



*Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca*



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MESSINA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA

DOTTORATO DI RICERCA

"INGEGNERIA E CHIMICA DEI MATERIALI E DELLE COSTRUZIONI"

XXX CICLO

---

**A RESEARCH FOR THE FACADE DESIGN PROCESS UTILISING BIM**

---

*Dottoranda:* CECILIA GUGLIELMINO

*Supervisor:* Prof. Ing. GIUSEPPE RICCIARDI,

Prof. Ing. SANTI MARIA CASCONI.

## Sommario

INTRODUZIONE .....	5
OGGETTO, MOTIVAZIONI, FASI E OBIETTIVI FINALI .....	5
Oggetto.....	5
Motivazioni.....	6
Metodologie e fasi di progettazione BIM.....	7
“Serramento per finestre” (brevetto) .....	9
Obiettivi della ricerca e fasi.....	10
CAPITOLO 1 .....	12
DESCRIZIONE DELLO STATO DELL'ARTE .....	12
1.1 - Introduzione.....	12
1.2 Le pareti ventilate .....	14
1.3 Metodologie .....	24
1.3.1 Fibrocemento .....	30
1.3.2 Pannelli Rockpanel .....	31
1.3.3 I Metalli .....	31
1.3.4 Pietra naturale.....	33
1.3.5 Facciate di vetro .....	34
1.3.6 Facciate di vetro con lana di roccia a vista.....	35
1.3.7 Facciate tessili in materiale sintetico .....	36
1.3.8 Muri a facciavista .....	37
1.3.9 La facciata che produce energia.....	38
1.3.10 Materiali a confronto .....	38
CAPITOLO 2 .....	40
2.1 Requisiti.....	40
2.2 Descrizione .....	42
Struttura di ancoraggio .....	43
Intercapedine di ventilazione.....	45
Strato isolante .....	45

Muro perimetrale o di tamponamento.....	46
Elementi di aggancio .....	47
Posa in opera .....	47
2.3 Tipologie di facciata ventilata .....	49
2.3.1 Divisione per tipologia fisica o termodinamica.....	49
2.3.2 Divisione per tipologia geometrica dei pannelli di rivestimento.....	50
2.3.3 Divisione per tipologia di peso del pannello .....	50
2.3.4 Divisione per tipologia di fissaggio .....	51
2.4 La progettazione della parete ventilata .....	52
CAPITOLO 3 .....	54
I RIVESTIMENTI DELLE FACCIATE VENTILATE .....	54
3.1 Facciata ventilata rivestita con piastrelle di ceramica .....	54
3.2-Sistema con agganci a vista.....	56
3.3-Sistemi con agganci a scomparsa.....	57
CAPITOLO 4 .....	59
INTRODUZIONE AL BIM: SISTEMI BIM.....	59
4.1 What is BIM (building information modelling).....	59
4.2 BIM e Facciate .....	62
4.3 Contributo alla conoscenza .....	62
4.4 Research objectives.....	63
4.5 Attuale adozione di BIM nel settore delle costruzioni .....	63
4.6 Summary of results and discussion .....	65
4.7 Livello di dettaglio raggiunto.....	65
CAPITOLO 5 .....	67
UTILIZZARE IL SOFTWARE BIM PER LA PROGETTAZIONE DI FACCIATA.....	67
5.1 Livello di dettaglio BIM.....	67
5.2 Creazione di dettagli delle facciate continue per i sistemi BIM.....	68
5.2 Creating window & door details for BIM .....	72
CAPITOLO 6 .....	75
VERSO UN PIANO DI ESECUZIONE DI RIFERIMENTO BIM PER IL PROCESSO DI PROGETTAZIONE DI FACCIATA CONTINUA .....	75

6.1 Obiettivi BIM e risultati finali .....	75
6.2 Ruoli e responsabilità .....	76
6.3 Processo di collaborazione .....	76
6.4 Processo di approvazione di progettazione .....	77
6.5 Formazione .....	77
6.6 Discussione .....	78
6.7 Sostenibilità .....	79
6.8 Prestazioni sociali .....	79
6.9 Creazione libreria BIM per pannelli ventilati .....	80
CAPITOLO 7 .....	85
APPLICAZIONE SPERIMENTALE .....	85
“MONTANTE” PER FACCIATE CONTINUE” .....	85
7.1 Descrizione .....	85
7.1.2 Informazioni di prodotto .....	87
7.1.3 Caratteristiche pultrusi in fibra di vetro .....	88
7.1.4 Durabilità .....	88
7.2 Le colle .....	88
7.2.1 I risultati principali sono .....	90
7.3 IL telaio .....	91
CONCLUSIONI .....	95

# INTRODUZIONE

## OGGETTO, MOTIVAZIONI, FASI E OBIETTIVI FINALI

### Oggetto

La tesi di dottorato che si propone ha per oggetto la progettazione e la caratterizzazione di materiali innovativi per applicazioni in edilizia ed in particolare per la realizzazione di pareti ventilate.

Le pareti ventilate rappresentano oggi un sistema costruttivo innovativo “intelligente”, un rivestimento del futuro, efficiente ed ecocompatibile, ad elevato risparmio energetico, largamente utilizzato sia nelle nuove costruzioni sia nei casi di recupero edilizio, qualora non vi siano vincoli di tutela storico-architettonica.

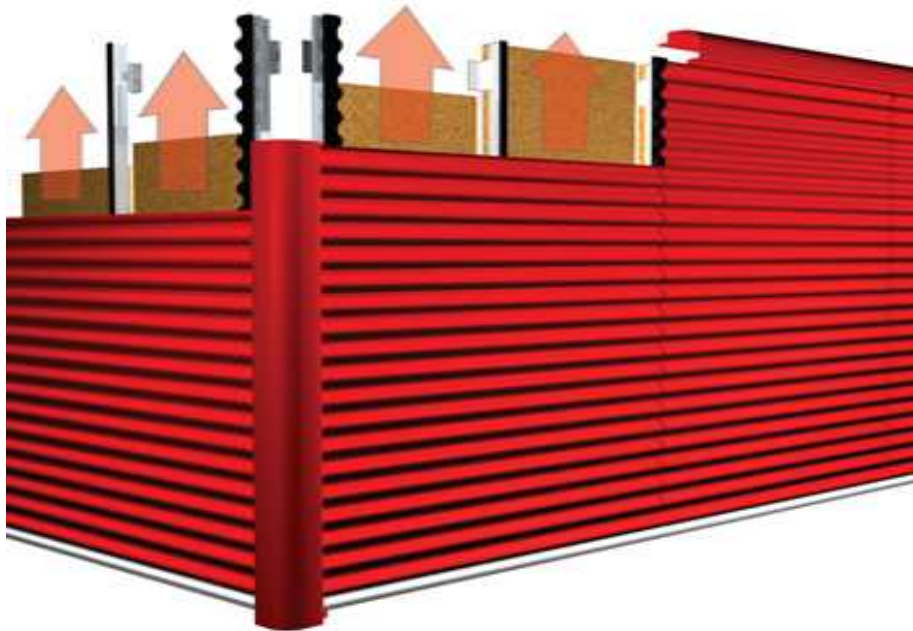


Figura 1: Sistema “facciata ventilata”

Il sistema “facciata ventilata” (*cortain wall*) è oggi l’involucro edilizio

che garantisce i risultati migliori dal punto di vista del *bilancio energetico* dell'edificio.

Derivato da tecniche costruttive appartenenti all'architettura spontanea e continuamente perfezionato fino ad arrivare all'attuale stato dell'arte, è costituito essenzialmente da una serie di *strati funzionali* vincolati all'edificio mediante una struttura metallica che, grazie *all'intercapedine ventilata*, ne migliorano il *comfort termico e igrometrico*.

In passato la ventilazione veniva considerata soprattutto in relazione al solo controllo della qualità dell'aria interna (con particolare riguardo alle condizioni invernali), ma recentemente si è dimostrato un *crescente interesse* nell'uso della ventilazione applicata all'elemento costruttivo quale edifici nel periodo estivo e nelle stagioni intermedie, limitando il ricorso ai sistemi di refrigerazione in un'*ottica di risparmio energetico*.

### **Motivazioni**

Da ciò nasce la volontà di studiare gli effetti dell'involucro edilizio ventilato (parete ventilata) sul risparmio energetico e sul benessere interno degli edifici. Negli ultimi decenni, facciate e coperture ventilate sono divenuti elementi essenziali di sistemi solari passivi.

In ogni caso, le pareti ventilate, inserite in particolari sistemi di ventilazione del sistema edificio-intercapedine, possono trovare utile impiego: nella stagione invernale, per lo sfruttamento dell'energia solare per il riscaldamento degli edifici e nella stagione estiva, per ridurre il carico termico dovuto all'insolazione.

In generale, mantenere un limitato flusso d'aria nell'intercapedine di ventilazione può migliorare le prestazioni igrometriche della struttura, in particolar modo nella stagione invernale drenando l'eventuale umidità di condensa interstiziale.

Il rinnovato interesse verso questo sistema costruttivo è mostrato dalla particolare attenzione che recentemente si va ponendo ai temi della progettazione bioclimatica e dell'architettura sostenibile sulla base delle indicazioni riportate nel "Rapporto Brundtland" (1987), poi riprese nella Conferenza mondiale di Rio de Janeiro (1992), e nel Protocollo di Kyoto (1997).

In Italia la Conferenza nazionale sull'energia e l'ambiente ha rappresentato una importante occasione di coordinamento e coinvolgimento dei soggetti interessati ed è stata la premessa alla redazione di un "Codice concordato per la qualità energetico-ambientale di edifici e spazi aperti".

Attualmente, le pareti ventilate sono componenti importanti di una progettazione sostenibile tesa ad elevare il livello di *comfort termoigrometrico*, a ridurre i consumi energetici, a contenere l'impatto ambientale e in grado di esprimere contenuti estetico-formali propri dell'architettura moderna.

Negli ultimi anni, accanto a numerosi lavori scientifici che si sono avvalsi del metodo agli elementi finiti, sono state anche pubblicate ricerche di carattere sperimentale. Sono stati proposti sofisticati metodi di calcolo che permettono una rappresentazione assai accurata della struttura in esame.

### **Metodologie e fasi di progettazione BIM**

L'obiettivo di questa ricerca è stato quello di comprendere le principali problematiche e le barriere dei sistemi BIM nel settore delle costruzioni, in particolar modo nelle applicazioni progettuali che riguardano le pareti ventilate.

Il BIM consiste nella creazione e gestione del modello creato grazie a

tutte le informazioni rilevate e/o elaborate per la progettazione di un edificio. Tali informazioni non si limitano alla fase progettuale o allo stato di fatto di un edificio ma riguardano il suo intero ciclo di vita: compresa la manutenzione, la fase del consumo energetico e quant'altro.

Il termine BIM, infatti, comprende anche i CAD architettonici di ultima generazione che non offrono solo una visuale bidimensionale del disegno, ma permettono di gestire le sue componenti tridimensionali attraverso software che creano geometrie con precise collocazioni spaziali, nonché temporali consentendo cioè anche il movimento degli oggetti nello spazio virtuale.

Dietro a questo modello informativo per il costruire, infatti, vi sono i principi per poter ridurre i costi di costruzione, chiarire le responsabilità, eliminare gli errori e portare trasparenza negli appalti pubblici e privati. Il BIM (building information modelling) è stato definito come "un insieme di politiche interagenti, processi e tecnologia di una metodologia per gestire la progettazione degli edifici essenziali e dati in formato digitale in tutto il ciclo di vita dell'edificio di progetto".

Sappiamo bene che le facciate degli edifici sono senza dubbio uno degli aspetti più importanti della costruzione come responsabili della prestazione tecnica complessiva e appeal estetico di un edificio, e con questo in mente, con la complessità aggiunta delle tendenze architettoniche, è importante che il passaggio dal 2D al 3D BIM per l'esecuzione della facciata sia generato con cautela.

L'obiettivo fondamentale di questa tesi è di creare informazioni sul BIM per il processo di progettazione della facciata, al fine di fornire un livello base di comprensione di ciò che BIM è, e un quadro fondamentale per la sua attuazione, per comprendere come il processo di progettazione verrà affrontato e gestito attraverso un ambiente 3D.



Le fasi di lavoro vengono sviluppate utilizzando Autodesk Revit e AutoCAD.

Il primo passo è quello di creare una nuova famiglia profilo montante selezionando l'opzione nuova famiglia sulla barra degli strumenti di Revit. È importante in questa fase di concentrarsi sul contorno dei profili della parete divisoria e ignorare i componenti di dettaglio. Da qui con la creazione di famiglie BIM che riportano tutti i vari componenti esistenti nelle pareti ventilate, arriveremo alla creazione di una vasta gamma di prodotti di facciata esistenti in mercato tutti immagazzinati in un'unica libreria multimediale online visualizzabile e utilizzabile dagli utenti globali di Autodesk.

### **“Serramento per finestre” (brevetto)**

A questo tema, ovvero le pareti ventilate, si è scelto di affiancare lo studio di un sistema brevettato di paramento esterno che consente di avere una facciata tutta vetro, con gli elementi della struttura a scomparsa, cioè i montanti costruttivi.

Il “Montante” è un elemento costruttivo a sviluppo prevalentemente lineare che permette la realizzazione di facciate continue con ampie specchiature, mantenendo un ingombro ridotto in sezione (ad es. da 55x55mm a 110x110mm). Permette anche il fissaggio di pannelli di diversi materiali e dimensioni, ha notevoli capacità di resistenza e una rigidità tale da contenere, entro i limiti consentiti, le deformazioni sotto carico. Inoltre è realizzato con materiale altamente resistente agli agenti atmosferici che non dà luogo a ponti termici. La posa in opera del montante è molto agevole. Il principio innovativo del suo sistema costruttivo consiste nell'utilizzo di profilati in pultruso (ottenuti per pultrusione di resine sintetiche rinforzate con fibre di vetro) di dimensioni

contenute (in sezione trasversale) collegati a cavi pretesi (trefoli in acciaio). Il montante può essere utilmente utilizzato per la realizzazione di facciate continue ad ampie specchiature sia opache che completamente trasparenti, in verticale o in orizzontale, e con differenti inclinazioni.

Può essere utilizzato anche su edifici esistenti, sia per la realizzazione di pareti verticali che di sistemi di copertura per qualunque conformazione geometrica piana (tetto piano) o a falde inclinate.

I profili in pultruso, con cui è costruito, hanno un'ottima resistenza agli agenti atmosferici, per cui questo prodotto risulta essere durabile nel tempo e ha bassi costi di manutenzione.

Questo elemento costruttivo permette una notevole semplificazione nella produzione e una rapidità nel montaggio, essendo costituito da un numero ridotto di componenti con geometrie relativamente semplici.

### **Obiettivi della ricerca e fasi**

Nel progetto di ricerca sono state individuate le potenziali applicazioni dei nuovi materiali innovativi utilizzabili in facciata come pannelli per pareti ventilate (tra cui appunto una applicazione scientifica con brevetto per quanto riguarda il full glass) e la determinazione delle loro proprietà chimico-fisiche e meccaniche.

Le metodologie sperimentali che sono state applicate nel corso del programma di ricerca hanno visto un forte *know-how* su alcune metodologie sperimentali proposte.

Ad oggi, l'attenzione della ricerca scientifica e delle aziende specializzate è sempre più rivolta verso una nuova classe di materiali sempre più innovativi, leggeri ed ecocompatibili.

Il lavoro di ricerca è stato incentrato dapprima sullo studio e sull'analisi chimico-fisica e meccanica dei principali materiali utilizzati ad oggi e

disponibili in commercio per i pannelli di rivestimento delle facciate continue degli edifici.

Partendo dall'analisi delle caratteristiche dei materiali oggetto di studio è stata realizzata una vasta libreria per la progettazione BIM (Building Information Modeling), consultabile da tutti, contenente cinque diversi tipi di materiali per pannelli ventilati con intrinseche tutte le caratteristiche fondamentali chimiche, geometriche e meccaniche per la realizzazione di pareti ventilate ad alte prestazioni statiche, estetiche ed eco-compatibili.

Si è poi definito, con la progettazione BIM, un nuovo sistema brevettato di paramento esterno per pareti ventilate, che consente di avere una facciata tutta vetro, con gli elementi della struttura tutto nascosto, ovvero i montanti costruttivi a scomparsa. Il principio innovativo di questo sistema costruttivo consiste nell'utilizzo di profilati in materiale pultruso (ottenuti per pultrusione di resine sintetiche rinforzate con fibre di vetro) di dimensioni contenute (in sezione trasversale) collegati a cavi pretesi (trefoli in acciaio).

# **CAPITOLO 1**

## **DESCRIZIONE DELLO STATO DELL'ARTE**

### **1.1 - Introduzione**

La ventilazione dell'elemento costruttivo ed il comfort termico costituiscono un aspetto molto importante nella progettazione di un edificio. Se in passato la ventilazione veniva considerata soprattutto in relazione al solo controllo della qualità dell'aria interna (con particolare riguardo alle condizioni invernali), recentemente si è dimostrato un crescente interesse nell'uso della ventilazione applicata all'elemento costruttivo quale strumento per garantire anche il comfort ambientale interno agli edifici nel periodo estivo e nelle stagioni intermedie, limitando il ricorso ai sistemi di refrigerazione in un'ottica di risparmio energetico. Da ciò nasce la volontà di studiare gli effetti dell'involucro edilizio ventilato (parete ventilata) sul risparmio energetico e sul benessere interno degli edifici. A seguire vengono riportate alcune considerazioni generali relative alla letteratura di settore analizzata.

I buoni risultati di risparmio energetico ottenuti adottando involucri edilizi con rivestimento esterno composto da isolante e la necessità di prevenire il deterioramento di tale elemento costruttivo per effetto degli agenti atmosferici e della radiazione solare nei nostri climi [F. Stazi, C. Di Perna, P. Munafò, 2009], ha condotto allo sviluppo di facciate ventilate con paramento esterno ad elevata inerzia termica.

Dall'analisi della letteratura in merito alle facciate ventilate è emerso che in un primo momento gli studi sono stati condotti essenzialmente mirando ad analizzare il risparmio energetico ottenuto durante la stagione invernale, approfondendo il problema della durabilità che questi involucri hanno. Successivamente gli studi hanno mirato a valutare anche

le sue eccellenti proprietà durante la stagione estiva, grazie all' "effetto camino" che si instaura all' interno del condotto di ventilazione, conducendo allo sviluppo di molti modelli numerici che determinano una serie di temperature e la velocità dell'aria nel camino di ventilazione, valutando il comportamento termico [M.Ciampi, F.Leccese,G.Tuoni2003] [D. Davidovic, J. Srebric, E.F.P. Burnett 2006].

Pochi sono invece gli studi che hanno illustrato l'analisi sperimentale di muri ventilati con paramento esterno in laterizio.

Del resto, molti studi sperimentali sono stati eseguiti su facciate a doppia pelle [Zöllner, E.R.F. Winter, R. Viskanta 2002] [G. Ballestini, M. De Carli, N. Masiero, G. Tombola 2005] [V. Serra, F. Zanghirella, M. Perino 2010] [S.P. Corgnati, M. Perino, V. Serra 2007], su pareti con pannelli leggeri esterni [Dimoudi, A. Androutsopoulos, S. Lykoudis 2004] [P. Mendonça, L. Bragança 2007] o con pannelli fotovoltaici a parete [M. Sandberg, B. Moshfegh 1996].

I pochi studi sperimentali compiuti su pareti con paramento esterno in laterizio, esaminano modelli presenti convalidati comparando i risultati da letteratura con i dati sperimentali ottenuti da laboratorio [C. Balocco 2002].

La presente ricerca sperimentale si è occupata pertanto di valutare l'incidenza dell'involucro edilizio ventilato su comfort e consumi degli edifici in fase estiva e durante le stagioni intermedie, attraverso analisi sperimentali e analisi parametriche.

Dall'analisi dell'edificio quindi si è passati in tal sede a quella relativa al suo elemento costruttivo, per poter trarre importanti deduzioni circa il

comportamento termofisico, di comfort e consumi energetici, apportato dalla presenza di pareti ventilate differenti.

Scopo della presente ricerca è quello di stimare sperimentalmente ed analiticamente (l'attività sperimentale è stata di supporto a quella analitica) l'efficienza delle diverse tipologie di parete ventilata durante le normali condizioni di funzionamento estivo e quello di verificare il flusso d'aria e le temperature dei vari strati della parete lungo diverse altezze ed esposizioni del camino di ventilazione.

## **1.2 Le pareti ventilate**

I buoni risultati d'isolamento termico ottenuti ponendo lo strato isolante sulla superficie esterna della parete e le esigenze di fornire alla struttura un'adeguata protezione dagli agenti atmosferici hanno condotto alla realizzazione delle cosiddette "pareti ventilate". Ciò che le distingue dagli altri sistemi di pareti è l'esistenza di uno strato funzionale aggiuntivo, lo strato di ventilazione, il cui funzionamento fluidodinamico si è stato iniziato ad indagarlo proprio in questi ultimi anni.

Un gruppo di ricercatori dell'Università degli Studi di Pisa [Ciampi, Leccese, Tuoni, 2003] ha analizzato mediante modelli di simulazione le prestazioni termiche offerte da varie tipologie di facciate ventilate basandosi sull'applicazione della teoria classica della ventilazione e utilizzando l'ambiente di programmazione MAPLE 7 per la soluzione del sistema di equazioni differenziali.

Lo studio in particolare svolge un confronto tra le prestazioni della ventilazione nel caso di pareti con rivestimento in laterizio, in ceramica

ed in metallo; il confronto in particolare avviene sulla base di un parametro  $S$  definito come risparmio energetico:

$$S=(Q_0 -Q)/Q_0$$

Dove  $Q$  (W/m) rappresenta il flusso di calore entrante attraverso la parete e  $Q_0$  invece quello entrante in assenza di ventilazione. Il significato di  $S$  risulta fortemente intuitivo, soprattutto quando assume valori compresi tra 0 ed 1; valori negativi di  $S$  indicano chiaramente che la ventilazione non è conveniente. Dal confronto emerge che la parete che utilizza in maniera più efficace la ventilazione risulta quella avente un paramento in laterizio, con uno strato di isolamento termico posto nell'intercapedine in aderenza al paramento interno. Da un punto di vista energetico esse sono tanto più convenienti quanto maggiore è l'irraggiamento solare. In particolare, è stato constatato che il risparmio percentuale  $S$  è funzione analitica di cinque parametri adimensionali:  $z$ , dipendente dalla posizione dell'intercapedine all'interno della struttura e quindi, in particolare, dalla distribuzione d'isolante tra il paramento interno e quello esterno;  $\varphi$ , caratterizzante il campo termico e l'insolazione;

$H$ , relativo allo scambio termico per irraggiamento nell'intercapedine;  $\chi$ , che quantifica la riduzione di resistenza termica dovuta al moto dell'aria nell'intercapedine e  $cRt_0$ , prodotto tra la portata termica dell'aria e la resistenza totale dell'intercapedine chiusa.

Infatti, il risparmio percentuale  $S$  è esprimibile nella seguente forma:

$$S = 1 - \chi + \gamma \cdot z \cdot (\varphi - z) \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\chi}{\gamma \cdot [H + z \cdot (1 - z)]}\right) \right]$$

Trascurando, nel caso della ventilazione naturale, le condizioni atmosferiche esterne, la portata d'aria è determinata dal campo termico e dalle perdite di carico fluidodinamiche. In queste condizioni la velocità d'imbocco  $W_0$  risulta:

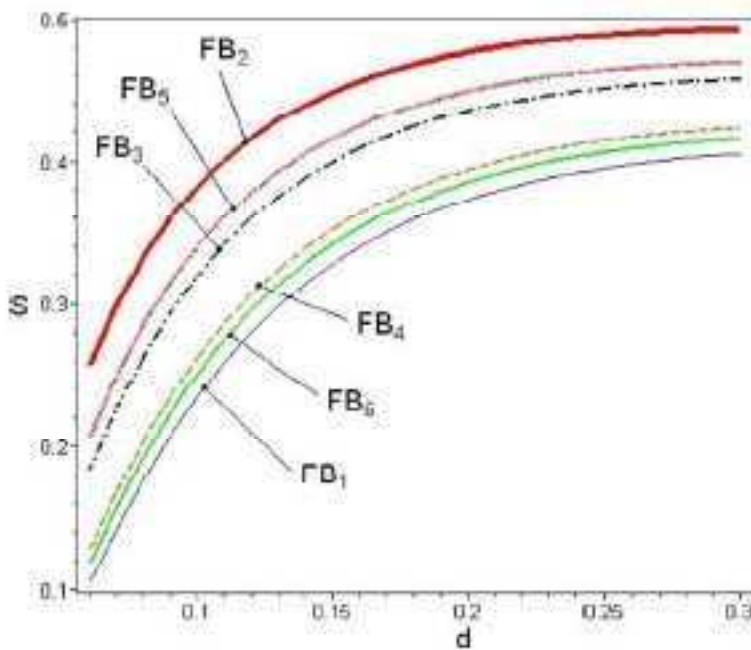
$$W_0^2 = gLsen\sigma \cdot \left[ 1 - T_o \left\langle \frac{1}{T} \right\rangle \right] \cdot \left[ \frac{\lambda'_i - 1}{2} + \frac{L\lambda \langle T \rangle}{2DT_0} + \frac{\lambda'_u + 1}{2} \cdot \frac{T_u}{T_o} \right]^{-1}$$

Utilizzando questo modello matematico sono state effettuate parametrizzazioni circa lo studio dell'influenza del tipo di rivestimento esterno della parete ventilata sul risparmio percentuale S.

In particolare, in tutti i casi è stato riscontrato che:

- L'energia risparmiata aumenta all'aumentare della larghezza del condotto di ventilazione, e un tale aumento risulta essere più considerevole per larghezze  $d < 0,15$  m.
- Il posizionamento dello strato di isolamento in aderenza alla parete interna risulta più efficace dal punto di vista energetico rispetto ad uno strato di isolamento aderente alla parete esterna.
- L'incremento dell'energia risparmiata aumenta all'aumentare dell'intensità della radiazione solare. Maggiore è la radiazione solare e più efficaci si rivelano le pareti ventilate sotto il profilo del risparmio energetico.





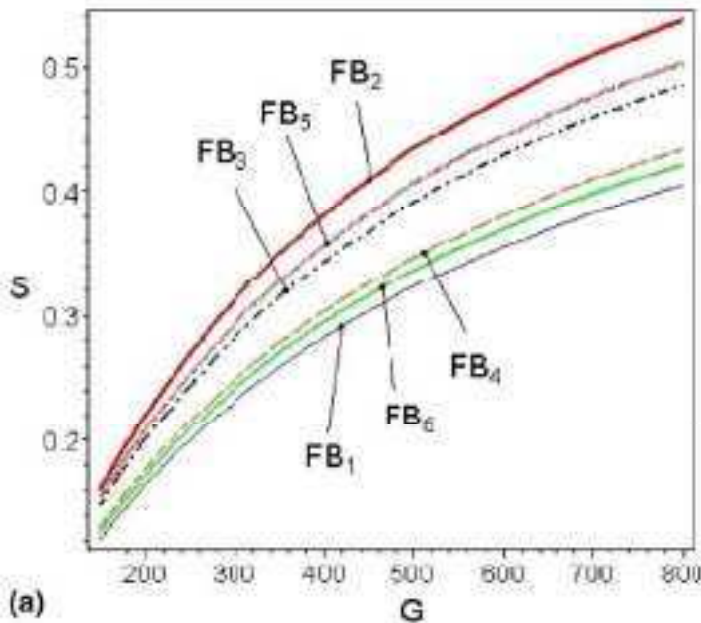
Le facciate ventilate il cui rivestimento esterno è costituito da un materiale riflettente (acciaio speciale, alluminio-titanio, ecc.) riducono in maniera più significativa l'influenza della radiazione solare e possono essere considerate come una valida alternativa delle pareti ventilate.

L'energia risparmiata aumenta sensibilmente al diminuire della differenza di temperatura tra interno ed esterno.

La resistenza termica del paramento esterno della parete ventilata ed i relativi valori di rugosità delle superfici delimitanti il condotto di ventilazione influenzano l'energia risparmiata S.

Lo studio tuttavia si basa su dati ricavati da modellazioni e non supportati da riscontri sperimentali. Lo studio della facciata ventilata rivestita con tavole in laterizio è stato oggetto di studio da parte di tre studiose [Carla Balocco, Frida Bazzocchi, Primerose Nistri, 2001].

Frutto di una collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Civile, il Dipartimento di Energetica di Firenze e la ditta produttrice del sistema, la ricerca riguarda lo studio di una parete ventilata prevista per il rivestimento di un edificio destinato ad uso uffici realizzato nella città di Mantova.



Il programma che, per via iterativa, ha risolto il sistema di equazioni derivate dal bilancio di energia e di massa ha permesso di conoscere:

L'andamento e la distribuzione della temperatura del sistema aperto parete ventilata, delle superfici interna ed esterna del paramento, dell'aria all'interno dell'intercapedine, della superficie del muro rivolta verso l'intercapedine. La quantità in massa di aria entrante ed uscente dall'intercapedine, le condizioni igrometriche di quest'ultima nonché la velocità dell'aria al suo interno.

Il flusso termico entrante ed uscente nell'ambiente interno dell'edificio è quindi la quantità di calore sottratta dalla massa d'aria fluente nell'intercapedine ventilata.

Le considerazioni conclusive a cui è giunta tale ricerca hanno riguardato il flusso d'aria e la temperatura media dell'aria nell'intercapedine, in quanto è stato rilevato che, in un'intercapedine più ampia, circola più aria; ciò comporta una simultaneità tra l'aumento del flusso d'aria e l'aumento del flusso termico dovuto alla radiazione solare.

Inoltre, per quanto riguarda la temperatura del paramento di rivestimento, è stato rilevato che la temperatura della superficie interna della tavella si riduce in corrispondenza dell'aumento della temperatura dell'aria esterna e della radiazione solare incidente, insieme alla riduzione del valore della temperatura media dell'aria nell'intercapedine.

Infine, si è riscontrata una notevole riduzione del flusso termico medio entrante.

Dalla Pennsylvania un gruppo di ricercatori [Danko Davidovic, Jelena Srebric, Eric F.P. Burnett, 2006] ha sviluppato un'equazione per valutare il trasporto convettivo di umidità nelle pareti ventilate. L'obiettivo è stato determinare una semplice equazione per esigenze pratiche di progettazione.

L'equazione rappresenta una soluzione dell'equazione di trasporto di umidità nel campo bidimensionale, risolta in condizioni stazionarie,

$$\rho \cdot v \cdot \frac{\partial \rho_k}{\partial y} = \rho \cdot D \cdot \frac{\partial^2 \rho_k}{\partial x^2}$$

presupponenti un flusso d'aria laminare con velocità uniforme nell'intercapedine murale.

- $\rho$  rappresenta la densità dell'aria umida;
- $v$  rappresenta la componente verticale della velocità;
- $\rho_k$  rappresenta la densità della componente  $k$ -sima;
- $D$  rappresenta il coefficiente di diffusione.

I risultati ottenuti dall'equazione sono stati poi confrontati per misurare i risultati ottenuti dallo studio di un edificio prototipo dell'Università della Pennsylvania. Il confronto ha mostrato che una semplice equazione può prevedere accuratamente la percentuale di asciugatura per convezione della parete. I risultati risentono in maniera accurata delle condizioni ambientali nell'immediata vicinanza delle superfici bagnate della parete. Questa è stata utilizzata nella pratica ingegneristica per provvedere a una stima della percentuale di asciugatura per convezione nell'intercapedine per sistemi murali ventilati.

In Grecia [A. Dimoudi, A. Androutsopoulos, S. Lykoudis, 2004] è stato presentato un lavoro sperimentale condotto su una parete ventilata, combinazione di un isolamento dinamico e di una facciata ventilata, testata sotto condizioni meteorologiche reali. La parete è stata costituita da due strati intermedi: l'involucro esterno ventilato e l'isolamento dinamico avente la funzione di substrato. L'isolamento dinamico ha consistito di strati traspiranti lascianti entrare l'aria nell'ambiente interno, creanti una ragionevole differenza di pressione tra interno ed esterno.

Tale lavoro sperimentale è stato applicato su pareti ventilate realizzate su una cellula abitativa prototipo:

Sotto diversi valori di temperatura dell'aria interna;

Sotto diversi valori di pressione tra ambiente interno ed esterno. I risultati hanno mostrato che al variare delle condizioni ambientali durante il giorno varia il ruolo dell'isolamento dinamico. I dati misurati mostrano che le perdite di calore per conduzione attraverso la parete diminuiscono all'aumentare della differenza di pressione tra interno ed esterno della cellula abitativa.

Inoltre, l permeabilità all'aria degli strati intermedi dipende dal controllo del flusso d'aria attraverso gli strati della parete. La realizzazione di ciascun componente della parete deve essere pertanto svolta in modo da avere molta cura nel controllo delle infiltrazioni d'aria.

Presso il Dipartimento di Energetica dell'Università degli Studi di Firenze una ricercatrice [Carla Balocco,2002] ha studiato un semplice e pratico strumento per studiare la performance energetica di diverse tipologie di facciate ventilate. Per simulare il prototipo studiato, è stato applicato un bilancio energetico allo stato stazionario, le cui equazioni sono risolvibili agli elementi finiti, con una procedura iterativa.

Sono state calcolate per diverse altezze del canale di ventilazione la temperatura superficiale e la temperatura dell'aria. Sono stati analizzati gli effetti dovuti a differenti larghezze del canale di ventilazione durante la stagione estiva che invernale con bocchette aperte e chiuse. Le analisi mostrano che è possibile ottenere un sensibile effetto di raffrescamento durante l'estate, se il condotto di ventilazione ha una larghezza di 7 cm.

Una riduzione del 27,5% nel surriscaldamento estivo, dovuto alla radiazione termica incidente sulla parete ventilata posta a Sud, è ottenuta con una larghezza del condotto di ventilazione di 35 cm, contro una riduzione del solo 7% ottenibile con un condotto di ventilazione largo 7 cm. Per intercapedini larghe circa 5 cm si hanno condizioni di aria praticamente ferma. Dall'analisi dei risultati di tali simulazioni è stato possibile pertanto focalizzare sul comportamento energetico delle pareti ventilate. In particolare:

La larghezza del canale di ventilazione influenza la naturale convezione e il movimento d'aria all'interno; solitamente una riduzione della resistenza dovuta alla frizione corrisponde ad un aumento del flusso d'aria attraverso il condotto. Quest'ultimo effetto aumenta al diminuire del rapporto tra larghezza e altezza del canale.

- Il flusso d'aria aumenta con la larghezza del condotto di ventilazione, aumentando l'effetto camino. Tale effetto è massimo per larghezze del canale di ventilazione di 20-30 cm.

La geometria e la rugosità media del condotto influenza in maniera uniforme il flusso di calore, la variazione di temperatura superficiale lungo il camino e le perdite di pressione.

Presso l'Università Politecnica della Catalogna [Costa M., Aceves O., Sen F., Platzer W., Haller A., Indetzki M., Ojanen T., 2001] è stato condotto uno studio sperimentale e termo-fisico sulle facciate ventilate multifunzionali.

Sono stati sviluppati otto prototipi di pareti ventilate, combinando sia diversi spessori che differenti materiali dei singoli componenti di queste,

in modo da riguardare i differenti climi europei.

Tali pareti sono state poi montate su due prototipi, monitorati tramite delle termo-resistenze e un flussimetro per periodi ciascuno superiore a una settimana, per circa un anno.

Successivamente è stata condotta un'attività di simulazione tramite il software AGLA, sul quale sono stati immessi dati meteorologici relativi al periodo di riferimento del monitoraggio, dati geometrici e le relative proprietà termofisiche di ciascuno strato costituente le facciate.

Facendo riferimento a un giorno tipico estivo ed uno invernale, si sono confrontati i bilanci termici della facciata ricavati per ciascuna tipologia di parete, in modo da effettuare un confronto sulle prestazioni termiche ed energetiche dei vari pacchetti di facciata.

È stato condotto [Letan R., Dubovsky V., Ziskind G., 2003] uno studio sulla ventilazione passiva e il riscaldamento in strutture multipiano, a partire dalla naturale convezione in un condotto riscaldato.

Sono stati avviati preliminarmente uno studio sperimentale e anche simulazioni virtuali su un modello di laboratorio a piccola scala, suddiviso su tre livelli e connesso da un canale unico, nel quale è stata posta una piastra elettrica riscaldata.

L'analisi sperimentale ha riguardato la misura di velocità e temperatura per ogni ambiente interno, e all'interno del condotto.

I risultati ottenuti dalle simulazioni e supportati dalle misurazioni, indicano che è ottenibile un'effettiva ventilazione e riscaldamento attraverso il metodo proposto, su un prototipo sperimentale. Sono state elaborate delle

simulazioni virtuali per una struttura a scala reale di un edificio a cinque piani, dotato di condotto di ventilazione riscaldato dalla radiazione solare. I risultati mostrano che anche con una bassa radiazione solare sono ottenibili flussi di ventilazione in estate, e flussi di riscaldamento in inverno.

Gli studi hanno dimostrato che il metodo proposto è fattibile ed utilizzabile.

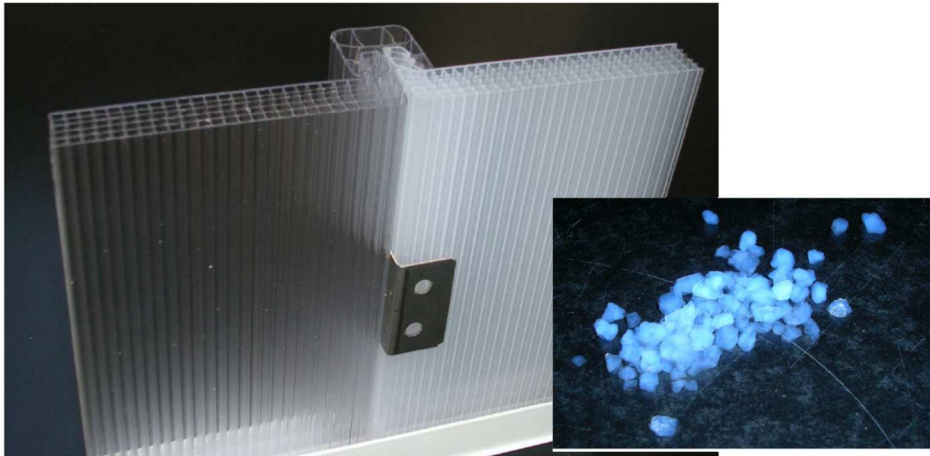
### **1.3 Metodologie**



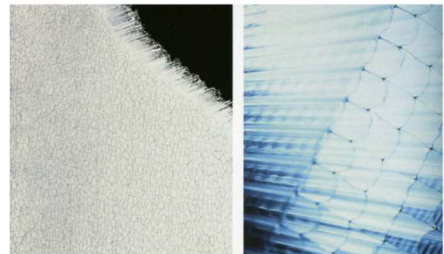
I materiali isolanti trasparenti sono utilizzati, come componenti di involucro edilizio, principalmente in due modi:

1. come strato esterno di un muro opaco entro un sistema solare passivo (esempio, MURO DI TROMBE), al fine di ridurre al minimo le dispersioni di calore;
2. come componente trasparente, in sostituzione di vetrate, per migliorare le condizioni di illuminazione senza aumentare le dispersioni termiche e, quindi, i connessi consumi energetici





**Figura** : (a) pannelli in policarbonato (PC) alveolare; (b) aerogel granulare; (c) TIM capillare; (d) a nido d'ape.



I *TIM* possono essere divisi in due categorie, in funzione della natura organica o inorganica del materiale che li costituisce:

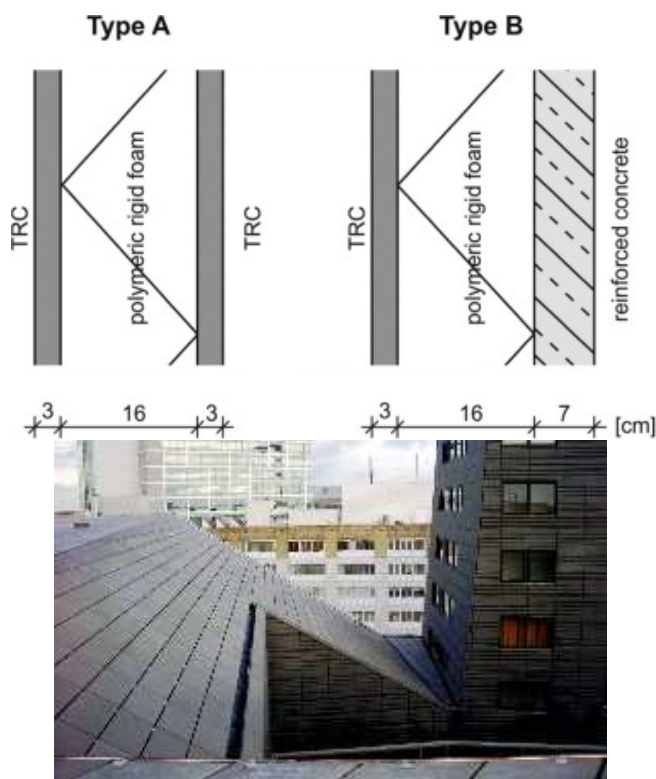
1. natura organica: i policarbonati (*PC*) o polimetilmetacrilati (*PMMA*) a nido d'ape

2. natura inorganica: gli *aerogel* e i composti silicei omogenei o granulari.

I primi derivano principalmente dal settore aeronautico e costituiscono una classe di materiali altamente innovativa e performante, dal momento che uniscono elevate proprietà meccaniche e basso peso specifico, oltre ad offrire un buon isolamento acustico ed elevata capacità di assorbire energia meccanica.

L'attività di ricerca, pertanto, sarà focalizzata principalmente sui *TIM* organici a nido d'ape e su un'altra classe di materiali che sarà messa a

confronto: il *TRC* (*Textile Reinforced Concrete*).



(a) pareti in *TRC*; (b) *betoShell® GRC cladding*; (c) e (d) esempi di applicazioni.

Il *TRC* (in Figura) è un materiale composito costituito da cemento a grana fine e rinforzi in tessuto con elevate capacità portanti.

Grazie alle proprietà dei materiali che lo costituiscono, il *TRC* offre una notevole potenziale applicazione per la realizzazione di facciate a parete sottile e leggera.

Diverse facciate ventilate con dimensioni fino a 12 mq sono state finora applicate, tuttavia l'applicazione di strutture snelle è limitata a causa della necessità di offrire capacità di carico, deformazione e di resistenza alle screpolature e, pertanto, rinforzi metallici sono necessari per pannelli di

grandi dimensioni.

Elementi rigidi, leggeri e robusti possono essere aggiunti attraverso le costruzioni tipo *sandwich*, che combinano ulteriori riduzioni della sezione di calcestruzzo e funzioni aggiuntive, ai fini di una costruzione integrale all'interno di una sezione compatta.

Pannelli *sandwich* con rivestimenti realizzati in lamiere sottili ( $< 1$  mm) o paramenti in cemento armato ( $8\div 14$  cm) sono stati utilizzati con successo in edifici industriali e multipiano per decenni.

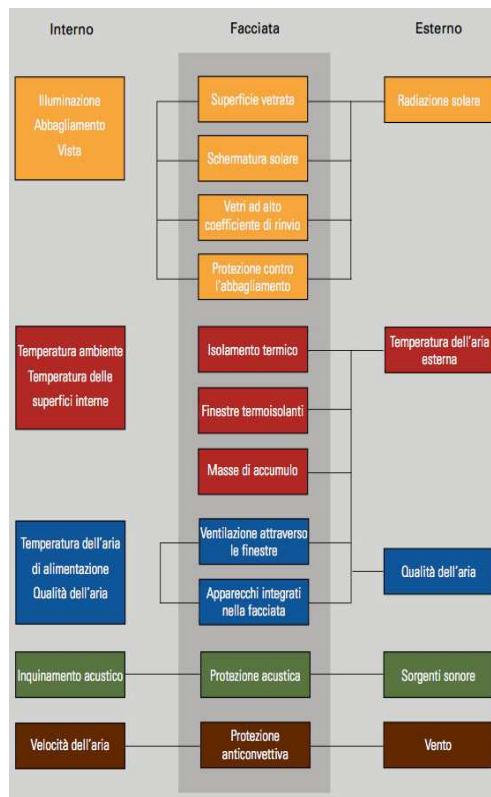
I loro principi di progettazione e modelli strutturali sono significativamente diversi tra loro.

Pannelli sandwich in *TRC* con spessori esterni di  $3\div 7$  cm combinano i vantaggi delle costruzioni di cui sopra in termini di riduzione del peso, un grande potenziale risparmio economico (compresa la riduzione di emissioni di anidride carbonica) e la sicurezza contro la corrosione.

Dall'analisi della letteratura in merito alle facciate ventilate è emerso che in un primo momento gli studi sono stati condotti essenzialmente mirando ad analizzare il risparmio energetico ottenuto durante la stagione invernale, approfondendo il problema della durabilità che questi involucri hanno.

Successivamente gli studi hanno mirato a valutare anche le sue eccellenti proprietà durante la stagione estiva, grazie all' "effetto camino" che si instaura all'interno del condotto di ventilazione, conducendo allo sviluppo di molti modelli numerici che determinano una serie di temperature e la velocità dell'aria nel camino di ventilazione, valutando il comportamento termico.

- PROTEZIONE DAL CALORE
- PONTI TERMICI (RISPARMIO ENERGETICO)
- PROTEZIONE DALL'UMIDITA'
- PROTEZIONE ANTINCENDIO
- PROTEZIONE DAL RUMORE
- PROTEZIONE TERMICA ESTIVA/INVERNALE
- SFRUTTAMENTO LUCE DIURNA
- ECOLOGIA



I moderni sistemi di rivestimento a parete ventilata presentano due casistiche fondamentali:

1. Pareti mediamente o fortemente ventilate nell'intercapedine (*Ventilated Vaneers*);
2. Sistemi di rivestimento debolmente o molto debolmente ventilati nell'intecapedine, micro o pseudo ventilati (*Micro-ventilated Vaneers*).

*Figura -La facciata in equilibrio fra i vari requisiti*

I rivestimenti a parete ventilata possono essere realizzati con elementi di varia forma e dimensioni e con i materiali più diversi. **Le forme più utilizzate** sono quelle a: lastra, tavella, doga, listello, cassetta, pannello ed in taluni casi comprendono anche elementi speciali curvi per la risoluzione di pareti curve o per l'arrotondamento di linee di spigolo. Possiamo classificarli in base al materiale che li compone:

- Fibrocemento
- Pannelli Rockpanel
- Il legno e i suoi derivati
- Metalli
- Pietra naturale
- Facciate di vetro
- Facciate di vetro con lana di roccia a vista
- Facciate tessili in materiale sintetico
- Muri a facciavista
- La facciata che produce energia

### 1.3.1 Fibrocemento

Sono utilizzati sia per rivestire facciate sia per coprire tetti e realizzare rifiniture interne; durano molto a lungo perché sono particolarmente resistenti agli agenti atmosferici come l'umidità, le variazioni di temperatura, la grandine e le radiazioni solari; inoltre, non bruciano (sono classificati con indice di incombustibilità 6 o 6q), per cui spesso vengono utilizzati quando si devono soddisfare requisiti di protezione antincendio particolarmente severi.



*Figura –Esempio di una  
facciata in pannelli in  
fibrocemento*

I pannelli in fibrocemento sono fatti di cemento (40% circa), fibre di rinforzo di origine sintetica e fibre di processo in cellulosa.

Vi sono diverse tipologie di pannelli in fibrocemento per facciate: lisci, ondulati o forati. La gamma dei colori comprende diverse centinaia di tonalità coprenti o trasparenti. Esistono anche pannelli in fibrocemento che imitano fedelmente l'aspetto di altri materiali come il legno o l'ardesia naturale.

### 1.3.2 Pannelli Rockpanel

Sono pannelli di rivestimento per facciate che si ottengono dal basalto.

I pannelli Rockpanel sono completamente riciclabili e già quelli attualmente in commercio sono fatti per il 25 % di materiale riciclato.



*Figura –Esempio di una  
facciata in pannelli in rockpanel*

I pannelli per facciate Rockpanel durano a lungo e sono resistenti agli agenti atmosferici.

I pannelli Rockpanel sono disponibili in più di 100 colori codificati secondo il sistema RAL. Il che consente di abbinarli perfettamente ad altri elementi costruttivi. Di superficie liscia o ruvida, vi sono quelli che imitano l'aspetto di altri materiali come il legno o il metallo.

### 1.3.3 I Metalli

Oltre che in acciaio, alluminio e zinco, possono essere realizzate anche in rame, bronzo, ottone e, più raramente, in piombo. Il rame e soprattutto il piombo, tuttavia, comportano dei rischi perché, se dissolti nell'acqua sotto forma di sali, possono essere tossici per l'organismo. I metalli vengono utilizzati per lo più sotto forma di leghe perché queste ultime hanno proprietà fisiche migliori rispetto ai metalli puri.

I metalli resistenti alla corrosione, come ad esempio l'acciaio legato, si mantengono lucenti; altri, invece, formano una bella patina che li protegge dal processo corrosivo. Se si vuole evitare che le facciate di metallo si ossidino, basta rivestirle di uno strato protettivo, come ad esempio una vernice o una sostanza sintetica (pellicola, rivestimento in polvere). Spesso il metallo viene utilizzato anche sotto forma di materiali



*Figura –Esempio di una  
facciata in pannelli in metallo*

compositi come gli elementi sandwich, ovvero due lamiere incollate tra loro per mezzo di un'anima in materiale sintetico o in materiale isolante minerale. Gli elementi sandwich vantano proprietà statiche e fonoisolanti migliori.

Le lamiere stirate offrono innumerevoli possibilità di espressione architettonica. Si ottengono praticando dei tagli sfalsati sulle lamiere e poi stirandole. In questo modo si ricavano pannelli o lamiere di metallo a griglia dotati di un'elevata rigidità ma dall'aspetto sottile e leggero, che consentono di realizzare anche facciate arrotondate.



### 1.3.4 Pietra naturale



*Figura – Esempio di una facciata in pannelli in pie naturale*

Vi è una vasta scelta di pietre naturali, I silicati nonché le pietre calcaree e arenarie dure e compatte si prestano benissimo a questo scopo perché sono molto resistenti agli agenti atmosferici e alle sollecitazioni meccaniche. Alcune rocce metamorfiche, come ad esempio il marmo, possono indebolirsi e deformarsi sotto l'effetto degli agenti atmosferici. Ognuna di queste pietre richiede, pertanto, una costruzione di fissaggio adatta alle proprie caratteristiche.

Le pietre naturali si trovano in una varietà pressoché illimitata di colori, motivi e strutture. Come se non bastasse, la superficie delle lastre di pietra può essere lavorata in moltissimi modi diversi: infatti, può essere molata, lucidata, intagliata, raschiata, sabbiata o semplicemente sfaldata e lasciata al naturale, o possono essere trattate con dell'impregnante per aumentarne la resistenza alle intemperie.

### 1.3.5 Facciate di vetro

Il vetro è un ottimo materiale col quale si possono realizzare facciate dalle forme più disparate. Opaco, traslucido o trasparente, il vetro permette di creare effetti che con altri materiali è assolutamente impensabile ottenere. Avendo un elevato peso proprio, il vetro ha bisogno



*Figura – Esempio di una  
facciata in pannelli in vetro*

di una solida sottostruttura alla quale ancorarsi. Questa funzione può essere svolta dai bordi esterni dei telai delle finestre. In genere, le sottostrutture delle facciate sono fatte di metallo e i ponti termici creati dagli elementi di ancoraggio devono essere interrotti da elementi separatori Thermostop.

Le facciate di vetro devono essere dotate di un vano di ventilazione per permettere la dispersione del calore accumulatosi a causa dell'irradiazione solare.

I materiali isolanti minerali si addicono perfettamente a questo scopo.

### 1.3.6 Facciate di vetro con lana di roccia a vista



i pannelli a vetri opachi cambiano colore a seconda dell'incidenza della

*Figura –Esempio di una facciata in  
pannelli in lana da roccia*

luce e i sottostanti pannelli isolanti colorati si intravedono appena.

I vetri trasparenti, invece, permettono di realizzare sia intensi giochi cromatici sia una presentazione più neutrale del vetro attraverso una colorazione meno vistosa dei pannelli isolanti.

Dall'incontro tra la ricca tavolozza di colori utilizzabili (tutti quelli minerali e resistenti ai raggi UV) e le diverse lavorazioni del vetro nasce una scelta di facciate praticamente infinita, anche grazie alla diversa lavorazione del materiale isolante, che può essere fornito con la superficie liscia o ruvida e che può essere montato con i giunti aperti o chiusi.

Il materiale isolante che sta dietro a una facciata di vetro deve essere resistente ai raggi UV e alle temperature elevate proprio come la vernice

che lo riveste.

I materiali isolanti minerali e le pitture minerali soddisfano entrambi questi requisiti. Il pannello isolante Flumroc DECO è stato progettato appositamente per le facciate di vetro. La lana di roccia soddisfa anche le severissime prescrizioni in materia di protezione antincendio.

### 1.3.7 Facciate tessili in materiale sintetico

Le tensostrutture a membrana tessile conferiscono agli edifici un aspetto organico indipendentemente dalla base di ancoraggio. La membrana tessile protegge l'involucro edilizio dagli agenti atmosferici. La possibilità



*Figura – Esempio di una facciata in pannelli in materiale sintetico*

di combinare materiali e colori diversi consente di scegliere tra innumerevoli configurazioni possibili.

La membrana tessile non è altro che un tessuto reticolare in poliestere rivestito di PVC. Il PVC ha due vantaggi: può essere saldato ed è resistente ai raggi UV.

Le facciate tessili offrono grande libertà espressiva non solo per la ristrutturazione di vecchi edifici ma anche per la realizzazione di nuove costruzioni.

### 1.3.8 Muri a facciavista

Oggi i muri a facciavista vengono costruiti per lo più a bicusco; consistono in un muro esterno di mattoni a facciavista e un muro interno con funzione portante separati da un'intercapedine in cui trova posto l'isolamento termico.



*Figura –Esempio di una facciata con muri a facciavista*

Esistono poi delle costruzioni composite monolitiche con muro termoisolante, la costruzione biguscio prevede la realizzazione di giunti di dilatazione. Questi ultimi, per lo più verticali, possono essere utilizzati anche come elementi di design.

### 1.3.9 La facciata che produce energia

I moduli solari integrati nella facciata non solo producono energia ma fungono anche da involucro edilizio.

Le facciate solari hanno sicuramente un rendimento minore per metro



*Figura – Esempio di una facciata  
che produce energia*

quadrato, soprattutto d'estate, ma sfruttano tutte le superfici disponibili.

Integrare i pannelli fotovoltaici nella facciata è possibile tanto negli ammodernamenti edilizi quanto nelle nuove costruzioni.

Questi pannelli si adattano perfettamente al rivestimento di facciate: le celle solari sono resistenti alle intemperie e alla grandine e, combinate con un isolamento termico incombustibile, soddisfano i massimi requisiti in termini di protezione antincendio.

### 1.3.10 Materiali a confronto

Comparazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche delle principali tipologie di pareti ventilate attualmente in commercio.

TIPOLOGIE		Spessore (Thickness) mm	Dimensioni Lastre più comuni	Densità (Density) Kg/dm3	tipologia	Resistenza a carico assiale (MPa)	Resistenza a Flessione (MPa)	Resistenza alla Corrosione	Resistenza Chimica	Resistenza shock termici	Resistenza al Ghiaccio	Resistenza alle Macchie	Conducibilità termica W/mK	Modulo elastico (GPa)	Trasmittanza (W/m2K)	
R I V E S T I M E N T I  P E S A N T I	Lastre lapidee di origine naturale - elevate prestazioni	≥ 2cm		2,80 – 2,95 Kg/dm3	Granito Ardesia Basalto	80-200 80-200 150-350	57 MPa 50-70 30	buona buona buona	ottima ottima ottima	ottima ottima ottima	ottima ottima ottima	ottima ottima ottima	0,4 0,3 0,4	20-100 60-100 90-120	0,26 - -	
	Lastre lapidee di origine naturale - medie prestazioni	≥ 3cm	60x40 60x60 90x60	2,60 – 2,75 Kg/dm3	Terracotta Piastrelle Mattone in Silicocalcare	40,00 40-50 80,00	> 12 50-70 50-70	buona buona buona	buona buona buona	buona buona buona	buona buona buona	ottima ottima ottima	0,1 0,15 0,03	70-100 50-100 70-120	0,25 0,31 0,025	
	Lastre lapidee ricomposte	≥ 2cm		2,40 – 2,80 Kg/dm3	Varia	80-150	50-100	ottima	buona	ottima	buona	ottima	0,03	100-200	0,35	
	Lastre di calcestruzzo armato	≥ 3cm	45x45, 60x60, 90x60	2,20 – 2,50 Kg/dm3	Lastre cls armato	150-250	100-150	ottima	ottima	buona	buona	ottima	0,03	170-200-250	0,25	
R I V E S T I M E N T I  L E G G E R I	Lastre in gres porcellanato	6mm ≤ x ≤ 20mm	60x60, 90x60, 120x60	2200 kg/m3	Gres porcellanato	60,00	35	ottima	ottima	ottima	buona	ottima	0,31	-	-	
	Lastre o pannelli in fibrocemento	4mm ≤ x ≤ 20mm	Pannelli: 250x100 Lastre: 120x60 Doghe: 200x50	1150 kg/m3	Inerti e cemento Portland, armata con rete in fibra di vetro Spessore: 12,5 mm	20-30	9,6	buona	buona	buona	buona	buona	buona	0,35	4	0,6
					Portland, armata con rete in fibra di vetro sulle superfici, 100% minerale	40,00	32	buona	buona	buona	buona	buona	buona	0,36	13	0,25
					Cemento "trasparente" con fibre di acciaio inossidabile e di polipropilene	7,00	-	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	nd ma valore molto basso	nd	-
	Lastre in metallo	0,7mm ≤ x ≤ 2,5mm	60x60, 90x60, 120x60	-	Flame	240,00	-	ottima	buona	buona	buona	buona	buona	390	-	-
					Alluminio	250,00	-	ottima	buona	buona	buona	buona	buona	290	-	0,26
					Lega zinco-titanio	min 150	-	ottima	buona	buona	buona	buona	buona	-	-	0,25
	Lastre hPL	6mm ≤ x ≤ 20mm	60x60, 90x60, 120x60	40/60 - 400	Strati di fibre cellulose impregnate con resine fenoliche	60,00	-	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	0,3	9	0,26
					Pannello termoisolante in fibra di Lino	0,20	-	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	0,04	-	-
					Pannello in lana di legno di abete, mineralizzata e legata con cemento Portland	0,20	-	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	0,075	-	0,5
Lastre in composito	4mm ≤ x ≤ 35mm	60x60, 90x60, 120x60	-	Alluminio ricoperto da un sottilissimo film di polietilene	0,32	-	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	0,03	-	0,67	
				Honeycomb AA3005, H44	243,00	25	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	0,03	-	-	
Lastre in materiali di sintesi	4mm ≤ x ≤ 20mm	Pannelli: 250x100 Lastre: 120x60 Doghe: 200x50	36/100-300	Lastre in EPS (Polistirene Espanso Sinterizzato) additivate con grafite	0,15	-	ottima	ottima	buona	ottima	buona	buona	0,031	-	0,3	
				Poliuretano espanso	0,15	-	buona	buona	buona	buona	buona	buona	0,02	-	-	
				Silice autostinguente	0,15	-	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	0,0045	-	0,25	
Pannelli in legno naturale	10mm ≤ x ≤ 40mm	250x30x2,5	-	Composite panel faced with a natural wood veneer and coated with a synthetic resins and PVDF coating, based on synthetic resins and PVDF, which protect the panel from the effects of sunlight, chemical attack (anti-graffiti) and the damage caused by atmospheric agents.	> 60	80	ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	0,26	> 9	-		
Pannelli in legno ricomposto	6mm ≤ x ≤ 15mm	250x30x2,5	140/150	Sughero	0,60		ottima	ottima	ottima	ottima	ottima	0,035	-	0,51		
Pannelli in lana di roccia	6,8 e 10mm	60x60, 90x60, 120x60, 180x90	40/180	Lastre in Lana di roccia	0,08	0,125	buona	buona	buona	media	buona	0,035	-	0,3		

## **CAPITOLO 2**

### **2.1 Requisiti**

Il sistema a facciata ventilata è una soluzione costruttiva multistrato complessa che garantisce una maggiore valorizzazione estetico-prestazionale nettamente superiore rispetto alla muratura tradizionale. Con tali sistemi è possibile creare un isolamento termico integrale avvolgendo e proteggendo l'edificio come fosse un "cappotto", senza gli svantaggi di quest'ultimo, (l'esposizione agli agenti atmosferici, supporto al rivestimento e mancanza di aereazione dell'isolante).

Il comportamento energetico complessivo che ne risulta minimizza le dispersioni e privilegia l'equilibrio termico riducendo ai minimi termini il fabbisogno energetico.

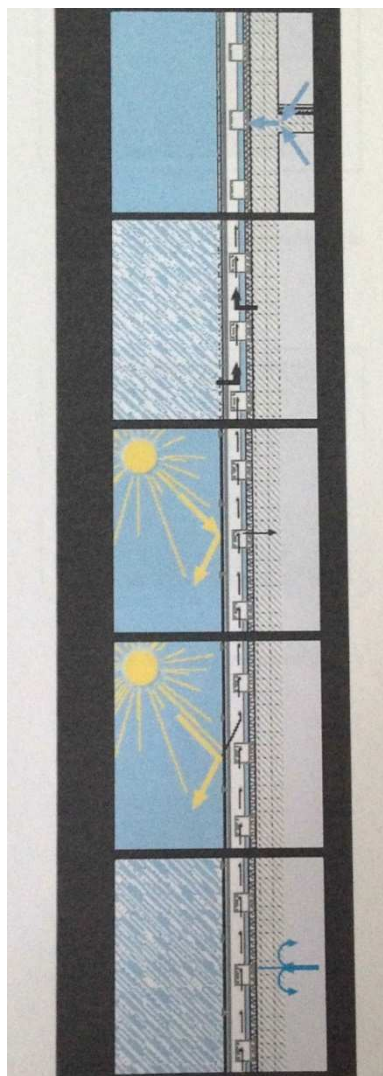
Infatti, il posizionamento dello strato coibente continuo a copertura della parete muraria garantisce una diminuzione della dispersione termica eliminando la presenza di ponti termici e discontinuità di isolamento in corrispondenza di travi e pilastri di bordo, generalmente presenti nelle pareti convenzionali.

Il paramento esterno "allontana" dalla parete muraria e, quindi, dagli spazi abitativi, sia l'energia trasportata dalla radiazione solare, sia l'acqua piovana incidente evitando il contatto diretto con il muro perimetrale che separa l'esterno dall'interno dell'edificio.

Inoltre la parete ventilata tende a favorire la riflessione dei rumori esterni grazie alla sua costruzione a strati di paramento, intercapedine ed isolante che determinano un certo assorbimento acustico. Ciò dipende, ovviamente, dalle caratteristiche di riflessione, assorbimento e trasmissione acustica dei materiali impiegati, nonché dal loro dimensionamento e posizionamento e dal comportamento della struttura muraria dell'edificio.



I vantaggi ottenuti dall'applicazione di una parete ventilata rispetto ad una parete tradizionale sono:



1. *eliminazione dei rischi di fessurazione del rivestimento;*
2. *eliminazione del rischio di distacco dalla parete per scollamento;*
3. *protezione della struttura muraria dell'azione diretta degli agenti atmosferici;*
4. *eliminazione dei ponti termici e conseguente risparmio energetico;*
5. *eliminazione della condensa superficiale (la presenza dell'intercapedine*

*d'aria facilita l'evacuazione del vapore acqueo proveniente dall'interno, favorendo lo smaltimento di eventuale umidità);*

- 6. efficienza nel tempo dell'isolante esterno, mantenuto perfettamente secco da una ventilazione ottimale;*
- 7. facilità di posa in opera indipendentemente dalle condizioni climatiche;*
- 8. manutenzione e possibilità di intervento su ogni singola lastra;*
- 9. creazione di un vano tecnico per l'alloggiamento di impianti e canalizzazioni.*

## **2.2 Descrizione**



La facciata ventilata è un sistema articolato per cui la scelta dell'utilizzo di una loro serie richiede la conoscenza delle caratteristiche dei singoli strati funzionali che la compongono, analizzando aspetti e requisiti di:

- 1. rivestimento o paramento esterno;*
- 2. struttura di ancoraggio;*
- 3. intercapedine di ventilazione;*
- 4. strato isolante;*
- 5. muro perimetrale o di tamponamento;*
- 6. elementi di aggancio.*

Il rivestimento (*paramento esterno*)

Ciò che valorizza maggiormente l'edificio, è il rivestimento esterno. La sua funzione, infatti, è quella di caratterizzare l'estetica dell'edificio nonché di proteggerne la struttura muraria dagli agenti atmosferico-inquinanti e di contribuire all'ottenimento delle prestazioni. Sul retro di ogni lastra è prevista una rete in fibra di vetro incollata avente maglia di 5x5 mm, con funzione di sicurezza che, in caso di rottura di una lastra, trattiene in posizione i frammenti in attesa di sostituzione. I requisiti dei materiali applicati ad una facciata ventilata devono avere caratteristiche tecniche di:

- a) *elevata resistenza meccanica;*
- b) *elevata resistenza agli sbalzi termici;*
- c) *elevato assorbimento d'acqua;*
- d) *incombustibilità;*
- e) *resistenza dei colori alla luce solare;*
- f) *resistenza agli attacchi chimici e allo smog;*
- g) *leggerezza e lavorabilità;*
- h) *limitata manutenzione.*

### **Struttura di ancoraggio**

I sistemi di facciata ventilata sono divisibili in due gruppi in funzione della tipologia di aggancio delle lastre da utilizzare:

*-GHV con aggancio visibile;*

*-GHS con aggancio non visibile.*

Costruttivamente la principale differenza tra i due gruppi consiste, oltre al fissaggio struttura-lastra, nell'utilizzo dei sistemi GHS di un'orditura orizzontale di traversi che vengono interposti tra montanti e accessori d'aggancio. All'interno di ciascun gruppo è possibile utilizzare staffe, montanti e traversi con profili aventi forma e dimensioni variabili a seconda della modularità delle lastre crescenti e dei carichi del vento specifici, che costituiscono gli unici parametri che determinano l'utilizzo della serie:

- Sistema Basic
- Sistema Large

Nel sistema GHV con aggancio visibile i montanti verticali ancorati alle staffe vengono fissati ad interasse del "modulo", determinato in funzione delle dimensioni delle lastre utilizzate e della fuga. L'allineamento di questi profili è la vera chiave di volta del sistema in grado di realizzare una parete diritta e complanare. Generalmente la "tessitura" della facciata si presenta con fuga verticale continua, anche se è possibile la disposizione a fasce con fughe verticali disassate, come nel caso del classico spaccamattoni. L'orditura orizzontale ad incrocio con i montanti verticali, presente nel caso del sistema GHS con aggancio non visibile, permette la realizzazione di "tessiture" con fughe verticali disassate agevolando, grazie ai traversi continui, la disposizione della lastra in senso orizzontale.

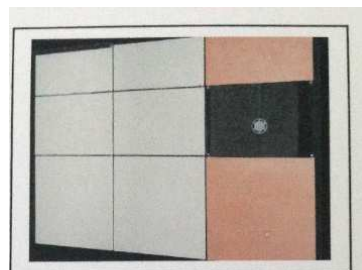


Fig.1 Sistema con aggancio visibile

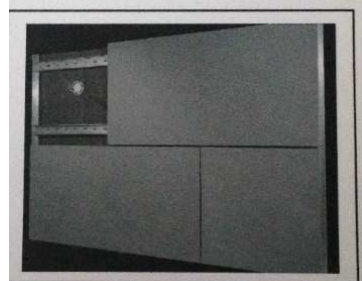


Fig.2 Sistema con aggancio non visibile

## Intercapedine di ventilazione

In una facciata ventilata l'intercapedine posta tra l'isolante e il pavimento esterno, oltre a creare un'efficace protezione alla muratura stessa ed una camera di caduta dell'eventuale acqua meteorica, garantisce la circolazione dell'aria che entra in base alla facciata ed esce alla sommità in seguito all'innalzamento della sua temperatura.

La radiazione solare incidente sulla facciata del calore uscente dagli spazi abitativi determina, infatti, il riscaldamento della stessa con il successivo innescarsi del moto circolatorio. Tali aperture di ventilazione vengono eventualmente protette da griglie onde evitare l'indesiderato ingresso di corpi estranei.

Di fondamentale importanza per una buona ventilazione è innanzitutto il dimensionamento dell'intercapedine affinché sia garantita una buona circolazione dell'aria e soprattutto possa innescarsi l'effetto camino; ha generalmente uno spessore variabile tra i 30 mm e gli 80 mm.

Il funzionamento di tale strato dipende dalle condizioni di circolazione dell'aria al suo interno, per cui è da evitare la presenza di eventuali impedimenti che limitino tale flusso (strozzature dovute alla presenza di elementi strutturali, ecc.).

## Strato isolante

Lo strato isolante è costituito da pannelli rigidi o semirigidi, realizzati in fibre vegetali, minerali o materie plastiche cellulari. Lo spessore varia secondo il materiale impiegato e le esigenze termiche di progetto; generalmente è compreso tra i 3 e gli 8 cm. I pannelli isolanti vengono fissati direttamente al supporto murario mediante fissaggi idonei. Il posizionamento dello strato coibente in modo uniforme (comprese le intelaiature di travi e pilastri) garantisce una temperatura più uniforme tra

le varie zone della parete eliminando i cosiddetti “ponti termici”, spesso responsabili della creazione di muffe e condense. La scelta del tipo di pannello da utilizzare dipende, oltre che dalle diverse esigenze progettuali, anche e soprattutto dalle sue caratteristiche prestazionali:

- capacità termica isolante;
- *idrorepellenza*;
- *reazione a fuoco*;
- *traspirabilità (impedire fenomeni di condensa)*;
- *isolamento acustico*;
- *colorazione superficiale*
- *resistenza nel tempo (resistenza del pannello al degrado e allo sfibramento)*.

### **Muro perimetrale o di tamponamento**

Il supporto murario di una parete ventilata deve essere realizzato con materiali (cemento armato, muratura, blocchi, ecc.), con modalità tali da permettere l'ancoraggio della struttura portante della facciata e con una resistenza appropriata ai carichi del vento di progetto. Scegliendo opportunamente lo spessore e la tipologia dei materiali del supporto murario ed in virtù delle presentazioni termiche del sistema di parete ventilata, può essere eliminata la classica contro parete interna in mattoni forati con i vantaggi di superficie utile di alloggio ottenibile, facendo comunque attenzione al posizionamento degli impianti nella muratura per evitare interferenze con gli ancoraggi della facciata stessa. La superficie esterna del supporto dovrebbe generalmente essere regolarizzata mediante uno strato di malta uniformemente distribuito allo scopo

di ridurre le irregolarità superficiali localizzate della muratura.

### **Elementi di aggancio**

Gli elementi di aggancio hanno il compito di permettere l'assemblaggio e l'ancoraggio delle lastre in grès porcellanato agli elementi continui e sono generalmente posizionati in prossimità dei vertici della lastra. Essi sono corredati di guarnizioni con funzione di separazione ed antivibrazione. Nelle applicazioni con agganci visibili, il sistema con Granitech GHV generalmente utilizza agganci verniciati secondo la tonalità della lastra, in questo modo si riduce notevolmente l'impatto visivo a tal punto da non essere più percettibile a una distanza di pochi metri. Nel sistema Granitech GHS, con agganci non visibili, l'ancoraggio delle lastre ai traversi avviene mediante speciali graffe che consentono le necessarie regolazioni. Tali graffe sono fissate nella parte retrostante delle lastre con inserti meccanici ad espansione controllata all'interno di apposti fori tronco-conici eseguiti in stabilimento.

### **Posa in opera**

Il processo si svolge tipicamente secondo la seguente sequenza.

A\_ Tracciamento dei livelli e delle linee di riferimento partendo dai capisaldi predeterminati dal cliente: si definiscono così gli assi dei montati e/o le posizioni delle staffe in conformità con i disegni esecutivi e di dettaglio, alla fine di riprodurre in cantiere le modularità e le eventuali fasce di compensazione presenti nel progetto. Una volta individuati i punti ove le staffe devono essere posizionate, si procede con il foro della muratura, e successivamente con il fissaggio delle staffe mediante tasselli chimici o meccanici.

B\_ La posa dell'isolante. Si procede alla posa dei pannelli di materiale isolante mediante tasselli in nylon, previa foratura della muratura. Una volta inseriti i profili verticali delle staffe, si procede creando con questi ultimi un piano d'appoggio sul quale si determinano i riferimenti e la posa delle lastre nei sistemi GHV e per quella dei traversi nei sistemi GHS, così da fissare, mediante rivetti, i profili alle staffe in maniera definitiva.

C\_ La posa delle lastre in grès porcellanato, per il sistema con aggancio visibile: per i sistemi GHV il fissaggio delle lastre avviene mediante speciali clips colorate inserite nei montanti e fissate mediante rivetti che assicurano una tenuta costante nel tempo. Tra la lastra ed il profilo è posta una speciale guarnizione in gomma che consente di smorzare il contatto tra i due elementi evitandone le vibrazioni. Ultimato l'inserimento della lastra, si procede con il fissaggio del gancio.

D\_ La posa delle lastre in grés porcellanato, per il sistema con aggancio non visibile: per i sistemi GHS la posa della lastra è preceduta dal fissaggio dei traversi sui montanti mediante rivetti e dal montaggio di inserti meccanici ad espansione all'interno di appositi fori tronco-conici ai quali sono assicurate speciali graffe che consentono l'ancoraggio ai traversi e le necessarie regolazioni.



## 2.3 Tipologie di facciata ventilata

Affinché la scelta del sistema, il progetto generale e di dettaglio, l'installazione ed i relativi controlli siano adeguati alle caratteristiche dell'edificio, alle sue effettive



Fig. 35– Renzo Piano, New Metropolis, Amsterdam.

condizioni di esposizione all'ambiente esterno ed anche alle esigenze ed al comportamento dei suoi utenti, le facciate ventilate si possono dividere per

- *tipologia fisica o termodinamica;*
- *tipologia geometrica dei pannelli di rivestimento;*
- *tipologia di peso del pannello;*
- *tipologia di fissaggio.*

### 2.3.1 Divisione per tipologia fisica o termodinamica

#### *Facciata ventilata vera e propria*

Studiata per avere un rendimento energetico ottimale in tutte le stagioni. Spessore della lama d'aria, fra le lastre di rivestimento e i pannelli d'isolante, accuratamente calcolato e progettato per esempio eliminazione delle barriere al movimento in verticale della lama d'aria e viceversa

creazione delle necessarie barriere al movimento orizzontale della lama d'aria. Barriere meccaniche e mobili per la corretta regolazione dei flussi d'aria in funzione delle necessità stagionali o giornaliere.

*Facciata a schermo avanzato o micro ventilata*

Facciata con valenza architettonica e elementi simili alla precedente, ma che non si presta alle regolazioni dei flussi d'aria nell'intercapedine secondo le necessità stagionali o giornaliere.

### **2.3.2 Divisione per tipologia geometrica dei pannelli di rivestimento**

*Facciata a pannellature*

Facciata a grandi pannellature in calcestruzzo armato, in GFRC o altro, generalmente di altezza uguale all'interpiano di lunghezza di alcuni metri, fissate alla soletta con quattro staffe.

*Facciata a doghe o a listelli*

Facciata composta da elementi molto lunghi e stretti (3-6 metri x 10-30 cm), posizionati in verticale o in orizzontale e fissati su un'orditura sottostante di tubi di alluminio o di legno, tramite chiodatura o rivettatura. Tali listelli possono essere in legno, in PVC, in lamiera preverniciata, in alluminio, ecc.

*Facciata ventilata in lastre*

Facciata composta da elementi sottili di forma quadrata o rettangolare, di dimensioni comunque inferiori all'interpiano.

### **2.3.3 Divisione per tipologia di peso del pannello**

*Facciate ventilate pesanti*

Facciate in lastre di marmo, granito, pietra, marmo ricomposto, cemento

granito, ecc. Il peso di tali rivestimenti (lastre + sistema d'ancoraggio + pannelli isolanti) varia mediamente da 80 a 120Kg/m<sup>2</sup>.

#### *Facciate ventilate leggere*

Facciate ventilate in lastre di gres porcellanato (piastrelle ceramiche), di

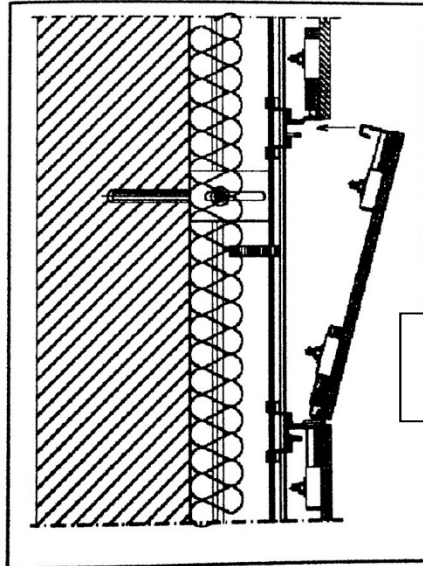


Fig.- Esempio di sottostrutture ed ancoraggi da assemblare a scatto.

alluminio, di fibrocemento, ecc. Il peso di tali rivestimenti (lastre + sistema d'ancoraggio + pannelli isolanti) varia mediamente da 30 a 40 Kg/m<sup>2</sup>.

### 2.3.4 Divisione per tipologia di fissaggio

#### *Facciate con fissaggio meccanico*

Facciate il cui rivestimento esterno è costituito da elementi di varia fattura, ma sempre messi in opera meccanicamente a secco.

#### *Facciate con fissaggio chimico-meccanico*

Facciate in cui i dispositivi di sospensione sono costituiti da elementi meccanici integrati da collanti o siliconi strutturali.

## **2.4 La progettazione della parete ventilata**

Per la progettazione di un edificio nuovo è necessario considerare che la parete ventilata è una soluzione costruttiva complessa concepita secondo criteri di progettazione industriale: tutto deve essere esaminato e definito prima della costruzione, evitando, durante le fasi di realizzazione, modifiche sostanziali e/o improvvisazioni.

Nello sviluppo di un progetto si può partire tenendo in considerazione un particolare modulo di facciata sommando la dimensione reale della lastra e della fuga, da cui può nascere un rivestimento formato da soli elementi interi. Nel caso di componenti di facciata quali aperture, marcapiani od altri elementi non modulari, così come in caso di una ristrutturazione, si può comunque ottimizzare il numero di tagli sulle lastre in modo da gestire correttamente il gioco dei formati ed evitare che l'impiego della struttura risulti antieconomico.

La realizzazione di un progetto per facciata ventilata segue un processo che in via preliminare può così essere schematizzato:

- 1-presenza visione dei progetti e/o dell'idea architettonica relativamente all'involucro edilizio;
- 2-valutazione di fattibilità;
- 3-individuazione dei materiali che compongono il paramento murario da rivestire;
- 4-individuazione di uno schema strutturale e relativo calcolo di massima;
- 5-realizzazione degli elaborati grafici esecutivi.

Una delle scelte progettuali di maggior rilievo per la resa finale del disegno di facciata risiede nella possibilità di utilizzare accessori di



## CAPITOLO 3

### I RIVESTIMENTI DELLE FACCIATE VENTILATE

I contatti con le ditte produttrici di facciate ventilate hanno permesso di acquisire un'importante conoscenza delle caratteristiche e potenzialità del sistema, nonché una buona informazione sui relativi prodotti reperibili in commercio.

La ricca documentazione tecnica messa a disposizione dalle numerose aziende contattate, permette di avere un quadro molto ampio sull'argomento; si rende pertanto doverosa una sintesi di tutto il materiale raccolto che, seppur vasta, non sarà mai completa per le innumerevoli varianti e soluzioni che il sistema offre.

#### 3.1 Facciata ventilata rivestita con piastrelle di ceramica

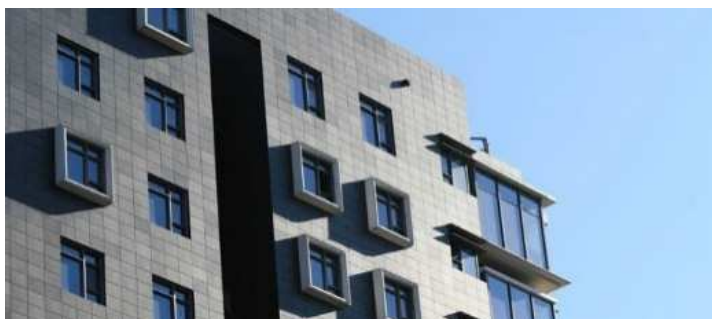
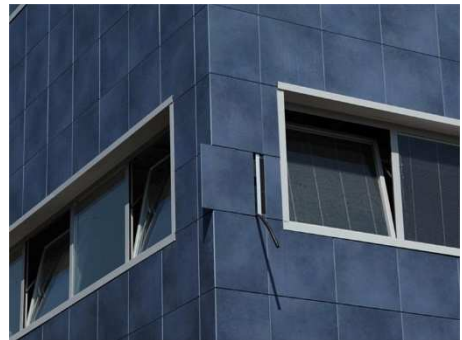


Fig 37– Esempi di parete ventilata in gres porcellanato.

È possibile utilizzare le lastre ceramiche da quando se ne sono potute realizzare di dimensioni tali da renderle competitive con i materiali utilizzati in precedenza; sottostrutture con modularità ravvicinata sarebbero, infatti particolarmente onerose.

Le piastrelle di gres fine porcellanato vengono ottenute macinando ad umido, in mulini discontinui, le materie prime, successivamente essiccate mediante atomizzazione.

PARAMENTO ESTERNO			
Materiale:	gres fine porcellanato		
Formato:	cm 30x60, cm 60x60, cm 60x120, cm 90x90 e relativi sottomultipli, ricavabili per taglio		
Finiture:	naturale, levigato, rustico, rustico e levigato		
Peso:	23,94 Kg/m <sup>2</sup>	con spessore di cm 0,95	
	26,46 Kg/m <sup>2</sup>	con spessore di cm 1,05	
	27,72 Kg/m <sup>2</sup>	con spessore di cm 1,10	
	36,54 Kg/m <sup>2</sup>	con spessore di cm 1,45	
Conducibilità:	dato non fornito		
resistenza a flessione:	norma di riferimento EN 100	valore richiesto ≥27 N/mm <sup>2</sup>	valore medio ≤50 N/mm <sup>2</sup>
<b>SOTTOSTRUTTURA</b>			
Sistema con agganci visibili			
Sistema a con agganci nascosti sul retro della piastrella			



Per la pressatura vengono utilizzate presse idrauliche in grado di fornire una pressione di  $450 \text{ kg/cm}^2$ ; la cottura viene effettuata in forni a rulli monostrato a temperature di circa  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La facciata ventilata in piastrelle di ceramica è applicabile a ogni tipo di supporto murario mediante opportuna massellatura.

Per ottenere una sicurezza maggiore del manufatto che si va a realizzare, oltre a quella che già possiede, è opportuno seguire alcuni accorgimenti che le ditte produttrici suggeriscono.

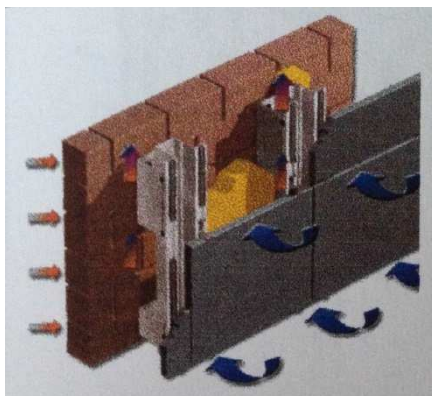
A tale scopo viene spesso consigliato di incollare sul retro della piastrella, con idoneo collante elastico (poliuretano bicomponente), una rete in fibra di vetro che, anche in caso di rottura accidentale della piastrella, tenga

uniti i pezzi e li mantenga in posizione.

Tale operazione deve essere fatta obbligatoriamente per le porzioni di facciata situate in prossimità di passaggio pedonale.

### **3.2-Sistema con agganci a vista**

Con questo sistema, una volta eseguito il rivestimento, si fissa la facciata. Il sistema può essere costituito da una sottostruttura realizzata con profili verticali in metallo leggero, agganciati alla parete con staffe portanti e di contenimento in alluminio.



Tali staffe vanno opportunamente dimensionate e fissate a parete con tasselli ad espansione in acciaio inox quando si operi su supporti compatti tipo cemento armato o mattoni pieni, o con tasselli a iniezione o chimici quando si intervenga su supporti alveolari quali mattoni forati, blocchi di argilla espansa e simili.

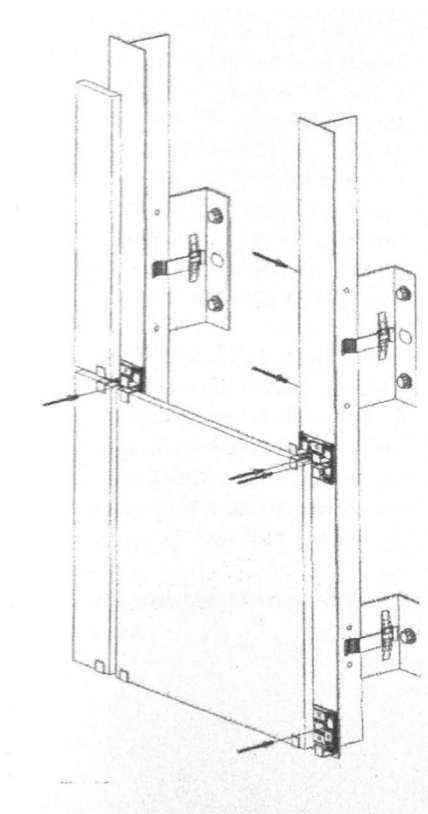
Il fissaggio del profilo alle staffe avviene, abitualmente, mediante viti auto-foranti in acciaio inox o tramite opportuni rivetti in alluminio (o in acciaio inox): i profili verticali hanno una staffa che va mediamente da un marcapiano all'altro in corrispondenza dei quali ci sono i giunti di dilatazione; sono sostenuti da un numero di staffe, in condizioni normali,



che possono essere aumentate in funzione delle sollecitazioni che la facciata dovrà subire, con particolare riferimento alle spinte del vento.

Le staffe sono diverse a seconda che siano portanti (abituamente quelle superiori) o con funzioni di solo contenimento; queste ultime, al fine di consentire le dilatazioni proprie del profilo in alluminio, presentano asole per il fissaggio e non hanno solo i fori fissi.

Fig. 38– Vista di un sistema con fissaggio a tasselli, sul retro del rivestimento.



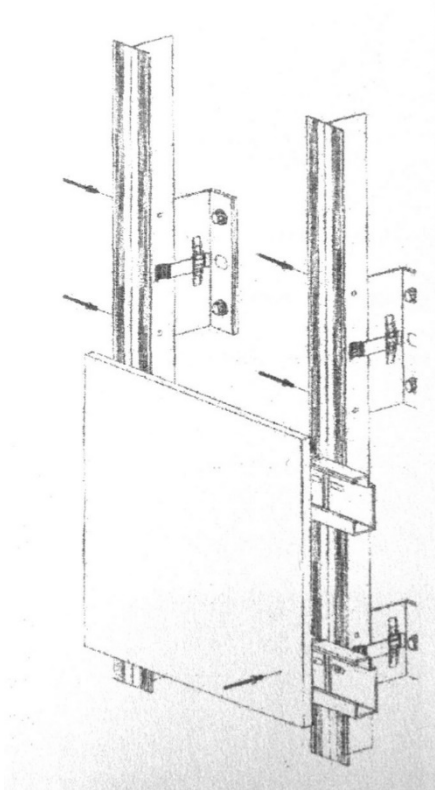
Tra un profilo verticale e l'altro viene lasciato un giunto di dilatazione di almeno un centimetro che deve essere rispettato anche dal rivestimento con lastre ceramiche.

Le lastre che costituiscono il paramento esterno sono agganciate mediante l'uso di clips di fissaggio in acciaio inox che saranno di tipo diverso a seconda che siano di partenza, alla base del rivestimento e dopo ogni giunto di dilatazione, o standard, utilizzate all'incrocio di quattro piastrelle con funzione di contenimento delle due piastrelle inferiori e portante delle due piastrelle superiori.

### 3.3-Sistemi con agganci a scomparsa

Il sistema per posare in facciata le lastre ceramiche con agganci nascosti adotta sottostrutture analoghe a quelle usate

Fig. 39– Aggancio a vista. Il sistema prevede fissaggi sul supporto di staffe di sezione a L fissate mediante tasselli opportunamente dimensionati ed adatti al tipo di supporto. Sulle staffe viene fissato il profilo della sezione a T mediante dei rivetti; infine si ha il fissaggio di speciale placca, in acciaio inox Prè-verniciato, per il fissaggio delle lastre di paramento.



per sistemi con agganci visibili, opportunamente modificate. Nei sistemi con agganci a scomparsa, le modifiche riguardano il passo dei profili verticali, che avranno tra loro una distanza non dipendente dal modulo delle piastrelle, ma conseguente alle sollecitazioni del vento e all'altezza delle facciate.

Nelle zone con minore spinta del vento si potranno avere interassi sino a 1,2 metri; saranno aggiunti anche profili orizzontali, normalmente due per lastra, ai quali si vincoleranno le lastre ceramiche. Si creerà in tal modo un profilo a maglia ortogonale.

Per i profili orizzontali, come per quelli verticali, è necessario predisporre opportuni giunti di dilatazione di 1 cm; i profili avranno una lunghezza massima di 6 m lineari.

Con questo sistema occorre intervenire sulle piastrelle, per inserire opportuni agganci sul retro delle stesse, normalmente quattro per lastra.

Fig. 40- Aggancio a scomparsa. Il sistema prevede fissaggi sul supporto di staffe di sezione a L fissate mediante tasselli opportunamente dimensionati ed adatti al tipo di supporto. Sulle staffe viene fissato il profilo della sezione a T mediante dei rivetti; sui profili montanti vengono fissati con rivetti profili correnti asolati, sagomati in modo che gli sforzi dovuti al vento risultino assiali.

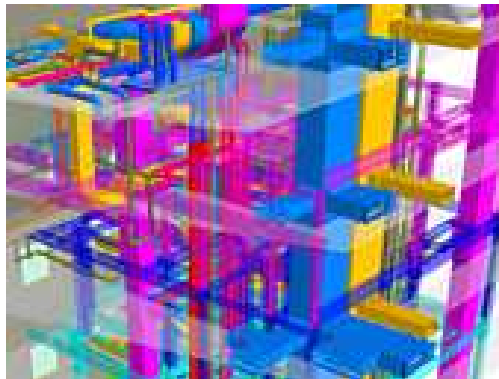
## CAPITOLO 4

### INTRODUZIONE AL BIM: SISTEMI BIM

L'obiettivo di questa ricerca è stato quello di comprendere le principali problematiche e le barriere dei sistemi BIM nel settore delle costruzioni.

#### 4.1 What is BIM (building information modelling)

La tecnologia nota come BIM – **Building Information Modeling** – pianta



le sue radici alla fine degli **Anni '70**, quando cominciò a essere utilizzata dal professor Charles M. Eastman del Georgia Institute of Technology nelle sue pubblicazioni fino poi a divenire di uso comune con l'avvento dell'idea del cosiddetto "virtual building".

Il BIM consiste nella **creazione e gestione del modello** creato grazie a tutte le informazioni rilevate e/o elaborate per la progettazione di un edificio. Tali informazioni non si limitano alla fase progettuale o allo stato di fatto di un edificio ma riguardano il suo intero ciclo di vita: compresa la manutenzione, la fase del consumo energetico e quant'altro.

Il termine BIM, infatti, comprende anche i CAD architettonici di ultima generazione che non offrono solo una visuale bidimensionale del disegno, ma permettono di gestire le sue componenti tridimensionali attraverso software che creano geometrie con precise collocazioni spaziali, nonché temporali

consentendo cioè anche il movimento degli oggetti nello spazio virtuale.

**Il modello generato può quindi essere utile per calcoli, verifiche e analisi** non appena completato.

Dietro a questo modello informativo per il costruire, infatti, vi sono i principi per poter ridurre i costi di costruzione, chiarire le responsabilità, eliminare gli errori e portare trasparenza negli appalti pubblici e privati.

BIM (building information modelling) è stato definito come *"un insieme di politiche interagenti, processi e tecnologia di una metodologia per gestire la progettazione degli edifici essenziali e dati in formato digitale in tutto il ciclo di vita dell'edificio di progetto"*.

L'Attuazione pratica del BIM comprende l'integrazione delle funzioni principali del processo di costruzione in un ambiente, generate dal computer, al fine di aumentare il livello di efficienza durante il ciclo di vita della costruzione. L'obiettivo BIM è di migliorare l'industria delle costruzioni per portare a grandi vantaggi come:

- Design migliorato.
- Visualizzazione accurata e dettagliata.
- Migliorata tecnica di collaborazione durante la progettazione.
- Consegna del progetto a livello ottimale.
- Base più affidabile per il processo decisionale.
- Riduzione di errori nella progettazione e programmazione.
- Migliore previsione di prestazione energetica dell'edificio.

L'implementazione del BIM permetterà ai progetti delle costruzioni d'essere completamente visualizzato nelle prime fasi di pianificazione, permettendo simulazioni virtuali dell'edificio per essere poi esaminati dal team di

costruzione. Così, BIM fornirà potenziali benefici del progetto che consentirà l'analisi rapida dei diversi scenari correlati alle prestazioni dell'edificio attraverso il suo ciclo di vita (Schade et. al. 2011).

È già anticipato che BIM consentirà a tutte le informazioni progettuali di essere memorizzate in una posizione centrale, al contrario di quelle sparsi su più server e software, facilitando l'accesso rapido a dati e informazioni sul progetto in ogni fase del ciclo di vita del progetto stesso.



Il BIM può essere visto come un processo virtuale che abbraccia tutti gli aspetti del progetto di costruzione all'interno di un unico modello, consentendo al team di progetto di collaborare e coordinare il loro pacchetto di lavoro con altre parti, creando un approccio più integrato alla consegna del progetto finale.

Il BIM consentirà al progetto o alla struttura a essere costruita in due volte, una volta in un ambiente virtuale e una sul cantiere, con l'intenzione che il modello sia il più accurato possibile prima di avviare il sito.

## 4.2 BIM e Facciate

Le facciate degli edifici sono senza dubbio uno degli aspetti più importanti della costruzione come responsabili della prestazione tecnica complessiva e *appeal* estetico di un edificio.

Research Objectives	Research method	Chapter
1. Clarify the goals and anticipated benefits of BIM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desktop study of publications and journals.</li> <li>• Desktop study of PAS 1192:2</li> </ul>	2
2. Examine the current adoption levels of BIM in the construction industry	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal communications</li> <li>• BIM workshop</li> <li>• Industry Questionnaire</li> </ul>	2 & 3
3. Review and asses the barriers of BIM in the construction industry	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industry questionnaire</li> <li>• Desktop study of online literature</li> <li>• Desktop study of academic journals</li> </ul>	2 & 3
4: Establish the appropriate level of detail for façade design when utilising BIM enabled software.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industry Questionnaire</li> <li>• Personal communications</li> <li>• Computer based study of Revit</li> </ul>	3 & 4
5. Examine the capabilities of BIM enabled software.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computer based study of Revit</li> <li>• Personal communications</li> <li>• Desktop study of online journals/forums</li> </ul>	2 & 4

Con questo in mente, con la complessità aggiunta delle tendenze architettoniche, è importante che il passaggio dal 2D al 3D BIM per l'esecuzione della facciata sia generato con cautela.

L'obiettivo fondamentale di questa tesi è di creare informazioni sul BIM per il processo di progettazione della facciata, al fine di fornire un livello base di comprensione di ciò che BIM è, e un quadro fondamentale per la sua

attuazione, per comprendere come il processo di progettazione verrà affrontato e gestito attraverso un ambiente 3D.

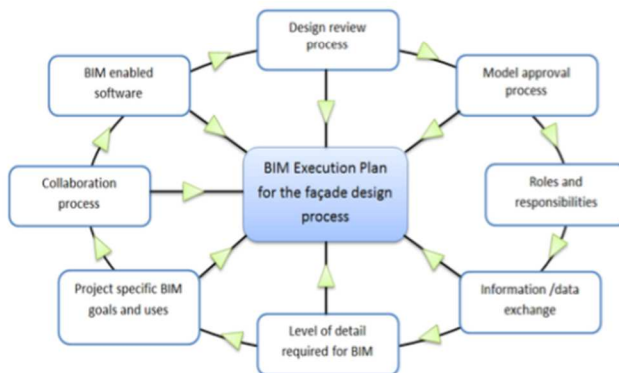
## 4.3 Contributo alla conoscenza

- Diffusa convinzione che la facciata ventilata non è preparata per le sfide del BIM, questa tesi vorrebbe sensibilizzare l'adozione di BIM nel settore della facciata e fornirà una migliore comprensione di questo nuovo processo virtuale.

- Questa ricerca cercherà di illustrare l'importanza e i vantaggi della collaborazione del team progettuale nell'utilizzo dei sistemi BIM.

#### 4.4 Research objectives

6. Examine the transition from 2D to 3D design.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desktop study of online literature</li> <li>• Desktop study of design review technology</li> </ul>	4 & 5
7. Develop a towards reference BIM execution plan to improve the façade design process.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluation of findings from questionnaires &amp; personal communications</li> <li>• Desk based collation of research findings</li> </ul>	6



L'output di questa ricerca aiuterà l'industria delle facciate ventilate a capire i requisiti fondamentali per la progettazione di facciata BIM da utilizzare.

- L'output di questa ricerca aumenterà il livello di conoscenza BIM fra i produttori di facciate ventilate al fine di

accrescere la competenza BIM e i livelli di adozione.

- Non è ancora chiaro se il software BIM è in grado di ospitare il livello di dettaglio richiesto per le interfacce della facciata continua, questa ricerca analizzerà i vincoli e le funzionalità del BIM e proporrà una soluzione per raggiungere il livello adeguato di dettaglio per la progettazione della facciata.

#### 4.5 Attuale adozione di BIM nel settore delle costruzioni

Il gruppo Mace è leader nel settore della consulenza e Construction Company

con sede a Londra, che offre servizi completamente integrati per l'intero ciclo di vita della costruzione. Le implementazioni di BIM sono in cima alla loro agenda, e hanno un forte credo nel lavoro collaborativo, che si adatta con le pratiche di lavoro di BIM.

Il 9 maggio 2014, Mace Group ha tenuto una riunione con argomento principale la facciata, per discutere sul concetto di BIM e per delineare come ci si sta preparando ad adottare BIM prima della direttiva del 2016. La presentazione BIM è stata condotta da David Hammond (campione del BIM nel Mace Group) e Philip Sedge (direttore Mace).

Lo scopo dell'indagine è stato quello di esaminare gli attuali livelli di adozione del BIM all'interno dell'industria di costruzione e per acquisire una comprensione generale del:

- livello generale di interesse BIM tra i clienti;
- I software più comunemente utilizzati per il BIM;
- Funzioni principali del software BIM;
- consapevolezza generale del BIM nelle industrie;
- chiavi di successo BIM.

Il sondaggio è stato creato utilizzando un programma di indagine online chiamato *Smart Survey*, il link al sondaggio interattivo è stato inviato via e-mail a persone specifiche nel settore delle costruzioni con le domande chiave relative all'implementazione e alla conoscenza BIM.

L'obiettivo delle prime 5 domande dovevano acquisire una comprensione generale del profilo dei professionisti in termini di ruolo, età, anni di esperienza e il numero di persone nella loro organizzazione. In totale c'erano 40 intervistati con una gamma di ruoli di lavoro che sono stati classificati in



3 gruppi distinti: pratiche architettoniche, committenti e appaltatori.

Le domande 6-7 erano per stabilire il livello di interesse del BIM all'interno dell'industria di costruzione, e se gli intervistati intendono utilizzarlo nel prossimo futuro. Domande 8-10 sono state associate ai livelli di maturità BIM, il software più comunemente utilizzato nell'industria e le funzioni primarie del BIM software all'interno del loro business. È stata ricevuta una risposta positiva da ogni gruppo di intervistati; gli studi di architettura sembrano essere leader per l'implementazione del BIM.

#### **4.6 Summary of results and discussion**

Il risultato che è stato riscontrato è che la maggior parte delle imprese edili di facciata ventilata era allo stesso livello BIM e generalmente aveva le stesse domande e preoccupazioni per quanto riguarda l'approccio collaborativo per i sistemi BIM e per i suoi processi di comprensione.

C'erano una serie di questioni sollevate in relazione al processo di progettazione e su come la facciata potrebbe funzionare non appena abilitato il software, *la preoccupazione principale è che il software non sia impostato per ospitare la complessità del design della facciata.*

#### **4.7 Livello di dettaglio raggiunto**

L'indagine ha evidenziato che occorre tempo per implementazione BIM sui progetti di costruzione, soprattutto perché la curva di apprendimento BIM per la maggior parte delle facciate ventilate è appena iniziato, quindi ci vuole tempo sufficiente per lo sviluppo del modello e abituarsi a lavorare in un ambiente 3D.

Si afferma che il software BIM, per la progettazione delle facciate, potrebbe non essere appropriato per tutti i progetti. Facciate con elevata complessità possono essere difficili da modello a portarle nell'ambiente 3D per una serie di motivi, come la mancanza di conoscenza di progettazione 3D, software, vincoli e tempo. Una decisione in fase di gara dev'essere effettuata tra le principali parti interessate a scapito se BIM può essere implementato con successo considerando la complessità del progetto.

## **CAPITOLO 5**

### **UTILIZZARE IL SOFTWARE BIM PER LA PROGETTAZIONE DI FACCIATA**

*Transizione da 2d a 3d:*

Con qualsiasi transizione, che si tratti di una nuova procedura o in questo caso un nuovo software, ci sarà sempre una curva di apprendimento coinvolta. Il passaggio dal 2D CAD, che viene utilizzato prevalentemente dall'industria della facciata, al software BIM come *Revit*, senza dubbio presenterà le sue sfide.

L'Autore di Autodesk suggerisce che, se non avete mai lavorato in un ambiente 3D, può essere frustrante per iniziare, in quanto è un modo completamente nuovo di avvicinarsi alla progettazione; egli sommariamente mostra anche i vantaggi di *Revit* e i vantaggi di lavorare in un ambiente 3D. Utilizzare il software abilitato BIM può essere considerato come un cambiamento sostanziale per l'industria e gli utenti stanno già vedendo i benefici che essa può fornire.

*Si sostiene che l'ambiente BIM renderà la costruzione più facile, e inevitabilmente modificherà i processi e i comportamenti della progettazione di facciata continua per sbloccare nuovi e migliori modi di affrontare la progettazione.*

#### **5.1 Livello di dettaglio BIM**

A seguito della ricerca condotta in relazione al livello di dettaglio per il BIM, il consenso generale tra le imprese di facciata continua è che i seguenti elementi chiave dovrebbero essere inclusi nel modello BIM per i dettagli di design facciata:

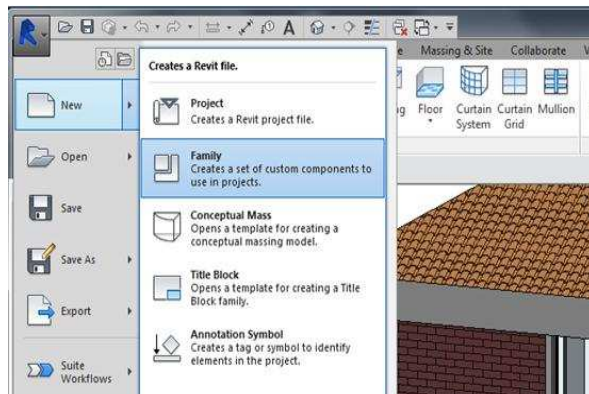
- estrusioni dettagliate
- guarnizioni
- tolleranza tra telaio e struttura
- membrana localizzata
- posizioni perimetrali più ravvicinate
- configurazione del vetro

Era stato stabilito dalla ricerca, e dalle analisi informatiche che utilizzando *Revit* era possibile modellare pienamente le componenti di facciata continua sopra elencati nell'ambiente 3D, tuttavia questo non è consigliato con troppe linee modello perché si avrà un effetto negativo sulle prestazioni del modello stesso.

Alla luce di questo, una soluzione è stata ideata già e comprende passo per passo il flusso di lavoro per lo sviluppo di facciata specifica e i dettagli di interfaccia per finestre, porte e facciate continue.

## 5.2 Creazione di dettagli delle facciate continue per i sistemi BIM

Il flusso di lavoro di seguito mostrato è stato sviluppato utilizzando Autodesk Revit 2015 e AutoCAD 2013. Il primo passo è quello di creare una nuova



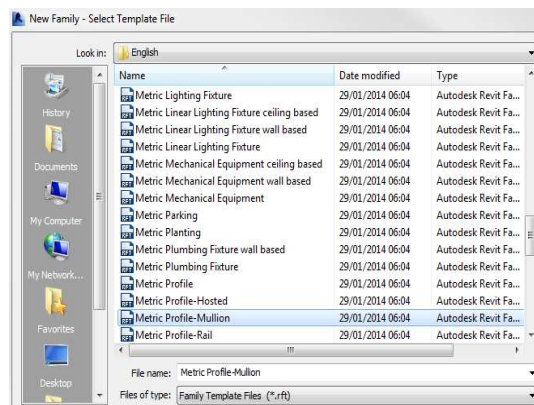
famiglia profilo montante selezionando l'opzione nuova famiglia sulla barra degli strumenti di *Revit*. È importante in questa fase di concentrarsi sul contorno dei profili della parete divisoria e ignorare i componenti di dettaglio. Il livello di dettaglio mostrato in CAD non deve essere modellato in 3D in quanto renderà il file pesanti.

## STEP 1: CREARE UNA NUOVA FAMIGLIA

Quando si creano nuove famiglie facciate continue in *Revit*, modelli di profilo possono essere utilizzati che sono stati specificamente progettato per lo sviluppo di nuovi componenti per l'ambiente BIM.

## STEP 2: SELEZIONARE IL PROFILO METRICO DEL MONTANTE

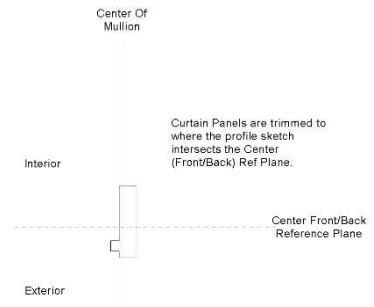
Il modello per il profilo montante comprende linee di riferimento verticali e orizzontali per determinare la posizione del montante come vengono importati in *Revit*. I profili montanti



base in *Revit* sono posizionati sulla linea centrale, quando il montante viene importato in *Revit* sarà posizionato dura contro la struttura.

Considerando il livello appropriato di dettaglio, il montante è regolata a circa 30 millimetri di distanza dalla struttura per permettere la tolleranza sito, isolamento e per tenuta aria / atmosferici membrane.

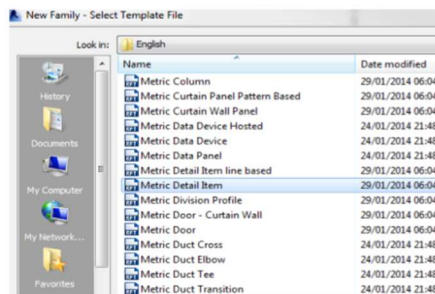
Quando si crea un profilo montante è importante considerare come il profilo del bordo viene disegnato come il profilo montante, CHE avrà bisogno di toccare il muro strutturale di *Revit* per riconoscere la stanza come un contorno chiuso. Alla luce di questo, il passo successivo è quello di incorporare un profilo perimetrale nel modello montante, poi compensare il profilo di 30 mm dal punto di riferimento centrale come mostrato sotto.



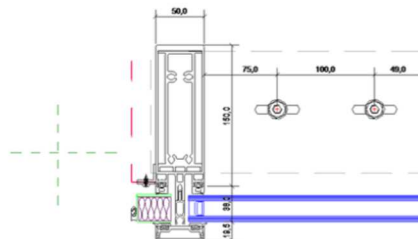
**STEP 3:** Creare l'offset del montante con la faccia del profilo

Una famiglia di componenti di dettaglio può essere aggiunto al dettaglio o l'elaborazione di una vista che può essere definito come sovrapposizione 2D contro i componenti del modello 3D. È possibile creare un elemento della

**STEP 4: Create a new family using the detail item template**



**STEP 5: In the detail template, import 2D CAD drawing**



famiglia dettaglio con tutta la linea pesi tecnici, ecc., per essere lasciati in posizioni specifiche nel modello ove necessario.

La famiglia di dettaglio si trova facilmente se i profili esterni all'altezza e possono essere vincolati alle linee del modello. Per effettuare questa operazione, lo strumento di modifica/allineamento può essere utilizzato per assicurare il dettaglio 2D e le linee di modello sono accuratamente allineate, una volta allineato un piccolo lucchetto apparirà come mostrato di seguito, quando il blocco è selezionato questa volontà quindi vincolare il componente di dettaglio 2D per le linee di modello 3D modo se il modello è alterato in alcun modo il componente di dettaglio seguirà.

questo metodo di applicazione di sovrapposizioni di dettaglio 2D contro le linee di modello 3D raggiunge l'adeguato livello di dettaglio e mantiene la quantità e la complessità delle linee di modello al minimo. Un esempio di linee di modello 3D contro linee di dettaglio 2D è illustrato nella figura 4.4; si vede che se il dettaglio 2D era un componente di modello 3D estruso, la quantità di linee di modello sarà eccessivo che aumenterebbe in modo significativo la dimensione del modello 3D.

Il processo di Overlay 2D sopra illustrato può essere applicato a qualsiasi area della facciata che richiede più in dettaglio. Un esempio di questo è mostrato in figura-4.5 che incorpora una parete divisoria fissaggio staffa, sede comune di montanti, linee di disposizione e il profilo di fissaggio intermedia.

Lo stesso dettaglio nell'ambiente 3D è illustrata nella figura-4.6, si può vedere che le linee di modello sono forme semplici per mantenere la complessità al minimo, e la sezione 2D comprende i componenti di dettaglio. Separando un dettaglio in entrambi gli elementi del modello dal vivo e abbellimenti specifici della visualizzazione, otteniamo il meglio dei due

mondi: abbiamo un sottoposto che rimane vivo e cambia automaticamente con il modello di costruzione e ci sono tutti i dati aggiuntivi necessari per trasmettere l'idea progettuale che si verificano solo sulla vista di dettaglio specifico, risparmiando così sul sovraccarico e sforzi inutili di modellazione (Aubin F 2011).

## **5.2 Creating window & door details for BIM**

Catene produttrici importanti come *Schuco* hanno iniziato a sviluppare una libreria BIM per Windows e sistemi di porte che possono essere importati in *Revit* come famiglie.

Queste famiglie hanno funzioni di cambiamento dinamico impostate per consentire agli utenti di modificare facilmente l'orientamento del componente in termini di direzione, le lacune sono di tolleranza del perimetro e dimensione di apertura porte/finestre.

Le famiglie BIM forniscono un accettabile livello di dettaglio che incorporano guarnizioni, ferramenta e profili e sono state create utilizzando lo stesso metodo di *overlay 2D* come illustrato nel capitolo precedente. L'Annotazione può essere aggiunti al modello in 2D, e Mostra utilizzando il principio di sovrapposizione 2D, o se è un semplice caso di aggiunta di una disposizione di fissaggio, isolamento, sigillante del silicone, ecc. la funzione di annotazione di *Revit* può essere utilizzato.

Le famiglie di porte e finestre BIM create dai fornitori di sistemi di porte e finestre, forniscono agli utenti una grande quantità di flessibilità per facilitare requisiti specifici del progetto. Purtroppo ai fornitori di sistemi non sono andato a questo livello di raffinatezza per le famiglie di muro di Cortina e non



si sa perché questo è il caso, tuttavia si presume che come BIM è ancora nelle prime fasi di sviluppo e facciata appaltatori non sono ancora pienamente a bordo con BIM, attualmente non esiste una grande richiesta di queste famiglie di parete raffinata tenda.

Se questo livello di raffinatezza può essere realizzato per le famiglie di porte e finestre, si prevede che le famiglie di parete della tenda possono essere sviluppate in modo simile con funzioni multiple di cambiamento dinamico.

Come tenda parete interfacce spesso variano per soddisfare requisiti specifici o strutturali del progetto, un approccio per ospitare questo sarebbe di sviluppare famiglie parete tenda con funzioni base intercambiabili, permettendo agli utenti di regolare facilmente i parametri di base come:

- Divario di tolleranza di perimetro
- Altezza e larghezza della parete divisoria
- Dimensioni della scatola montante/traverso
- Spessore del vetro
- Posizione del montante comune

Questo flusso di lavoro di *Revit* viene fornita una panoramica di un metodo potenziale per facilitare l'elevato livello di dettaglio richiesto per le interfacce di facciata. Si prevede che quando BIM diventa più comunemente usato nel settore di facciata che metodi per raggiungere i dettagli sarà evolversi e svilupparsi nel tempo (con l'aiuto dei fornitori di sistema) che renderà questo processo più efficiente.

Quando AutoCAD 2D fu rilasciato nel 1982 l'interfaccia utente era molto essenziale, nel corso degli anni CAD è stato costantemente aggiornato per contribuire a migliorare l'interfaccia utente e per incontrare il cliente ha bisogno.

È anticipato che software BIM abilitato passerà anche attraverso lo stesso processo di affinamento. Una considerazione importante per quanto riguarda il livello di dettaglio/sviluppo sta applicando il modello BIM al momento giusto.

## **CAPITOLO 6**

# **VERSO UN PIANO DI ESECUZIONE DI RIFERIMENTO BIM PER IL PROCESSO DI PROGETTAZIONE DI FACCIATA CONTINUA**

Obiettivo ultimo di questa ricerca era di sviluppare un BEP (Il punto di pareggio tra costi e ricavi, Il *Break Even Point* è un'analisi che studia la relazione che c'è tra i costi di struttura, i costi variabili e i volumi di produzione) per aiutare a guidare il team di progetto attraverso il processo di progettazione di facciata quando si implementa BIM per assicurare che siano soddisfatte le BIM obiettivi e gli obiettivi per il progetto.

### **6.1 Obiettivi BIM e risultati finali**

Questo dovrebbe essere specificato dal datore di lavoro per delineare con chiarezza gli obiettivi, obiettivi finali e risultati finali dell'attuazione del BIM per il progetto.

Il concetto iniziale per lo schema si svilupperà all'esterno dell'ambiente del BIM. Usi principali del software BIM su questo schema sarà utilizzato per sviluppare il design e che consente la progettazione collaborativa tra *Glassolutions*, architetti e strutture chiare che anche essere utilizzando Software BIM per la strutturale, architettonica e gli elementi di facciata del regime.

Ogni professione si svilupperà i singoli modelli, questi verranno condivisi a intervalli regolari, attualmente accettati di essere un problema di modello settimanale. I modelli nativi saranno divisi per rilevazione di scontro, progettazione sviluppo e facilitare un processo di progettazione collaborativa e coordinata.

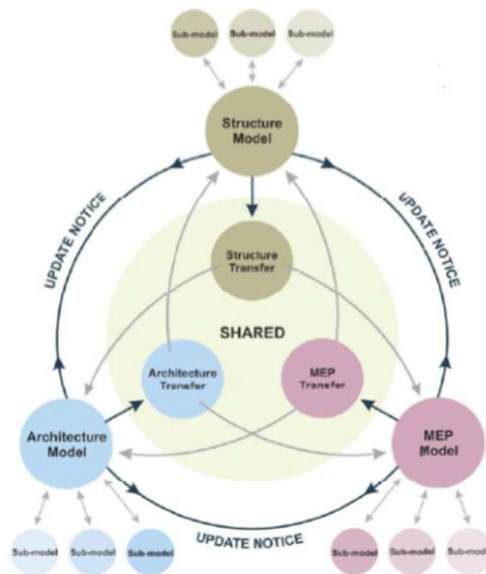
## 6.2 Ruoli e responsabilità

Le responsabilità per la gestione del modello di costruzione è in ogni fase di progetto. Questa gestione del modello può cambiare nel corso del progetto, così vengono raggiunte diverse fasi progettuali.

È abbastanza comune per il lead designer prendere la responsabilità di gestire il modello di ogni fase, tuttavia a seconda del progetto certe responsabilità potrebbero risiedere con il cliente, appaltatore principale o l'imprenditore specialista.

## 6.3 Processo di collaborazione

Tutti i membri del team di progettazione avranno un 'modello di work in progress' è condivisione di modelli. Il processo di collaborazione e coordinamento dovrebbe essere frequentato dai membri del team pertinenti



che hanno conoscenze adeguate e la competenza sul loro pacchetto progettuale e hanno le competenze per lavorare e navigare nell'ambiente BIM.

## **6.4 Processo di approvazione di progettazione**

L'approvazione della facciata interfacce permettere degli appalti e fabbricazione di iniziare non dovrebbe differire a qualsiasi grado grande dal processo tradizionale. La riunione di collaborazione in camera grande dovrebbe sempre produrre una serie di azioni per consentire i modelli nativi di essere sviluppato e aggiornato secondo le osservazioni e le discussioni fatte durante la riunione di collaborazione.

Durante le fasi di problema modello S2 e S3, il modello deve essere contrassegnato con commenti utilizzando lo strumento revisioni di *Navisworks* e caricati in CDE dal controllore documento per mantenere record di pista dello sviluppo progettazione. Commenti dovrebbero anche essere registrati per iscritto e distribuiti come parte del processo verbale della riunione.

Il problema del modello S3 sarà normalmente costituito più disegno di dettaglio che pertanto ulteriori disegni 2D possono essere estratte dal modello, con questo in mente, che è consigliabile che un disegno 2D rassegna di software viene utilizzata come revisione di disegno di Autodesk per consentire il *lead designer di mark-up*, commentare e rilasciare al contraente facciata con lo stato rilevante (A, B, C).

I disegni contrassegnati up devono essere caricati nel CDE dal controller di documento al fine di mantenere un *track* record dello sviluppo progettuale.

## **6.5 Formazione**

Formazione del personale all'interno di un team di progettazione deve essere un processo continuo e soprattutto durante le prime fasi di adozione BIM. Così come investimento nuovi membri della squadra, la formazione deve includere formazione avanzata BIM ed un mentore esperto di BIM che porti alle fasi critiche del progetto per soddisfare il programma di progettazione.

## 6.6 Discussione

Il primo e più importante passo verso una corretta adozione del BIM è di stabilire che cosa significa realmente. In molte pubblicazioni BIM è descritto come un unico modello che ha confuso molte persone, è importante capire che livello 2 di BIM non è un unico modello, è una serie di modelli di interconnessione per consentire informazioni che possono essere estratte e condivise.

Una mancanza di comprensione è una dichiarazione comune trovata in molte indagini di settore e pubblicazioni che è comprensibile come BIM sia un nuovo sviluppo, tuttavia le persone nella necessità di utilizzare di propria iniziativa al fine di capire e iniziare la transizione all'industria del BIM.

I risultati di questa ricerca hanno dimostrato che il punto di partenza per l'implementazione del BIM è di nominare un campione BIM all'interno dell'azienda per guidare la transizione al fine di affrontare le principali sfide correlate tecniche, sociali e di processo:

- Definizione livello 2 BIM
- Strategia e visione
- *Realigning* processi esistenti
- Cambiamenti culturali
- Piano di esecuzione e progettazione
- Formazione di software (su misura per soddisfare il commercio specifico).

In termini di processo di progettazione, le cose sono non tutto ciò che diverso dal flusso di lavoro tradizionale, i principi fondamentali di progettazione revisione, ruoli e responsabilità, progettazione approvazione, ecc., non dovrebbe cambiare a qualsiasi grado grande.

Il consenso di industria per quanto riguarda il software BIM è che non è appropriato per il design della facciata ed è in grado di raggiungere il livello di dettaglio per le interfacce di facciata.

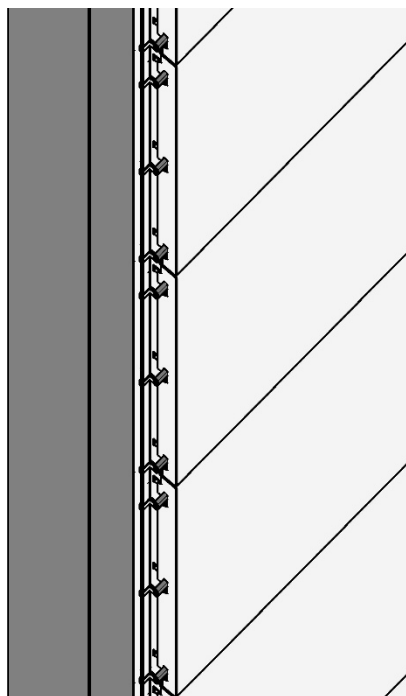
## **6.7 Sostenibilità**

### ***AREE DI OPPORTUNITÀ***

BIM è percepito per creare un generale miglioramento ed *efficientamento* del prodotto edilizio, rimuovendo le barriere del BIM che si utilizzano, anche se non si tratta di un requisito contrattuale, porterà a migliori opportunità di business, per promuovere l'efficienza energetica e per promuovere un approccio più sostenibile per il processo di progettazione della facciata continua.

## **6.8 Prestazioni sociali**

BIM è destinata a cambiare il modo nel team di progettazione, il modo di eseguire e lavorare insieme, promuovendo una di progettazione più integrata. Questo porterà più vantaggi sociali e culturali che ci aiuterà a migliorare le relazioni di lavoro e i problemi saranno identificati e risolti come una squadra durante il processo di progettazione, in contrasto con il cantiere.



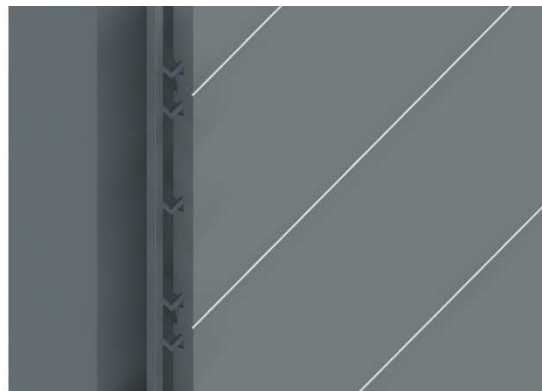
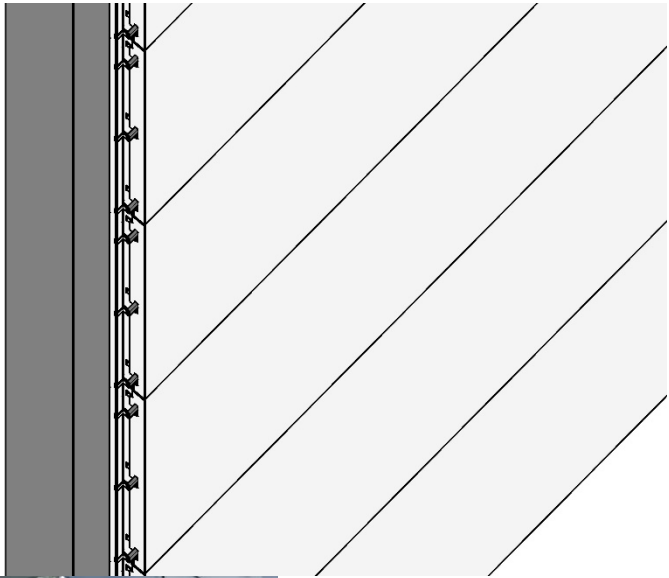
## 6.9 Creazione libreria BIM per pannelli ventilati

Studio dettagliato dei sistemi BIM e creazione di librerie Bim mediante il

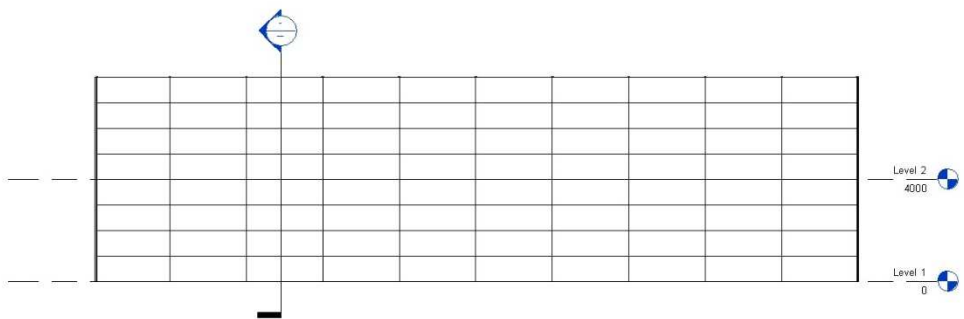
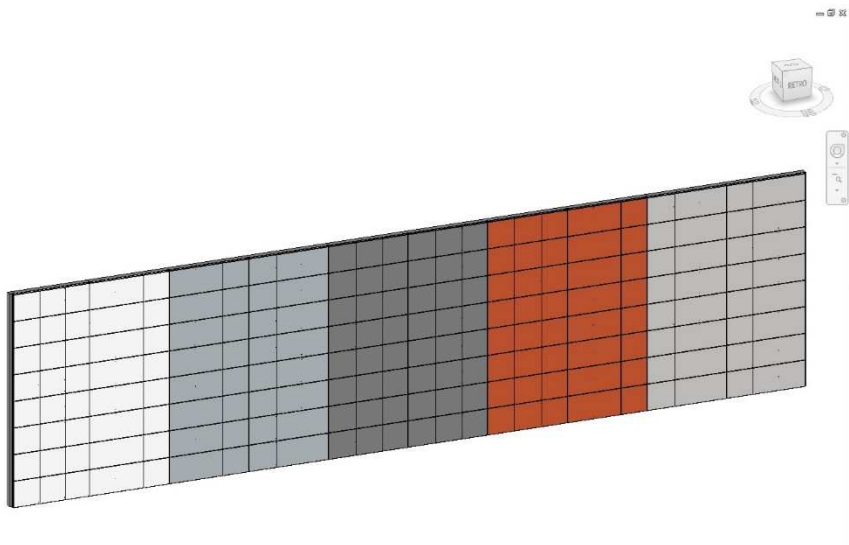
software

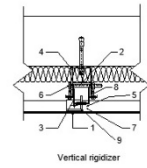
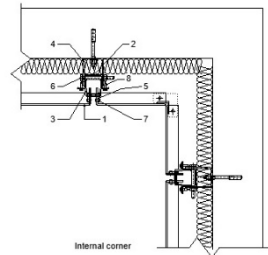
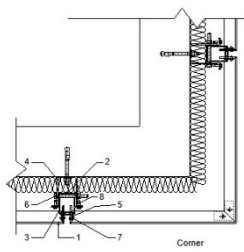
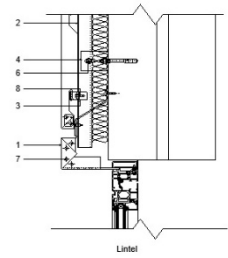
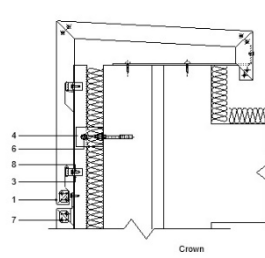
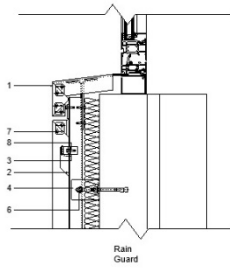
Revit

Architecture.

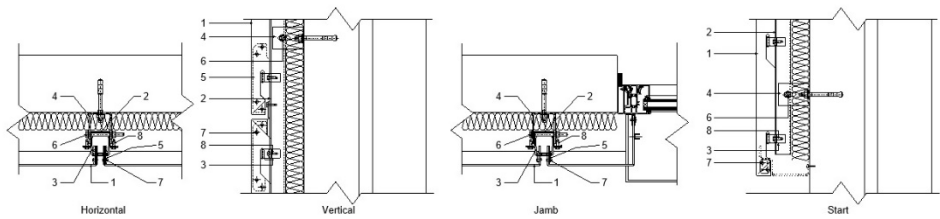








Tali librerie realizzate durante il terzo anno del dottorato di ricerca, immagazzinano tutti i dettagli sulle facciate, contenendo quindi le caratteristiche geometriche, meccaniche, fisiche e relazionali degli elementi costruttivi e di design esterno che costituiscono la facciata.



Lo studio e lo sviluppo di queste librerie ha portato alla creazione di una vasta gamma di Famiglie BIM di prodotti di facciata attualmente disponibili in commercio, da poter utilizzare su uno o più progetti architettonici, avendo così a disposizione tutte le informazioni necessarie sui prodotti di facciata già sui file di progetto *Revit*.



Tipo	Acoustic insulat	Alloy	Altezza	Audible reductio	Density ( $\rho$ )	External skin thick	Facade Thickne	Larghezza	Internal skin thi	Material main
Pannello INOX	29,5 [dBA] NBE	AISI 316 (ext) /	1000	31 [dB] UNE-E	8000 [kg/m <sup>3</sup> ] (e	0,25 [mm]	120	2962	0,20 [mm]	Stainless steel
Pannello INOX	29,5 [dBA] NBE	AISI 316 (ext) /	1000	31 [dB] UNE-E	8000 [kg/m <sup>3</sup> ] (e	0,25 [mm]	120	3000	0,20 [mm]	Stainless steel
Pannello Cu 4m		Cu-DHP EN 11	1000		8930 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,3 [mm]	120	3000	0,3 [mm]	Copper
Pannello Cu 4m		Cu-DHP EN 11	1000		8930 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,3 [mm]	120	3000	0,3 [mm]	Copper
Pannello Br 4m		Cu Zn 30 CW50	1000		8500 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	3000	0,5 [mm]	Brass
Pannello INOX	29,5 [dBA] NBE	AISI 316 (ext) /	1000	31 [dB] UNE-E	8000 [kg/m <sup>3</sup> ] (e	0,25 [mm]	120	2962	0,20 [mm]	Stainless steel
Pannello INOX	29,5 [dBA] NBE	AISI 316 (ext) /	1000	31 [dB] UNE-E	8000 [kg/m <sup>3</sup> ] (e	0,25 [mm]	120	3000	0,20 [mm]	Stainless steel
Pannello Cu 4m		Cu-DHP EN 11	1000		8930 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,3 [mm]	120	3000	0,3 [mm]	Copper
Pannello Cu 4m		Cu-DHP EN 11	1000		8930 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,3 [mm]	120	3000	0,3 [mm]	Copper
Pannello Br 4m		Cu Zn 30 CW50	1000		8500 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	3000	0,5 [mm]	Brass
Pannello Br 4m		Cu Zn 30 CW50	1000		8500 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	3000	0,5 [mm]	Brass
Pannello Br 4m		Cu Zn 30 CW50	1000		8500 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	3000	0,5 [mm]	Brass
Pannello Zn 4m			1000		7200 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	3000	0,5 [mm]	Zink
Pannello Zn 4m			1000		7200 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	3000	0,5 [mm]	Zink
Pannello Zn 4m			1000		7200 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	3000	0,5 [mm]	Zink
Pannello Zn 4m			1000		7200 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	3000	0,5 [mm]	Zink
Pannello Al 4m	29,5 [dBA] NBE	5005 UNE-EN 5	1000	31 [dB] UNE-E	2700 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	3000	0,5 [mm]	Aluminium
Pannello Al 4m	29,5 [dBA] NBE	5005 UNE-EN 5	1000	31 [dB] UNE-E	2700 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	3000	0,5 [mm]	Aluminium
Pannello Al 4m	29,5 [dBA] NBE	5005 UNE-EN 5	1000	31 [dB] UNE-E	2700 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	2862	0,5 [mm]	Aluminium
Pannello Al 4m	29,5 [dBA] NBE	5005 UNE-EN 5	1000	31 [dB] UNE-E	2700 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 [mm]	120	2862	0,5 [mm]	Aluminium

Tipo	Modulus of elasticity (	Moment of inertia	Panel Thicknes	Rigidity (EI)	Thermal conductivity ( $\lambda$ )	Thermal expans	Thermal resista	Thickness toler	Weight
Pannello INOX	200000 [N/mm <sup>2</sup> ]	1446 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2891 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,238 [W/mK]	1,6 [mm/m] $\Delta$ 1	0,018 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	9,56 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello INOX	200000 [N/mm <sup>2</sup> ]	1446 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2891 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,238 [W/mK]	1,6 [mm/m] $\Delta$ 1	0,018 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	9,56 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Cu 4m	132000 [N/mm <sup>2</sup> ]	2017 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2662 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,406 [W/mK]	1,7 [mm/m] $\Delta$ 1	0,00985 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	11,09 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Cu 4m	132000 [N/mm <sup>2</sup> ]	2017 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2662 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,406 [W/mK]	1,7 [mm/m] $\Delta$ 1	0,00985 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	11,09 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Br 4m	110000 [N/mm <sup>2</sup> ]	3070 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	3748 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,28 [W/mK] (estimated	2 [mm/m] $\Delta$ 100	0,0143 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	13,58 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello INOX	200000 [N/mm <sup>2</sup> ]	1446 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2891 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,238 [W/mK]	1,6 [mm/m] $\Delta$ 1	0,018 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	9,56 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello INOX	200000 [N/mm <sup>2</sup> ]	1446 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2891 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,238 [W/mK]	1,6 [mm/m] $\Delta$ 1	0,018 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	9,56 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Cu 4m	132000 [N/mm <sup>2</sup> ]	2017 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2662 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,406 [W/mK]	1,7 [mm/m] $\Delta$ 1	0,00985 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	11,09 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Cu 4m	132000 [N/mm <sup>2</sup> ]	2017 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2662 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,406 [W/mK]	1,7 [mm/m] $\Delta$ 1	0,00985 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	11,09 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Br 4m	110000 [N/mm <sup>2</sup> ]	3070 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	3748 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,28 [W/mK] (estimated	2 [mm/m] $\Delta$ 100	0,0143 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	13,58 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Br 4m	110000 [N/mm <sup>2</sup> ]	3070 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	3748 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,28 [W/mK] (estimated	2 [mm/m] $\Delta$ 100	0,0143 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	13,58 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Br 4m	110000 [N/mm <sup>2</sup> ]	3070 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	3748 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,28 [W/mK] (estimated	2 [mm/m] $\Delta$ 100	0,0143 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	13,58 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Zn 4m	90000 [N/mm <sup>2</sup> ]	2790 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2511 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,292 [W/mK] (estimate	2,2 [mm/m] $\Delta$ 1	0,0147 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	12,28 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Zn 4m	90000 [N/mm <sup>2</sup> ]	2790 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2511 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,292 [W/mK] (estimate	2,2 [mm/m] $\Delta$ 1	0,0147 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	12,28 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Zn 4m	90000 [N/mm <sup>2</sup> ]	2790 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2511 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,292 [W/mK] (estimate	2,2 [mm/m] $\Delta$ 1	0,0147 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	12,28 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Zn 4m	90000 [N/mm <sup>2</sup> ]	2790 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2511 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,292 [W/mK] (estimate	2,2 [mm/m] $\Delta$ 1	0,0147 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	12,28 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Al 4m	70000 [N/mm <sup>2</sup> ]	3070 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2150 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,317 [W/mK]	2,3 [mm/m] $\Delta$ 1	0,0126 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	7,78 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Al 4m	70000 [N/mm <sup>2</sup> ]	3070 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2150 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,317 [W/mK]	2,3 [mm/m] $\Delta$ 1	0,0126 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	7,78 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Al 4m	70000 [N/mm <sup>2</sup> ]	3070 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2150 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,317 [W/mK]	2,3 [mm/m] $\Delta$ 1	0,0126 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	7,78 [kg/m <sup>2</sup> ]
Pannello Al 4m	70000 [N/mm <sup>2</sup> ]	3070 [mm <sup>4</sup> /m]	DI 4	2150 [kNcm <sup>2</sup> /m]	0,317 [W/mK]	2,3 [mm/m] $\Delta$ 1	0,0126 [m <sup>2</sup> K/W]	-0 / +0,2 [mm]	7,78 [kg/m <sup>2</sup> ]



## CAPITOLO 7

### APPLICAZIONE SPERIMENTALE

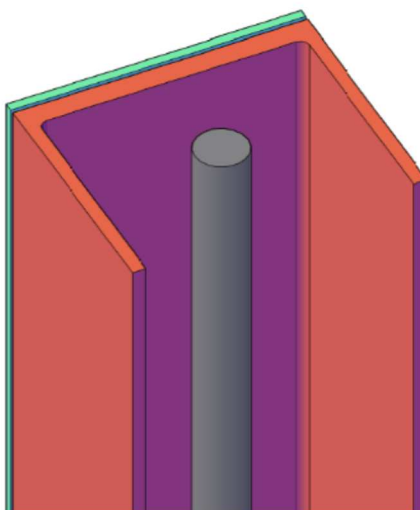
#### “MONTANTE” PER FACCIATE CONTINUE”

*(Deposito domanda brevetto: 102015000087569)*

#### 7.1 Descrizione

Il “Montante” è un elemento costruttivo a sviluppo prevalentemente lineare che permette la realizzazione di facciate continue con ampie specchiature, mantenendo un ingombro ridotto in sezione (ad es. da 55x55mm a 110x110mm). Permette anche il fissaggio di pannelli di diversi materiali e dimensioni, ha notevoli capacità di resistenza e una rigidezza tale da contenere, entro i limiti consentiti, le deformazioni sotto carico. Inoltre è realizzato con materiale altamente resistente agli agenti atmosferici che non dà luogo a ponti termici. La posa in opera del montante è molto agevole.

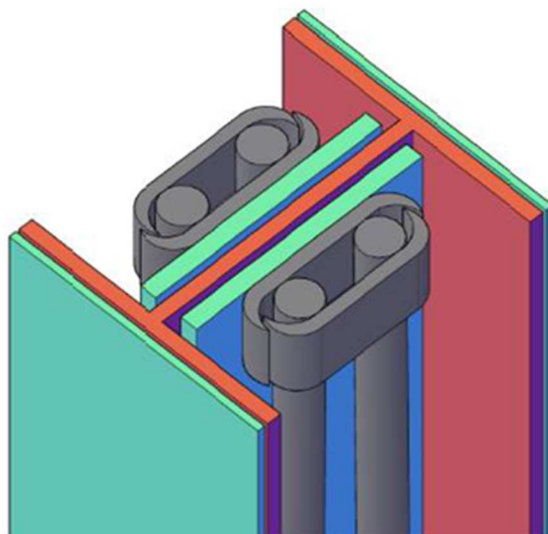
Il principio innovativo del suo sistema costruttivo consiste nell'utilizzo di profilati in pultruso (ottenuti per pultrusione di resine sintetiche rinforzate con fibre di vetro) di dimensioni contenute (in sezione trasversale) collegati a cavi pretesi (trefoli in acciaio). Il montante può essere utilmente utilizzato per la realizzazione di facciate continue ad ampie specchiature (max 3,5÷4



m<sup>2</sup>) in grado di garantire tenuta all'aria e all'acqua ed un buon isolamento

termico.

Il Montante ha altresì una grande versatilità di utilizzo: può essere adoperato per collegarvi pannellature di differenti materiali (vetro, legno, alluminio, ...), configurazioni e dimensioni, permettendo il montaggio di specchiature (opache o trasparenti) sia in verticale che in orizzontale e con differenti inclinazioni.



Può essere utilizzato anche su edifici esistenti, sia per la realizzazione di pareti verticali che di sistemi di copertura per qualunque conformazione geometrica piana (tetto piano) o a falde inclinate.

I profili in pultruso, con cui è costruito, hanno un'ottima resistenza agli agenti atmosferici, per cui questo prodotto risulta essere durabile nel tempo e ha bassi costi di manutenzione.

Questo elemento costruttivo permette una notevole semplificazione nella produzione e una rapidità nel montaggio, essendo costituito da un numero ridotto di componenti con geometrie relativamente semplici.

### 7.1.2 Informazioni di prodotto

Il Montante comprende:

- un profilato con diverse geometrie (C e doppio T) in materiale pultruso fibro-rinforzato (dimensioni  $< 90 \times 90 \text{ mm}^2$ ) in relazione alle dimensioni delle pannellature da fissarvi (max  $4 \times 4 \text{ m}^2$ );
- una lamina (ad esempio in acciaio) incollata al profilato, allo scopo di irrigidire il profilato stesso e per facilitare il fissaggio delle pannellature;
- uno o più cavi pretesi, costituiti da diversi trefoli in acciaio, collegati al profilato mediante una pluralità di morsetti atti a limitarne la deformazione sotto carico. Tali cavi consentono di ridurre a piacimento la lunghezza libera di inflessione del montante, permettendo così di mantenere invariate le sue dimensioni in sezione trasversale, al variare, ad esempio, dell'altezza di interpiano o dell'interasse delle pannellature applicate al profilato. La parte terminale dei cavi viene ancorata alla struttura portante dell'edificio tramite una forcina. Il montante è collegato alle strutture portanti dell'edificio (es. solai) mediante sistemi di connessione disponibili in commercio (piastre-guida Halfen, angolari, ...).

Le proprietà termiche sono quelle relative al pultruso

( $\lambda = 0.25 \div 0.35 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ).

Il "Montante" è un sistema per facciate e coperture con elevate prestazioni meccaniche e termiche, di ridotte dimensioni e durevole nel tempo.

Semplicità costruttiva e di montaggio

Prestazione Termica

**Leggerezza**

Versatilità

### 7.1.3 Caratteristiche pultrusi in fibra di vetro

I profili in pultruso dimostrano caratteristiche meccaniche, fisiche e termiche notevolmente vantaggiose se relazionate a quelle dei materiali tradizionali.

### 7.1.4 Durabilità

I profili in pultruso, se sottoposti a condizioni di invecchiamento accelerato, dimostrano di mantenere pressoché inalterate le caratteristiche fisico-meccaniche.

## 7.2 Le colle

Per quanto concerne lo studio delle colle epossidiche da utilizzare, vi sono diversi studi in letteratura, ma uno in particolare [GIAMPAOLI, M., et al. 2017] si è concentrato su questa tipologia di colla epossidica per l'incollaggio di profilati in materiale pultruso sui sistemi di pareti ventilate.

In questo lavoro di letteratura sono state considerate tre colle adesive epossidiche, denominate EPX1, EpX2 e EpX3.

Technical and mechanical characteristics of the epoxy adhesives reported by manufacturers.

Adhesive	EPX1	EPX2	EPX3
Chemical base	Two-part epoxy adhesive	Two-part epoxy adhesive	Two-part epoxy adhesive
Consistency	Controlled flow	Pasty	Fluid
$W_t$ (min)	>300	120	5-20
$A_t$ (°C)	15-25	15-25	20
$S_t$ (°C)	-40 + 120	-40 + 80	-40 + 100
$T_g$ (°C)	/	71	/
Surface treatment	Sand	Sand and degrease	Sand and degrease
$\tau^*$ (MPa)	33.5	15	/
$\sigma_t$ (Mpa)	/	17	17
$E_t$ (MPa)	/	1700	/
$\varepsilon_t$ (%)	3	5	/
Use	Structural	Semi-structural	Semi-structural

\* On aluminum/steel adherents.

Cinque esemplari di ogni tipo di adesivo sono stati sottoposti a prove di



trazione. Tutti i campioni sono stati curati a temperatura ambiente per circa un mese. I risultati sono riportati nella tabella e hanno confermato le più alte prestazioni del primo adesivo epossidico e la peggiore capacità di carico di EPX3, che hanno mostrato la massima deformabilità tra gli adesivi testati.

Mechanical properties in tension and glass transition temperatures of the adhesives.

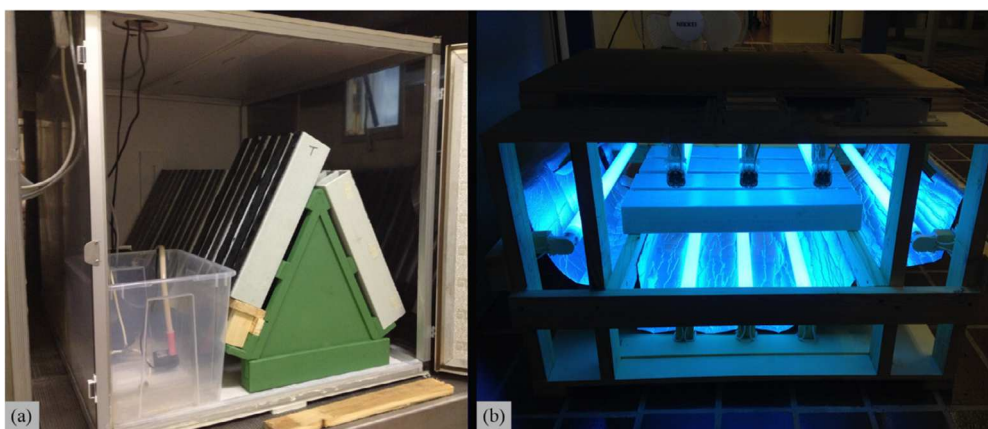
Series	$E_t$ (MPa)	$\sigma_t$ (Mpa)	$\epsilon_t$ (%)	$T_g$ (°C)
EPX1	2966.39 ± 44.12	27.34 ± 0.77	2.39 ± 0.65	61.07 ± 3.34
EPX2	1774.03 ± 30.28	17.11 ± 0.70	3.81 ± 0.23	66.87 ± 0.45
EPX3	648.60 ± 29.56	11.13 ± 1.02	7.26 ± 0.56	46.90 ± 0.63

Inoltre, sempre in questo lavoro scientifico, è stata studiata la temperatura di transizione vetrosa ( $T_g$ ) degli adesivi, e tre campioni di ciascun tipo di adesivo sono stati testati con un calorimetro a scansione differenziale (DSC). I risultati hanno mostrato che tra adesivi strutturali, EPX2 ha il più alto  $T_g$  (in media 67 ° C) e temperature simili sono state ottenuti per EPX1. In questo lavoro sperimentale sono stati impiegati due diversi tipi di invecchiamento artificiale: la prima simulava l'esposizione all'ambiente esterno (T.cc) e la seconda l'effetto dell'irraggiamento UV (T.uv).

L'esposizione contemporanea ai livelli di calore e di elevata umidità è una delle condizioni più dannose degli adesivi e delle materie plastiche. Questa esposizione all'ambiente esterno (T.cc) è stata simulata utilizzando una camera climatica "Angelantoni" modello CST-130 S (fig.a). I campioni sono stati invecchiati a temperatura costante di 40 ° C e all'umidità relativa del 100%, secondo ISO 6270-2, per sei mesi senza interruzione.

L'esposizione alle radiazioni UV può dissociare i legami molecolari nella maggior parte dei polimeri, portando alla degradazione dei materiali polimerici. Questo tipo di invecchiamento (T UV) è stato simulato

utilizzando otto lampade a fluorescenza UV (Philips Actinic BL TL-D fig.b).



Nel presente studio è stata proposta una campagna sperimentale per studiare la connessione di legami di GFRP con i profilati pultrusi e laminati in acciaio attraverso tre diversi adesivi epossidici. L'aumento di rigidità e la riduzione delle deformazioni ottenute mediante accoppiamento di laminati in acciaio a profili pultrurati GFRP sono stati analizzati con l'obiettivo di verificare l'applicabilità di questo sistema ibrido in elementi strutturali per pareti ventilate. La compatibilità dei due materiali e le risposte meccaniche a sollecitazioni locali e globali sono state verificate sempre in questo studio sperimentale. Sono stati eseguiti diversi test meccanici (prove di taglio, in dentazione e flessione) e sono stati studiati gli effetti di due condizioni ambientali, condensazione continua e radiazioni UV.

### 7.2.1 I risultati principali sono

I test di taglio hanno dimostrato che:

- I pultrusi in GFRP e le colle analizzate sono compatibili meccanicamente;
- Sono state rilevate le migliori prestazioni meccaniche per il primo adesivo epossidico (EpX1), sia in condizioni di invecchiamento che non.

Tra I due trattamenti di invecchiamento, la condensa continua ha mostrato effetti negativi maggiori sulle giunzioni, registrando riduzioni di rigidezza fino al 93%. Dopo l'esposizione alle radiazioni UV aumentava la resistenza meccanica dei giunti grazie ad un'ulteriore polimerizzazione di adesivi.

EpX1 ha mostrato le migliori caratteristiche meccaniche in condizioni di età non invecchiamento.

I due trattamenti di invecchiamento hanno dimostrato effetti negativi sui provini, in particolare la condensa continua.

Sono stati eseguiti test di flessione per simulare lo stress dell'intero elemento strutturale che si è verificato nelle pareti ventilate (quando è sottoposto al carico del vento). I campioni ibridi hanno mostrato un aumento significativo in termini di resistenza meccanica e di rigidezza, specialmente nel caso in cui una lamina d'acciaio veniva posizionata nella configurazione inferiore.

Infatti, il lato inferiore del profilo GFRP è stato sottoposto a sollecitazioni di trazione e il rinforzo in acciaio ha consentito un più alto contenimento delle deformazioni rispetto alle altre condizioni. La qualità del rinforzo è stata anche verificata usando un modello analitico nel quale viene considerata la perfetta adesione e non con la piastra in acciaio.

I risultati sopra riportati hanno confermato l'affidabilità dei profilati in pultrusi GFRP come strutture verticali, incollate a lamine d'acciaio, aventi l'obiettivo di contenere le deformazioni e facilitare l'ancoraggio dei pannelli delle pareti ventilate.

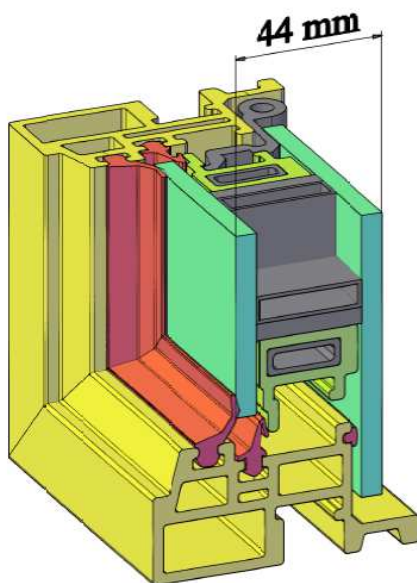
### **7.3 IL telaio**

I telai di finestre sono costituiti da doppi vetri supportati da un involucro mobile, che è incernierato ad un telaio fisso alla finestra fissa fissata alla



finestra e che segue il contorno di questo.

Gli involucri fissi e mobili possono essere realizzati in acciaio, alluminio o altri materiali simili. I telai presenti in commercio hanno telai mobili quadrangolari che incorniciano la doppia vetrocamera e si appoggiano contro gli stipiti del telaio fisso.



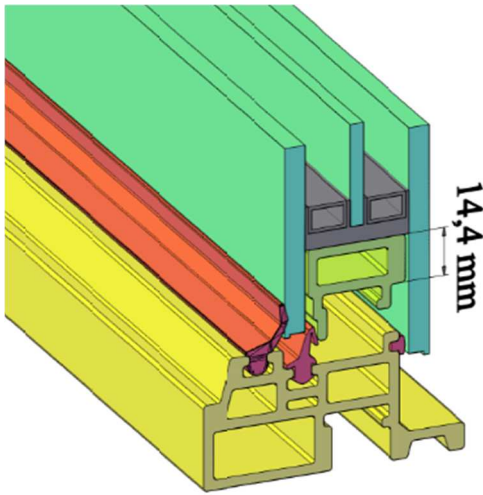
I telai fissi e mobili di aziende note hanno dimensioni globali abbastanza grandi e questo può anche dare inconvenienti a livello estetico che, come è noto, è un fattore decisivo per il successo commerciale di un telaio.

Bisogna sottolineare che nella fase di progettazione dei telai, vi è soprattutto la necessità di rinnovare i prodotti offerti al pubblico, al fine di proporre un prodotto bello esteticamente ed innovativo.

Inoltre, i telai presenti in commercio hanno un isolamento termico inefficiente, poiché gli involucri fissi e mobili spesso costituiscono la parte con la minore efficienza termica. Lo scopo principale del nuovo prodotto è stato quello di fornire un telaio per finestre sostanzialmente differente da quello attualmente offerto dal mercato, in termini di aspetto, ma principalmente deve offrire un elevato rendimento termico.

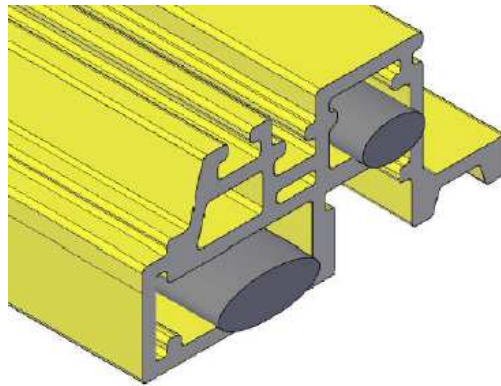
L'invenzione prevede che l'involucro mobile, comprenda una pluralità di elementi profilati, completamente contenuti nell'interspazio della vetrata doppia.

In ogni caso, il telaio mobile, all'interno del perimetro della doppia vetrata, è sostanzialmente nascosto per definire una sagoma che appare identificata all'esterno totalmente dalle lastre di vetro, pur avendo le caratteristiche strutturali e termiche provenienti dall'accoppiamento della doppia vetrocamera e del telaio mobile.



In dettaglio, gli elementi profilati dell'involucro mobile sono chiusi in un anello, disposti all'interno dei vetri in rispettive porzioni perimetrali dello stesso, vale a dire in porzioni che comprendono i bordi esterni delle lastre di vetro lungo il lato del loro perimetro.

L'involucro mobile è fissato ai fogli dei doppi vetri mediante un adesivo, ad esempio a base epossidica o poliuretanicca o mediante silicone strutturale, per definire un unico prodotto in cui le lastre e l'involucro mobile cooperano per migliorare le performance strutturali e termiche.



## CONCLUSIONI

Nel presente lavoro di tesi di dottorato è stata effettuata un'attività di ricerca incentrata sulla progettazione di pannelli per pareti ventilate ad alta efficienza energetica e strutturale.

La seguente tesi nasce dalla passione verso l'involucro edilizio di tipo contemporaneo e le nuove tecnologie a supporto di esso, nonché dalla voglia e dal desiderio di approfondire e indagare queste tematiche e sulle aziende leader a livello nazionale ed internazionale per quanto riguarda la progettazione, produzione e posa in opera di facciate continue di tipo evoluto.

Nella fase di studio, sviluppo e modellazione parametrica tramite software di ultima generazione Autodesk Revit Architecture, sono state approfondite le peculiarità legate all'ingegnerizzazione di involucri di tipo altamente tecnologico, e in particolar modo sono state analizzate ed approfondite l'intero iter procedurale realizzativo. Iniziando da un inquadramento tecnologico, durante il quale sono state approfondite le tecnologie realizzative esistenti che possono essere utilizzate nella progettazione e costruzione di involucri di tipo contemporaneo, questo lavoro di tesi ha affrontato le specificità della pianificazione esecutiva dei sistemi di facciata ventilata, fino al completamento delle opere, e ricerca un'ottimizzazione di esso con l'introduzione del BIM al suo interno.

Sono stati scelti ed approfonditi dei casi studio, progetti che hanno visto le prime sperimentazioni BIM in Italia su progetti di questa portata. L'obiettivo è stato quello di acquisire conoscenze specifiche su aspetti molto particolari in un settore di élite come quello delle facciate continue per edifici esistenti e non e approfondire il processo che sta dietro a questi grandi capolavori, per poi avanzare ipotesi di ottimizzazione e casi studio di sistemi innovativi.

In conclusione l'elaborato di tesi ha l'obiettivo di fornire uno strumento utile a tutti, per approfondire e meglio comprendere i vantaggi derivanti dall'introduzione della metodologia BIM all'interno di un settore così particolare e specifico, in modo da spronare ed essere spronati verso l'ottimizzazione dell'intero processo.

Più nel dettaglio è stato effettuato uno studio di diverse tipologie di materiali per pannelli di pareti ventilate, che ha portato alla definizione di un abaco per confrontare tutte le proprietà termo-meccaniche dei materiali proposti e che può essere utilizzato in fase di progettazione da tutti gli utenti che utilizzano il sistema BIM (Building Information Modeling).

Tra le diverse tipologie di sistemi costruttivi analizzati, la proposta progettuale sviluppata fa riferimento ad un sistema di montante per facciata continua a tutto vetro. I vantaggi di tale sistema sono i seguenti:

- Alleggerimento della sottostruttura di ancoraggio mediante l'utilizzo di profilati in materiale pultruso realizzato con fibre di vetro e resine epossidiche (Glass Fiber Reinforced Polimers GFRP) rispetto all'acciaio sino ad ora utilizzato;
- Nessuna significativa perdita di resistenza meccanica della struttura;
- Buona resistenza agli agenti atmosferici;
- Eliminazione di collegamenti rivettati o filettati grazie all'utilizzo di una colla strutturale a matrice epossidica;
- Elevata efficienza termica ottenuta grazie all'eliminazione di eventuali ponti termici.

Di contro, i polimeri e le colle potrebbero essere suscettibili all'azione dei raggi UV per l'esposizione ai raggi solari, ed infatti in tal senso molta attenzione è rivolta dalla comunità scientifica che tratta questo aspetto



tecnologico.

La progettazione della parete ventilata innovativa proposta è stata sviluppata con l'utilizzo del sistema di progettazione BIM.

#### Vantaggi e svantaggi BIM

Il principale vantaggio del sistema BIM nella progettazione di pareti ventilate e della nuova soluzione proposta a tutto vetro è stato quello di poter costruire il modello dall'idea progettuale alla configurazione definitiva avendo intrinseche le caratteristiche strutturali, dimensionali, funzionali ed estetiche. La versatilità del BIM consente di poter modificare in qualsiasi momento la geometria e il materiale che costituiscono la parete ventilata, con la possibilità di condividere tutte queste informazioni con l'intera comunità che utilizza il sistema BIM.

Dal lavoro effettuato il risultato di maggior rilievo è quello che non solo la progettazione ma anche l'ottimizzazione delle pareti ventilate, attraverso l'utilizzo dei sistemi BIM, consente di avere un notevole risparmio sui tempi e sui costi di realizzazione del prodotto finito, tenendo in considerazione non solo l'aspetto strutturale ma anche quello estetico che costituisce la chiave per il successo della parete ventilata.

## Bibliografia

- Givoni, B.: *Characteristics, design implications, and applicability of passive solar heating systems for buildings*. *Solar Energy*, 47(6), 425-435 - (1991).
- Ciampi M., Tuoni G.: *Sulle prestazioni energetiche delle pareti ventilate*. *La Termotecnica*. 3, 75-85. Milano: Ed. Bias - (1995).
- Ciampi M., Tuoni G.: *Sul comportamento delle pareti ventilate in regime termico periodico*. *La Termotecnica*. 11, 79-87. Milano: Ed. Bias - (1998).
- Bartoli C., Ciampi M., Tuoni G.: *Periodic heat flow through ventilated walls: the influence of air-space position upon room temperature*. In *Proceedings of 3rd International Thermal Energy & Environment Congress—ITEEC '97, Marrakesh, Morocco* (Vol. 2, pp. 522-527) - (1997).
- Bartoli C., Ciampi M., Tuoni G.: *Ventilated walls: air-space positioning and energy performance*. In *3rd International Thermal Energy & Environment Congress, ITEEC* (Vol. 97, pp. 528-533) - (1997).
- Gennai L., Gucci N., Tuoni G.: *Sul comportamento igrometrico delle coperture piane ventilate*. *La Termotecnica*. 10, 89-95. Milano: Ed. Bias - (1996).
- ENEA. *Conferenza Nazionale Energia e Ambiente*. Roma - (1998).

- Gallo C.: La qualità energetica e ambientale nell'architettura sostenibile. Milano: Ed. Il Sole 24 Ore - (2001).
- Grosso M.: Il raffrescamento passivo degli edifici. Rimini: Ed. Maggioli - (1997).
- F. Stazi, C. Di Perna, P. Munafò - *Durability of 20-year-old external insulation and assessment of various types of retrofitting to meet new energy regulations - Energy and Buildings 41* - (2009) 721-731.
- M. Ciampi, F. Leccese, G. Tuoni - *Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings - Solar Energy 75* - (2003) 491-502.
- D. Davidovic, J. Srebric, E.F.P. Burnett - *Modeling convective drying of ventilated wall chambers in building enclosures - International Journal of Thermal Sciences 45* - (2006) 180-189.
- V. Serra, F. Zanghirella, M. Perino - *Experimental evaluation of a climate façade: Energy efficiency and thermal comfort performance - Energy and Buildings 42* - (2010) 50-62.
- Balocco - *A simple model to study ventilated facades energy performance - Energy and Buildings 34* - (2002) 469-475.
- C. di Perna, F. Stazi, F. Tomassoni, A. Stazi - *Experimental study of a*

*ventilated wall in summer phase - World Renewable Energy Congress X and Exhibition - (19–25 July 2008), Glasgow – Scotland*

- Ciampi M., Leccese F., Tuoni G. – *Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings – Solar Energy 75 - (2003) 491-502.*
- Balocco C., Mazzocchi F., Nistri P. – *Facciata ventilata in laterizio: tecnologia e prestazioni – Costruire in laterizio (2001) 83, 63-75*
- Balocco C. – *A simple model to study ventilated facades energy performance – Energy and Buildings 34 - (2002) 469-475.*
- Gan G. - *Effect of air gap on the performance of building-integrated photovoltaics - Energy 34 - (2009) 913–921.*
- Ji Jie, Yi Hua, Pei Gang, Jiang Bin, He Wei - *Study of PV-Trombe wall assisted with DC fan - Building and Environment 42 - (2007) 3529–3539.*
- HIYAMA, Kyosuke, et al. - *A new method for reusing building information models of past projects to optimize the default configuration for performance simulations. Energy and Buildings,( 2014) 73: 83-91.*

- ABANDA, F. H.; BYERS, L. *An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling)*. *Energy*, (2016) 97: 517-527.
- GOURLIS, Georgios; KOVACIC, Iva. *Building Information Modelling for analysis of energy efficient industrial buildings—A case study*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2017) 68: 953-963.
- GHAFFARIANHOSEINI, AmirHosein, et al. *Intelligent Facades in Low-Energy Buildings*. (2012).
- JOE, Jaewan, et al. *Optimal design of a multi-story double skin facade*. *Energy and Buildings*, (2014), 76: 143-150.
- OCHOA, Carlos E.; CAPELUTO, I. Guedi. *Decision methodology for the development of an expert system applied in an adaptable energy retrofit façade system for residential buildings*. *Renewable Energy*, (2015), 78: 498-508.
- DEMCHAK, Greg; DZAMBAZOVA, Tatjana; KRYGIEL, Eddy. *Introducing Revit architecture 2009: BIM for beginners*. John Wiley and Sons, 2009.

- OSELLO, Anna. *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, The future of Drawing with BIM for Engineers and Architects*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, (2012), 1-323.
- GARAGNANI, Simone; LUCIANI, Stefano Cinti. *Il modello parametrico in architettura: la tecnologia BIM di Autodesk Revit*. DISEGNARECON, (2011), 4.7: 20-29.
- LESHA, Orges. *Building Information Modeling e progettazione sostenibile: modellizzazione parametrica e simulazione energetica di edifici a energia quasi zero*. (2012). PhD Thesis. Politecnico di Torino
- GARAGNANI, Simone; LUCIANI, Stefano Cinti; MINGUCCI, Roberto. *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura*. DISEGNARECON, (2011), 4.7: 5-19.
- DALLA MORA, T., et al. *Una panoramica sul Building Information Modelling (BIM)*. Milano, AiCARR, (2014).
- CAFFI, Vittorio, et al. *Il processo edilizio supportato dal BIMM: l'approccio InnovANCE" BIMM enabled construction processes: the InnovANCE approach*. ISTEa, Bari, (2014), 91-109.
- ALLIATA, Andrea. *Involucri innovativi per il retrofit energetico-*

*Pametrizzazione BIM e applicazione di un sistema tecnologico sperimentale.* (2015). PhD Thesis. Politecnico di Torino.

- ARGIOLAS, Carlo; QUAQUERO, Emanuela; PRENZA, Riccardo. *Bim 3.0 dal disegno alla simulazione: Nuovo paradigma per il progetto e la produzione edilizia.* Gangemi Editore spa, 2015.
- ALBERTI, Alessio. *L'evoluzione infografica del processo edilizio-dalla progettazione integrata in ambiente BIM alla gestione del cantiere 4D e 5D: caso studio-realizzazione di 78 alloggi residenziali ATC su Spina 4 in Torino.* (2014). PhD Thesis. Politecnico di Torino.
- COELHO, Sérgio Salles; NOVAES, Celso Carlos. Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. In: *Anais do VIII Workshop Nacional de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, São Paulo.* (2008).
- GIAMPAOLI, M., et al. *Mechanical performances of GFRP-steel specimens bonded with different epoxy adhesives, before and after the aging treatments.* *Composite Structures*, (2017) 171: 145-157.

- REEVES, T. J.; OLBINA, S.; ISSA, R. R. A. *Guidelines for using building information modeling (BIM) for environmental analysis of high-performance buildings*. In: *Computing in Civil Engineering (2012)*. 2012. p. 277-284.
- HAMMOND, R.; NAWARI, N. O.; WALTERS, B. *BIM in sustainable design: strategies for retrofitting/renovation*. In: *Computing in Civil and Building Engineering (2014)*. 2014. p. 1969-1977.



## **Ringraziamenti**

La realizzazione del seguente lavoro di tesi è stata possibile grazie alla disponibilità ed alla guida dei miei relatori che ringrazio tanto, per avermi guidato con professionalità e passione in questo corso di tre anni di dottorato, che mi ha consentito di crescere professionalmente.