Clima, Energia, Qualità bioclimatica ed efficienza energetica in architettura nel progetto tecnologico ambientale della pelle degli edifici*, Altralinea Edizioni, Firenze

Venturi, Robert (1966), *Complexity and contradiction in architecture*, The Museum of Modern Art New York, tr. it. *Complessità e Contraddizioni nell'architettura*, Dedalo, Bari, 1980

Venturi, Robert, Scott Brown, Denise, Izenour, Steven (1972), *Learning from Las Vegas*, The MIT Press,

Von Wartenburg, Paul, Yorck (1980), *Coscienza e storia*, Guida Editori, Napoli

Zevi, Bruno (1973), *Il linguaggio moderno dell'architettura*, Einaudi, Torino

## **ARTICOLI**

Campioli, Andrea (2011), *Qualità dell'architettura: innovazione, ricerca tecnologica e progetto*, TECHNE, 01

Ciribini, Angelo, Luigi, Camillo (2018), *Il pensiero Digitale nell'architettura*, INGENIO web

Conato, Fabio, Frighi, Valentina (2018), *Il ruolo dell'innovazione nella definizione di nuovi paradigmi formali in Architettura*, in TECHNE, 16

Dipasquale, Letizia, Mecca, Ippolita (2016), *L'architettura vernacolare come modello codificato per il progetto contemporaneo sostenibile*, TECHNE, 12

Froli, Maurizio, Tonelli, Davide (2014), *Progettare involucri di forma libera: l'ingegnerizzazione dell'involucro*, in COSTRUZIONI METALLICHE 3

Giovine, Francesco (2013), *La cultura progettuale e la facciata*, in NUOVA FINESTRA 393

Hollein, Hans (1999), *Progetti sotterranei*, in DOMUS 812

Kolarevic, Branko (2001), *Back to the future*, International Journal of Architectural Computing, Vol. 01, Issue 02

Leoni, Giovanni (1996), *Poetica della costruzione, intervista a Kenneth Frampton*, AREA, 31

Manovich, Lev (2015), *The poetics of urban media surface*, First Monday, Special Issue , 4

Mencagli, Pietro (2020), *Le mutazioni dell'involucro architettonico. Il linguaggio e la tecnologia delle facciate tra semplicità costruttiva e complessità ideativa*, INGENIO web

Petrillo, Agostino (1992), *Le figure della trasparenza*, in AREA, 11

Portoghesi, Paolo (2007), *L'involucro e il volto*, in MATERIA n.55, "Involucri"

Rigby, J.F. (1991), *Napoleon, Escher and Tessellations*, MATHEMATICS Magazine 64

Rigone, Paolo, Giussani, Paolo (2019), *La progettazione multidisciplinare delle facciate. Il ruolo emergente del Facade Engineer, il tecnologo dell'involucro edilizio*, COSTRUZIONI METALICHE, n. 2 /2019

Rossetti, Massimo (2010), *Lo scheletro in legno. Le facciate continue con struttura lignea*, LEGNOLEGNO NEWS

Schaeffer, Oliver (2009), *Architettura in movimento: tra ludiche scenografie e costruzioni efficienti*, DETAIL 12

Tiraboschi, Michele, Seghezzi, Francesco (2016), *Il Piano nazionale Industria 4.0: una lettura lavoristica*, in: LaBoUR & Law Issues, vol. 2, n. 2

Vitale, Gaetano, Vincenzi, Giovanni, Donisi, Serena (2012), *Il teorema di Napoleone per i quadrilateri convessi*, in Archimede 3, Mondadori Education



**TESI**

Archetti, Giulia (2009), *Involucri evoluti a comportamento dinamico: tecnologie e modelli applicativi nel contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia Romagna*, tesi di dottorato, Università degli Studi di Ferrara, a. a. 2007 - 2009, relatore F. Conato

Bianco, Lorenza (2014), *Involucri trasparenti innovativi. Modellazione e sperimentazione su componenti dinamici e sistemi di facciata attivi*, tesi di dottorato, Politecnico di Torino, a. a. 2014, relatori V. Serra, M. Perino

De Fabritiis, Francesco (2017), *Dual Shells. Tettonica multi-scala per la generazione di scocche autoportanti e applicazione nel progetto di un padiglione temporaneo per il chiostro di Vicolo Bolognetti (BO)*, Tesi di Laurea in Architettura e Composizione Architettonica III, relatore A. Erioli Scuola di Ingegneria e Architettura, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

De Luca, Francesco (2003), *Modelli architettonici. Dagli strumenti della progettazione alla progettazione degli strumenti. Il modello come strumento progettuale in ambito digitale informatico*, Tesi di Dottorato, tutor A. Saggio, Dottorato di Ricerca in Composizione Architettonica - Teoria dell'Architettura, Università degli Studi "La Sapienza", Roma

Delsante, Ioanni (2006), *Innovazione tecnologica ed arcgitettura. Contributi ed esiti per il linguaccio e la composizione architettonica*, tesi di Dottorato, Università degli studi di Pavia - dipartimento di Ingegneria Edile e del Territorio, Relatore: A. Bugatti

Mazzoli, Cecilia (2015), *Sistemi tecnologici innovativi di involucro per il recupero del patrimonio edilizio recente. L'edilizia scolastica nel Comune di Bologna*, tesi di dottorato, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, a. a. 2014 - 2015, relatori R. Gulli, M. Brocato

Mazzoli, Cecilia (2015), *Sistemi tecnologici innovativi di involucro per il recupero del patrimonio edilizio recente. L'edilizia scolastica nel Comune di Bologna*, Tesi di Dottorato, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, tutor R. Gulli







## ***RINGRAZIAMENTI***

Qualche tempo fa, nel tentativo di esprimere la mia gratitudine a conclusione del mio percorso di studi scrissi: "Non sono mai stato bravo con le parole". Ad oggi, si verifica la stessa identica situazione, con una consapevolezza, però, diversa. Diversa perché effettivamente non esiste una parola che possa racchiudere un significato così profondo e intrinseco di sentimento e bellezza d'animo, e poiché la *bellezza* è quello di cui il mondo avrebbe proprio bisogno, voglio citare chi, in questo percorso di Dottorato, mi ha regalato un poco della sua.

La mia famiglia, che è sempre stata al mio fianco e che da sempre mi ha insegnato che *vola solo chi osa farlo*.

A mio padre e mia madre, per i quali, qualunque forma di gratitudine sarebbe superflua per ripagare tutti i loro sacrifici. A quel nido e quella culla che è casa.

Alle mie sorelle, Maria Grazia e Michela, senza le quali nulla avrebbe avuto senso.

Ai miei nipoti, Domenico, Nino, Giuseppe e Maria. Alla potenza disarmante dei loro occhi. Ai muri che abbatto quando li guardo e a quelli che alzerei per proteggerli. Credete sempre nei vostri sogni.

A mio cognato, Antonio, a tutte le cose che ci siamo detti con i nostri silenzi.

A Sonia, alla *bellezza* dell'amicizia.

A tutti i miei colleghi del XXXIII Ciclo; quelli precedenti e quelli successivi.

Ad Ester, Michele e Moataz. Dopo Alcamo "*tutta un'altra storia*".

A tutta la famiglia Cianciolo S.r.l, a Palermo. A Giuseppe, Lulù, Veronica e Luigi.

A tutta la famiglia Glasbilt, all'America, ai sogni e alle ambizioni.

A David, Lorenzo, Marco B., Marco P., Gabriele, Ciro, Federica ed Anna.

In ultimo, ma non meno importante: la mia *Mediterranea*.

A tutto il dipartimento Architettura e Territorio - dArTe.

A tutti i Docenti ed a tutto il personale amministrativo.

Al Collegio Docenti del Dottorato in Architettura e Territorio - XXXIII° Ciclo.

Al coordinatore Prof. Santini.

Al Prof. Milardi per aver creduto in questo viaggio.

Al Prof. Ginex per avermi accompagnato in questo ed in altri viaggi.

A tutti voi, va la mia più sincera gratitudine.

Infine, guardo ciò che sono oggi e mi auguro di non perdere mai la curiosità di guardare il mondo con lo stesso sguardo con cui lo fa un bambino, con lo stesso stupore e la stessa meraviglia con cui ho strutturato questa stessa dissertazione.

Alla bellezza che ora sono in grado di cogliere.







