



Pareti ventilate ad alte prestazioni Teoria e soluzioni

a cura di Angelo Lucchini



INDICE

CAPITOLO 1

Inquadramento generale di A. Lucchini

| | |
|---|---|
| a. Premessa | 5 |
| b. Origine dei rivestimenti a parete ventilata | 5 |
| c. I moderni sistemi di rivestimento a parete ventilata | 6 |

CAPITOLO 2

Requisiti e prestazioni caratterizzanti di A. Lucchini - E. S. Mazzucchelli - A. Stefanazzi¹

| | |
|---|----|
| a. Schermo all'acqua | 7 |
| b. Isolamento e assorbimento acustico | 9 |
| c. Isolamento termico (invernale/estivo) | 13 |
| d. Ponti termici | 23 |
| e. Igro-sensibilità | 28 |
| f. Comportamento al fuoco | 30 |
| g. Sismo-resistenza | 34 |
| h. Durabilità, manutenibilità e sostenibilità | 37 |

CAPITOLO 3

Configurazione delle soluzioni di A. Lucchini - A. Stefanazzi²

| | |
|---|----|
| a. Strato isolante | 39 |
| b. Sistemi di supporto del rivestimento | 41 |
| c. Prodotti e materiali di rivestimento | 49 |
| d. Fissaggi del rivestimento | 51 |

CAPITOLO 4

Progettazione e realizzazione di A. Lucchini - E. S. Mazzucchelli - A. Stefanazzi³

| | |
|--|----|
| a. Progettazione di un sistema di rivestimento a parete ventilata | 55 |
| b. Tipologie d'intervento: nuova costruzione e riqualificazione architettonico energetica di edifici esistenti | 62 |
| c. Cantierizzazione | 62 |
| d. Controlli e collaudi | 66 |

¹ A. Lucchini struttura capitolo, introduzione e sezioni a., d., e., f., h. - E. S. Mazzucchelli sezioni b., c. - A. Stefanazzi sezione g.

² A. Lucchini struttura capitolo, introduzione e sezioni b., c. - A. Stefanazzi sezioni a., d.

³ A. Lucchini struttura capitolo, introduzione e sezioni a., b. - E. S. Mazzucchelli sezione c. - A. Stefanazzi sezione d.



CAPITOLO 5

Schede progettuali di A. Lucchini - A. Stefanazzi⁴

INTRODUZIONE

Introduzione alle schede di progetto. 69

CASO 1

Edificio di nuova costruzione di tipo convenzionale. 71
 Sistema di rivestimento a parete ventilata con isolamento in pannelli Ventirock Duo e rivestimento in pannelli Rockpanel.

CASO 2

Riqualificazione architettonica e prestazionale di un edificio anni '70. 87
 Sistema di rivestimento a parete ventilata con isolamento in pannelli Ventirock Duo e rivestimento in pannelli Rockpanel.

CASO 3

Edificio di nuova costruzione in legno. 101
 Sistema di rivestimento a parete ventilata con isolamento in pannelli Ventirock Duo e rivestimento in pannelli Rockpanel.

CASO 4

Edificio di nuova costruzione di tipo convenzionale. 117
 Sistema di rivestimento a parete ventilata con isolamento in pannelli Ventirock Duo e rivestimento in lastre lapidee di spessore 3 cm.

CASO 5

Riqualificazione architettonica e prestazionale di un edificio anni '70. 133
 Sistema di rivestimento a parete ventilata con isolamento in pannelli Ventirock Duo e rivestimento in lastre in gres porcellanato.

BIBLIOGRAFIA 147

⁴ A. Lucchini struttura capitolo, introduzione, testi schede da 1 a 5 - A. Stefanazzi elaborazione grafica schede da 1 a 5.

Questa pubblicazione è stata curata da Angelo Lucchini, ingegnere, dottore di ricerca in Ingegneria ergotecnica edile, ordinario di Architettura Tecnica presso il dipartimento ABC (Architecture, Built Environment and Construction Engineering) del Politecnico di Milano.

La stessa illustra la teoria e pratica delle pareti ventilate ad elevate prestazioni sulla base dell'esperienza maturata al riguardo dal suo curatore in circa trent'anni di specifica attività di studio, ricerca e sperimentazione di tipo sia scientifico sia progettuale e costruttivo.

Alla trattazione teorica e pratica hanno validamente contribuito anche i dott. ing. Enrico Sergio Mazzucchelli e Alberto Stefanazzi, entrambi da molti anni impegnati nell'attività di ricerca ed in quella di didattica presso la Scuola di Ingegneria Edile-Architettura ed esperti di valore nel campo della ingegnerizzazione del progetto di Architettura e, particolarmente, della progettazione esecutiva e costruttiva dei rivestimenti a parete ventilata.

Gli autori ringraziano ROCKWOOL Italia S.p.A. per avere richiesto e sostenuto con vivissimo interesse l'intenso lavoro svolto che sta alla base di questa pubblicazione ed auspicano che i professionisti dell'edilizia, ai quali esso è indirizzato, ne apprezzino e ne utilizzino con soddisfazione i contenuti.

Ringraziano l'ing. Marcello Brugola per i preziosi suggerimenti in materia di acustica e le società Aderma S.r.l. e Dallera S.r.l. per il materiale grafico cortesemente fornito.

CAPITOLO 1

Inquadramento generale

a. Premessa

I rivestimenti a parete ventilata, specie se abbinati ad uno strato d'isolamento dalle elevate prestazioni, rappresentano una delle principali opzioni di finitura esterna delle moderne chiusure opache.

Gli stessi risultano particolarmente indicati ed impiegati negli edifici di grande dimensione e di elevata altezza, nonché in tutti quelli per i quali la ricerca di funzionalità, immagine, elevate prestazioni, efficienza e sostenibilità al massimo livello dell'involucro architettonico ed edilizio costituisce un primario obiettivo della progettazione.

Nell'ampia offerta commerciale odierna di materiali e prodotti per la formazione di questo tipo di rivestimenti, ROCKWOOL si distingue per la proposta di prodotti specificamente studiati ed ottimizzati per garantire prestazioni e modalità di installazione in opera ideali, tra i quali spiccano pannelli di rivestimento in lastre composite sottili in lana di roccia ad alta densità verniciate superficialmente, con ampia gamma di caratteristiche cromatiche, e pannelli isolanti in lana di roccia a doppia densità, per i quali questa azienda ha ricercato, in collaborazione con il Dipartimento ABC (Architecture, Built Environment and Construction Engineering) del Politecnico di Milano, le configurazioni del sistema a parete ventilata più indicate a guidare i progettisti all'ottenimento di risultati ottimali e di alto profilo prestazionale, a partire dalle principali tipologie strutturali e di tamponamento al rustico attualmente in uso¹.

b. Origine dei rivestimenti a parete ventilata

I moderni sistemi di rivestimento a parete ventilata descritti nel seguito discendono dalle semplici ma molto efficaci soluzioni a schermo, note anche come *rain screen*, da secoli utilizzate sia nei Paesi Alpini sia in quelli del Nord Europa, per difendere dall'azione della pioggia battente i fronti degli edifici rurali e montani maggiormente esposti ai venti dominanti.

Tali soluzioni antesignane consistono generalmente in un sottile paramento composto da tavole o tavolette di legno o da lastre in pietra o in lamiera metallica disposte a scandola o anche da tronchi in legno di piccolo diametro, anteposti alla parete da proteggere dall'azione combinata della pioggia e del vento, posati a secco su una listellatura o su di una orditura leggera in legno o metallo.

Tra lo schermo e la parete retrostante viene così generata una piccola intercapedine, la cui funzione è di interrompere la continuità fisica tra l'uno e l'altra, ed impedire alla pioggia spinta dal vento di raggiungere e degradare la parete stessa.

L'acqua eventualmente penetrata nell'intercapedine sgocciola e viene poi raccolta alla sua base e fatta defluire all'esterno.

Lo schermo avanzato funge quindi da strato di sacrificio funzionale alla protezione dei retrostanti elementi di parete ed alla salvaguardia della funzionalità e integrità di questi ultimi.

Le pareti così attrezzate prendono in inglese il nome di *rain screen walls* ossia pareti con schermo alla pioggia battente.

In anni recenti, le soluzioni di questo genere hanno conosciuto una notevole evoluzione tecnologica e funzionale e sono state utilizzate e riproposte sempre più di frequente, non solo a mero fine protettivo ma anche come opzione innovativa, in grado di migliorare sensibilmente la configurazione dell'involucro verticale opaco degli edifici, sia sotto il profilo tecnologico e prestazionale sia sotto quello architettonico, dando così impulso alla diffusione dei moderni sistemi a parete ventilata cui questo volume è dedicato.

¹ Al riguardo si vedano le schede tecniche di progetto fornite nel successivo capitolo 5.

c. I moderni sistemi di rivestimento a parete ventilata

Il termine "parete ventilata" indica una parete di facciata opaca con rivestimento esterno costituito da elementi di varia fattura (lastre, doghe, tavelle, ecc.), di dimensione e consistenza materica, contraddistinti dalla messa in opera a secco, tramite dispositivi di sospensione e di fissaggio di tipo meccanico o chimico-meccanico, che ne mantengono distanziato il lato nascosto dalla retrostante parete di tamponamento, sulla quale è in genere applicato un isolamento a cappotto, in modo da realizzare una sottile intercapedine entro la quale può circolare aria esterna.

Tale cavità deve avere spessore sufficiente ad interrompere la continuità fisica tra il rivestimento esterno e gli altri componenti formanti il nucleo interno della parete di facciata e a realizzare una circolazione d'aria attraverso i giunti di accostamento orizzontali e/o verticali tra elemento ed elemento del rivestimento, di regola privi di sigillatura.

Con riferimento al funzionamento ed alle prestazioni in opera è utile distinguere le due seguenti casistiche fondamentali:

- pareti mediamente o fortemente ventilate nell'intercapedine (*ventilated veneers*) che, oltre a fornire i vantaggi di alta resistenza e di bassa sensibilità all'azione della pioggia battente caratteristici dei sistemi a schermo avanzato, consentono di implementare ed ottimizzare la prestazione termoenergetica della parete opaca, particolarmente nella stagione estiva e, sebbene in misura notevolmente inferiore, anche in quella invernale, a patto che l'intercapedine sia collegata, per l'intera sua altezza o per segmenti della stessa, a griglie di immissione e di espulsione dell'aria esterna opportunamente regolabili, così da governare, secondo convenienza, il moto dell'aria all'interno di questa cavità. Nelle normali condizioni di funzionamento, tale movimento è di tipo ascendente e viene attivato dal gradiente termico che si crea, quando ne sussistono le condizioni, tra la temperatura interna all'intercapedine e quella dell'aria in ingresso nella stessa, dando luogo al cosiddetto "effetto camino".

Lo specifico vantaggio fornito dalla ventilazione nella stagione calda consiste in un contributo alla riduzione del carico termico gravante sugli strati più interni della parete e, in particolare, su quello o quelli che fungono da isolamento termico, nonché quello, in taluni contesti particolarmente opportuno ed apprezzabile, di inibire la frequentazione dell'intercapedine da parte di insetti.

Nella stagione invernale il vantaggio derivante dalla ventilazione dell'intercapedine può invece consistere in una più rapida evaporazione o smaltimento degli apporti d'acqua e umidità ivi raccolti, sempre che la ventilazione sia attivata in misura consistente solo quando sussistano le condizioni termoigrometriche più favorevoli giacché, in caso contrario, si avrebbero effetti controproducenti quali, ad esempio, abbondanti formazioni di condensa, brina e/o ghiaccio;

- sistemi di rivestimento debolmente o molto debolmente ventilati, spesso indicati anche come micro o pseudo ventilati (*micro-ventilated veneers*) ma nelle comuni applicazioni chiamati semplicemente "a parete ventilata", in grado di fornire vantaggi di alta resistenza e di bassa sensibilità all'azione della pioggia battente tipici dei sistemi a schermo avanzato, nonché prestazioni termoenergetiche equivalenti o anche complessivamente superiori a quelle offerte dalle soluzioni fortemente ventilate, a fronte di un più generoso dimensionamento dello o degli strati isolanti, con il vantaggio costruttivo e gestionale di evitare l'installazione di aperture di immissione e di espulsione dell'aria esterna e la conseguente periodica regolazione delle relative griglie; quindi di più semplice progettazione e installazione e più concorrenziali nel rapporto costo/prestazioni.

CAPITOLO 2

Requisiti e prestazioni caratterizzanti

I sistemi di rivestimento a parete ventilata possiedono peculiari caratteristiche da armonizzare a quelle della struttura e del paramento murario al quale essi vanno vincolati meccanicamente. Ciò al fine di ottenere un comportamento di insieme particolarmente favorevole sotto i molteplici aspetti di seguito illustrati.

a. Schermo all'acqua

I sistemi di rivestimento a parete ventilata possiedono una naturale propensione a proteggere efficacemente l'edificio dall'azione combinata di pioggia e vento. Questo grazie alla presenza sia dei giunti aperti tra gli elementi di rivestimento, sia di una netta discontinuità fisica tra il rivestimento esterno e la retrostante muratura cieca, realizzata da una intercapedine che, all'uopo, deve avere uno spessore ovunque non inferiore a 2-3 cm.

In caso di eventi meteorici prolungati o di eccezionale intensità, ciò impedisce che la pioggia possa giungere a bagnare in modo significativo lo strato isolante, solitamente posato sulla faccia esterna del tamponamento murario, o addirittura la massa della muratura, evitando in tal modo che vi sia il temporaneo incremento della trasmittanza termica e/o l'innesco di fenomeni di degrado della parete.

Per garantire l'effetto sopra descritto l'intercapedine deve essere continua e non soggetta, sotto l'azione del vento, ad una pressione sensibilmente inferiore a quella presente sulla faccia esterna del rivestimento.

In caso contrario, sotto l'azione di pioggia e vento, verrebbe facilmente richiamata acqua in quantità nell'intercapedine.

Funzionale ed utile all'equalizzazione della pressione dell'aria tra la faccia esterna e quella interna del rivestimento è di conseguenza la non sigillatura dei suoi giunti verticali e/o orizzontali tra elemento ed elemento.

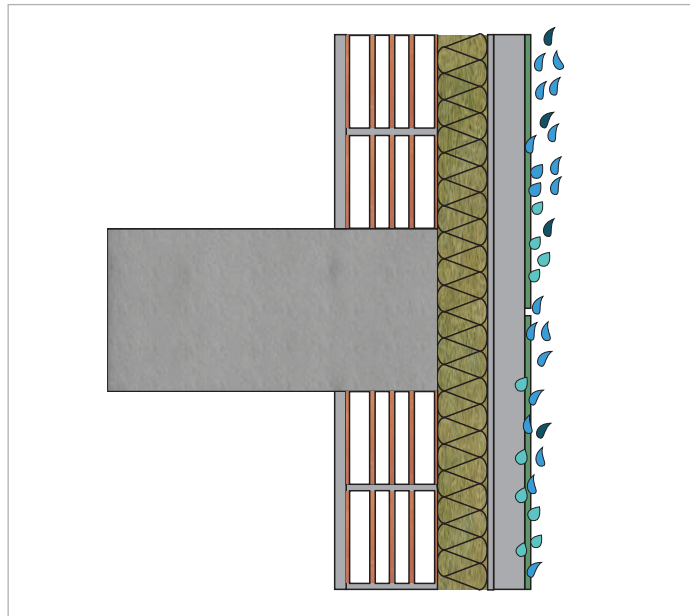


Figura 2.1 - Schematizzazione della protezione all'acqua data da un rivestimento a parete microventilata allo strato d'isolamento termico e al tamponamento

Non tamponando o sigillando i giunti tra lastre è possibile che, nel corso di eventi meteorici di una certa intensità (accompagnati da stravento), una modesta quotaparte dell'acqua battente e di ruscellamento si infiltri nell'intercapedine ed una sua ulteriore frazione minima riesca a raggiungere la faccia esterna dell'isolante (v. figura 2.2). Tuttavia, se lo strato coibente è continuo, non vi saranno apprezzabili conseguenze né per il medesimo né per la parete retrostante. Al massimo potrà esservi un lieve temporaneo calo prestazionale che cesserà non appena l'acqua o l'umidità assorbita rievaporeranno.

Vari sono i materiali termoisolanti impiegabili nei sistemi a parete ventilata, in forma di pannelli rigidi/semirigidi oppure in materassini, la cui forma e dimensioni dipendono dalle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale, dalle modalità di trasporto, movimentazione e messa in opera del medesimo e dal valore di trasmittanza termica da assegnare alla parete. Tra essi, gli isolanti in lana di roccia hanno dimostrato una più che buona propensione all'impiego in sistemi a parete ventilata. Al riguardo merita segnalare che fra i più interessanti prodotti in lana di roccia in commercio vi sono i pannelli a doppia densità, disponibili anche con rivestimento superficiale in velo minerale di colore nero.

Rispetto ai più convenzionali pannelli in monostrato omogeneo, di ben note ed apprezzate caratteristiche termoisolanti e fonoassorbenti, questa nuova varietà di prodotto presenta migliori prestazioni acustiche, una maggiore consistenza meccanica ed una molto minore bagnabilità in superficie, che ne accresce ancor di più la propensione all'impiego in rivestimenti a parete ventilata.

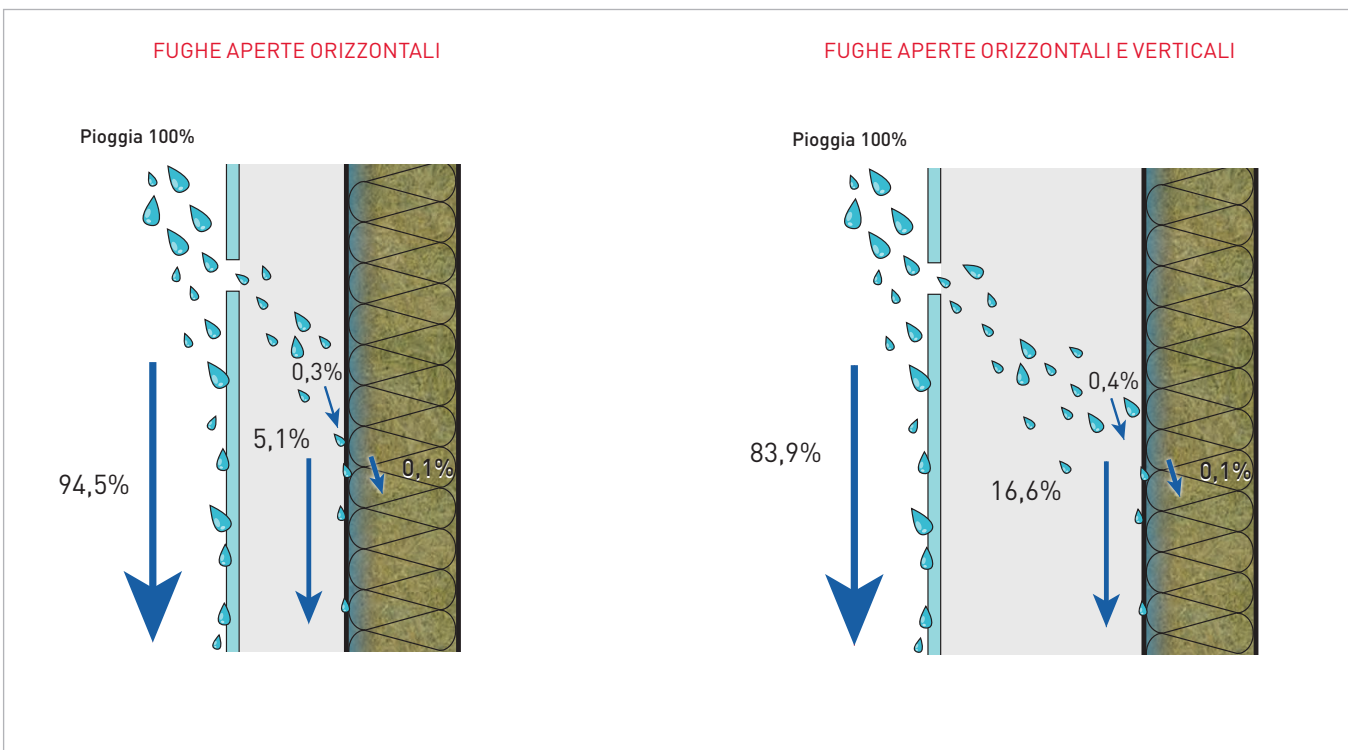


Figura 2.2 - Rappresentazione del quantitativo d'acqua che può bagnare l'isolante termico in una parete microventilata con fughe aperte solo orizzontali e orizzontali e verticali (fonte UNI 11018:2003)

In termini prestazionali le pareti ventilate esprimono una sensibilità all'acqua battente nettamente inferiore in confronto con pareti mono o multistrato convenzionali. Ciò le rende quindi particolarmente indicate per essere installate anche in contesti ove vi sia forte esposizione a sollecitazioni combinate di pioggia e vento, tipico caso ed esempio degli edifici alti e isolati, a prescindere dalla loro ubicazione in contesto urbano o extraurbano.

b. Isolamento e assorbimento acustico

Sia in fase di progettazione che di realizzazione, deve essere posta particolare attenzione al controllo del benessere acustico negli ambienti interni.

Il rispetto di tale requisito è divenuto cogente (per gli edifici di nuova costruzione e per quelli interamente rinnovati, quali: residenze, scuole, ospedali, alberghi, uffici, ecc.) con l'entrata in vigore del D.P.C.M. 05/12/1997.

Alla facciata è richiesta, in particolare, una prestazione minima complessiva delle parti opache e trasparenti espressa dall'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT,w}$.

L'indice è definito (v. i relativi livelli di prestazione riportati in tabella 2.1 a pag. 12) come la differenza fra il livello di pressione sonora misurato all'esterno, alla distanza di 2 m dalla facciata, ed il livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente.

La valutazione del potere fonoisolante è espresso dalla formula:

$$D_{2m,nT,w} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad [\text{dB}]$$

dove:

- $L_{1,2m}$ è il livello di pressione sonora alla distanza di 2 m dalla facciata [dB];
- L_2 è il livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente [dB];
- T è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente [s];
- T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento, pari a 0,5 [s].

Le misure, eseguite secondo le modalità indicate nella norma UNI EN ISO 140-5:2000 "Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea degli elementi di facciata e delle facciate", verranno effettuate per bande d'ottava, con frequenza di centro banda compresa fra 125 Hz e 2000 Hz, oppure per bande di un terzo d'ottava, con frequenza di centro banda compresa tra 100 Hz e 3150 Hz. Dai valori in frequenza si ottiene l'indice di valutazione $D_{2m,nT,w}$ secondo il procedimento indicato nella norma UNI EN ISO 717-1:2013 "Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 1: Isolamento acustico per via aerea", che prevede l'impiego di due differenti metodi per la misurazione dell'isolamento al rumore aereo di una facciata: il metodo globale con traffico stradale oppure quello con altoparlante. Il primo è preferibile quando si valutano le prestazioni complessive di una facciata, inclusi i percorsi laterali, mentre il secondo è normalmente utilizzato quando la sorgente di rumore reale non può essere usata.

L'isolamento acustico tra l'ambiente esterno e quello interno dipende dal potere fonoisolante dei singoli componenti (opachi e trasparenti) che costituiscono la chiusura e dal tempo di riverberazione complessivo dell'ambiente in cui si effettua la misura.

Il potere fonoisolante (R) misura l'efficacia con la quale un componente impedisce la trasmissione del suono tra i due ambienti che separa ed è definito come:

$$R(f) = 10 \cdot \text{Log} \frac{W_{i,e}}{W_{t,i}} \quad [\text{dB}]$$

dove:

- $W_{i,e}$ è la potenza sonora incidente [W];
- $W_{t,i}$ è la potenza sonora trasmessa [W].

Le prestazioni acustiche variano al variare della frequenza considerata. Per una quantificazione sintetica della prestazione può essere tuttavia utilizzato l'indice R_w , che si ricava ponendo a confronto la curva sperimentale della soluzione con quella standard di riferimento, data dalla norma UNI EN ISO 717-1:2013 e che fornisce un unico valore indicativo, come di seguito illustrato.

La valutazione dell'indice R_w avviene sovrapponendo alla curva sperimentale quella di riferimento, facendo poi scorrere quest'ultima per passi di 1 dB, in modo tale che la somma degli scarti sfavorevoli (ovvero il valore in decibel degli scostamenti negativi sulle frequenze per le quali la curva sperimentale R cade al di sotto della curva di riferimento) sia la più grande possibile, ma comunque non superiore a 32 dB se la misura è in 16 bande di un terzo di ottava, oppure a 10 dB se la misura è in 5 bande d'ottava.

Trovato in tal modo il giusto punto di sovrapposizione tra le curve suddette, il valore alla frequenza di 500 Hz della curva di riferimento corrisponde all'indice R_w del potere fonoisolante dell'elemento.

Per definire mediante calcoli analitici il potere d'isolamento acustico di una campitura di facciata, composta da più elementi opachi e/o trasparenti dal diverso potere fonoisolante, è necessario quantificare il suo potere fonoisolante apparente composto, tramite la formula logaritmica seguente, che mette in relazione il potere fonoisolante di ciascun elemento con l'incidenza della sua superficie su quella totale:

$$R'_w = -10 \cdot \text{Log} \left(\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \cdot 10^{\frac{-R_{wi}}{10}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_0}{S} \cdot 10^{\frac{D_{n,e,wi}}{10}} \right) - K \quad [\text{dB}]$$

dove:

- R_{wi} è l'indice di valutazione del potere fonoisolante dell'elemento i , [dB];
- S_i è l'area dell'elemento i [m²];
- A_0 è l'area di assorbimento acustico equivalente di riferimento, pari a 10 [m²];
- $D_{n,e,wi}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento acustico di un piccolo elemento i [dB];
- S è l'area totale della facciata, vista dall'interno [m²];
- K è la correzione relativa al contributo della trasmissione laterale, pari a 0 per elementi di facciata non connessi e pari a 2 per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi.

L'isolamento acustico di facciata si ottiene pertanto utilizzando la seguente relazione:

$$D_{nT} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \cdot \log \left(\frac{V}{6 \cdot T_0 \cdot S} \right) \quad [\text{dB}]$$

dove:

- R'_w è l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di facciata [dB];
- V è il volume dell'ambiente ricevente [m³];
- S è l'area totale della facciata vista dall'interno [m²];
- T_0 è il tempo di riverberazione standardizzato e pari a 0,5 [sec];
- ΔL_{fs} è il fattore correttivo dovuto alla forma della facciata.

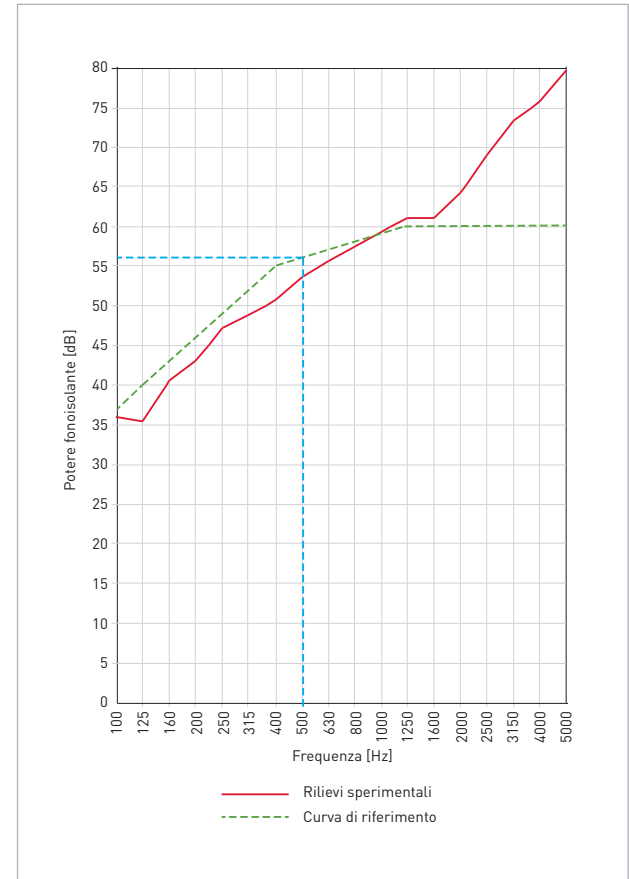


Figura 2.3 - Determinazione dell'indice del potere fonoisolante R_w di una muratura in laterizi alveolari rivestiti con un sistema a parete ventilata, con isolante in lana di roccia a doppia densità sp. 10 cm, intercapedine microventilata di sp. 6 cm e rivestimento in gres porcellanato sp. 1,1 cm. La prova di laboratorio indica un R_w pari a 56 dB - indice di valutazione a 500 Hz

Il termine ΔL_{fs} dipende dalla forma della facciata, dall'assorbimento acustico delle superfici aggettanti (balconi) e dalla direzione del campo sonoro. Il potere fonoisolante apparente di facciata R' può infatti aumentare per l'effetto schermante determinato dai balconi e da altre parti aggettanti o diminuire a causa dell'aumento di livello sonoro esterno causato da riflessioni multiple tra superfici riflettenti di facciata o dalla riverberazioni nelle logge. La normativa UNI EN ISO 12354-3 fornisce gli schemi per il calcolo di ΔL_{fs} in funzione della forma della facciata, dell'assorbimento di parapetti e balconi e dell'altezza tra il piano del pavimento e la congiungente della linea di vista della sorgente sonora sul piano di facciata.

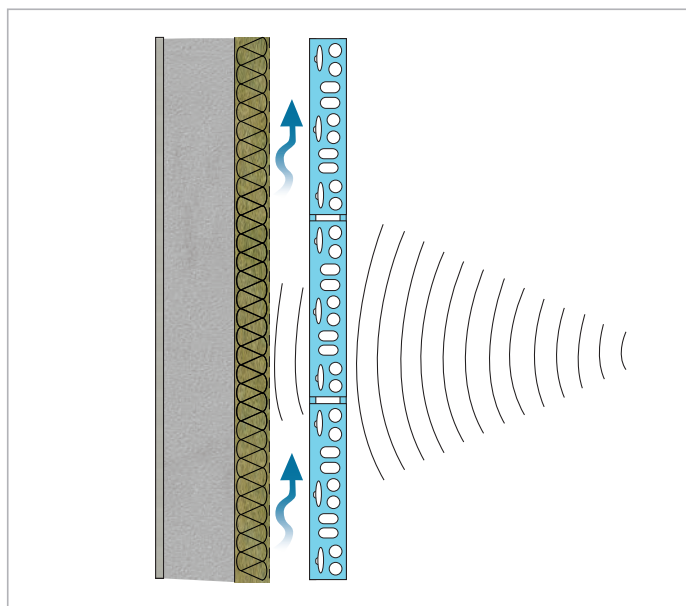


Figura 2.4 - Schematizzazione del funzionamento acustico di una parete ventilata

La trasmissione dei rumori aerei attraverso un elemento di chiusura non è facilmente stimabile con strumenti analitici semplici, in quanto le leggi fisiche da utilizzare nella modellazione della trasmissione delle vibrazioni nell'aria non sono sempre riconducibili a formule elementari ed i modelli sono fortemente influenzati da: dettagli della chiusura, continuità degli strati assorbenti e di quelli di tenuta all'aria, discontinuità degli strati di separazione (ponti acustici in grado di compromettere la prestazione prevista) e dalla tipologia di parete.

I pacchetti di chiusura possono essere classificati acusticamente in tre categorie:

- elementi singoli o monostrato, con unico elemento massivo relativamente omogeneo, il cui potere fonoisolante è ragionevolmente prevedibile attraverso l'utilizzo della "legge di massa" (proporzionalità tra prestazione e logaritmo della massa superficiale), quali ad esempio: pareti in laterizi pieni, semipieni, forati, alveolari, pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato, ecc.;
- elementi doppi con interposta camera d'aria, tipo murature o tamponamenti stratificati a secco separati da un'intercapedine d'aria, per i quali esistono formule empiriche semplificate che ne permettono valutazioni previsionali piuttosto approssimative e che, specialmente nel caso di strutture e manufatti con elementi in laterizio, possono presentare differenze sostanziali rispetto alle reali;
- elementi multistrato, realizzati con strati aventi massa media o anche elevata, intervallati da elementi fonoassorbenti, smorzanti e di scollegamento. In questa tipologia di chiusura rientrano le pareti a doppio paramento con intercapedine chiusa, con o senza isolante termico interposto.

In tal caso le formule precedentemente accennate divengono ancor più approssimative, ragion per cui per una più precisa valutazione dell'effettiva prestazione acustica della parete può essere opportuno ricorrere a prove di laboratorio del sistema tamponamento e rivestimento (caso specifico per i sistemi di rivestimento a parete ventilata).

Le soluzioni di rivestimento a parete ventilata possono contribuire in maniera significativa all'abbattimento del rumore garantendo adeguati livelli di comfort all'interno degli edifici. Il funzionamento dell'intero sistema di rivestimento può essere assimilabile ad una "trappola acustica". La riduzione dei livelli di pressione sonora avviene tramite la parziale riflessione dell'onda acustica incidente ad opera delle lastre di rivestimento, l'assorbimento e la dissipazione di una quotaparte della medesima mediante vibrazione dei singoli elementi (possibile grazie alle particolari modalità di fissaggio degli elementi di rivestimento alla sottostruttura) e l'assorbimento e lo smorzamento determinati anche dall'intercapedine e dallo strato di isolamento termico quando esso abbia proprietà fonosorbenti (come nel caso della lana di roccia).

Ben efficace può risultare al riguardo un isolamento in pannelli di lana di roccia, posati a giunti sfalsati e dotati di due differenti densità: più bassa nello strato a diretto contatto della muratura di tamponamento e maggiore in quello più esterno (come illustrato al successivo capitolo 5). In tal caso il sistema a parete ventilata può garantire una buona riflessione dell'onda acustica ad opera del rivestimento esterno ed un elevato valore di assorbimento della stessa per effetto dell'azione combinata intercapedine-isolante.

Ciò favorisce il raggiungimento di un elevato valore dell'indice d'isolamento acustico standardizzato, superiore ai livelli minimi prestazionali previsti dalle vigenti normative¹.

| Categorie | R_w | $D_{2m,nT,W}$ | $L_{n,w}$ | L_{ASmax} | L_{Aeq} |
|--|-------|---------------|-----------|-------------|-----------|
| Ospedali, cliniche, case di cura | 55 | 45 | 58 | 35 | 25 |
| Residenze, alberghi, pensioni | 50 | 40 | 63 | 35 | 35 |
| Scuole | 50 | 48 | 58 | 35 | 25 |
| Uffici, edifici ricreativi, di culto, attività commerciali | 50 | 42 | 55 | 35 | 35 |

Tabella 2.1 - D.P.C.M. 5 dicembre 1997 - Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici

Per il soddisfacimento di tali standard di isolamento acustico, è essenziale che anche la soluzione tecnica di tamponamento al rustico (mono o pluristrato) sia sufficientemente continua, in modo da evitare la presenza di ponti acustici, ossia di vuoti o comunque di eterogeneità tali da inficiare la prestazione acustica d'insieme.

¹ Il D.P.C.M. 05/12/1997 - Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici - individua i seguenti parametri:

- R_w è l'isolamento acustico standardizzato di facciata;
 - $D_{2m,nT,W}$ è la differenza di livello di pressione sonora tra quella esterna a 2 metri dalla facciata, prodotta da rumore da traffico se prevalente, o da altoparlante con incidenza del suono di 45 gradi sulla facciata, e quella media nell'ambiente ricevente, valutato a partire dai livelli misurati nell'ambiente ricevente;
 - $L_{n,w}$ è il livello di rumore di calpestio di solai normalizzato;
 - L_{ASmax} è il livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo slow;
 - L_{Aeq} è il livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A;
- per i quali fissa valori limite di prestazione in funzione della destinazione d'uso, così come riportato in tabella 2.1. Si ricorda che dovrà essere emanato un decreto che introdurrà la classificazione acustica degli edifici.

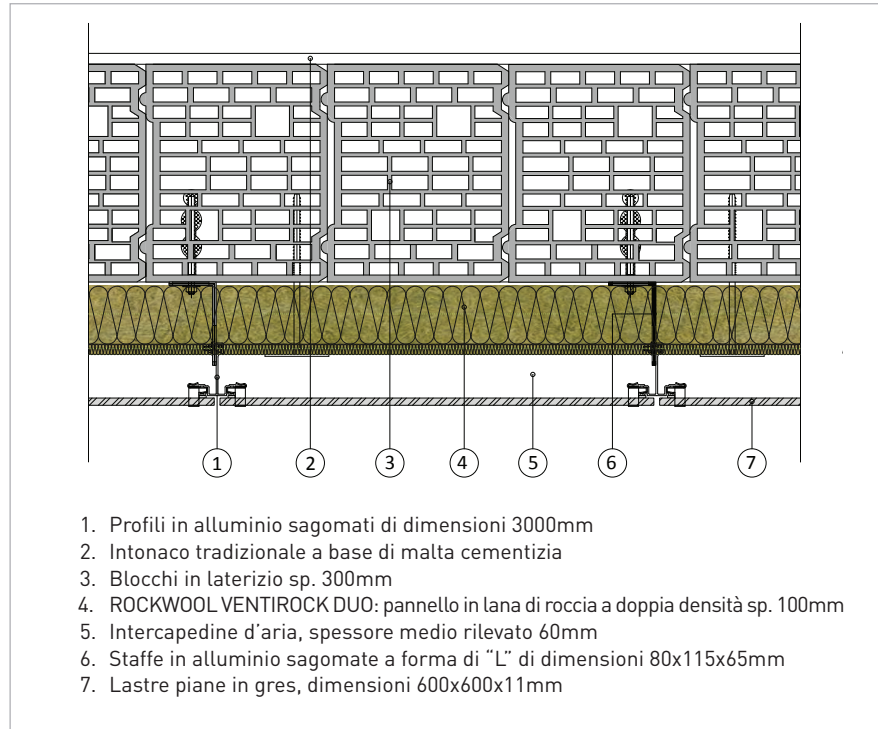


Figura 2.5 - La prestazione di isolamento acustico ai rumori aerei ottenibile con l'applicazione di un sistema di rivestimento a parete ventilata su di una muratura in laterizi alveolari, isolata esternamente con lana di roccia a doppia densità sp. 10 cm, dotata di intercapedine microventilata sp. 6 cm e di rivestimento in gres porcellanato sp. 1,1 cm, come indicato in legenda, è dell'ordine dei 56 dB

c. Isolamento termico (invernale/estivo)

La chiusura verticale opaca, specialmente in edifici pluripiano con destinazione d'uso residenziale, è normalmente la porzione d'involucro con la maggior superficie delimitante il volume riscaldato. Per tale motivo essa merita di essere progettata e realizzata con modalità tali da garantire bassi consumi energetici per il condizionamento invernale ed estivo e prestazioni uniformi e costanti nel tempo.

Il parametro principale per il controllo dell'isolamento termico di una parete di facciata è la sua trasmittanza termica. Essa è definita come il flusso di calore che ne attraversa l'unità di superficie quando la differenza di temperatura tra le due facce opposte è di 1°C ed è espressa dalla seguente relazione:

$$U = \frac{1}{R} = 1 / \left[\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda} + R_{int} + \frac{1}{h_i} \right] \quad \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

dove:

- h_e è il coefficiente di scambio termico superficiale convettivo-radiativo esterno [W/m²K];
- s_i è lo spessore dello strato i-esimo [m];
- λ_i è la conduttività termica dello strato i-esimo [W/mK];
- h_i è il coefficiente di scambio termico superficiale convettivo-radiativo interno [W/m²K];
- R_{int} è la resistenza termica di eventuali intercapedini d'aria [m²K/W].

Il valore della trasmittanza termica di una parete dipende quindi in prevalenza dalle proprietà e dagli spessori dei materiali impiegati per la sua realizzazione. Il flusso di calore che attraversa la parete stessa in condizioni stazionarie di temperatura interna ed esterna è dato dalla seguente espressione:

$$\dot{Q} = A \cdot U \cdot \Delta T \quad [W]$$

dove:

- A è l'area della porzione di parete considerata [m²];
- U è il valore di trasmittanza termica del pacchetto costituente la chiusura [W/m²K];
- ΔT è la differenza tra la temperatura esterna e quella interna [°C].

In prima istanza è fondamentale che la parete di facciata rispetti le prestazioni minime di legge così come stabilite dal D.Lgs. 311/2006 e ribadite dal D.P.R. 59/2009², ossia che la sua trasmittanza termica non sia superiore ai valori limite riportati in tabella 2.2. Valori ancor più restrittivi sono attualmente previsti per accedere al bonus di detrazione fiscale ai sensi del D.L. 63/2013 (v. tabella 2.3 seguente).

Il buon comportamento termico in condizioni non stazionarie è invece strettamente legato alla massa superficiale della soluzione di chiusura e alla posizione dell'isolamento termico all'interno della sua stratigrafia (lato esterno, in intercapedine, lato interno).

Questo comportamento è valutabile mediante quantificazione del fattore di attenuazione e del coefficiente di sfasamento termico (per maggiori indicazioni a riguardo si rimanda alla normativa UNI EN ISO 13786:2008 "Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo").

Valori limite della trasmittanza termica U dei componenti d'involucro espressa in W/m²K

| Zona Climatica | Strutture opache verticali | Strutture opache orizzontali o inclinate di copertura | Strutture opache orizzontali o inclinate di pavimento | Chiusure trasparenti comprensive degli infissi | Vetri |
|----------------|----------------------------|---|---|--|-------|
| A | 0,62 | 0,38 | 0,65 | 4,6 | 3,7 |
| B | 0,48 | 0,38 | 0,49 | 3,0 | 2,7 |
| C | 0,40 | 0,38 | 0,42 | 2,6 | 2,1 |
| D | 0,36 | 0,32 | 0,36 | 2,4 | 1,9 |
| E | 0,34 | 0,30 | 0,33 | 2,2 | 1,7 |
| F | 0,33 | 0,29 | 0,32 | 2,0 | 1,3 |

Tabella 2.2 - Valori limite di trasmittanza termica dei componenti d'involucro secondo D.P.R. 59/2009

² I valori limite di termotrasmittanza delle componenti opache e trasparenti degli edifici sono stati introdotti dal D.Lgs. 192/2005, ripresi successivamente dal D.Lgs. 311/2006 il quale ha introdotto gradualmente limiti sempre più stringenti, fino ad arrivare all'emanazione del D.P.R. 59/2009 che ha confermato tali limiti, i quali però sono stati ulteriormente ridotti ai fini dell'accesso agli sgravi fiscali, come da D.L. 63/2013 (v. tabella 2.3 seguente), anche in previsione della realizzazione di edifici ad energia quasi zero dal 31 dicembre 2018 per quelli pubblici e dal 31 dicembre 2020 per quelli privati (Direttiva 2010/31/UE).

Valori limite della trasmittanza termica U dei componenti d'involucro espressa in W/m²K, necessari per la detrazione fiscale del 65% sui costi di riqualificazione energetica di edifici esistenti

| Zona Climatica | Strutture opache verticali | Strutture opache orizzontali o inclinate di copertura | Strutture opache orizzontali o inclinate di pavimento | Chiusure trasparenti comprensive degli infissi |
|----------------|----------------------------|---|---|--|
| A | 0,54 | 0,32 | 0,60 | 3,7 |
| B | 0,41 | 0,32 | 0,46 | 2,4 |
| C | 0,34 | 0,32 | 0,40 | 2,1 |
| D | 0,29 | 0,26 | 0,34 | 2,0 |
| E | 0,27 | 0,24 | 0,30 | 1,8 |
| F | 0,26 | 0,23 | 0,28 | 1,6 |

Tabella 2.3 - Valori limite di trasmittanza termica dei componenti dell'involucro per accedere alla detrazione del 65% dell'importo dei lavori di riqualificazione energetica degli edifici esistenti, ai sensi D.L. 63/2013, in vigore fino al prossimo 31/12/2013

La procedura di calcolo per determinare il valore di trasmittanza termica effettiva di una parete di facciata dotata di rivestimento a parete ventilata è tuttavia più complessa di quella valida per le pareti tradizionali, mono o pluristrato.

In prima battuta, e in favore di sicurezza, si può eseguire un semplice calcolo in regime stazionario, considerando come ultimo elemento della stratigrafia dell'involucro l'isolante termico posato sul lato esterno della muratura.

In tal caso la resistenza termica complessiva si ottiene come sommatoria delle resistenze termiche dei singoli strati costituenti la chiusura e delle resistenze liminari della superficie interna ed esterna. Così facendo lo strato isolante viene dimensionato trascurando totalmente il contributo di protezione che il rivestimento può apportare quale schermatura esterna.

Lo spessore dell'isolamento termico dovrà pertanto essere determinato al fine di garantire il raggiungimento della prestazione minima richiesta, in relazione agli specifici contesti ambientali (temperatura esterna di progetto di - 5° C a Milano, - 15° a Bolzano, -10°C a Sondrio, -5°C a Bologna, 0°C a Firenze e Roma, +2°C a Napoli e Salerno, +5°C a Palermo, ecc.).

Qualora si volesse prendere in conto anche il contributo del rivestimento e dell'intercapedine d'aria, calcoli e verifiche dovrebbero essere eseguiti in regime dinamico, includendo anche la variazione delle condizioni climatiche esterne e la presenza di ventilazione in intercapedine.

A tal riguardo è opportuno considerare che in regime estivo lo schermo è in grado di riflettere parte dell'irraggiamento solare diretto, assorbito una quota parte, aumentando la propria temperatura, e trasmetterne per irraggiamento la restante; parte del calore viene altresì smaltito per l'effetto della ventilazione che determina una riduzione dei valori di temperatura in intercapedine, lambendo la faccia nascosta rivolta verso l'esterno dell'isolante termico e quella nascosta del rivestimento.

Nella stagione invernale lo schermo avanzato proteggerà il retrostante isolante dalla vista diretta della volta celeste, mentre di giorno tenderà a scaldarsi in caso di irraggiamento solare diretto, creando così favorevoli condizioni in intercapedine, sempre che la sua ventilazione venga opportunamente inibita.

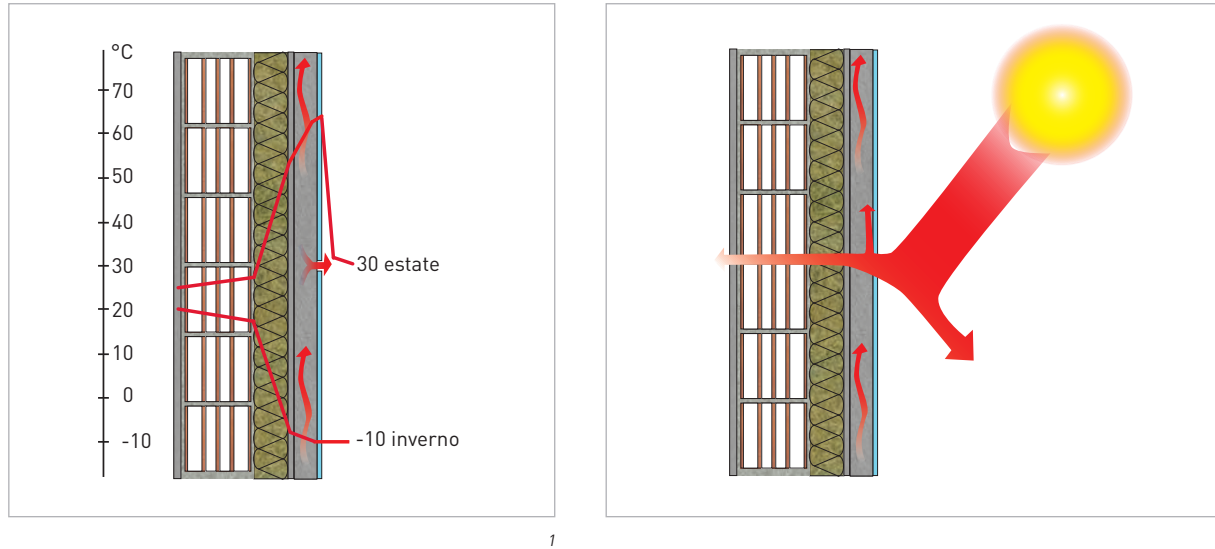


Figura 2.6 - Schematizzazione dell'andamento delle temperature all'interno parete durante la stagione invernale e quella estiva [1]; effetto della schermatura all'irraggiamento solare diretto durante la stagione estiva e schematizzazione dell'attivazione della ventilazione in [2]

Nei sistemi micro o pseudo ventilati, solitamente non dotati di griglie di immissione ed espulsione aria, la circolazione dell'aria in intercapedine risulta sì presente ma in misura molto limitata, ciò in funzione dell'area libera dei giunti verticali e/o orizzontali del rivestimento. In tal caso la funzione primaria dell'intercapedine abbinata al rivestimento sarà quella di protezione della parete retrostante da condizioni meteoriche avverse.

Nelle pareti ventilate vere e proprie la portata d'aria dipende invece dalle dimensioni delle aperture (griglie) di ingresso ed espulsione ed è definita dal documento tecnico DTU P 50-702 janvier 1997 "Règles Th - K: Règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction", paragrafo "2,14 Parties courantes comprenant une lame d'air ventilée".

Tale procedura di calcolo è riproposta anche all'interno della normativa italiana UNI 11018:2003 - Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione - Rivestimenti lapidei e ceramici ⁴.

Con riferimento alla tipologia di ventilazione in intercapedine si possono identificare i tre casi seguenti:

- pareti molto debolmente ventilate (dette anche microventilate);
- pareti debolmente ventilate;
- pareti fortemente ventilate.

La ventilazione dell'intercapedine è caratterizzata:

- dal rapporto tra l'area totale delle aperture superiori e inferiori di ventilazione s [m²] e dalla lunghezza della parete L [m], nel caso di pareti verticali o assimilabili che formano con l'orizzontale un angolo superiore a 60°;
- dal rapporto tra la sezione totale dei fori di ventilazione s [m²], e la superficie della parete A [m²], nel caso di pareti inclinate che formano con l'orizzontale un angolo uguale o inferiore a 60°.

⁴ Che ancorché sia tuttora la normativa italiana più evoluta in tema di facciate ventilate sarà probabilmente sostituita in un prossimo futuro da una nuova normativa UNI attualmente in fase di elaborazione.

Pareti molto debolmente ventilate

Le pareti molto debolmente ventilate sono definite in base ai valori:

- $s/A < 0,0003 \text{ m}^2/\text{m}^2$ per le pareti inclinate ($\alpha \leq 60^\circ$);
- $s/L < 0,002 \text{ m}^2/\text{m}$ per le pareti verticali o assimilabili ($\alpha > 60^\circ$).

Il calcolo della trasmittanza termica è effettuato supponendo un'intercapedine d'aria non ventilata, ovvero utilizzando la formula qui di seguito riportata:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_l + R_e + \frac{1}{h_e} \quad \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$$

dove:

- U è la trasmittanza termica totale della parete [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- h_i è il coefficiente di scambio termico superficiale convettivo-radiativo interno [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- R_i è la resistenza termica della parte interna della parete [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$];
- R_l è la resistenza termica della lama d'aria [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$];
- R_e è la resistenza termica della parte esterna della parete [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$];
- h_e è il coefficiente di scambio termico superficiale convettivo-radiativo esterno [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].

Pareti debolmente ventilate

Le pareti debolmente ventilate sono definite in base all'angolo d'inclinazione rispetto alla verticale:

- pareti verticali o assimilabili, ($\alpha > 60^\circ$);
- pareti inclinate ($\alpha \leq 60^\circ$).

Le pareti debolmente ventilate che formano con l'orizzontale un angolo uguale o inferiore a 60° sono definite da: $0,0003 \leq s/A < 0,003 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

Il valore della trasmittanza è dato dalla formula:

$$U = U_0 + l \cdot \left(\frac{U_o}{U_e} \right)^2 \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

In questa formula:

- U è la trasmittanza termica totale della parete [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- U_0 è la trasmittanza termica della parete supposta non ventilata [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- l è il coefficiente funzione della somma ($U_i + U_e$) [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- U_e è la trasmittanza termica della parte esterna della facciata [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- U_i è la trasmittanza termica della parte interna della parete [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- U_i e U_e si ricavano dalle seguenti espressioni:

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + R_i + \frac{R_l}{2} \quad \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right] \qquad \frac{1}{U_e} = \frac{R_l}{2} + R_e + \frac{1}{h_e} \quad \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$$

I valori di l , espressi in $W/(m^2K)$ sono forniti dalla tabella di seguito:

| U_i+U_e | 0.8÷1.2 | 1.3÷1.7 | 1.8÷2.4 | 2.5÷3.4 | 3.5÷4.4 | 5.5÷6.9 | 7.0÷8.9 | 9.0÷10.9 | ≥11 |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----|
| l | 0.8 | 1.1 | 1.3 | 1.6 | 2.1 | 2.3 | 2.5 | 2.6 | 2.7 |

Tabella 2.3 - Tabulazione dei valori U_i e U_e necessari per il calcolo del contributo della ventilazione apportato dalle pareti debolmente ventilate

Le pareti debolmente ventilate che formano con l'orizzontale un angolo superiore a 60° sono definite da: $0,002 \leq s/L < 0,05 \text{ m}^2/\text{m}$.

Il valore della trasmittanza è dato dalla formula:

$$U = U_0 + J \cdot \left(\frac{U_0}{U_e} \right)^2 \quad \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

In questa formula, J è un coefficiente funzione del rapporto s/L e U_0/U_e e della somma $(U_i + U_e)$, mentre U_i , U_e e U_0 hanno lo stesso significato sopra riportato.

Il valore di J , espresso in $W/(m^2K)$ è così calcolato:

- per $0,002 \leq s/L < 0,02 \text{ m}^2/\text{m}$, dalla lettura dell'abaco in figura 2.4;
- per $0,002 \leq s/L < 0,05 \text{ m}^2/\text{m}$, moltiplicando per 1,35 il valore letto sull'abaco.

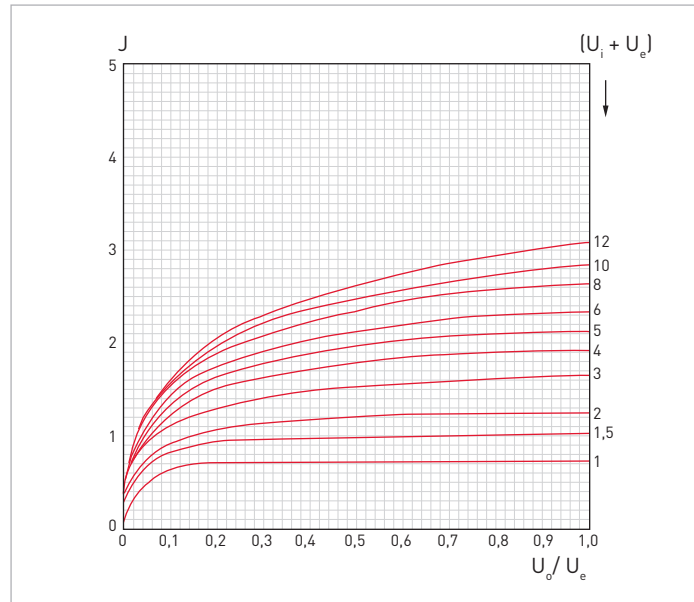


Figura 2.4 - Abaco per la determinazione del valore J

Pareti fortemente ventilate

Anche per le pareti fortemente ventilate, si effettua una distinzione a seconda dell'esposizione (orientamento rispetto ai punti cardinali) e dell'inclinazione:

- $s/A \geq 0,003 \text{ m}^2/\text{m}^2$, per le pareti orizzontali ($\alpha \leq 60^\circ$);
- $s/L \geq 0,05 \text{ m}^2/\text{m}$, per le pareti verticali ($\alpha > 60^\circ$).

Il calcolo viene effettuato trascurando il rivestimento esterno e considerando ferma l'aria nell'ambiente esterno.

Il valore della trasmittanza è dato dalla formula:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + R_i + \frac{1}{h_e} \quad \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$$

La somma della resistenza superficiale per pareti verticali ha il seguente valore:

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0,22 \quad \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Schermi

Se il rivestimento della parete è assimilabile ad uno schermo posto a una certa distanza dalla muratura di tamponamento, con un'intercapedine completamente aperta su almeno due lati, l'ambiente esterno non può più essere considerato con aria ferma e si applica la formula:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + R_i + \frac{1}{h_e} \quad \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$$

In questo caso la somma delle resistenze superficiali per pareti verticali ha il seguente valore:

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0,17 \quad \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Contrariamente si ricade nella casistica delle pareti molto debolmente ventilate.

Valutazione del contributo dell'intercapedine in regime estivo

Come accennato in precedenza, la parete ventilata, rispetto ad una parete di facciata di tipo tradizionale, permette di ridurre il carico termico entrante nell'edificio nella stagione estiva.

Ciò grazie al contributo della riflessione da parte del rivestimento ed a quello della ventilazione in intercapedine che consentono di smaltire parte del calore incidente verso l'esterno.

Per un'approfondita valutazione del comportamento delle soluzioni opache ventilate, negli anni sono stati proposti differenti modelli e software di calcolo, quali la "Computational Fluid Dynamics" (occorre considerare che le incertezze relative ai molteplici dati in ingresso al calcolo fluidodinamico possono in parte ridurre l'affidabilità di un'analisi CFD, pure con l'utilizzo di un sofisticato strumento di calcolo).

Ai fini progettuali è necessario l'utilizzo di parametri semplificati che rendano quanto più possibile, pratica e immediata la valutazione prestazionale delle soluzioni a parete ventilata.

La norma ISO 15099:2003 "Thermal performances of windows, doors and shading devices – Detailed calculations" fornisce una procedura dettagliata per il calcolo delle prestazioni termiche di sistemi di chiusura trasparenti, che può tuttavia essere ben mutuata ai fini della determinazione del comportamento termico di una parete di facciata con rivestimento esterno di tipo ventilato.

Per valutare il contributo della ventilazione ai fini del calcolo della trasmittanza, si utilizza una metodologia di calcolo che schematizza il comportamento dell'involucro come una rete elettrica equivalente, costituita dallo schema resistivo-capacitivo formato dalle singole resistenze riconducibili alle tre differenti modalità di trasmissione di calore nello spazio (conduzione, trasmissione, irraggiamento).

Questo processo è finalizzato a quantificare lo scambio termico dovuto alla convezione (naturale all'interno dell'intercapedine), alla conduzione (tra i diversi strati dei materiali componenti la facciata ventilata) e all'irraggiamento (tra la lastra esterna, che costituisce il rivestimento, e la faccia esterna dello strato d'isolamento termico posato in intercapedine). Lo schema elettrico equivalente adottabile è il seguente:

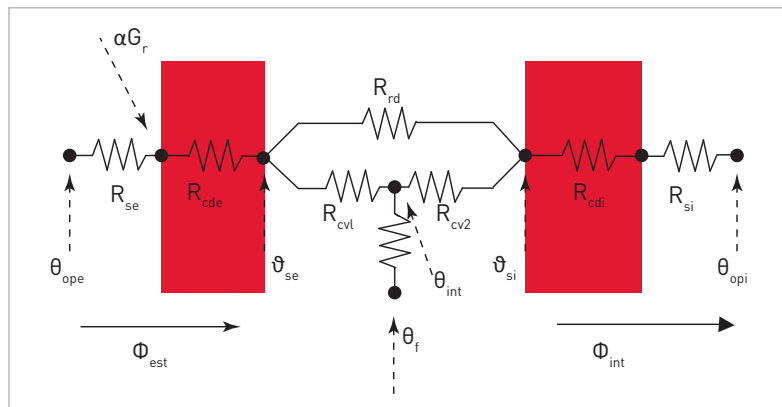


Figura 2.7 - Schematizzazione, mediante modello resistivo, del funzionamento di un sistema di rivestimento a parete ventilata

dove:

- αG_r è l'irraggiamento solare;
- θ_{ope} è la temperatura operante esterna;
- θ_{se} è la temperatura superficiale della faccia dell'elemento di rivestimento rivolto verso l'intercapedine;
- θ_f è la temperatura in intercapedine;
- θ_{si} è la temperatura superficiale della faccia isolante termico rivolto verso l'intercapedine;
- θ_{opi} è la temperatura operante all'interno dell'edificio;
- R_{cde} è la resistenza (legata allo scambio termico per conduzione) fornita dallo strato di rivestimento esterno;
- R_{cdi} è la resistenza complessiva fornita dagli strati all'intradosso del canale d'aria ventilato (generalmente strato di isolamento e strato portante, anch'essa legata allo scambio termico per conduzione);
- R_{rd} è la resistenza legata al fenomeno di scambio termico per irraggiamento che avviene nello strato d'aria;
- R_{si} è la resistenza superficiale interna;

- R_{se} è la resistenza superficiale esterna;
- R_{cv1} , R_{cv2} sono le resistenze (legate allo scambio termico convettivo) dello strato d'aria presente nell'intercapedine;
- Φ_{est} è il flusso termico tra ambiente esterno ed intercapedine;
- Φ_{int} è il flusso termico tra intercapedine e ambiente interno.

Per una trattazione più dettagliata del problema si rimanda quindi alle disposizioni contenute nella ISO 15099:2003.

Viene invece di seguito richiamata la procedura semplificata per la valutazione del contributo dell'intercapedine in regime estivo, proposta dalla norma UNI EN 13792:2012 - Prestazione termica degli edifici - Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione - Metodi semplificati.

Tale norma fornisce un procedimento semplificato per valutare la prestazione termica ed energetica di un elemento murario, e analizza sia il caso senza cavità d'aria che quello con cavità assimilabile a quella di una chiusura di tipo ventilato.

La procedura di calcolo richiede la conoscenza dei seguenti dati d'ingresso:

- area;
- inerzia termica (calcolata secondo la UNI EN ISO 13786:2008 "Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo");
- stratigrafia della parete da analizzare.

Il primo parametro da calcolare è il *Sunlit Factor* f_s :

$$f_s = \frac{A_s}{A}$$

dove:

- A_s è l'area della porzione di parete investita dall'irraggiamento solare (UNI EN ISO 13786:2008) [m²];
- A è l'area totale della muratura [m²].

Si valuta poi il *Solar Heat Gain Factor* (S_f), il quale rappresenta la frazione del flusso termico che attraversa la parete ventilata ed è legata all'assorbimento della radiazione solare rispetto alla radiazione solare totale incidente sulla facciata. La norma effettua inoltre una distinzione tra il caso di parete senza intercapedine ventilata o intercapedine chiusa (per esempio, una comune parete con muratura a cassetta) e una parete con intercapedine ventilata.

Per una facciata senza intercapedine ventilata, il parametro S_f viene calcolato come segue:

$$S_f = \frac{\alpha_{sr} \cdot U}{h_e}$$

dove:

- α_{sr} è il coefficiente di assorbimento solare diretto;
- U è la trasmittanza termica dell'intera parete [W/m²K];
- h_e è il coefficiente di scambio termico sulla superficie esterna [W/m²K].

Per una facciata con intercapedine ventilata il parametro S_f viene calcolato come segue:

$$S_f = f_v \cdot S_{fc} + (1 - f_v) \cdot S_{fv}$$

dove:

- f_v è il coefficiente di ventilazione che può essere ricavato dallo schema sotto riportato (è funzione del rapporto tra l'area dell'intercapedine e quella della muratura);

| | $Ac/Am < 0,005$ | $0,005 \leq Ac/Am \leq 0,10$ | $Ac/Am > 0,10$ |
|-------|-----------------|------------------------------|----------------|
| f_v | 0,8 | 0,5 | 0,2 |

- S_{fc} è il *Solar Heat Gain Factor* per la facciata senza intercapedine ventilata;
- S_{fv} è il *Solar Heat Gain Factor* per la facciata con intercapedine ventilata, data dalla seguente equazione:

$$S_{fv} = \frac{\alpha_{sr}}{h_e} \cdot \left(\frac{U_e \cdot U_i}{U_e + U_i + h'} \right)$$

dove:

- U_e è la trasmittanza termica tra l'ambiente esterno e la cavità d'aria [W/m²K];
- U_i è la trasmittanza termica tra l'ambiente interno e la cavità d'aria [W/m²K];
- h_e è il coefficiente di scambio termico sulla superficie esterna [W/m²K];
- α_{sr} è il coefficiente di assorbimento solare diretto: in mancanza di un valore preciso si può fare riferimento allo schema seguente, i cui valori dipendono dal colore superficiale del rivestimento:

| | Light colour | Medium colour | Dark colour |
|---------------|--------------|---------------|-------------|
| α_{sr} | 0,3 | 0,6 | 0,9 |

- h' è calcolato come segue:

$$h' = h_c \cdot \left(\frac{h_c + 2h_r}{h_r} \right)$$

dove:

- h_c è il coefficiente di scambio termico convettivo tra la superficie dello strato limitrofo alla cavità d'aria e la stessa cavità d'aria [W/m²K];
- h_r è il coefficiente di scambio termico radiativo tra le superfici che delimitano lo strato d'aria [W/m²K];

ed è possibile assumere i seguenti valori:

- $h_c = 5$ [W/m²K];
- $h_r = 5$ [W/m²K];
- $h' = 15$ [W/m²K].

Con questa procedura di calcolo è possibile stimare quale sia il guadagno in termini energetici installando una parete a facciata ventilata in luogo di una parete tradizionale.

La valutazione delle effettive prestazioni energetiche di una parete ventilata è altresì acquisibile mediante specifici test sperimentali, in laboratorio o in opera su campioni al vero.

In sintesi, il comportamento termoenergetico di involucri opachi di facciata dotati di un rivestimento a parete ventilata assicura indubbi vantaggi nel raggiungimento di elevati standard di risparmio energetico e nella realizzazione di "edifici a energia quasi zero", in quanto vi è la possibilità di:

- ridurre, nella stagione calda, il carico termico sull'edificio grazie alla parziale riflessione della radiazione solare incidente sulla facciata da parte del rivestimento ed all'eventuale presenza di ventilazione in intercapedine. Nella stagione estiva la quantità di energia accumulata dal rivestimento esterno è funzione del particolare materiale utilizzato, della sua colorazione e del suo spessore. L'energia assorbita viene trasmessa dalla faccia esterna alla faccia interna del rivestimento, a contatto con l'intercapedine di ventilazione, con un ritardo e una attenuazione dipendenti dalle caratteristiche di massa, densità e calore specifico dello schermo esterno (in genere i tempi sono comunque contenuti). Il reale beneficio estivo della parete ventilata si ottiene su paramenti direttamente colpiti da radiazione solare diretta e con intercapedine di ventilazione continua, con spessori compresi tra 3 e 7 cm c.ca;
- realizzare uno strato di isolamento termico omogeneo e continuo, facilmente raccordabile alle linee di imposta dei telai delle chiusure trasparenti, per il totale controllo dei ponti termici sui vari fronti di facciata. Particolare attenzione deve essere posta nella posa del coibente, al fine di realizzare uno strato continuo, ben aderente e connesso con il supporto, privo di discontinuità e/o vuoti;
- aumentare sino a 15-20 cm lo spessore dell'isolamento termico senza incontrare particolari difficoltà tecniche ed elevati incrementi di costo. Si possono così adottare spessori tali da conferire all'edificio un comportamento energetico molto conservativo, minimizzando quindi i disperdimenti e privilegiando l'accumulo termico e, in definitiva, riducendo ai minimi termini il fabbisogno energetico. Va comunque tenuto in considerazione che un notevole incremento di spessore dell'isolante termico implica di riflesso un altrettanto grande allontanamento del piano del rivestimento dalla muratura rustica e dalla struttura dell'edificio. Ciò può comportare un aumento degli sforzi all'interno degli elementi costituenti la sottostruttura e particolarmente delle staffe, dovuti al peso proprio del rivestimento ed all'azione del vento cui è soggetta la facciata, un incremento della profondità delle imbotti dei serramenti che, soprattutto in caso di interventi di ristrutturazione, potrebbe provocare una diminuzione del grado di illuminamento naturale degli ambienti interni (qualora le dimensioni dei serramenti non fossero incrementate), ecc.

d. Ponti termici

Il ponte termico è una zona di limitata estensione che presenta una densità di flusso termico sensibilmente più elevata ed il conseguente calo della temperatura superficiale rispetto alle aree adiacenti.

Esso può dare luogo a extra perdite di calore e/o a formazioni condensative, soprattutto nel caso in cui l'umidità dell'aria all'interno degli ambienti sia mantenuta su livelli eccessivamente elevati. In tale evenienza vi può essere un rilevante scadimento delle condizioni igieniche e di salubrità richieste agli ambienti interni che, nelle situazioni più estreme e gravi, viene evidenziata dalla formazione di muffe in corrispondenza della superficie a minore temperatura, nonché dalla percezione di pesantezza dell'aria derivante dalla carenza o assenza del necessario ricambio d'aria.

I ponti termici possono essere dovuti a:

disomogeneità geometrica:

- differenza tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e su quello esterno dell'involucro edilizio, come avviene per esempio nelle linee di spigolo ai nodi tra: pareti di facciata, pareti di facciata e solette, intermedie o di chiusura, ove la superficie disperdente aumenta considerevolmente, passando dall'interno all'esterno dell'edificio, e le curve isoterme (superfici a eguale temperatura con giacitura perpendicolare all'andamento del flusso termico) presentano irregolarità più o meno accentuate a seconda della consistenza del ponte termico;
- riduzione dello spessore dei materiali costituenti il pacchetto d'involucro in corrispondenza di punti singolari, quali cavetti, nicchie, vani tecnici, canne fumarie, ecc.

disomogeneità materica:

- differenze di conducibilità termica in corrispondenza dell'accostamento, della sovrapposizione o della compenetrazione totale o parziale di strati costituiti da materiali con conduttività termica diversa (pilastri, setti, travi e cordoli, chiodi di fissaggio dell'isolante esterno, elementi di collegamento di balconi, sovrastrutture esterne attacchi per tende, scuretti, tettoie, mensole, ecc.).

I ponti termici possono essere inoltre classificati in base alla loro estensione e tipologia in:

- **lineari** quali: cordoli, travi, aggetti, pilastri (nello sviluppo verticale), davanzali passanti, ecc.;
- **puntuali** come: pilastri (attacco a pavimento e a soffitto), fissaggi meccanici dei pannelli isolanti, travi a sbalzo, ancoraggi di strutture esterne, ecc.

Tra i più comuni casi di ponte termico vi sono i seguenti: parete di facciata con inserito pilastro, angolo sporgente (270°), angolo rientrante (90°), angolo sporgente terminante con pilastro (270°), angolo rientrante terminante con pilastro (90°), parete di facciata con solaio intermedio o di chiusura, parete esterna con innesto di parete interna, parete di facciata con aggetto di balcone, parete di facciata con copertura piana, parete di facciata con inserimento di serramento, compluvi e displuvi presenti sulla soletta di copertura, ecc. (come sinteticamente riportato in tabella 2.5).

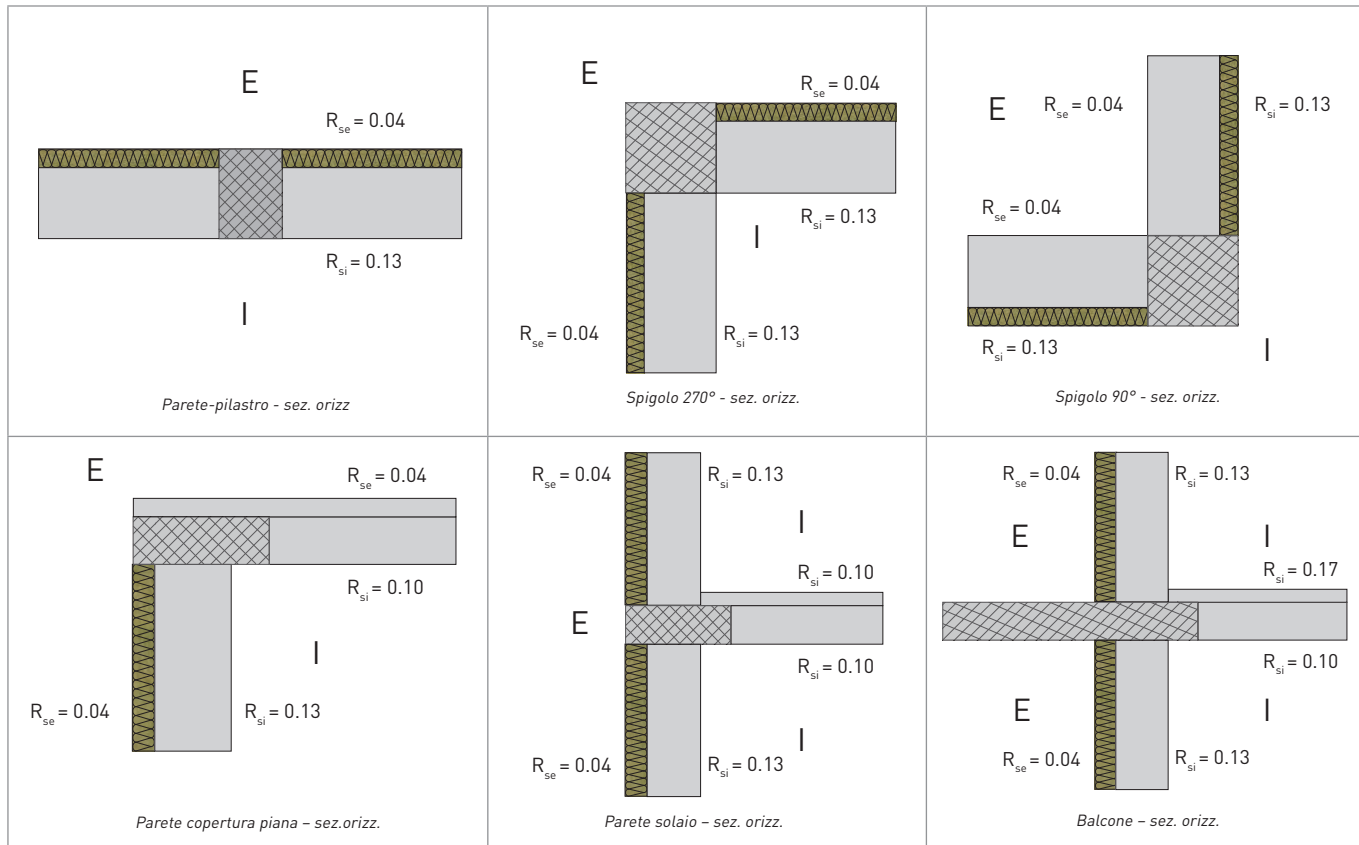


Tabella 2.5 - Schematizzazione dei principali ponti termici. Una più ampia casistica è fornita dalla norma UNI EN ISO 14683

Per quanto concerne la quantificazione degli effetti dei ponti termici ci sono varie metodologie di calcolo, che si distinguono per l'esito che esse forniscono ed il relativo grado di precisione:

1. calcolo forfaitario: percentuale di maggiorazione delle dispersioni. Questo metodo è ben applicabile agli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise. Per alcune tipologie edilizie, il flusso termico può essere determinato forfaitariamente secondo quanto riportato nella UNI EN ISO 13790:2008 - Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento;
2. abaco dei ponti termici: UNI EN ISO 14683:2008 - Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento;
3. calcolo del flusso termico bidimensionale e tridimensionale: EN ISO 10211:2008 - Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati;
4. metodi di analisi numerica con specifici software (Therm, ecc.), di elevata precisione.

Una buona progettazione termica degli edifici è bene sia mirata, oltre che alla riduzione dei valori di trasmittanza termica, a limitare il più possibile la presenza di ponti termici nell'involucro in modo da contemperare gli obiettivi del risparmio energetico e della garanzia delle migliori condizioni di comfort, di igiene e di salubrità negli ambienti interni⁵.

Riguardo alla problematica dei ponti termici, i sistemi di rivestimento a parete ventilata offrono l'indubbio vantaggio della possibilità e facilità di collocare lo strato isolante sulla faccia esterna della muratura di tamponamento, realizzando così una coibentazione a cappotto che, se opportunamente dimensionata, neutralizza gli effetti termici sfavorevoli derivanti dalle eterogeneità geometriche e materiche presenti nella costruzione.

In proposito va tuttavia considerato che, con i rivestimenti di questo genere, lo strato isolante viene interrotto puntualmente per fare spazio alle staffe di ancoraggio e di controventamento della sottostruttura o, altrimenti, degli apparecchi puntuali di sostegno del rivestimento. In tali punti si genera quindi una discontinuità termica che va opportunamente controllata. Essi sono in genere molto limitati in numero, se la soluzione è dotata di sottostruttura, mentre sono più numerosi e fitti quando il sistema di fissaggio è di tipo puntuale senza sottostruttura.

Per meglio comprendere gli effetti d'interferenza termica generati da ancoraggi e controventi della sottostruttura è assai utile una modellazione con specifici software di simulazione, che consenta di individuare punto per punto le isoterme e le concentrazioni di flusso termico, per poi ottimizzare opportunamente i dettagli staffa/parete/isolante.

A tale proposito è importante anticipare che il ponte termico generato da una staffa di ancoraggio connessa ad una trave di bordo, oppure direttamente ad una muratura di tamponamento, è in genere di modesta entità e tale da non dare luogo ad apprezzabile scadimento della trasmittanza termica complessiva della parete né della durabilità dei materiali, neppure ad altri effetti critici, giacché la muratura stessa, qualunque essa sia, stempera generalmente a sufficienza gli effetti, ripartendoli su di una superficie ben maggiore di quella dell'impronta delle staffe. Ciò sempre che, dopo la posa di ciascuna staffa, si proceda al corretto reintegro ed al fissaggio dell'isolante attorno alla medesima, come assunto nelle probanti analisi di seguito presentate, eseguite con il software Therm (sviluppato dal *Lawrence Berkeley National Laboratory* in California), che riguardano una casistica che si trova nelle schede tecniche di progetto al successivo capitolo 5.

Sistema di rivestimento a parete ventilata con lastra composta sottile tipo Rockpanel

Soluzione con sottostruttura a montanti in lega di alluminio e fissaggio lastre a vista con rivetti.

Caso applicativo 1: nuova realizzazione – telaio in calcestruzzo armato e muratura di tamponamento in blocchi alveolari.

Stratigrafia dall'elemento opaco di facciata:

- Intonaco di base e di finitura interni, sp. 1,5 cm;
- Muratura in blocchi alveolari, sp. 25 cm;
- Intonaco di regolarizzazione in sabbia e cemento, sp. 1,5 cm;
- Isolante termico in pannelli di lana di roccia Ventirock Duo, sp. 12 cm.

⁵ Per mantenere le condizioni di igiene e comfort negli ambienti interni è di fondamentale importanza anche il regolare apporto di adeguati ricambi dell'aria.

Si trascurano la presenza degli effetti dell'intercapedine microventilata e del rivestimento esterno.

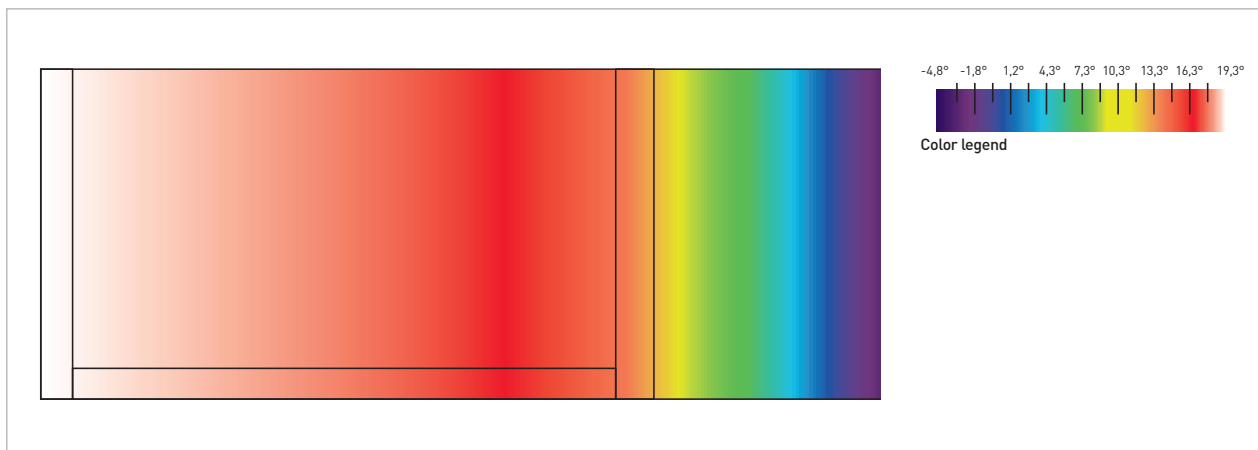


Figura 2.8 - Sezione corrente orizzontale della muratura (laterizio alveolare intonacato su entrambe le facce e isolamento termico in lana di roccia a doppia densità applicato in esterno) senza attraversamenti di staffe (rompitratte e di controvento) della sottostruttura e/o tasselli per il mantenimento in opera dell'isolante. $U=0,224 \text{ W/m}^2\text{K}$

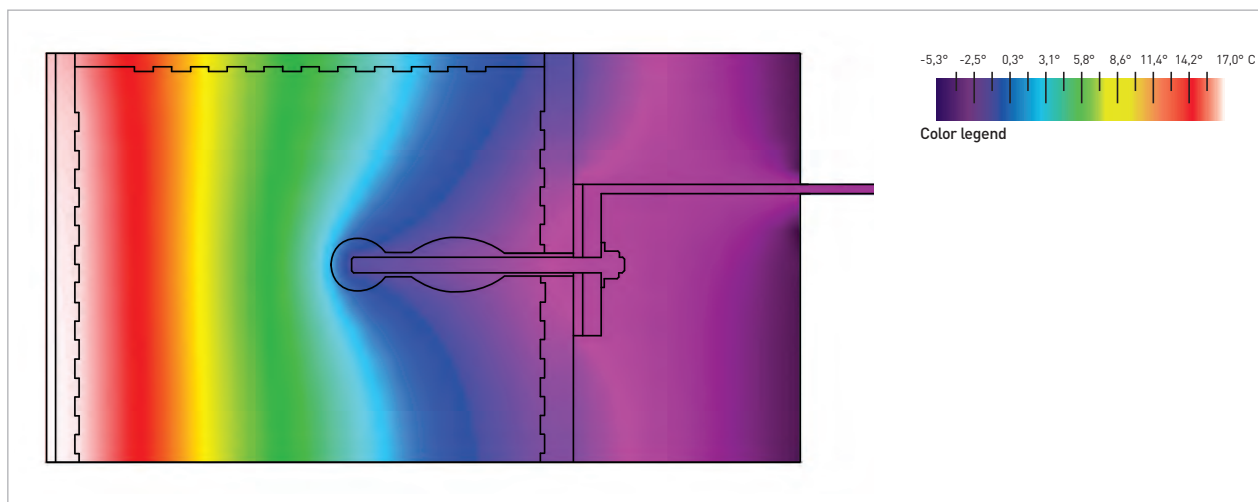


Figura 2.9 - Sezione orizzontale della muratura in corrispondenza della staffa della sottostruttura. $U=0,932 \text{ W/m}^2\text{K}$ - estensione [direzione x rispetto al piano di facciata] della discontinuità termica pari a 10 cm c.ca

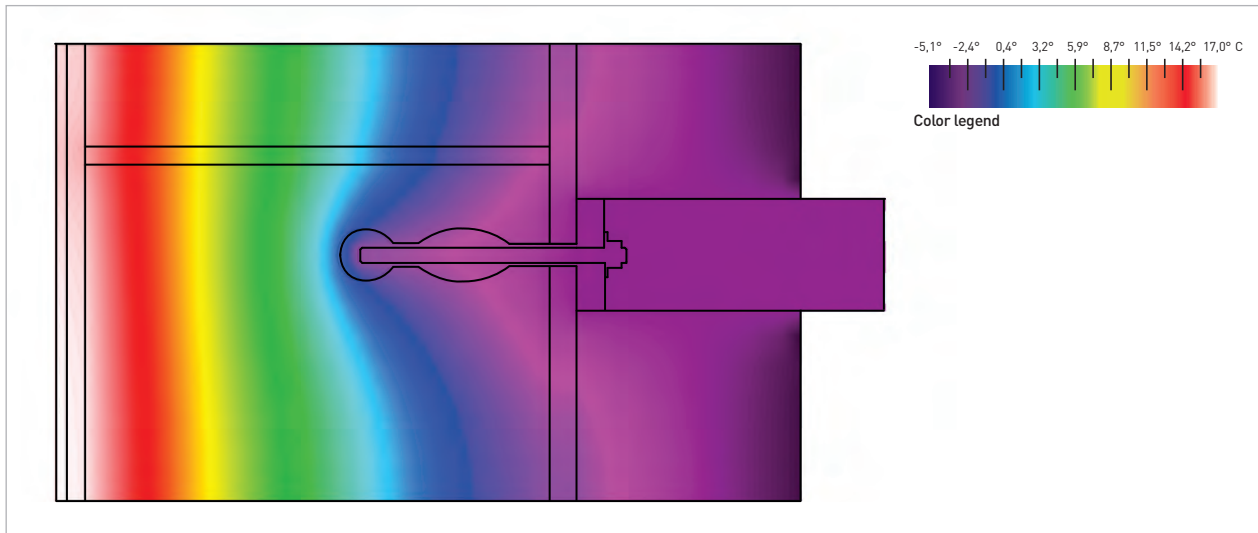


Figura 2.10 - Sezione verticale della muratura in corrispondenza della staffa della sottostruttura. $U=0,770 \text{ W/m}^2\text{K}$ - estensione (direzione y rispetto al piano di facciata) della discontinuità termica pari a 15 cm c.ca

Elaborando graficamente la sezione orizzontale e quella verticale della muratura di tamponamento per una superficie riferita all'area di influenza di una staffa (rompitratte e di controvento) della sottostruttura, assunta pari a 1 m^2 , risulta che l'apparecchio metallico altera il flusso termico per un fronte di circa $0,015 \text{ m}^2$ e dà luogo ad un incremento della trasmittanza termica complessiva nell'area indagata (1 m^2) da $0,224 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $0,234 \text{ W/m}^2\text{K}$, pari quindi al 4,75%.

Ciò conferma che l'effetto della presenza della staffa d'ancoraggio della sottostruttura è modesto e tale da non generare situazioni critiche, in quanto la massa della muratura di tamponamento provvede a stemperare la disomogeneità di flusso e a mantenere di conseguenza una buona uniformità di temperatura sulla faccia interna della chiusura.

In sintesi, per assicurare un ottimo isolamento termico di facciata, invernale ed estivo, con un sistema di rivestimento a parete ventilata è necessario che:

- il materiale isolante sia posato e fissato con continuità, evitando discontinuità tra elemento ed elemento, nonché vuoti in corrispondenza di elementi o apparecchi (quali staffe, squadrette, tasselli, ecc.) che lo attraversano, ricorrendo, ove possibile, al reintegro con il medesimo materiale o all'eventuale sua integrazione con altri prodotti isolanti compatibili e di caratteristiche equivalenti;
- lo strato isolante sia presente anche in corrispondenza di eventuali zone singolari, come ad esempio quelle corrispondenti a: parti della facciata rustica fuori piombo che diano luogo ad una locale riduzione della distanza muratura - sottostruttura e richiedano quindi il parziale inserimento di quest'ultima nello spessore dello strato coibente; impianti inseriti in intercapedine, tipo tubazioni di scarico acque meteoriche, cablaggi elettrici o reti idrauliche a servizio di eventuali pannelli solari integrati in facciata, ecc. Qualora in tali punti o aree singolari non risultasse possibile eseguire la posa dell'isolante con il materiale e lo spessore previsto in progetto, si dovrà ricorrere alla sua locale sostituzione con un prodotto che fornisce prestazioni equivalenti con minore spessore di materiale;
- prima del montaggio del rivestimento è necessario procedere alla generale verifica della continuità dello strato isolante e della corretta disposizione e funzionalità dei suoi fissaggi al supporto.

e. Igro-sensibilità

Un aspetto essenziale del comportamento delle soluzioni tecniche d'involucro è quello del controllo delle formazioni di condensazione superficiale ed interstiziale che, oltre ad influire sulle condizioni di igiene e salubrità degli ambienti, può avere influenza sulla prestazione energetica, nonché sulla durabilità e sull'aspetto estetico delle soluzioni stesse.

Al riguardo va tenuto presente che la formazione di condensa avviene quando il flusso di vapore acqueo che lambisce ed eventualmente anche permea un componente edilizio, a seguito della progressiva diminuzione della temperatura, giunge a saturazione e subisce una transizione di fase da vapore a liquido. Qualora la formazione di condensa avvenga su una delle due facce della parete si parla di condensazione superficiale (ciò si manifesta quando la temperatura superficiale interna o esterna della parete è inferiore a quella di rugiada). Se invece la transizione di fase avviene all'interfaccia tra due strati, oppure all'interno dei pori di uno dei materiali costituenti la parete di facciata, la condensazione si dice interstiziale.

Sulla superficie interna di una parete si ha la formazione di condensa quando la sua temperatura è inferiore a quella di rugiada per l'aria che la lambisce, giacché il valore della temperatura di rugiada non è fisso ma funzione della temperatura e dell'umidità relativa dall'aria presente nell'ambiente.

Ad esempio, in un locale con aria a 20°C e umidità relativa (U.R.) al 50% che si trovi a livello del mare, la temperatura di rugiada (t_{rug}) è di 9,19°C; qualora nello stesso ambiente l'U.R. salga dal 50% al 70% o addirittura all'80%, ad esempio a seguito della stesa di bucato senza attivazione di ricambio d'aria, la temperatura di rugiada aumenterà rispettivamente a 14,33°C ed a 16,40°C, avvicinandosi molto alla temperatura superficiale interna della parete di facciata, nel caso la temperatura esterna sia molto rigida, ed il cui valore dipende, ovviamente, dalla trasmittanza termica di questo elemento d'involucro.

Anche nel caso di parete molto ben isolata, nel pieno dell'inverno e se l'aria interna è mantenuta a 20°C, la sua temperatura superficiale non sarà comunque superiore ai 19°C e sarà ancora più bassa in corrispondenza delle linee di ponte termico di tipo geometrico. Ne consegue che se nell'ambiente suddetto il riscaldamento venisse interrotto per varie ore, la temperatura dell'aria e di riflesso anche quella della faccia interna degli elementi d'involucro si abbasserebbero, facendo salire ulteriormente l'U.R. e, in caso di apporto continuo di vapore, anche il valore della temperatura di rugiada, generando in tal modo la possibilità di formazione di condensa sulle superfici interne⁶, specialmente sulla faccia interna di elementi trasparenti e in corrispondenza di ponti termici di tipo geometrico, dove la temperatura superficiale è di norma più bassa della temperatura superficiale interna della parete di facciata. Ciò significa che se gli ambienti interni non vengono adeguatamente ventilati e riscaldati in rapporto ai fabbisogni reali, si può avere formazione di condensa anche quando l'involucro sia ben isolato termicamente.

All'interno degli ambienti abitati la condensazione del vapor d'acqua può essere tollerata occasionalmente solo quando essa si formi su superfici impermeabili (quali piastrelle di bagni o cucine o sui serramenti).

Nel caso ciò avvenga invece costantemente (nella stagione fredda) su superfici porose essa causa formazione di muffe ed un conseguente scadimento delle condizioni igieniche degli ambienti interessati che non possono essere abitualmente tollerate.

La normativa UNI EN ISO 13788:2013 – "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo" - impone perciò che la temperatura superficiale non scenda mai al di sotto dei valori critici, fermo restando che, come sopra spiegato, tali valori vanno riferiti ad un tasso di U.R. non anomalo da conseguirsi, ovviamente, per il tramite di adeguati ricambi d'aria.

La formazione di condensa interstiziale si verifica invece nel momento in cui in una porzione di parete la portata massica diffusiva di vapore entrante supera quella di vapore uscente⁷, come conseguenza del fatto che in questa stessa porzione la pressione di vapore supera quella di saturazione.

Ciò può portare ad un accumulo di condensato nello spessore di parete con possibile precoce degrado dei materiali in cui lo stesso si va ad accumulare, oltre che a una riduzione delle prestazioni di isolamento termico complessivo della chiusura sintanto che la stessa non ha smaltito tale contenuto di umidità.

⁶ Al riguardo si consideri che diminuendo da 20°C a 19°C la temperatura di un'aria con U.R. 80% il suo tasso di umidità sale all'84.9%, mentre il valore della temperatura di rugiada rimane sempre di 16,40°C. Qualora invece si considerasse anche una prolungata immissione di vapore acqueo in ambiente (ad esempio a seguito della stesa di bucato), si verificherebbe un contemporaneo incremento sia dei valori di U.R. sia dei valori della temperatura di rugiada.

⁷ Un flusso di vapore ha luogo quando si crea una differenza di pressione tra due ambienti tra loro confinanti, solitamente l'interno e l'esterno; il verso di migrazione del flusso va dagli ambienti più caldi a quelli più freddi, ovvero da quelli a concentrazione maggiore a quelli a concentrazione minore.

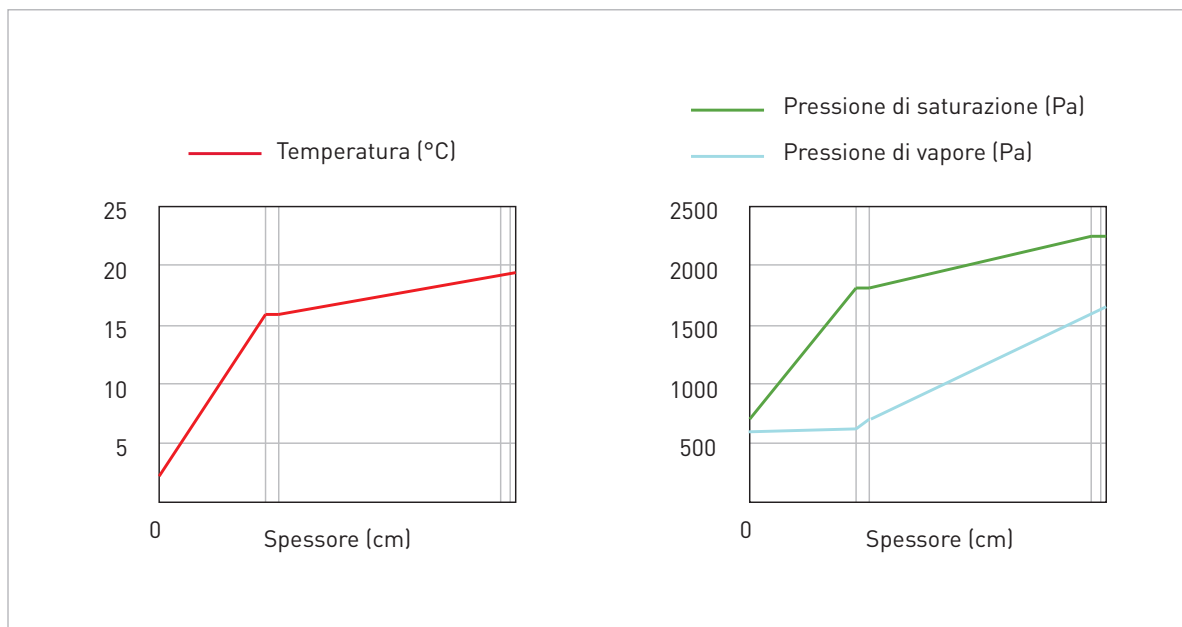


Figura 2.11 - A sinistra rappresentazione del profilo di temperatura, a destra esito positivo di verifica di Glaser di una parete di facciata con rivestimento a parete ventilata descritta al capitolo 5 nella scheda 4 - Sistema di rivestimento a parete ventilata in materiale lapideo

Il profilo delle pressioni di vapore all'interno di un elemento dell'involucro edilizio può essere analizzato tramite il diagramma di Glaser (così come illustrato nella norma UNI EN ISO 13788:2013), nel quale vengono rappresentati e posti a confronto, in relazione al profilo della temperatura nella sua sezione trasversale, i valori della pressione parziale di vapore e quelli della pressione di saturazione, così da stabilirne, seppur con un certo grado d'incertezza per il fatto che molti aspetti del reale fenomeno fisico vengono trascurati, se vi sia o meno la possibilità di formazione di condensa quando e per il tempo in cui le condizioni ambientali esterne e interne corrispondono a quelle poste alla base della verifica.

In caso l'esito della verifica sia negativo occorre stabilire se il quantitativo di condensato che può formarsi entro l'elemento nella stagione fredda può o meno danneggiarlo ed anche evaporare una volta che la temperatura esterna si sia alzata. A tal fine la norma UNI EN ISO 13788:2013 propone una procedura di calcolo e fissa per le varie famiglie di materiali la quantità limite di condensato ammissibile⁸. Nel caso in cui il quantitativo di condensato risulti superiore ai limiti previsti, è opportuno ricorrere all'uso di una barriera al vapore che impedisca la migrazione del vapore acqueo verso l'ambiente esterno. In alternativa dovrà essere modificata la stratigrafia dell'elemento.

⁸ Per studiare i fenomeni di condensazione del vapore all'interno delle strutture edilizie (pareti, solette, ecc.) si utilizza il metodo di Glaser. Il metodo consente, fissate le condizioni termoigrometriche interne ed esterne, di verificare se in una struttura piana possa verificarsi condensazione di vapore. La formazione di condensa non pregiudica l'idoneità della struttura, purché si dimostri che la quantità complessiva di condensa (Q_c), alla fine del periodo invernale di condensazione sia in assoluto ≤ 500 g/m², non ecceda limiti quantitativi $Q_c \leq Q_{amm}$ caratteristici dei diversi materiali interessati e che il bilancio annuale effettuato conteggiando la condensa Q_e che può evaporare nella restante parte dell'anno (periodo di evaporazione) sia $Q_c + Q_e \leq 0$ (in altre parole la condensa invernale deve poter asciugare completamente nell'arco dell'anno). In sintesi una struttura è idonea se: $Q_c \leq 500$ g/m²; $Q_c \leq Q_{amm}$; $Q_c + Q_e \leq 0$. Valori indicativi di Q_{amm} da stabilirsi in relazione al materiale sono riportati nella UNI EN ISO 13788:2013.

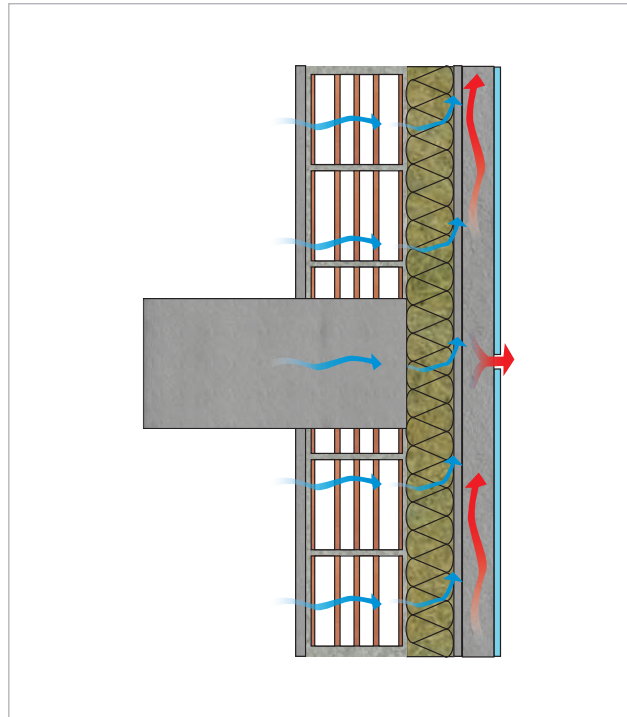


Figura 2.12 - Schematizzazione della cessione dell'eccesso di vapore acqueo proveniente dall'interno dell'edificio nell'ambiente esterno

In figura 2.11 è riportato l'andamento del profilo delle temperature e la verifica di Glaser della parete di facciata con rivestimento a parete ventilata descritta nella scheda progettuale 4 – Sistema di rivestimento a parete ventilata in materiale lapideo al successivo capitolo 5. Come si osserva in diagramma la stessa non presenta rischi di formazione di condensa superficiale ed interstiziale con le più basse temperature annuali.

Con i sistemi di rivestimento a parete ventilata l'eventuale smaltimento di umidità proveniente dagli ambienti interni è in genere molto agevolato dalla presenza e dalla circolazione di aria all'interno dell'intercapedine. Nel primo periodo di servizio degli edifici che fanno uso di queste soluzioni, ciò risulta molto utile ai fini della rapida e completa evaporazione dell'eccesso di acqua di costruzione il cui quantitativo, anche con le soluzioni costruttive moderne, può risultare notevolmente elevato. Non di rado accade che iniziali formazioni di muffa negli ambienti interni vengano erroneamente attribuite a carenza o difetto dell'isolamento termico quando invece hanno come causa l'umidità di costruzione che ancora non ha abbandonato l'immobile.

f. Comportamento al fuoco

Analogamente a quanto avviene per ogni altra parte dell'edificio, anche l'involucro deve garantire un adeguato comportamento in caso d'incendio, limitando la sua propagazione e le pericolose conseguenze che ne derivano, al fine di assicurare incolumità e sicurezza agli utenti ed ai soccorritori.

L'incendio è una reazione ossidativa (o combustione) non controllata, che si sviluppa senza limitazioni nello spazio producendo calore, fumo, gas, luce, ecc. Affinché un incendio si origini e propaghi è necessario che siano presenti contemporaneamente un innesco, del comburente e del combustibile (sia esso in forma solida, liquida o gassosa).

Statisticamente le perdite di vite umane causate da incendio di edifici sono da attribuire per la maggior parte all'inalazione di fumi e gas tossici di combustione, quali CO₂, CO, idrogeno solforato, anidride solforica, acido cianidrico, acido cloridrico, ammoniaca, ecc., e non alla temperatura o all'azione diretta delle fiamme. Il maggiore pericolo per gli occupanti di un edificio durante un incendio consiste infatti nella presenza di fumo e di particelle solide e liquide incombuste che, oltre a provocare problemi respiratori, oscurano l'aria ed ostacolano la visibilità e l'esodo verso le vie di fuga, nonché l'intervento dei soccorritori.

Densità, consistenza e opacità del fumo dipendono direttamente dal tipo di materiali combustibili coinvolti nell'incendio.

Le elevate temperature agiscono invece sugli elementi costruttivi e sulle strutture degli edifici, danneggiandoli in modo tanto più grave quanto maggiore è il tempo di esposizione.

La lunga esposizione al calore degrada e consuma qualunque tipologia di materiale costituente murature, solai e strutture portanti, siano essi realizzati in calcestruzzo armato, acciaio, laterizio, ecc.

Nel corso degli anni, sono stati messi a punto provvedimenti, normative e procedure atte ad evitare, o quantomeno ridurre al minimo, il rischio di sviluppo e propagazione d'incendio, al fine di salvaguardare in primis la vita umana e secondariamente ridurre i danni alle strutture. Si è assistito inoltre ad una progressiva evoluzione della filosofia normativa specifica verso prescrizioni meno rigidamente oggettuali e più prestazionali.

L'approccio alla valutazione probabilistico - ingegneristica del rischio è ad oggi quella che meglio si addice al raggiungimento di elevati gradi di sicurezza per persone e cose. Utilizzando tale modalità di valutazione diviene più semplice e sicuro identificare e quantificare il rischio di accadimento di un incendio, con la relazione:

$$\text{rischio} = \text{frequenza} \cdot \text{magnitudo}$$

dove:

- frequenza indica la probabilità che un evento accada;
- magnitudo indica l'entità (o quantificazione) dei danni prodotti.

Ogni situazione, progetto, edificio esistente, attività ecc., possono essere classificati in base all'indice di rischio; maggiore è l'indice, tanto maggiori dovranno essere le misure da adottare per evitare l'insacco e la propagazione dell'incendio. Per realizzare edifici e/o ambienti sicuri due sono le strade percorribili, spesso tra loro strettamente correlate, al fine di abbattere il fattore di rischio, ossia: la protezione passiva e la protezione attiva.

La protezione attiva, si basa sul principio dell'immediato riconoscimento dell'incendio (rilevazione) ed una tempestiva attivazione di impianti adibiti al suo spegnimento (impianto *sprinkler*, *watermist*). Ciò al fine di evitare il raggiungimento del punto di *flash-over*. La protezione passiva mira invece alla salvaguardia della sicurezza dell'edificio mediante la scelta di materiali e strategie progettuali atte a ridurre il rischio di insacco e di propagazione di un incendio; ciò si traduce nella realizzazione di strategiche soluzioni, tra le quali gli elementi di compartimentazione in grado di resistere al fuoco garantendo la resistenza meccanica (R), la tenuta al passaggio di fiamme, vapori, fumi e gas (E), l'isolamento termico (I). Pertanto, a seconda delle caratteristiche delle soluzioni di chiusura e partizione verticale/orizzontale, viene loro assegnata una sigla (R, RE, EI, REI) abbinata ad un numero che indica l'effettivo tempo (espresso in minuti) di mantenimento delle prestazioni sotto incendio. Fondamentale è inoltre l'aspetto del comportamento e della partecipazione all'incendio dei materiali (reazione al fuoco). Per tutti quelli dotati di marcature CE, caratteristiche e comportamento al fuoco sono dichiarati e facilmente ritrovabili nelle etichette, dichiarazioni e certificati allegati, mentre per i materiali non dotati di marcatura CE vale la classificazione italiana di reazione al fuoco.

L'utilizzo di materiali non combustibili determina vantaggi considerevoli in caso di incendio, in quanto riduce l'entità dell'evento (danni materiali e prodotti di combustione) e il rischio di perdita di vite umane, implementando la facilità delle operazioni di soccorso.

A differenza delle strutture, i sistemi di rivestimento a parete ventilata, classificati come elementi di secondaria importanza rispetto alle strutture portanti ed accessori dell'immobile, svolgono come funzione primaria la protezione dalle intemperie e la connotazione architettonica dell'edificio.

In caso d'incendio tale sistema di finitura non risente particolarmente del problema fuoco qualora la parete di tamponamento abbia resistenza al fuoco EI 30 ed i suoi vari componenti (isolante, sottostruttura ed elementi di rivestimento) appartengano a famiglie di materiali incombustibili.

Specifiche indicazioni sulla sicurezza antincendio delle facciate negli edifici sono fornite dalla circolare n° 5043 Guida per la determinazione dei "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" emanata dal Ministero degli Interni il 15/04/2013, evoluzione dalla precedente del 2010 e della quale, per il momento, mantiene il rango di "Documento Volontario di Applicazione" ed il riferimento esclusivo agli edifici civili aventi altezza antincendio superiore a 12 metri.

Essa⁹ individua quali obiettivi:

- limitare la probabilità di propagazione alla facciata di un incendio originato all'interno dell'edificio e l'estensione dello stesso a compartimenti diversi da quello in cui l'evento ha avuto origine;
- limitare la probabilità di incendio di una facciata e la sua successiva propagazione a causa di un incendio avente origine esterna (in un edificio adiacente o in strada alla base dell'edificio stesso);
- evitare o limitare, in caso di incendio, la caduta di porzioni di facciata/rivestimento che possano compromettere l'esodo in sicurezza degli occupanti dell'edificio e l'intervento dei soccorsi;

e fornisce indicazioni progettuali e costruttive di riferimento sia per le facciate trasparenti sia per quelle opache particolarmente per quanto concerne la separazione in orizzontale e in verticale tra compartimenti, come riportato nelle figure 2.13 e 2.14.

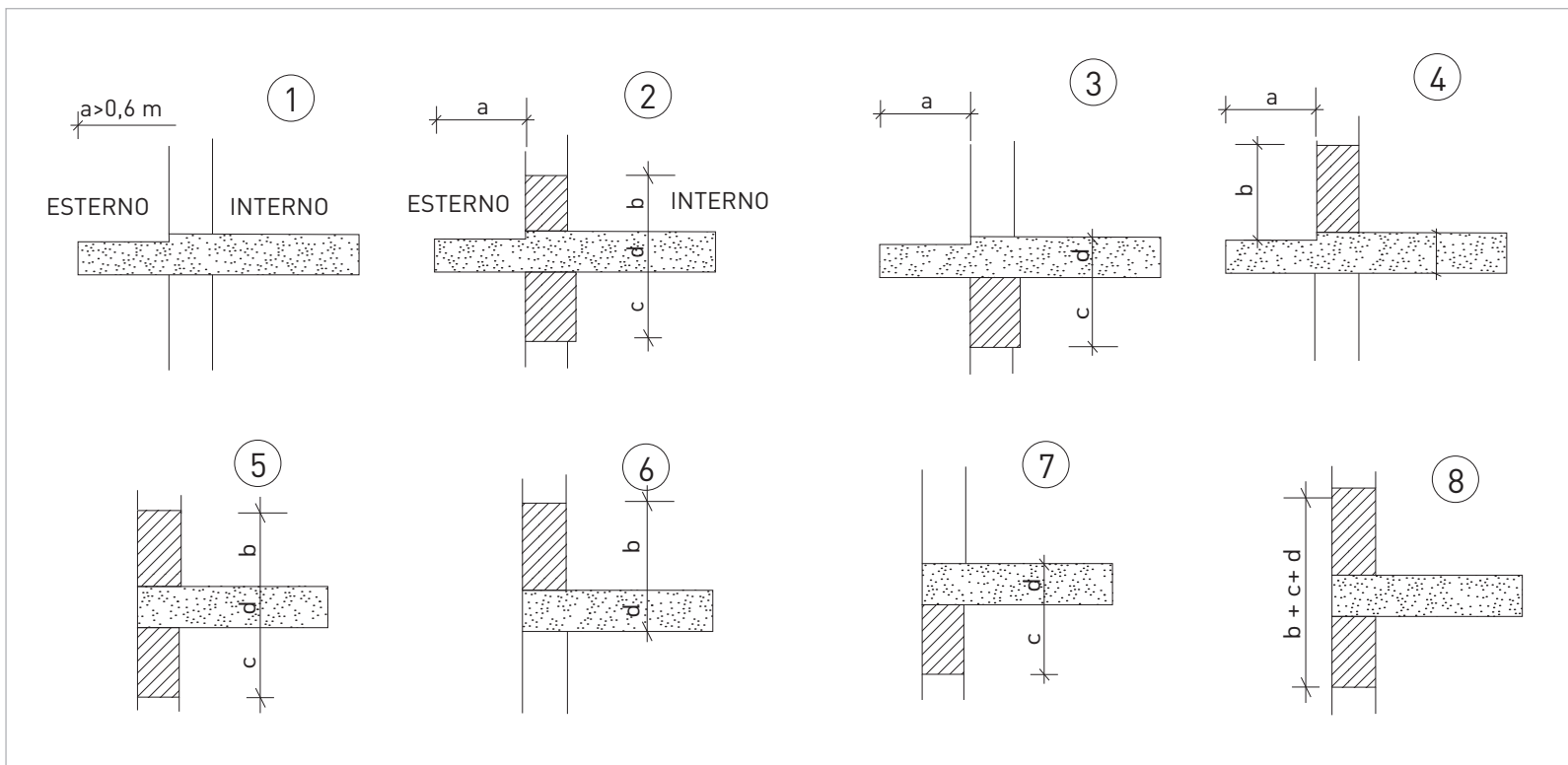


Figura 2.13 - Indicazioni fornite dalla circolare n° 5043 Guida per la determinazione dei "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" emanata dal Ministero degli Interni in merito alle dimensioni che i diversi elementi costituenti l'involucro opaco di facciata, ed in particolar modo la muratura di tamponamento, devono avere per realizzare una separazione orizzontale tra i vari compartimenti dell'edificio. La somma delle dimensioni a , b , c , d deve essere uguale o superiore ad un metro, ciascuno dei valori a , b , c può eventualmente essere pari a zero

⁹ La linea guida emanata dal Ministero degli Interni fornisce ai progettisti indicazioni di carattere generale per la progettazione di nuovi edifici, o il recupero degli esistenti, in particolar modo per gli immobili soggetti a parere preventivo o autorizzazione da parte dei VVF, i quali sono gli unici a poter stabilire se un progetto è coerente o meno con le normative vigenti e fornisce adeguate garanzie di sicurezza contro l'incendio.

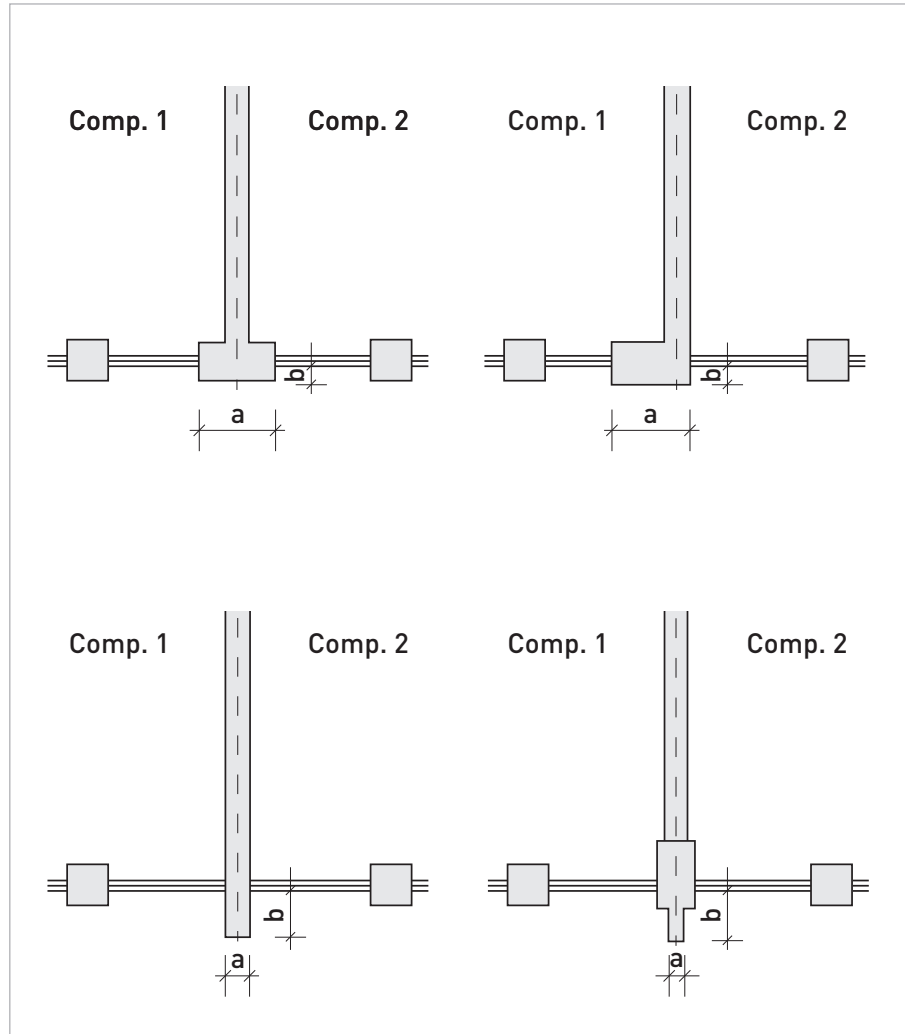


Figura 2.14 - Indicazioni fornite dalla circolare n° 5043 Guida per la determinazione dei "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" emanata del Ministero degli Interni in merito alle dimensioni che i diversi elementi costituenti l'involucro opaco di facciata (in particolar modo la muratura di tamponamento) devono avere per realizzare una separazione verticale tra i vari compartimenti dell'edificio. La somma delle dimensioni $2b + a$ deve essere uguale o superiore ad un metro

Per quanto riguarda le facciate con intercapedine ventilata essa suggerisce l'impiego di materiali isolanti non combustibili o, in caso contrario:

- l'utilizzo di prodotti isolanti incombustibili alla base della facciata fino a 3 m fuori terra (al fine di prevenire inneschi accidentali o dolosi);
- prevedere attorno ai serramenti, per una fascia di larghezza pari a 60 cm, l'utilizzo di materiali incombustibili;
- realizzazione di fasce di isolante termico incombustibile (classi A1, A2), con altezza minima pari a 1 m, in corrispondenza degli elementi di compartimentazione orizzontale (solette) e verticale (murature) dell'immobile, qualora il materiale isolante applicato in facciata sia di classe pari o inferiore alla C, ad esclusione di quelli rientranti nella classe E;
- realizzazione di una protezione permanente delle vie di fuga dotata di adeguata resistenza meccanica al fine di evitare che accidentali cadute di materiali inficino l'evacuazione degli utenti dell'edificio e l'intervento delle squadre di soccorso.

Da quanto sopra si deduce come una progettazione accurata e l'adozione di strategie volte a limitare il rischio d'incendio risultino di fondamentale importanza per assicurare un adeguato grado di sicurezza degli edifici in caso di incendio.

g. Sismo-resistenza

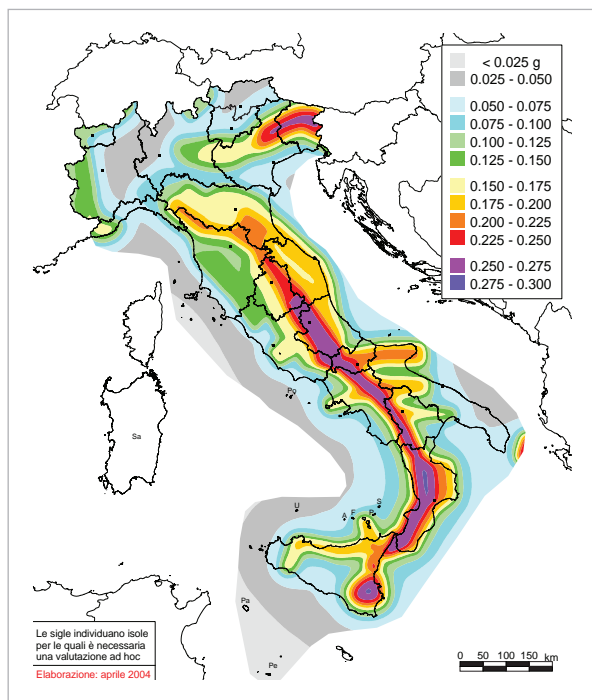


Figura 2.15 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - mappa di pericolosità sismica del territorio italiano all'84° percentile, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi - $V_s > 800$ m/s; categoria A (sito web www.ingv.it)

Le Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 14 Gennaio 2008) "Criteri di progettazione di elementi strutturali secondari ed elementi non strutturali" identificano i sistemi di rivestimento a parete ventilata come elementi secondari non strutturali, esplicitando la modalità di calcolo e verifica di tipo statico (ordinario utilizzo) e dinamico (utilizzo eccezionale - sollecitazione sismica), per la cui trattazione si rimanda allo stesso Decreto Ministeriale.

I sistemi di rivestimento di facciata, ivi compresi quelli a parete ventilata, ancorché normativamente considerati di secondaria importanza in caso di sisma, sono a tutti gli effetti parte integrante dell'involucro e pertanto meritano di un'adeguata resistenza e sicurezza in caso di sisma. Eventuali rotture a carico del tamponamento o di elementi/parti del rivestimento potrebbero altrimenti causare rotture e cadute al suolo di porzioni d'involucro e conseguenti gravissimi danni alle persone e alle cose. Ogni elemento costituente il rivestimento opaco di facciata deve pertanto assicurare un sufficiente grado di sicurezza in caso di sisma.

A tal fine diviene di fondamentale importanza valutare il comportamento di una parete ventilata sotto l'azione sismica, al fine di identificare il massimo grado di sollecitazione che la stessa è in grado di sopportare, nonché il relativo rischio di rottura e cedimento.

Le procedure di calcolo e verifica, contenute all'interno delle NTC 2008, sono le medesime impiegate per il calcolo delle parti strutturali dell'edificio, ossia verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE) e agli Stati Limite Ultimi (SLU), utilizzabili anche per ogni singolo componente della parete ventilata: tasselli, staffe di ancoraggio e controvento, sottostruttura, elementi di rivestimento e relativi fissaggi, ecc. Tuttavia il governo del problema sismico richiede anche altre verifiche.

Gli effetti generati dalle sollecitazioni sismiche dipendono dalla massa degli elementi costituenti la parete ventilata e possono essere valutati mediante l'analisi statica della facciata soggetta alla sola componente orizzontale del sisma, in quanto classificata come elemento non strutturale.

La valutazione della resistenza meccanica dipende tuttavia anche dalla parete di tamponamento, le cui caratteristiche (qualora non fossero ben note e dichiarate) dovranno essere opportunamente accertate anche mediante esecuzione di prove di resistenza a *pull-out* ed al taglio dei tasselli, da applicare alla medesima con intensità di sollecitazione comparabili a quelle indotte

da un terremoto. Inoltre va sottolineato che la modalità di calcolo della resistenza ultima del rivestimento è sempre svolta a favore di sicurezza, prendendo in conto sollecitazioni amplificate e resistenze degli elementi analizzati opportunamente ridotte. Come la normativa prescrive, per gli elementi secondari devono essere inoltre adottati accorgimenti (magisteri) atti ad evitare collassi fragili o l'espulsione di parti, ossia una verifica di non raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

Riguardo al come progettare una parete ventilata e prevedere in che modo la stessa reagisca quando sollecitata sismicamente, in prima istanza, essendo l'intero territorio italiano a rischio sismico, è necessario identificare l'effettivo grado di rischio e le possibili sollecitazioni agenti in base alla suddivisione territoriale (così come riportato dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia nella mappa di pericolosità sismica, v. figura 15). Tali sollecitazioni sono da porre alla base dei calcoli e delle verifiche da effettuare, dapprima sulle parti strutturali dell'edificio e poi sulle secondarie, tra cui parete di facciata e rivestimento a parete ventilata.

Da tali verifiche vanno poi fatte discendere le principali scelte di progettazione del sistema di rivestimento, in particolare: modalità di collegamento del rivestimento al paramento murario, materiali da utilizzare per sottostruttura e rivestimento, tipologia di ancoraggio e fissaggio dello stesso, necessità o meno di adottare ulteriori sistemi di sicurezza anticaduta, ecc., per poi procedere con l'affinamento della soluzione individuata e le necessarie verifiche numeriche sulla sua resistenza e sicurezza.

I principali sistemi di rivestimento a parete ventilata, di provenienza industriale a qualità garantita e certificata, sono di per sé sicuri ed idonei per essere applicati su edifici in zone ad alto rischio sismico, in quanto assumono di realizzare condizioni di indipendenza meccanica di ogni singolo elemento di rivestimento rispetto a tutti quelli adiacenti, evitando così l'interazione tra una porzione e l'altra del rivestimento. I singoli elementi di rivestimento (lastre, doghe, pannelli, cassette, ecc.) vengono vincolati meccanicamente alla retrostante parete di facciata per il tramite della sottostruttura o comunque di apparecchi attraverso i quali trasferiscono carichi e sollecitazioni. La sicurezza del rivestimento è elevata, in quanto il sistema è facilmente dimensionabile su forze note e può essere modificato a seconda di particolari esigenze dettate da geometria, materiali utilizzati, ecc. Considerando invece il sistema tamponamento murario e rivestimento è palese come la sicurezza complessiva dipenda anche dalle caratteristiche di quest'ultimo.

Se si osservano gli edifici colpiti dal sisma, tra cui quello che ha interessato la regione Emilia Romagna il 29 e 31 maggio 2012 e quello che il 6 aprile 2009 ha devastato la città de L'Aquila, si nota che, negli edifici in cui la struttura portante ha ben retto alle scosse, i tamponamenti hanno invece quasi sempre riportato lesioni e danni gravissimi, spesso terminati con rovinosi crolli al suolo.

Ciò rivela una pericolosa generale carenza di resistenza delle pareti di tamponamento nei confronti delle sollecitazioni provenienti dalla struttura portante dell'edificio scossa dal sisma. Rotture a croce di Sant'Andrea, fessurazioni orizzontali, disgregazione dei giunti di malta, disgregazione dei conci costituenti la muratura nelle zone di spigolo tra travi e pilastri, cedimenti dell'interfaccia tamponamento ed elementi in calcestruzzo armato, abbinati a crolli più o meno ampi di porzioni di tamponamento, costituiscono le principali modalità di danneggiamento osservate nelle murature nei casi suddetti. Ciò obbliga a considerare con attenzione che non bisogna mai dare per scontato che il supporto studiato per ottimizzare altre prestazioni (termiche, acustiche, ecc.) sia anche adeguato per sopportare le azioni sismiche ed altresì che se il medesimo tale non è, non lo potrà essere neppure il suo rivestimento.

Per ovviare a tali problemi si possono adottare varie soluzioni quali ad esempio: murature armate con funzione di irrigidimento del telaio in calcestruzzo armato, oppure murature di tipo leggero, svincolate dalla struttura portante dell'edificio, da definire ed ottimizzare nei minimi dettagli per ben assecondare i movimenti e gli spostamenti dell'edificio in caso di sisma.

Un involucro opaco con rivestimento a parete ventilata deve quindi fungere come unico elemento ben inserito ed opportunamente integrato o svincolato nei confronti del sistema portante dell'edificio, al fine di governarne, sotto tutti gli aspetti, prestazioni e risposte alle azioni che potrebbero sollecitarlo durante il corso della sua vita utile. Tipologia e resistenza del paramento murario, modalità di collegamento dello stesso con la struttura dell'edificio, caratteristiche intrinseche del rivestimento, sono alcuni tra i parametri sui quali impostare un'attenta analisi del rischio utile a prevedere ed evitare anomalie di funzionamento anche in caso di sisma.

Al crescere del rischio sismico, è buona norma quindi provvedere ad implementare la sicurezza dell'intero pacchetto di involucro mediante impiego di soluzioni specificamente indicate, quali:

- murature adeguate a sopportare le sollecitazioni sismiche indotte (di rinforzo al telaio in calcestruzzo armato dell'edificio o del tipo leggero e svincolato);
- sistemi dotati di sottostruttura. In alcuni casi è preferibile una sottostruttura a montanti e traversi rispetto ad una a soli montanti, in quanto gli elementi di rivestimento possono essere vincolati alla sottostruttura con un maggior numero di fissaggi (oppure disporre di una maggiore superficie d'appoggio alla sottostruttura);

- elementi di rivestimento leggeri, a bassa massa areica;
- sistemi di sicurezza aggiuntivi contro la rottura e la caduta degli elementi del rivestimento, quali: cavetti anticaduta, elementi anti martellamento, elementi di limitazione delle traslazioni orizzontali, attenuatori e/o dissipatori oppure elementi di separazione in grado di attenuare e smorzare e le vibrazioni, ecc.

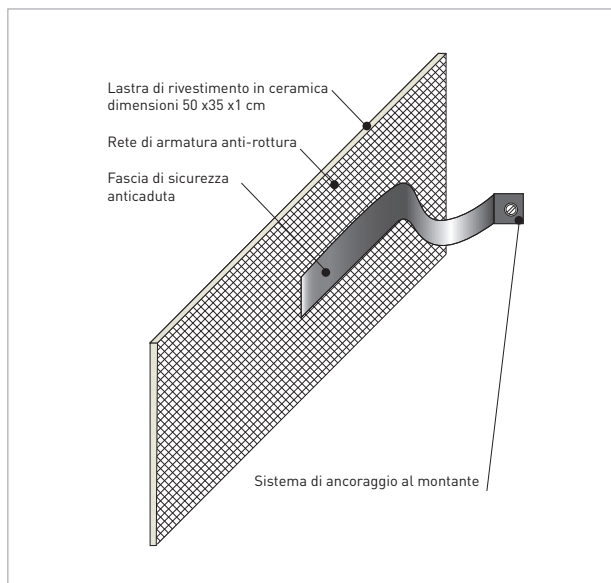
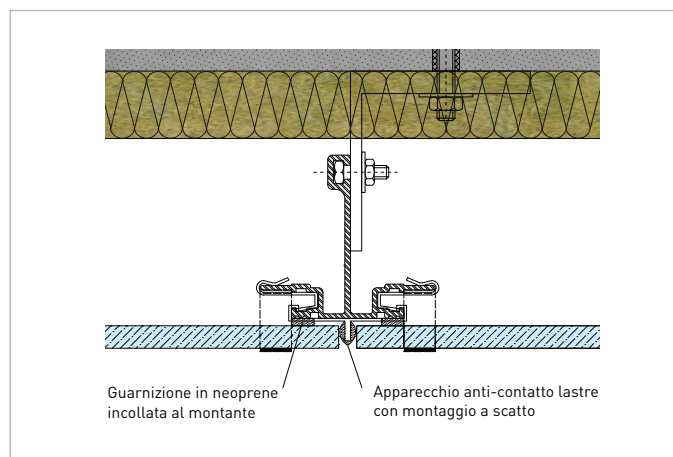
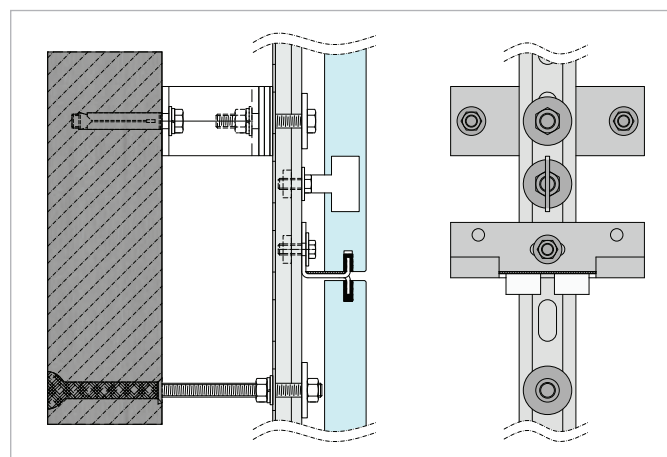


Figura 2.16 - Schematizzazione di dispositivo di sicurezza anti sgancio e caduta. Il cavetto di sicurezza, collegato alla sottostruttura, evita la caduta dell'intero elemento, mentre in caso di rottura della lastra, la rete in fibra di vetro incollata sul retro evita la caduta a terra dei suoi frammenti

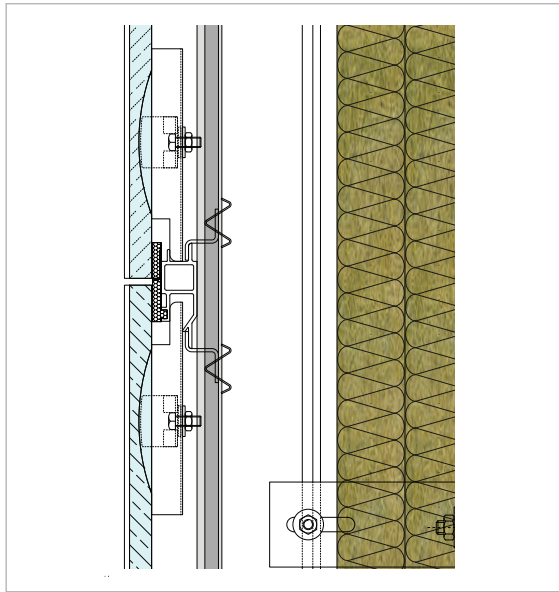


1

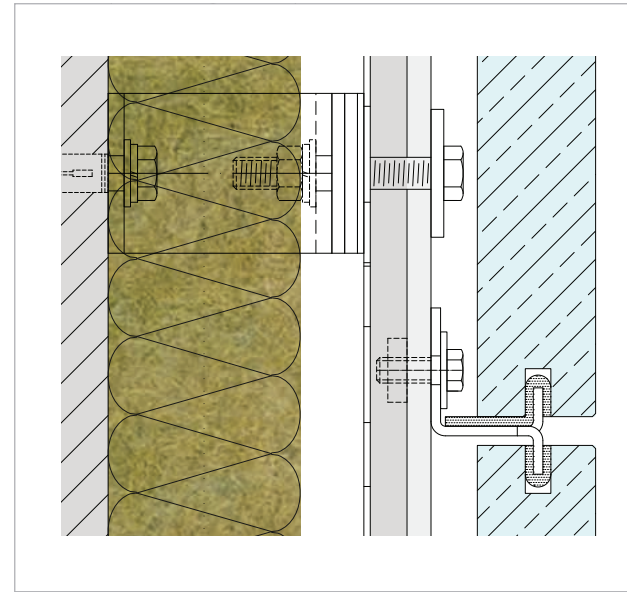


2

Figura 2.17 - Interposizione tra le lastre di elementi antimartellamento. Sia nel caso 1 che nel caso 2 viene utilizzata una lamina in alluminio o acciaio rivestita in neoprene fissata al montante con meccanismo a scatto e con viteria. La sua funzione è di evitare la traslazione orizzontale delle lastre con conseguente allentamento dal fissaggio e innesco dell'effetto di martellamento di una lastra sull'altra



1



2

Figura 2.18 - Utilizzo di appositi elementi cuscinetto integranti il sistema di fissaggio del rivestimento, la cui funzione è di evitare il diretto contatto rivestimento-metallo, limitando la propagazione di vibrazioni e i movimenti differenziali tra i due elementi

h. Durabilità, manutenibilità e sostenibilità

Le attuali conoscenze, empiriche e scientifiche, abbinate a modelli di calcolo ed a strumenti di modellazione analitica del comportamento in servizio di elementi e apparecchi costituenti il sistema di rivestimento a parete ventilata (rivestimenti, collegamenti e fissaggi, sottostrutture, ancoraggi, isolanti, ecc.), nonché gli innumerevoli dati e informazioni ormai oggi disponibili, derivanti dalle numerose applicazioni, consentono di programmare e valutare, con un certo grado di precisione, la vita utile di queste soluzioni di facciata.

L'evoluzione tecnico-prestazionale di materiali e prodotti, lo sviluppo di nuove modalità di connessione tra gli elementi, l'impiego di software per la modellazione in grado di simulare nel tempo il degrado prestazionale, fisico e materico dei materiali da costruzione, nonché le prove di laboratorio sui materiali (utili per riconoscerne i comportamenti e le resistenze alle azioni di degrado) permettono di valutare ogni singolo caso applicativo e definire la o le soluzioni che meglio rispondono alle specifiche esigenze, optando quindi per la scelta del rivestimento più adeguato, in termini di prestazioni, costi, estetica e durata.

Oggi si possono quindi agevolmente realizzare pareti ventilate la cui vita utile di servizio è pari a quella richiesta all'edificio (50 anni c.ca) oppure con vita più breve, ad esempio per motivi commerciali di restyling della connotazione architettonica e prestazionale dell'immobile (in questo caso prevedendo la sostituzione del rivestimento allo scadere del suo periodo di servizio e, con essa, il rinnovo estetico dell'edificio abbinato eventualmente ad altri interventi per l'aggiornamento degli impianti e delle attrezzature, il rinvigorismento delle prestazioni e per quant'altro si possa convenientemente ipotizzare). Idonee valutazioni al riguardo devono essere pertanto svolte fin dalle prime fasi progettuali di una soluzione con rivestimento a parete ventilata, così da ottimizzare le prestazioni e la configurazione tecnica nel modo più appropriato e conveniente.

I sistemi di rivestimento a parete ventilata, generalmente contraddistinti da una durabilità di lungo corso, sono progettati e realizzati per non richiedere gravosi interventi di manutenzione periodica.

Ciò è dovuto anche al fatto che gli innumerevoli materiali ed elementi impiegabili, grazie al loro assemblaggio meccanico in loco, sono accomunati dalla sostituibilità in opera in caso di necessità.

L'indipendenza di ogni singolo elemento costituente il rivestimento, abbinata a dispositivi e/o apparecchi meccanici per il fissaggio sulla sottostruttura, assicura semplici e veloci operazioni di smontaggio e rimontaggio del rivestimento. Occorre tuttavia considerare che non tutti gli apparecchi di ancoraggio che si utilizzano per il montaggio degli elementi di rivestimento permettono di procedere, all'occorrenza, alla rimozione ed al riposizionamento di ogni singola lastra. Anzi, nella maggior parte dei casi, montaggio e rimontaggio possono essere fatti solamente da un preciso punto ad un altro, secondo una sequenza obbligata ed interessando un alto numero di elementi formanti il rivestimento della facciata.

È quindi consigliabile che già in fase di progetto venga stabilito come procedere all'eventuale sostituzione di singoli elementi, tenendo ben presente che la modalità di fissaggio del nuovo elemento dovrà fornire pari garanzia di sicurezza rispetto a quella dell'elemento originale.

Inoltre, dal momento che tutti i componenti di una parete ventilata sono prodotti o lavorati in stabilimento, è possibile graduare e controllare opportunamente la loro qualità intrinseca e di finitura, anche per quanto concerne la resistenza, l'assorbimento d'acqua e di agenti inquinanti. In servizio è quindi possibile procedere, con rapidità e costi competitivi, al lavaggio periodico del rivestimento e, con l'occasione, alla verifica dello stato di conservazione ed agli eventuali ripristini localizzati quando necessario.

L'attenzione alla sostenibilità (riuso e/o riciclo dei materiali) e all'eco-compatibilità è anch'essa un aspetto di grande rilievo e sempre più importante per evitare un consumo eccessivo delle risorse (materie prime) che, come noto, non sono illimitate. I prodotti prefabbricati di origine industriale possono avere un basso contenuto di energia grigia¹⁰ (energia spesa per la trasformazione dei materiali e la realizzazione dei prodotti) facilmente quantificabile durante l'intero ciclo di produzione.

L'utilizzo di prodotti industriali a base di lana di roccia (pannelli isolanti e materiali di rivestimento) ben si sposa, ad esempio, con i più elevati standard di sostenibilità, in forza della derivazione naturale, della riciclabilità del materiale e dal basso contenuto di energia grigia. Le soluzioni a parete ventilata, essendo interamente smontabili, favoriscono inoltre il recupero a fini di riuso e/o riciclo dei propri componenti al termine del periodo di servizio.

L'alto grado di industrializzazione dei componenti, le modalità di posa in opera a secco, le elevate prestazioni termoenergetiche, la programmabilità della vita utile di servizio e l'elevata propensione alla manutenibilità portano ad attribuire alle pareti ventilate alti valori di efficienza energetica a fronte di un favorevole costo globale sul ciclo di vita (LCC - *Life Cycle Cost*) e di un, in generale, molto ridotto impatto ambientale (LCA - *Life Cycle Assessment*).

¹⁰ Per energia grigia si intende la quantità di energia necessaria per la produzione, il trasporto fino al luogo di utilizzo, e lo smaltimento di un prodotto o di un materiale.

CAPITOLO 3

Configurazione delle soluzioni

La configurazione dei sistemi di rivestimento a parete ventilata si basa sulla scelta del tipo e delle caratteristiche dei principali elementi funzionali che li costituiscono, ossia: isolamento termico, rivestimento, sottostruttura e fissaggi.

Tali decisioni stanno alla base del progetto e della successiva installazione di rivestimenti a parete ventilata e devono armonizzarsi con il progetto complessivo dell'edificio, in particolare con le sue caratteristiche geometriche, architettoniche, tecnologiche e di contesto. Particolare importanza va attribuita alla coerenza tecnologico-prestazionale tra: struttura dell'edificio, tamponamento opaco al rustico e rivestimento a parete ventilata, al fine di garantire la sismo-resistenza di insieme della facciata. Di seguito, per ciascuno degli elementi funzionali sopracitati, viene fornita una breve descrizione delle principali opzioni tecniche e vengono indicati i criteri di scelta delle medesime.

a. Strato isolante

Le vigenti normative per il contenimento del fabbisogno energetico degli edifici impongono bassi valori di trasmittanza termica per le pareti opache di facciata¹ che normalmente richiedono l'impiego di uno strato isolante di elevato spessore. Come già osservato in precedenza, la particolare configurazione dei sistemi di rivestimento a parete ventilata facilita la messa in opera di uno strato termoisolante continuo e di alto spessore sulla faccia esterna della muratura di tamponamento.



Figura 3.1 - Fissaggio dei pannelli isolanti alla parete di tamponamento mediante tasselli con rondella

Diversi sono i materiali termoisolanti impiegabili al riguardo, in varie forme (pannelli rigidi o semirigidi oppure materassini, ecc.) e dimensioni a seconda delle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale, delle modalità di trasporto, movimentazione e messa in opera del medesimo e del valore di trasmittanza termica da assegnare alla parete.

Tra essi, i prodotti in lana di roccia hanno dimostrato una più che buona propensione all'impiego nei sistemi suddetti.

A prescindere dal tipo e dal formato utilizzato, la posa dell'isolante deve sempre realizzare il perfetto accostamento tra un elemento e l'altro ed un tenace fissaggio al supporto mediante l'impiego di tasselli o chiodi con rondella di ritenzione di generose dimensioni o altra tecnica più adeguata al caso specifico. Per i pannelli isolanti rigidi il numero minimo dei fissaggi è in genere pari a due per ciascuno, anche se, soprattutto al crescere del loro formato, diviene spesso preferibile utilizzarne in numero maggiore (ad esempio tre disposti a V, di cui due nella parte superiore ed uno in quella inferiore), al fine di evitare l'insorgere di inarcamenti negli spigoli (dopo qualche tempo dalla posa) ed i conseguenti cali di prestazione. Negli impieghi con spessore superiore a 10-12 cm, può essere più pratico ed efficace eseguire la posa dell'isolante in doppio strato con sfalsamento dei giunti tra il primo ed il secondo, differenziando eventualmente la densità del materiale tra l'uno e l'altro.

Tale modalità di posa favorisce la continuità e l'efficienza termica, e con taluni materiali anche acustica, della coibentazione.

¹Riguardo ai valori si vedano le tabelle 2.2 e 2.3 al precedente capitolo 2.



Figura 3.2 - Nell'immagine a sinistra, applicazione di pannelli isolanti in lana di roccia posati in doppio strato. In quella di destra si nota la posa di un telo impermeabile in materiale microporoso traspirante a protezione dell'isolante termico sottodavanzale. In primo piano si distinguono le staffe in alluminio pressofuso di sostegno della sottostruttura

Nei sistemi di rivestimento a parete ventilata è generalmente preferibile utilizzare materiali isolanti che, per natura, siano poco sensibili all'acqua o che, in caso contrario, siano rivestiti o protetti in superficie con un telo, un foglio o un feltro impermeabile all'acqua ed al contempo traspirante nei confronti del suo vapore. Un tale accorgimento è particolarmente efficace e consigliabile in corrispondenza delle zone di facciata più facilmente soggette a percolazioni e ristagni d'acqua quali, ad esempio, le spallette ed i davanzali dei vani finestra.

Questo anche in caso di impiego di materiale isolante non idrofilo così da evitare la possibilità di infiltrazione e colatura dell'acqua dietro allo strato coibente e sulla, o anche nella, muratura di tamponamento.

Se e quando previsto, il telo microporoso viene fissato al falso telaio del serramento con l'ausilio di una apposita bandella autoadesiva, risvoltato sulla faccia esterna dell'isolante, per circa 30 cm ed ivi fermato mediante i medesimi tasselli o chiodi con rondella impiegati per tenere in posizione lo strato isolante. Al di sopra dei voltini il telo suddetto sarà invece risvoltato ed inserito dietro all'isolante.

L'impiego di un telo impermeabile a protezione dell'intorno dei serramenti o di altri punti singolari, pur non essendo obbligatorio, è tuttavia consigliabile soprattutto quando le caratteristiche della facciata siano tali da favorire il richiamo di acqua nell'intercapedine.

b. Sistemi di supporto del rivestimento

Il supporto dei rivestimenti a parete ventilata avviene con modalità a secco e quasi esclusivamente con apparecchi di tipo meccanico, non essendosi al momento ancora diffuso, quantomeno in Italia, l'uso del fissaggio di tipo chimico.

Gli apparecchi di tipo meccanico si classificano in due categorie principali:

- apparecchi per impiego su sottostruttura, in genere metallica o in altro materiale quale legno², o composito fibrorinforzato;
- apparecchi per impiego senza sottostruttura, da vincolare quindi direttamente alla struttura perimetrale ed alle pareti di tamponamento e, per questo motivo, comunemente chiamati fissaggio puntuale.

I primi demandano alla sottostruttura il compito di realizzare l'esatto piano di posa degli elementi di rivestimento ed assolvono invece direttamente quello di metterli nella giusta posizione e di fissarli stabilmente, come previsto nel progetto architettonico ed in quello costruttivo della facciata.

I secondi devono invece realizzare, uno per uno e quindi per ogni punto di fissaggio del rivestimento, le tre regolazioni spaziali (distanza dalla facciata, quota orizzontale, quota verticale rispetto al piano di riferimento del rivestimento), necessarie alla perfetta disposizione di ciascun elemento rispetto a tutti gli altri.

Ne consegue che, ai fini della scelta tra una categoria di apparecchi e l'altra, l'impiego o meno della sottostruttura va deciso valutando con attenzione la rispettiva minor o maggiore incidenza e complessità della posa in opera e della qualità prestazionale dell'esito finale.

Come si vedrà anche più avanti e nel successivo capitolo 4, la scelta del tipo di supporto da abbinare al rivestimento dipende inoltre da: complessità delle superfici di facciata (forma e geometria, rapporto vuoti/pieni, compensazione di tolleranze di costruzione, ecc.), materiale e formato del rivestimento (elementi lapidei, metallici, in gres porcellanato, ecc.), sollecitazioni alle quali il rivestimento è sottoposto (azioni del vento, del sisma, ecc.) ed altre ancora.

Di seguito i suddetti sistemi di supporto sono illustrati più in dettaglio.

Sistemi con ancoraggi di tipo puntuale

A questa categoria appartengono gli apparecchi di fissaggio e di regolazione del rivestimento da vincolare direttamente alle strutture perimetrali ed alle pareti di tamponamento dell'edificio, per il tramite di idonei tasselli, generalmente meccanici, se da collegare ad elementi strutturali in calcestruzzo armato, in acciaio o in legno, oppure chimici con calza, se da ancorare nella muratura di tamponamento in blocchi forati di laterizio, alveolare o convenzionale.

Tali apparecchi possono essere di varia foggia. Quelli di più comune impiego sono: staffe, squadrette, tirantini ed altri elementi a vite, in acciaio zincato o inox AISI 304 oppure 316 (a seconda della composizione e dell'aggressività atmosferica nel luogo di impiego), aventi regolazione millimetrica multi direzionale, in genere non superiore a 1 - 2 cm ca per ciascuna direzione, con i quali realizzare il sostegno e l'allineamento nel piano di facciata degli elementi di rivestimento.

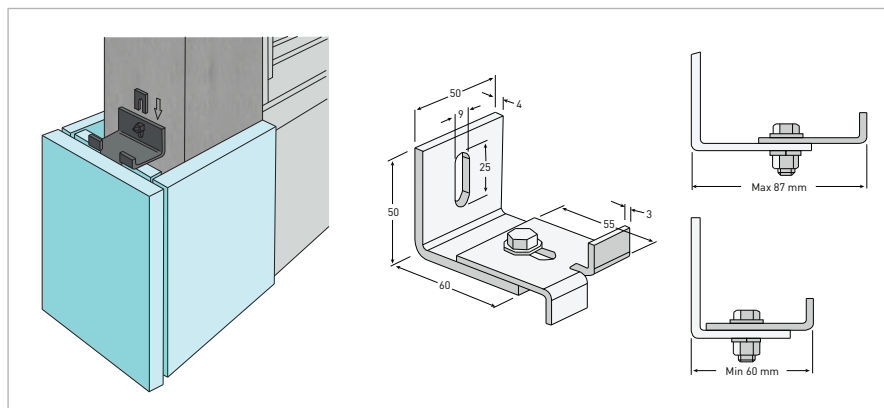


Figura 3.3 - Esempi di fissaggio puntuale a mezzo di squadrette regolabili alto/basso e avanti/indietro, la regolazione laterale è demandata alle fessature, tipo kerf o a tasca, della costa delle lastre resa nelle quali esse vanno inserite

² La ricerca della sostenibilità va sempre più rivalutando l'impiego del legno come materiale da costruzione, sia nelle sottostrutture vere e proprie sia nelle soluzioni di finitura e nelle relative orditure di supporto.

L'installazione dei supporti di questo tipo richiede grande accuratezza e precisione in tutte le fasi di lavoro. La necessità di riuscire a posizionare sempre i tasselli a muro in punti pressoché obbligati condiziona la possibilità di collocare sempre e ovunque gli apparecchi in modo ideale ed ottenere di conseguenza da ciascuno di essi la massima resistenza. La necessità di spostamento di un tassello per la coincidente presenza di un ferro di armatura o di una discontinuità nel paramento murario può richiedere ad esempio aggiustamenti non conciliabili con il miglior funzionamento statico del corrispondente apparecchio.

Di questo è bene tenere conto innanzitutto nella scelta del tipo e delle dimensioni degli apparecchi e dei relativi accessori, sia per quanto concerne la messa in opera di tutti gli elementi tipo della sezione corrente della facciata, sia per quelli coincidenti con i vari punti di dettaglio, la cui risoluzione deve essere preventivamente ed opportunamente definita *ad hoc* nel progetto esecutivo/costruttivo e mai demandata alla libera ed estemporanea iniziativa dell'installatore, al fine di evitare qualsiasi ricorso a soluzioni improvvisate basate sulla manomissione degli apparecchi standard, sul diradamento dei fissaggi, sul locale ricorso all'impiego di collanti, mastici o resine per sopperire in modo casuale alla difficoltà di realizzazione del necessario ed implicitamente previsto vincolo meccanico. Altrettanto importante e basilare è la predisposizione del supporto murario alla posa degli apparecchi di supporto di tipo puntuale che, come già osservato, possiedono in generale misure di regolazione limitate a 1 - 2 cm o poco più, nonché un'impronta di pochi cm quadrati.

E' pertanto essenziale ai fini del loro corretto posizionamento e fissaggio che l'involucro rustico sul quale vincolarli sia ovunque ben costruito e regolarizzato in superficie, poiché altrimenti l'installazione non potrebbe avvenire nei modi dovuti e, di conseguenza, garantire un giusto risultato, con tutte le facilmente immaginabili conseguenze del caso. A tal fine l'intonacatura della faccia esterna della muratura risulta pressoché indispensabile.

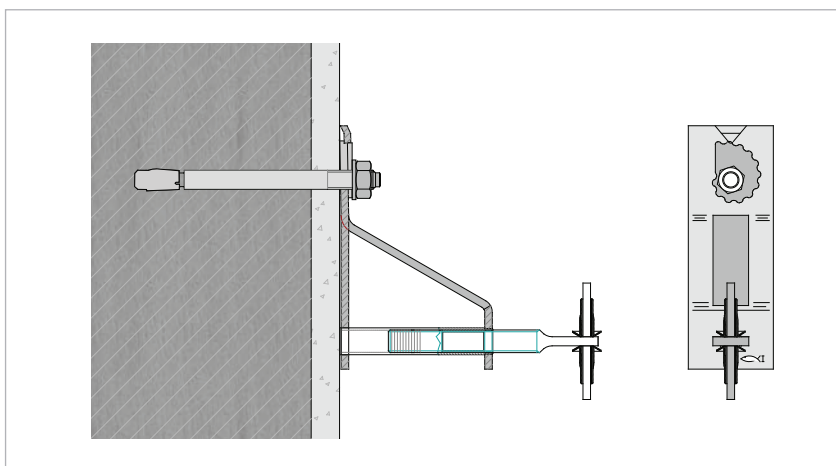


Figura 3.4 - Squadretta per fissaggio puntuale con regolazione millimetrica nelle tre direzioni spaziali

La buona esecuzione dell'installazione richiede altresì manodopera ben specializzata ed una programmazione dei tempi di posa che tenga opportunamente in conto, nel calcolo delle rese, anche delle condizioni stagionali che possono condizionare di molto la velocità di installazione, come ad esempio fa la stagione fredda nei confronti delle tassellature di tipo chimico, oppure della frammentazione e della ripetizione punto per punto delle regolazioni millimetriche che certo non si conciliano con una conduzione molto affrettata dei lavori.

Gli apparecchi di fissaggio puntuale di più comune impiego si collegano, per mezzo di pioli o di piattine metalliche, agli elementi che compongono il rivestimento mediante inserimento in fori o fresature, alla lunga o a tasca, appositamente ricavate sul bordo degli stessi.

Tra piolo e foro o tra piattina e fresatura viene generalmente interposto un separatore o uno spessore in materiale plastico o in gomma elastica, molto utile per assorbire e neutralizzare gli effetti ciclici delle dilatazioni termiche e delle vibrazioni ed a prevenire altresì l'usura ed eventuali danni localizzati, tipo sbeccature

o scartellature del materiale di rivestimento, soprattutto nei punti di bordo ed in corrispondenza dei fori e delle fresature ivi ricavate.

La stabilità e la sicurezza di questa categoria di apparecchi rimane sempre ed esclusivamente affidata all'integrità ed alla omogeneità di consistenza, fisica e meccanica, della massa muraria che funge da supporto. Questo implica una sua maggiore propensione alla vulnerabilità in caso di sisma rispetto al caso degli apparecchi di fissaggio da installare su di una apposita sottostruttura.

Altri aspetti critici dell'impiego di sistemi di fissaggio puntuale sono quelli derivanti da:

- montaggio degli elementi di rivestimento in sequenza obbligata;
- conseguente difficoltà di procedere al montaggio di particolari porzioni del rivestimento in un tempo differito nonché al loro successivo smontaggio e rimontaggio in caso di necessità (ad esempio al piede di pareti alla cui base devono essere eseguiti o ispezionati e riparati risvolti a muro di membrane impermeabili);
- impossibilità di assecondare gli eventuali movimenti differenziali dell'edificio senza trasferire tensioni significative e non prevedibili al rivestimento;
- non semplice realizzazione di uno strato isolante continuo (a causa dell'elevato numero di apparecchi) e di spessore elevato (per l'incremento di braccio tra piano della facciata rustica e rivestimento);
- complessità e limitata velocità della posa e del completamento del pacchetto di rivestimento;
- facilità di innesco di concatenazioni e di coazioni meccaniche nel piano del rivestimento con conseguente incremento delle tensioni nei punti di contatto rivestimento/fissaggi e nelle reazioni vincolari tra ancoraggi e supporto murario.

Riguardo a questi ultimi, indispensabile è il bloccaggio dei tasselli di ancoraggio con bulloni e/o rondelle antisvitamento, giacché altrimenti le coazioni nel piano del rivestimento unitamente alle dilatazioni termiche cicliche possono esercitare sulle teste dei tasselli azioni capaci di allentarli sino a causare l'instabilità del rivestimento.

I sistemi di rivestimento a parete ventilata con ancoraggi puntuali non sono pertanto consigliabili per applicazioni in facciate di grandi dimensioni, geometria complessa, esposte a forte vento e/o a vibrazioni stradali, aventi rivestimento pesante e site in zone ad elevato rischio sismico.

Sistemi con sottostruttura

Sono quelli in cui gli apparecchi di sostegno e fissaggio degli elementi del rivestimento vengono vincolati ad elementi astiformi distanziati dal piano al rustico della facciata, ancorati a loro volta a quest'ultimo mediante staffaggi, la cui lunghezza deve essere tale da assorbirne opportunamente le tolleranze di planarità e verticalità ed a contenere altresì lo spessore dell'isolante termico e quello dell'intercapedine d'aria.

Tre sono le tipologie di sottostruttura impiegate a tale scopo:

- a soli montanti;
- a montanti e traversi;
- a soli traversi;

tutte quante realizzabili con vari materiali, sezioni, spessori e modalità di assemblaggio.

I materiali più utilizzati al riguardo sono: l'acciaio zincato, l'acciaio inox AISI 304 o 316 a seconda della composizione e dell'aggressività atmosferica nel luogo di impiego, le leghe di alluminio (che oggi coprono oltre il 96% delle sottostrutture realizzate in Italia e in Spagna e circa il 90% di quelle in Francia e Germania), il legno (in passato poco utilizzato e solo per installazioni a basso costo e di contenuta estensione in altezza e superficie, ma attualmente rivalutato sia per nuovi edifici con struttura in legno sia per i cosiddetti interventi di *re-cladding* di edifici esistenti) ed i materiali compositi fibrorinforzati.

La scelta del materiale di sottostruttura è bene sia sempre armonizzata a quella del rivestimento: la leggerezza specifica dell'uno ben si sposa con quella dell'altro e viceversa, stesso discorso vale per l'accuratezza delle dimensioni. In altre parole ed a titolo di esempio: lastre sottili e calibrate di gres porcellanato in genere ben si sposano con raffinate sottostrutture in alluminio estruso; lastre lapidee di elevato spessore, con piani e spigoli volutamente scabri o comunque non rettificati, si abbinano invece molto meglio con profilati in acciaio, zincato o inox.

Qualunque sia il tipo, alla sottostruttura viene affidato il compito di realizzare l'esatto piano di posa del rivestimento e, dietro al medesimo, lo spazio assegnato all'intercapedine ed all'isolante.

Rispetto ai fissaggi di tipo puntuale illustrati in precedenza, l'impiego di una sottostruttura comporta, a fronte di un maggior costo di approvvigionamento dei suoi componenti, oggettivi vantaggi quali:

- una più facile e rapida individuazione del piano ideale di posa del rivestimento a partire dalle linee di spigolo tra i vari fronti;
- una più facile, rapida e precisa installazione e regolazione del rivestimento nel suo giusto piano di posa;
- una più facile realizzazione di uno strato isolante continuo e di spessore elevato (stante il minor numero di interruzioni richieste dalle staffe di ancoraggio alla facciata rustica e il miglior comportamento a mensola offerto dalle stesse);
- possibilità di montaggio degli elementi di rivestimento in sequenza libera (con taluni tipi di apparecchi di supporto e fissaggio del rivestimento: ganci a vista, fissaggi a scatto, a baionetta, ecc.);
- conseguente possibilità e facilità di procedere al montaggio di particolari porzioni del rivestimento in un tempo differito nonché al loro successivo smontaggio e rimontaggio, o alla sostituzione, in caso di necessità (ad esempio al piede di pareti alla cui base devono essere eseguiti o ispezionati e riparati risvolti a muro di membrane impermeabili);
- possibilità di assecondare gli eventuali movimenti differenziali dell'edificio senza trasferire tensioni significative e non prevedibili al rivestimento;
- facilità e velocità della posa e del completamento del pacchetto di rivestimento, all'occorrenza anche da parte di più squadre con partenza da punti o livelli diversi, grazie anche alla sicura individuazione a priori del piano di riferimento per la posa, la condivisione dei fili guida e delle regolazioni fronte per fronte;
- assenza di coazioni meccaniche nel piano del rivestimento, quando la sua posa non sia viziata da errori, essenziale ai fini del raggiungimento e del mantenimento della condizione ideale di messa in opera, corrispondente alla totale indipendenza tra elemento e elemento in relazione alle dilatazioni cicliche, giornaliere e stagionali, termiche ed anche igrometriche nel caso dei materiali porosi, alle normali sollecitazioni di servizio ed ai naturali assestamenti delle strutture dell'edificio;
- buona propensione all'integrazione di reti e componenti impiantistici, ivi compresi quelli per lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili quali, ad esempio, pannelli fotovoltaici e pannelli o collettori solari termici.

Sotto le azioni orizzontali, del vento, del sisma e delle sollecitazioni acustiche specialmente di bassa frequenza (da traffico stradale o aeroportuale, da competizioni motoristiche, da potenti fuochi d'artificio in adiacenza alla facciata, ecc.) i vari elementi di rivestimento trasferiscono le sollecitazioni ricevute ai profili cui sono vincolati, che reagiscono come un graticcio di piccole travi (per le soluzioni a montanti e traversi) oppure come travi continue parallele su più appoggi, tra loro indipendenti (per quelle a soli montanti o traversi).

Tutti i sistemi a parete ventilata dotati di sottostruttura sono connessi alla parete retrostante mediante staffe di ancoraggio di varie forme e dimensioni, realizzate in acciaio inox o zincato (ottenute per piegatura), oppure in lega di alluminio (ottenute per estrusione o presso-fusione).

Tali elementi, oltre ad assicurare adeguata resistenza meccanica e rigidità, devono garantire la possibilità di regolazione, nelle tre direzioni spaziali, dei profili costituenti la sottostruttura, al fine di realizzare un supporto planare per la posa del rivestimento. Normalmente le staffe sono quindi dotate di asolature.

In alcuni casi (ad esempio con elementi con forma ad omega) oltre alle asolature viene fatto uso di spessori a piattina, rondella o forcilla per garantire la regolazione nella direzione ortogonale al piano della facciata.



Figura 3.5 - Nell'immagine di sinistra una staffa in lega alluminio (ottenuta per estrusione e asolatura al banco) con oggetto massimo utile dal tamponamento rustico di 80 mm; a destra una staffa in lega di alluminio (ottenuta per pressofusione) con oggetto massimo utile dal tamponamento rustico di 160 mm, impiegabile in abbinamento a spessori d'isolante sino a 14 cm; le nervature di rinforzo sono rese necessarie dalla sua notevole snellezza

Ad ogni tipologia di sottostruttura corrisponde una specifica staffa di ancoraggio, le cui forme e dimensioni variano da produttore a produttore. Le staffe sono connesse al supporto mediante appositi tasselli o viti, specifici per ogni diversa tipologia di muratura. Su travi, muratura e/o pilastri in calcestruzzo armato si utilizzano tasselli di tipo meccanico ad espansione (consigliati in acciaio inox in quanto maggiormente resistente alla corrosione); su muratura in laterizi alveolari, forati o similari si impiegano tasselli di tipo chimico con calza; su legno specifiche viti. Ciò è indispensabile per ottenere e garantire nel tempo adeguata resistenza meccanica e sicurezza.

Gli accoppiamenti rigidi tra i diversi elementi della sottostruttura (staffe-montanti, staffe trasversi e montanti-traversi) possono essere realizzati con due differenti tecniche: tradizionale con viti, bulloni, rivetti (cioè con elementi passanti o comunque inseriti nello spessore degli elementi da accoppiare e rendere solidali, e che li serrano), oppure con connettori a scatto³ di più recente introduzione, costituiti da elementi in acciaio armonico che accoppiano i diversi elementi in maniera rigida sfruttando il principio dell'attrito indotto. L'accoppiamento del tipo a scatto semplifica e velocizza notevolmente la messa in opera della sottostruttura e del rivestimento, migliorando al contempo la regolazione e la precisione geometrica.

Al momento esso è abbinabile solo agli elementi prodotti per estrusione, in quanto i connettori oggi disponibili vanno collegati a costolature o steli con specifica e precisa geometria difficilmente ottenibili in elementi presso-piegati.

I sistemi a soli montanti sono composti da profili verticali vincolati alla struttura perimetrale ed ai tamponamenti dell'edificio mediante staffe di varie forme e dimensioni.

La conformazione astiforme con sezione trasversale sottile e la conseguente snellezza utilizzata per tali profili richiede che gli stessi lavorino il più possibile a trazione rispetto ai carichi verticali e come trave continua su più appoggi, riguardo a quelli orizzontali. I montanti vengono quindi in genere fissati superiormente, lungo il bordo delle solette di ciascun piano, sulle quali ripartiscono l'intero peso del rivestimento, e controventati a passo regolare (pari a 1/3 o ad 1/4 dell'altezza di interpiano) alle murature perimetrali, strutturali o di tamponamento, al fine di ridurne la luce di libera inflessione, come schematizzato in figura 3.8.

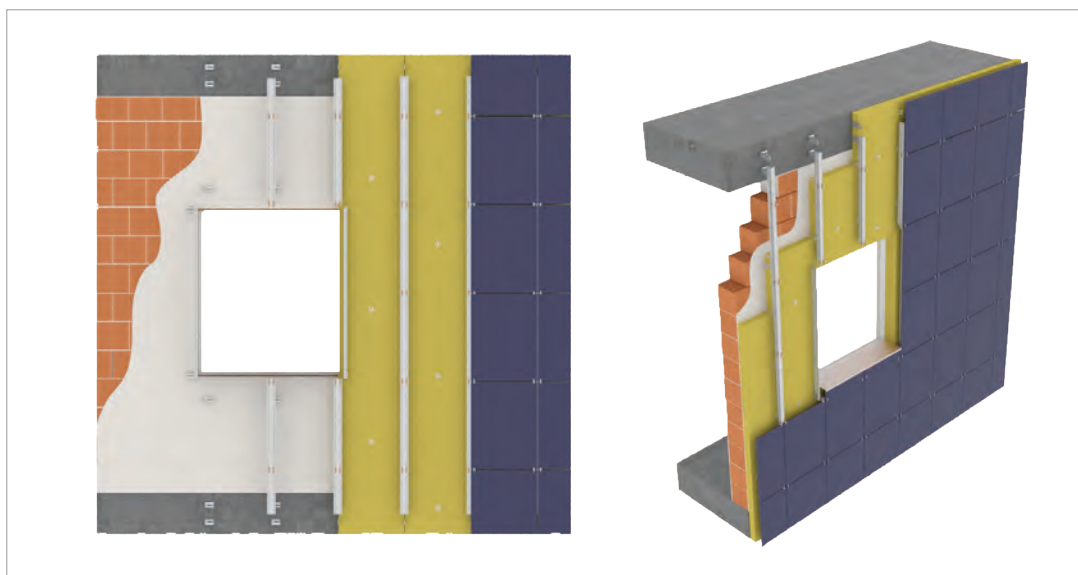


Figura 3.6 - Vista frontale e spaccato assonometrico di un rivestimento a parete ventilata con sottostruttura a montanti in lega di alluminio e lastre rettangolari a basso spessore, fissate mediante clips a vista con montaggio a scatto

³ L'accoppiamento rigido di due elementi avviene tramite un apparecchio che, non attraversando lo spessore degli elementi da accoppiare, agisce esercitando un'elevata pressione superficiale, mantenendo a contatto i due differenti elementi (montante e trasverso). Ciò facendo i due profili sono tra loro aderenti e mantenuti in posizione mediante il fenomeno dell'attrito indotto. Gli stessi inizieranno a muoversi solo qualora le sollecitazioni esterne risulteranno maggiori del valore di attrito indotto generato dagli apparecchi di connessione.

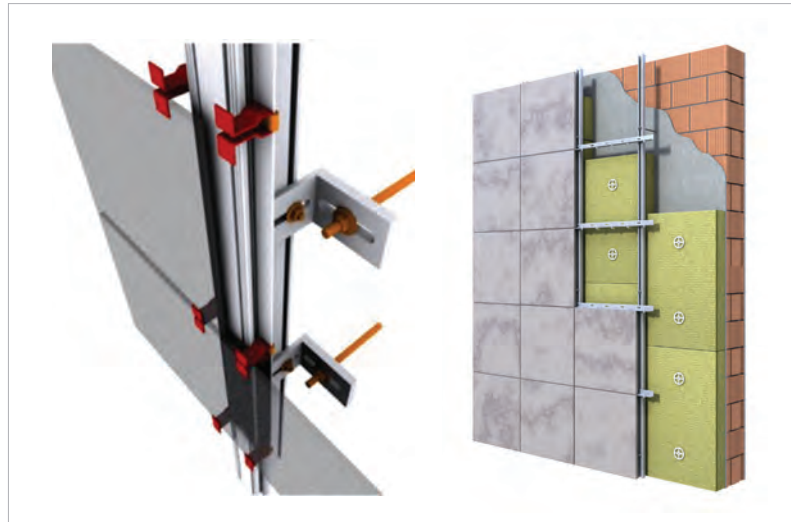


Figura 3.7 - A sinistra, spaccato di parete ventilata con sottostruttura a montanti in lega di alluminio, rivestimento in lastre sottili in gres porcellanato, fissaggio lastre con ganci a vista in acciaio smaltato collegati a scatto ai montanti. A destra, spaccato di parete ventilata con sottostruttura a montanti e traversi in acciaio inox, rivestimento in spesse lastre di marmo, fissaggio lastre con piattine nascoste inserite in fessure alla lunga ricavate nei bordi orizzontali delle lastre, a metà spessore

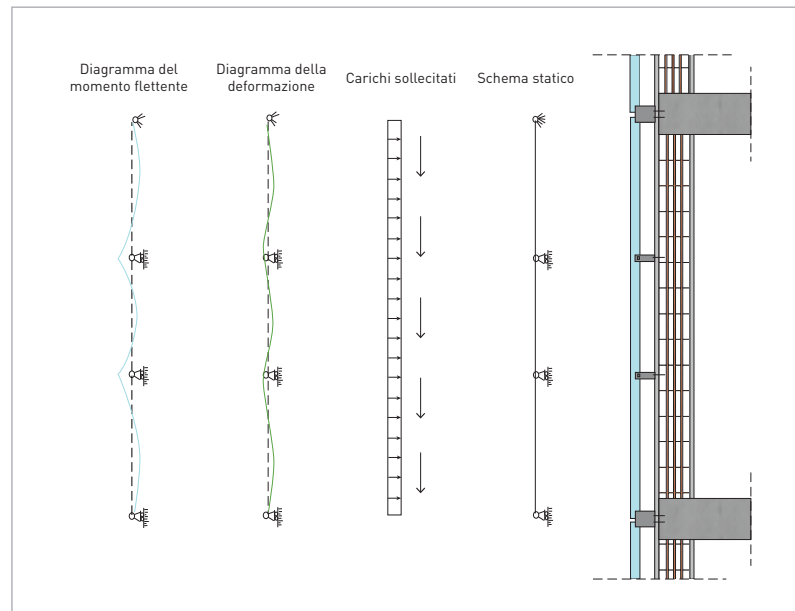


Figura 3.8 - Rappresentazione grafica di una parete ventilata a soli montanti e dei relativi: schema statico, diagramma di carico, diagramma della deformazione e diagramma del momento flettente per ciascun montante

E' preferibile che la lunghezza dei montanti sia pari a quella di interpiano, tanto per agevolarne il trasporto e la movimentazione nel cantiere e sul ponteggio, fisso o mobile che sia, quanto per conseguire un favorevole comportamento sismico riguardo all'assestamento degli spostamenti e movimenti differenziali tra piano e piano dell'edificio (i cosiddetti *drift* di piano).

Lo schema statico è del tipo a cerniera e carrelli con attrito, particolarmente indicato per il controllo delle dilatazioni termiche, l'assestamento dei movimenti dell'edificio e la naturale stabilizzazione dell'intero sistema di sottostruttura e rivestimento ad opera del suo peso proprio.

La staffa con funzionamento a cerniera funge da punto fisso mentre tutte le altre da rompitratte.

I sistemi a soli traversi sono costituiti da profili orizzontali astiformi da vincolare alla facciata rustica mediante staffe che devono permettere una loro agevole e rapida regolazione nel piano di riferimento della facciata e sulla precisa linea, in genere orizzontale, assegnata a ciascuno di essi.

Con il loro impiego accade che vi siano profili vincolati per intero alla struttura perimetrale ed altri invece alle murature di tamponamento dell'edificio. E' pertanto necessario che in tutti i punti della facciata rustica sia garantita una pari capacità di vincolo e di sostentamento dei traversi e dei carichi e sovraccarichi portati dai medesimi, il che rende più impegnativa sia la costruzione dei tamponamenti sia la scelta, il dimensionamento e la messa in opera delle staffe e dei relativi tasselli di ancoraggio.

La lunghezza dei profili non supera generalmente i 4-5 metri, per agevolarne il trasporto e la movimentazione nel cantiere e sul ponteggio, fisso o mobile che sia. Anche in questo caso, ancorché con differente giacitura, lo schema statico è del tipo a cerniera (con funzione di punto fisso, posizionata in genere ad uno dei due estremi di ciascun profilo) e carrelli con attrito (rompitratte) disposti ad interasse massimo in generale non superiore a 1,25 m.

Diversamente da quella a soli montanti, con questa tipologia di sottostruttura il peso proprio (del rivestimento, dei fissaggi e dei profili) non svolge una funzione stabilizzante.

Il rivestimento poggia sempre, corso per corso, su un'unica linea di traversi, senza ripartizioni di sorta sulle altre adiacenti, a meno che non subentrino coazioni inopportune e pericolose con le stesse.

Ciascuna linea di traversi funge da appoggio continuo per il corso soprastante e da vincolo antiribaltamento per quello sottostante. Sia sul proprio bordo inferiore sia su quello superiore, il rivestimento è fissato alla sottostruttura per mezzo di pioli, piattine o ganci metallici inseriti in fori o fresature, alla lunga o a tasca, appositamente ricavati nei bordi stessi.

La sezione dei profili ed il loro collegamento alle staffe dovrà pertanto garantire che le sollecitazioni torsionali e flettenti siano sempre assorbite senza dare luogo a deformazioni tali da indurre coazioni tra un corso e l'altro del rivestimento.

In caso contrario il rivestimento di un corso interagirebbe con quello dei corsi inferiori e superiori e con i relativi traversi, alterando lo schema statico di partenza e la necessaria condizione di reciproca indipendenza meccanica tra gli elementi del rivestimento, con conseguente rischio di lesioni, distacchi e caduta di alcuni di essi o di loro frammenti.

I sistemi a montanti e traversi (graticcio) presentano un doppio ordine di profili. I traversi ricevono dal rivestimento le sollecitazioni (verticali, orizzontali, flettenti e torcenti) e le trasferiscono ai montanti cui sono collegati che, a loro volta, le trasmettono all'edificio per il tramite dei loro punti di ancoraggio (mediante staffe). Rispetto a quelli illustrati in precedenza, questi sistemi offrono maggiore resistenza meccanica, flessibilità di montaggio e smontaggio, adattabilità a forme e geometrie complesse dell'involucro edificio, possibilità d'integrazione impiantistica, consentendo allo stesso tempo una più semplice suddivisione del piano di facciata in campi di limitata ampiezza, indipendenti uno dall'altro dal punto di vista meccanico e per quanto concerne l'assorbimento delle dilatazioni proprie e di quelle dell'edificio. Ciò è particolarmente vantaggioso anche in caso di sisma, e rende consigliabile l'impiego dei sistemi di questo tipo negli edifici di notevole altezza ed in quelli con facciate che presentano campiture opache di superficie molto ampia.



Figura 3.9 - Sottostruttura a montanti e traversi in lega di alluminio estrusa utilizzata per il montaggio del rivestimento mediante fissaggi di tipo nascosto agenti nei bordi lastra

Quella a montanti e traversi è di conseguenza la soluzione più indicata a realizzare la reciproca ottimizzazione tra sottostruttura e rivestimento per la maggior parte dei materiali oggi in commercio ed a presentare il più favorevole rapporto potenziale tra prestazioni e costi quando i requisiti di progetto siano particolarmente stringenti ed impegnativi, come nei sopracitati casi di: edifici alti, complessi, con facciate opache molto ampie, in zone ad alto rischio sismico, ecc.

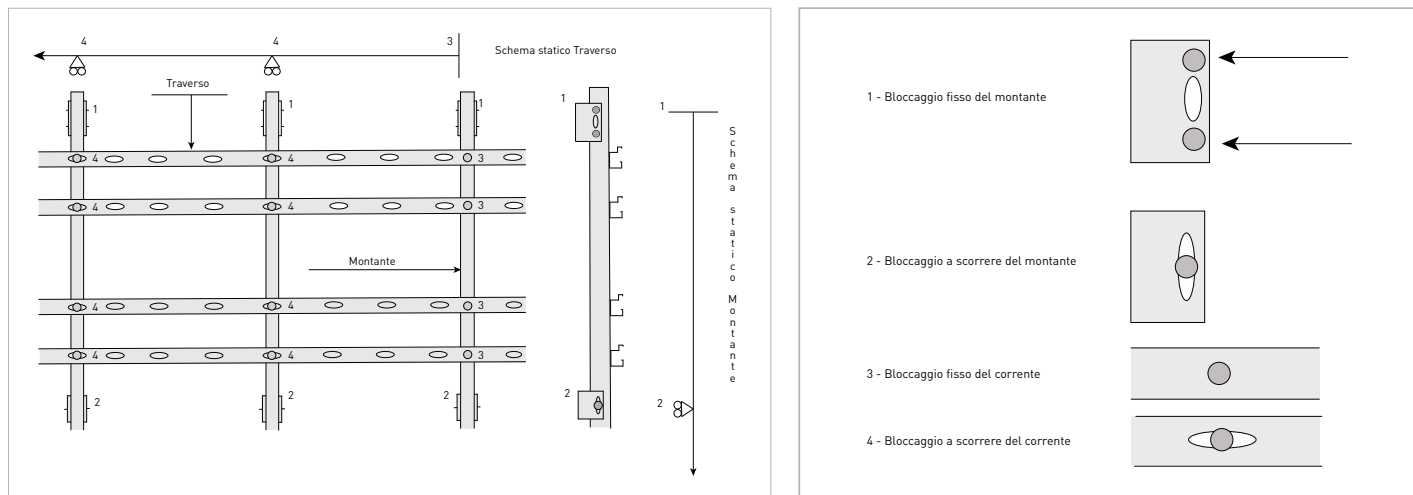


Figura 3.10 - A sinistra: schematizzazione grafica e statica di una sottostruttura per parete ventilata a montanti e traversi; a destra: modalità di vincolo dei montanti e dei traversi, punti fissi a cerniera: n. 1 e n. 3. punti scorrevoli con attrito: n. 2 e n. 4

c. Prodotti e materiali di rivestimento

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.

Le dimensioni spaziano in una gamma molto ampia che va dai piccoli sino ai grandi formati. In riferimento alle lastre si va ad esempio dai formati minimi 30 x 30 cm o 20 x 40 cm sp. 6 mm delle più piccole ed economiche piastrelle in gres porcellanato o in ceramica smaltata, a quelli massimi sino ad un limite della dimensione del lato lungo attorno ai 3 m, ossia al valore dell'altezza di interpiano, di speciali prodotti in pannelli compositi in lana di roccia ad altissima densità, ceramica, vetro stratificato o laminati di sintesi.

I materiali utilizzabili oltre che per macrofamiglie possono essere classificati per specifiche prestazioni e/o per particolari caratteristiche che si ritrovano nei prodotti che li utilizzano. Una di queste consiste nella massa areica (in Kg/m², data dalla moltiplicazione della massa volumica del materiale, simbolo -p- espressa in Kg/m³, per lo spessore medio, espresso in m, del prodotto) in base alla quale i rivestimenti possono essere suddivisi in tre categorie: leggeri, di medio peso, pesanti, ossia a: bassa, media o elevata massa areica.

Questa distinzione è molto utile ai fini della scelta della sottostruttura e, unitamente a quella dello spessore, anche dei fissaggi più indicati per l'installazione di un dato rivestimento.

Tra i rivestimenti pesanti più frequentemente utilizzati si distinguono:

- le lastre lapidee di origine naturale, caratterizzate da elevate prestazioni di resistenza meccanica e durabilità (marmo, granito, porfido, basalto, ecc., con spessori a partire da 2 cm);
- le lastre lapidee di origine naturale, caratterizzate da prestazioni meccaniche medie (travertino, arenarie, con spessori a partire da 3 cm);
- le lastre lapidee ricomposte, ottenute dall'impasto di granulati lapidei, opportunamente frantumati e selezionati, con un legante costituito da resine sintetiche, che funge da matrice di incollaggio dei vari elementi presenti (spessori a partire da 2 cm);
- le lastre di calcestruzzo armato caratterizzate dalle elevate caratteristiche di resistenza meccanica e durabilità (spessori a partire da 3 cm).

Tra quelli di medio peso di più comune impiego vi sono:

- lastre in ceramica (composto a base di argille, ossidi di ferro e sabbia, cotto ad alte temperature, 1000-1200°C). La forma degli elementi è ottenuta mediante pressatura prima della cottura in forno (spessori variabili tra 10 e 20 mm c.ca);
- lastre o tavelle in cotto, realizzate da un composto ceramico a pasta porosa ricavato dalla cottura di argille con quantità variabili di sabbia, ossido di ferro e carbonato di calcio a temperature di 850 - 1000 °C circa. La forma degli elementi è ottenuta mediante pressatura o estrusione prima della cottura (gli spessori variano da 10 a 20 mm per le lastre e da 25 a 40 mm per le tavelle);
- lastre in vetro temprato e/o stratificato colorate in pasta o smaltate (spessori minimi variabili tra 8 e 12 mm).

Tra i rivestimenti leggeri trovano impiego invece:

- lastre in ceramica sottile, materiale identificato anche come Ceramica High-Tech, ottenuto dalla cottura tra 1400 e 1700 °C di un impasto a base argilla, sabbia, ossido di ferro, caolino e allumina (gli spessori possono variare tra i 3 e i 6 mm a seconda che siano mono o bi-elemento, sempre dotate di rete sicurezza anticaduta in caso di rottura);
- lastre in gres porcellanato, realizzate con un impasto di argille refrattarie cotto a temperature elevate (1200 - 1350°C) il cui aspetto dopo la cottura è compatto, vetroso, di colore bruno, grigio o rosato compatto (gli spessori utilizzabili vanno da 6 a 20 mm c.ca);
- lastre o pannelli in fibrocemento (GRC - Glass Reinforced Concrete), materiale composito a matrice cementizia costituito da calcestruzzo con inerti a granulometria molto fine, fibre di vetro allo zirconio alcali-resistenti e copolimeri acrilici (spessori variabili tra i 4 e i 20 mm);
- lastre, pannelli, cassette, doghe in metallo e/o leghe metalliche, quali rame, titanio, leghe in alluminio, zinco-titanio, ecc. (spessori variabili da 0,7 a 2,5 mm);

- lastre o pannelli in laminato decorativo ad alta pressione (HPL), costituiti da fibre cellulosiche impregnate con resine termoindurenti di natura amino plastica ottenuti per stampaggio ad elevata pressione (9 Mpa per 90') e temperatura pari a 150°C (spessori variabili tra 6 e 20 mm);
- lastre, pannelli o cassette in composito (multistrato), realizzati tramite accoppiamento di materiali con differenti funzioni (finitura esterna, resistenza meccanica, ecc.). Tra i vari elementi vi sono i pannelli *honeycomb* o similari con differenti finiture superficiali (pietra, metallo, legno, resine, ecc.), quelli compositi in alluminio-resina-alluminio, ecc. (spessori variabili tra i 4 e i 35 mm);
- lastre o pannelli in materiali di sintesi, ottenuti con impasti di resine di sintesi autoestinguenti pigmentate in massa, pressate con elevati carichi (400-1000 t/m²) e cotte a basse temperature 150 -200°C (spessori variabili tra 4 e 20 mm);
- pannelli o doghe in legno naturale, realizzate in abete, larice, cedro, rovere, ecc. con trattamento di protezione superficiale per aumentarne la durabilità, (spessore variabile tra 10 e 40 mm);
- pannelli o doghe in legno ricomposto, realizzati con fibre di legno riciclato impastate con resine, ottenuti per stampaggio o estrusione (spessore variabile tra 6 e 15 mm);
- pannelli o doghe in materiale sottile composito in lana di roccia ad alta densità ottenuta per termo-compressione, con finitura superficiale liscia e colorata in stabilimento in una vasta gamma cromatica (spessori di 6, 8 e 10 mm).

| Materiale | P (Kg/dm ³) | Materiale | P (Kg/dm ³) | Materiale | P (Kg/dm ³) |
|--------------|-------------------------|-----------|-------------------------|------------------|-------------------------|
| Abete | 0,35 – 0,75 | Ceramica | 2,40 | Porfido | 2,50 – 2,60 |
| Acciaio | 7,85 | Granito | 2,50 – 3,0 | Quarzo | 2,50 |
| Alluminio | 2,60 | Gres | 2,40 – 2,80 | Rame | 8,90 |
| Arenaria | 2,30 | GRC | 2,00 | Resine | 1,20 – 1,80 |
| Basalto | 2,80 – 2,95 | Laterizio | 1,50 – 1,65 | Legno ricomposto | 0,90 – 1,60 |
| Calcestruzzo | 2,20 – 2,50 | Larice | 0,50 – 0,85 | Travertino | 2,60 – 2,75 |
| Cedro | 0,57 | Marmo | 2,40 – 2,80 | Vetro | 2,40 – 2,70 |

Tabella 3.1 - Valori della massa volumica di materiali frequentemente utilizzati nei rivestimenti a parete ventilata

Gli spessori minimi degli elementi di rivestimento sono sempre dettati *in primis* dalle caratteristiche meccaniche del materiale costituente e, in particolare, della modalità di rottura, duttile o fragile, sotto le massime azioni sollecitanti previste. Questo vale sia per i materiali leggeri che per quelli di peso medio o elevato. Nel caso dei rivestimenti leggeri, se gli spessori sono particolarmente ridotti e le dimensioni dell'elemento grandi, è buona norma abbinare loro un rinforzo (tipo rasatura sul retro armata con rete sintetica che ne eviti lo sgancio in caso di rottura) e/o un dispositivo di ritenzione (che li trattenga in caso di sgancio o rottura), specialmente quando essi abbiano comportamento a rottura di tipo fragile, come la ceramica o il vetro.

I rivestimenti più porosi (ad es. cotto e travertini) ed eventualmente anche friabili e/o comprendenti inclusioni poco compatte e coese (ad es. arenarie) esprimono migliore immagine, resistenza all'esposizione e sicurezza se, dopo l'installazione, sottoposti a lavaggio e a trattamento idrorepellente con specifico prodotto impregnante da ripetere periodicamente a cadenza variabile tra 5 e 10 anni a seconda di: composizione e porosità del materiale, composizione atmosferica, indice pioggia vento, esposizione e dilavamento del fronte, composizione del protettivo, quantità applicata, ecc.

d. Fissaggi del rivestimento

Per collegare e vincolare il rivestimento agli apparecchi o alle sottostrutture deputate a sostenerlo e a tenerlo in posizione si utilizzano appositi fissaggi. Questi appartengono a due tipi fondamentali detti rispettivamente: a vista o nascosto.

Al primo tipo appartengono: mollette, clips e ganci agenti direttamente sui bordi degli elementi di rivestimento nonché viti, rivetti e bulloni passanti da inserire frontalmente in fori opportunamente distribuiti lungo i bordi e, per gli elementi più sottili e di ampia superficie anche in mezzzeria o lungo altre linee di frazionamento della loro larghezza o altezza.

Questi dispositivi sono realizzati prevalentemente in acciaio inox, acciaio armonico o in lega di alluminio, a seconda del peso degli elementi del rivestimento cui devono essere abbinati e delle loro modalità di collegamento, meccanico o a scatto, al mezzo di supporto.

Tutti loro possiedono una superficie frontale molto piccola e, sempre che il loro colore non sia in netto contrasto con quello del rivestimento, rimangono poco visibili e distinguibili ad occhio nudo solo sino a una distanza di pochi metri dalla facciata. Per mimetizzarli al massimo si ricorre a smaltature o a trattamenti anodici in tinta con il rivestimento.

Il secondo tipo comprende: squadrette, piattine, clips, mollette, spinette, pioli o boccole da inserire in fori o fresature, alla lunga o a tasca, ricavati nello spessore dei bordi oppure sul retro di ciascun elemento formante il rivestimento della facciata.

Questa modalità di fissaggio non risulta visibile neppure osservando la facciata da distanza molto ravvicinata, tanto che, in sede di verifica o collaudo, non sempre risulta agevole identificarne con certezza la presenza ed il corretto inserimento nelle sedi previste ed una eventuale loro sostituzione con soluzioni non conformi.

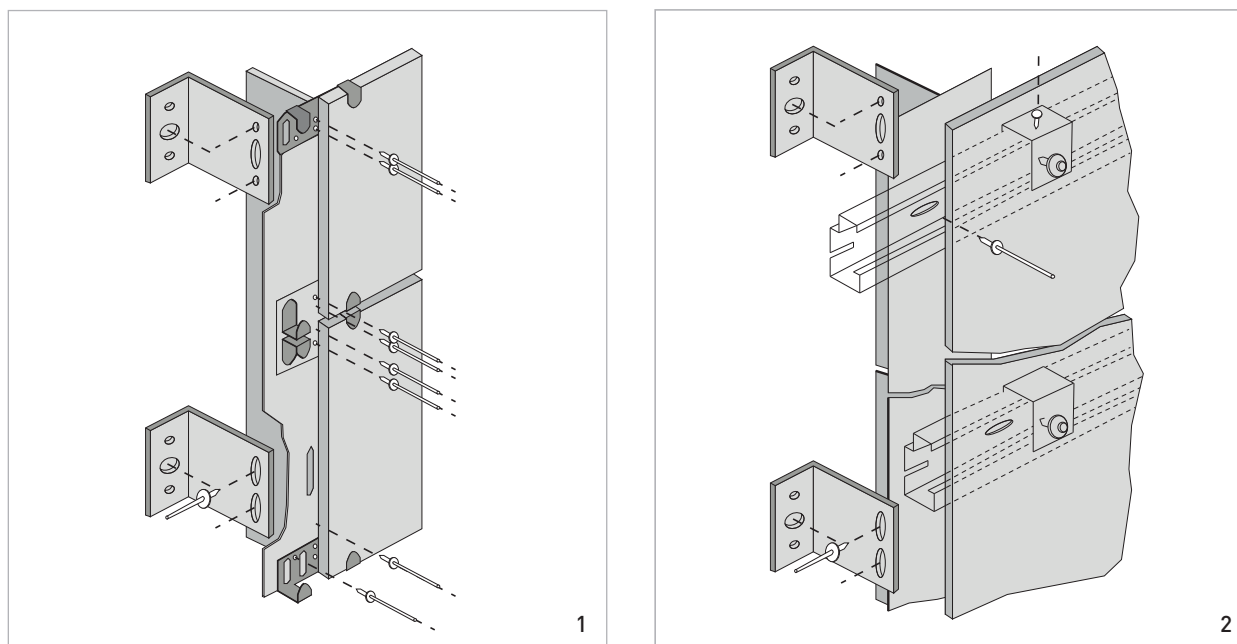


Figura 3.11 - A sinistra, fissaggio di lastre sottili con ganci a vista collegati ai montanti di sottostruttura tramite viti o rivetti; a destra, fissaggio di lastre sottili mediante boccole nascoste, inserite sul retro delle stesse e collegate ai traversi della sottostruttura tramite apparecchi ad aggancio

Nella categoria dei fissaggi nascosti rientrano quelli a gravità realizzati intagliando o sagomando opportunamente i bordi di pannelli conformati a cassetta in modo che gli stessi possano essere tenacemente agganciati alla sottostruttura tramite appositi perni o risalti orizzontali. In questi casi sono quindi i bordi stessi dei pannelli di rivestimento a realizzare direttamente il fissaggio nascosto alla sottostruttura.



Figura 3.12 - Schematizzazione di un sistema a montanti con rivestimento metallico a cassetta il cui fianco è appositamente conformato per poter essere appeso al montante, realizzando così una modalità di fissaggio nascosta

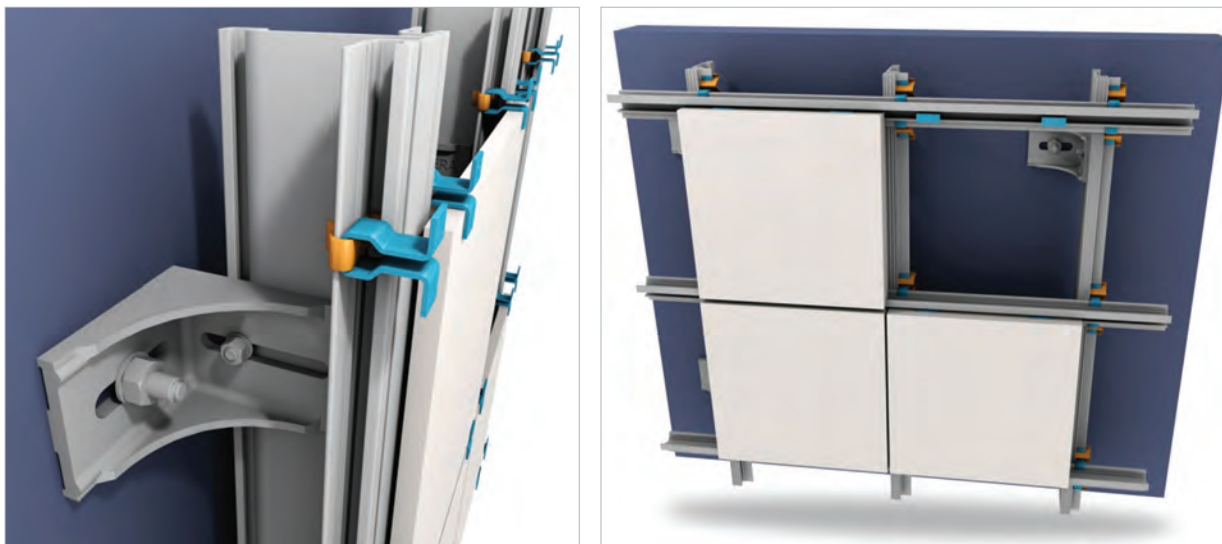


Figura 3.13 - Esempi di fissaggi a scatto per i collegamenti rivestimento/sottostruttura e per l'assemblaggio della sottostruttura

A sinistra: fissaggio con ganci a vista di un rivestimento in lastre di gres porcellanato, sp. 12 mm, su di una sottostruttura a montanti; i ganci sono a loro volta fissati ai profili in alluminio estruso mediante clips a scatto in acciaio armonico

A destra: fissaggio con mollette nascoste di lastre in marmo, sp. 3 cm. Le mollette agganciano le lastre entro fresature alla lunga ricavate nei bordi orizzontali e si fissano a scatto nella gola dei traversi; questi sono a loro volta collegati ai montanti mediante connettori a scatto

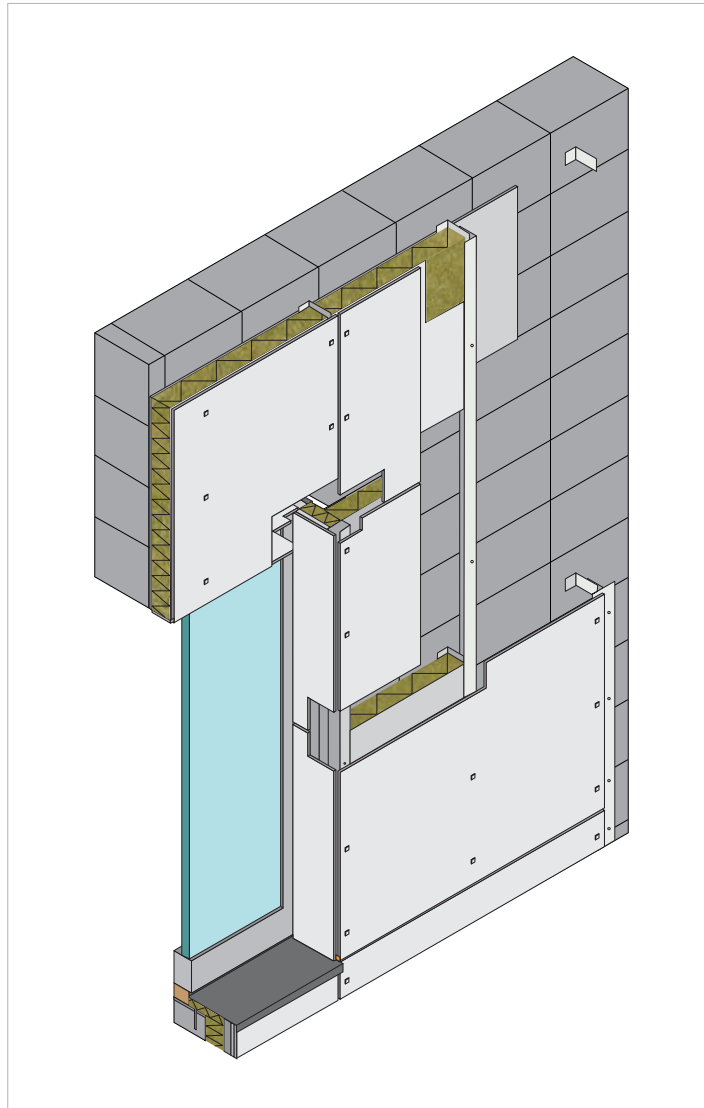


Figura 3.14 - Schematizzazione assonometrica in corrispondenza di un serramento di un sistema di rivestimento a parete ventilata con sottostruttura a montanti in lega di alluminio e pannelli di rivestimento compositi sottili in lana di roccia ad alta densità con fissaggio a vista mediante rivetti

CAPITOLO 4

Progettazione e realizzazione

Come ogni altra parte fondamentale dell'organismo edilizio, anche l'involucro verticale opaco deve essere progettato e realizzato con particolare cura ed attenzione, nella sua sezione corrente ed in tutti i particolari di dettaglio, al fine di garantirne il corretto funzionamento ed il raggiungimento di tutte le prestazioni attese.

Lo stesso vale per i sistemi a parete ventilata che, in genere, realizzano la parte più tecnica e prestazionale dell'involucro opaco verticale.

Di seguito i passi essenziali della progettazione e dell'installazione di una parete ventilata e la proposta di una metodologia per la guida e il controllo di queste due fondamentali fasi processuali.

a. Progettazione di un sistema di rivestimento a parete ventilata

Preliminarmente si evidenzia che la progettazione e la realizzazione di un rivestimento a parete ventilata da installare in edifici di nuova costruzione si differenzia da quella di una riqualificazione architettonica e prestazionale.

Nel caso di un nuovo edificio, il sistema di rivestimento a parete ventilata dovrà essere infatti parte integrante del progetto dell'intero organismo edilizio-impiantistico, mentre in quello della riqualificazione potrà essere solo uno strumento del parziale adeguamento del suo livello tecnologico e delle sue prestazioni, in base all'esito di una analisi della consistenza e delle prestazioni residue dell'esistente muratura di facciata e di eventuali interventi di consolidamento o adeguamento della stessa (ad esempio: bonifica lesioni, scrostatura intonaco, rimozione piastrelle di rivestimento, ecc.), di obiettivi prestabiliti e della disponibilità di budget economico.

Scelta del materiale isolante

Come indicato al precedente capitolo 2, vari sono i materiali isolanti impiegabili nei sistemi a parete ventilata, in forma di pannelli rigidi/semirigidi oppure in materassini, con cui realizzare un performante strato d'isolamento dell'edificio. La scelta del materiale isolante da inserire nell'intercapedine di una parete ventilata deve essere fatta valutando le prestazioni che l'involucro di facciata (parete e rivestimento) deve garantire, nonché le peculiarità del materiale isolante, le modalità e la velocità della sua posa.

Tra i compiti che il progettista del rivestimento è chiamato ad assolvere, vi è anche quello di individuare il materiale isolante che meglio si presta ad essere utilizzato nella fattispecie, ciò al fine di sfruttare appieno ed al meglio le sue caratteristiche. Tale scelta deve essere svolta considerando e soppesando vari parametri quali: trasmittanza termica, resistenza meccanica, classe di reazione al fuoco, stabilità dimensionale, comportamento acustico, assorbimento d'acqua, permeabilità al vapore ecc. e, da ultimo, il costo, così da identificare l'opzione più vantaggiosa.

Scelta del materiale di rivestimento

La scelta del materiale di rivestimento dipende prevalentemente dal tipo di architettura e dall'effetto estetico che si vuole ottenere, oltre che dal budget economico. Al precedente capitolo 3 si è accennato quanto oggi l'offerta di materiali da rivestimento sia ampia e varia in relazione a famiglie, formati, pesi propri e caratteristiche di finitura superficiale. Optare per un materiale oppure per un altro è una scelta di carattere architettonico influenzata dalla forma dell'edificio, dalla sua collocazione e da altri numerosi fattori quali: costo, disponibilità, durabilità, sostenibilità, ecc. Tale scelta è generalmente di competenza del progettista che presiede al disegno dell'architettura dell'intero organismo.

Il materiale, le forme e le dimensioni con i quali realizzare gli elementi di rivestimento dovranno sposarsi con l'estetica e la geometria dei singoli prospetti (pendenze, inclinazioni, curvature, ecc.), essere altresì idonei al montaggio meccanico ed alla movimentazione manuale nel cantiere e sul ponteggio da parte di uno o due operatori addetti alla sua installazione, assicurare adeguata resistenza alle sollecitazioni in gioco, quali ad esempio vento, sisma e fuoco.

La scelta delle dimensioni e del peso degli elementi di rivestimento, oltre ad influenzare in modo significativo la composizione architettonica della facciata, incide notevolmente sul prezzo finale dell'opera, non solo per il costo diretto degli stessi, sfridi e scorte inclusi, ma anche per la conseguente scelta degli elementi di supporto e fissaggio e per le modalità di movimentazione e posa in cantiere.

L' idoneità all'impiego del o dei materiali prescelti deve essere sempre valutata attentamente ed oggettivamente sia su base documentale (certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni, schede tecniche, dati di letteratura) sia mediante prove sperimentali di laboratorio per stabilire le principali caratteristiche chimico-fisiche (resistenza meccanica, resistenza al gelo e disgelo, resistenza agli UV, resistenza alla corrosione da piogge acide, ecc.) ed i comportamenti e la resistenza all'interazione con gli elementi di fissaggio (pioli, clips, kerf, boccole, ecc.).

Scelta del formato (modulo) degli elementi di rivestimento e definizione del casellario di facciata

Individuato il materiale di rivestimento, la progettazione della parete ventilata procede con la definizione delle dimensioni dei formati standard e specifici dei vari elementi, redigendo, fronte per fronte, il relativo casellario, al fine di:

- confermare o adeguare il disegno di ciascuna facciata dell'edificio secondo le indicazioni del progettista architettonico;
- individuare tipo e numero degli elementi componenti il rivestimento, distinguendoli in base alle rispettive dimensioni;
- ridurre al minimo gli sfridi di produzione ed installazione degli elementi di rivestimento;
- ottimizzare il rapporto costo/dimensione di ogni singolo elemento di rivestimento;
- individuare numero, tipologia ed ubicazione dei pezzi speciali con i quali completare la facciata.

Durante la redazione dei casellari di facciata si cerca in genere di ridurre il numero dei formati necessari, al fine di velocizzare e semplificare le operazioni di posa in cantiere ed abbatterne i costi. Il progetto del rivestimento deve perciò conciliare il più possibile le esigenze compositive con l'ottimizzazione del rapporto costi/prestazioni, senza peraltro mai trascurare le modalità di messa in opera del materiale.

Scelta del sistema di fissaggio lastre

La scelta del fissaggio degli elementi di rivestimento può anch'esso influenzare l'aspetto estetico, dal momento che i dispositivi utilizzabili possono essere del tipo a vista oppure nascosto. Il progettista architettonico che, in genere non si occupa del progetto esecutivo/costruttivo della facciata ventilata che, pertanto, viene demandato ad un tecnico specialista o, in molti casi, al facciatista sub appaltatore dell'impresa di costruzione, spesso indica solamente la tipologia di fissaggio del rivestimento (a vista o nascosto) lasciando poi ad altri il compito di definire in dettaglio la soluzione. Tipo e numero degli apparecchi di fissaggio alla sottostruttura dipendono dalla tipologia di materiale, dal formato degli elementi di rivestimento, dalle caratteristiche di resistenza meccanica, dalle sollecitazioni, dalla complessità dei fronti e dal sistema di supporto del rivestimento (sottostruttura o fissaggio puntuale).

Nella tabella seguente si riportano i principali materiali impiegabili, indicandone al contempo le dimensioni tipiche e le tipologie di fissaggio maggiormente impiegate.

| Classificazione del materiale in base al peso | Tipologia di materiale | Configurazioni e dimensioni più utilizzate | Tipologia di fissaggio |
|---|--|---|--|
| Leggeri | Legno e legno ricomposto | Doghe: 250x30x2,5 cm | A vista: viti Nascosti: clips sui bordi |
| | Metalli, leghe metalliche e compositi metallo-plastica | Pannelli o cassette: 60x60; 90x60 cm | A vista: viti, rivetti Nascosti: nei bordi |
| | GRC | Pannelli: 250x100 cm Lastre: 120x60 cm Doghe: 200x50 cm | A vista: viti, rivetti |
| | Materiali di sintesi | Pannelli: 250x100 cm Lastre: 120x60 cm Doghe: 200x50 cm | A vista: viti, rivetti Nascosti: clips nei bordi |
| | Pannelli sottili compositi in lana di roccia | Pannelli: 60x60, 90x60, 120x60, 180x90 cm | A vista: ganci, viti, rivetti Nascosti: clips |
| Medio peso | Ceramica e gres | Lastre: 45x60, 60x60, 90x60 cm | A vista: ganci sui bordi Nascosti: clips nei bordi, boccole sul retro |
| | Laterizio | Tavelle: 60x30, 60x45, 90x45 cm | Nascosti: clips nei bordi |
| | | Lastre: 45x60, 60x60 cm | A vista: ganci sui bordi Nascosti: clips nei bordi |
| | Vetro | Lastre: 60x60, 90x60, 120x60 cm | A vista: piattine, viti, ganci sui bordi Nascosti: clips nei bordi, boccole sul retro |
| Pesanti | Pietre naturali e ricomposte | Lastre: 60x40, 60x60, 90x60 cm | A vista: ganci sui bordi Nascosti: clips nei bordi, boccole sul retro |
| | Calcestruzzo armato | Lastre: 45x45, 60x60, 90x60 cm | A vista: ganci sui bordi Nascosti: clips sui bordi, boccole sul retro |

Tabella 4.1 - Indicazione dei principali materiali, delle forme, delle dimensioni e della modalità di fissaggio impiegati per la realizzazione di sistemi di rivestimento a parete ventilata. Si trascurano le modalità di fissaggio del rivestimento mediante incollaggio in quanto non contemplato nella norma UNI 11018:2003

Scelta del supporto del rivestimento

La scelta del tipo di rivestimento e delle sue modalità di fissaggio, l'analisi delle prestazioni attese dalla soluzione (meccaniche, di isolamento termico ed acustico, di comportamento in caso di incendio e sisma, di durabilità e sostenibilità, ecc.) consentono al progettista di propendere per una soluzione con sottostruttura oppure con apparecchi di supporto puntuali. Tra gli aspetti che influenzano maggiormente tale scelta vi sono lo spessore dell'isolante e lo sbalzo del rivestimento dalla facciata al rustico, così come indicato al precedente capitolo 3.

Edifici i cui fronti possiedono geometria semplice, limitata altezza e superficie, spessori d'isolamento contenuti, possono essere risolti anche con apparecchi puntuali. Ciò a patto che il supporto murario garantisca adeguata resistenza meccanica e planarità. In alternativa possono essere impiegati sistemi con sottostruttura, i quali ben si prestano all'impiego su edifici di grandi dimensioni, elevata altezza, complessa geometria di facciata (inclinazioni, pendenze, curvature, elevato numero di aggetti, ecc.).

Definizione dei dettagli di facciata

Dopo aver definito i materiali di rivestimento, la tipologia di fissaggio ed il sistema di supporto, occorre sviluppare in dettaglio il progetto del rivestimento a seconda della formula di affidamento lavori, definitivo o esecutivo, sulla base del quale l'impresa elaborerà un proprio progetto costruttivo/operativo indispensabile per approvvigionare i materiali ed i componenti da impiegare e definire modalità e tempistiche di realizzazione.

I contenuti minimi che il progetto esecutivo/costruttivo dovrà contenere sono:

- relazione di progetto all'interno della quale si descrivono i componenti del sistema e le modalità di montaggio del rivestimento;
- relazione di calcolo in base alla normativa vigente (tra cui: D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni, Circolare 617 del 2 febbraio 2009 – Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2008, UNI 11018:2000 – Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciata ventilate a montaggio meccanico. Istruzioni per la progettazione l'esecuzione e la manutenzione. Rivestimenti lapidei e ceramici) per quanto concerne il dimensionamento e la verifica (statica e dinamica) del rivestimento nel suo complesso;
- relazione di calcolo con relative verifiche in termini di isolamento termico e risparmio energetico (D.Lgs. 192/2005 – Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia; D.Lgs. 311/06 – Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs. 192/05; D.P.R. 59/2009 – Regolamento di attuazione dell'articolo 4 c. 1, lettere a. e b. D.Lgs. 192/05);
- relazione di calcolo/verifica dell'isolamento acustico (UNI EN ISO 12354-1/3 "Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti", UNI TR 11175 "Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale", D.P.C.M. 5 Dicembre 1997 – Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici);
- relazione sulla valutazione della sicurezza in caso d'incendio (tra cui: Decreto 10 marzo 2005 – Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso d'incendio e s.m.i. al Decreto 25 ottobre 2007; Decreto 16 Febbraio 2007 – Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione; Decreto 9 marzo 2007 – Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco; Circ. n.5043 del 15/04/2013 dei VV.F. Guida tecnica su Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili);
- tavole progettuali riportanti sezioni verticali ed orizzontali del sistema di rivestimento, con indicazione delle caratteristiche, tipologie e spessori dei materiali da impiegare;
- tavole progettuali con dettagli e nodi costruttivi del sistema di rivestimento (sezioni verticale ed orizzontale in corrispondenza di: serramenti, spigoli dell'edificio, attacco a terra, coronamento volumi aggettanti, balconi, logge, interfaccia con altri sistemi di finitura/rivestimento dell'edificio, integrazione con sistemi di raccolta e smaltimento acque meteoriche, griglie e/o camini di presa o espulsione aria, giunti di dilatazione strutturali, sistemi di manutenzione facciate, ecc.), con indicazione di tipologie e caratteristiche di componenti e materiali da utilizzare. Per nodi particolarmente complessi è consigliabile eseguire anche una modellazione 3D per individuare con precisione fattibilità ed eventuali criticità di assemblaggio dei vari componenti.

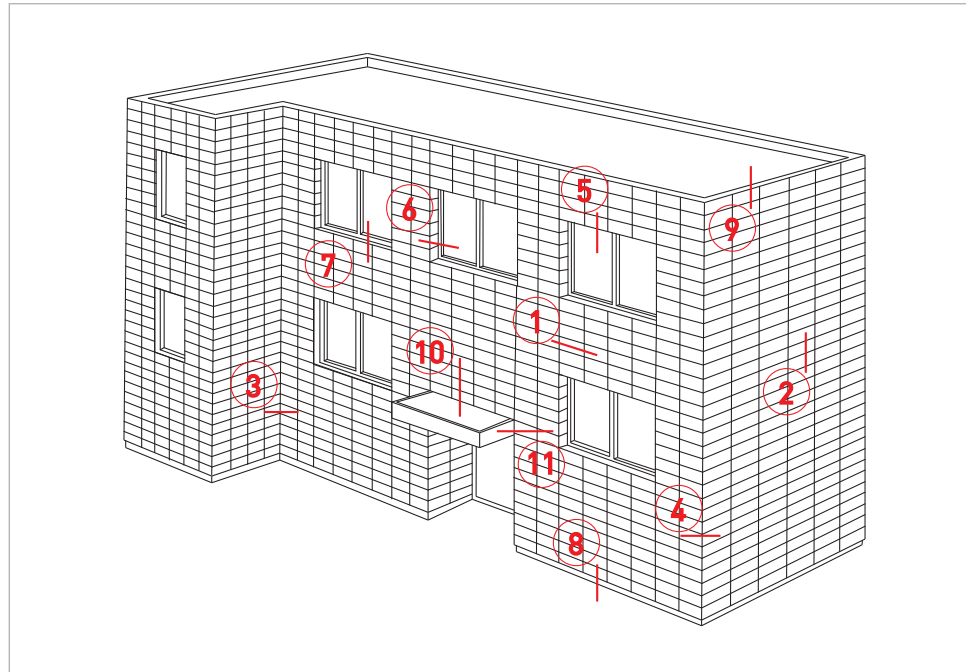


Figura 4.1 - Indicazione dei principali nodi di dettaglio del rivestimento da sviluppare nel progetto

Durante le fasi di analisi, studio e sviluppo dei nodi di dettaglio, il progettista deve necessariamente considerare anche le modalità di manutenzione del rivestimento e valutare come accedere alle superfici di facciata in modo semplice e sicuro. Ciò al fine di agevolare le operazioni di manutenzione ordinaria ed eventuali interventi straordinari, quali ad esempio smontaggio e rimontaggio o sostituzione di elementi del rivestimento.

Integrazione impiantistica e interfaccia con altri elementi in facciata

I sistemi di rivestimento a parete ventilata ben si prestano, grazie soprattutto alla presenza di una intercapedine tra rivestimento e facciata, ad essere integrati con sistemi e dispositivi impiantistici, quali:

- raccolta e scarico acque meteoriche. I pluviali di smaltimento dell'acqua piovana possono essere alloggiati all'interno dell'intercapedine al fine di nascondere la presenza e liberare di conseguenza i prospetti di facciata. La collocazione in intercapedine dei medesimi deve essere prevista sin dalle prime fasi progettuali, in quanto lo spazio occupato da un pluviale non si concilia con le normali dimensioni della stessa. Ciò potrebbe anche comportare una riduzione localizzata dello spessore e delle relative proprietà dello strato d'isolante, oppure la formazione di apposite nicchie nella muratura e riseghe o asole nelle solette, senza, in ogni caso, dare luogo a significativo calo delle prestazioni termiche ed acustiche dell'involucro. Buona norma indispensabile in proposito è l'adozione di fissaggi che consentano il rapido e semplice smontaggio e rimontaggio degli elementi di rivestimento in corrispondenza delle reti impiantistiche alloggiate in intercapedine;
- impianti di automazione e speciali a servizio di singole unità immobiliari, quali: movimentazione di sistemi d'oscuramento di tipo avvolgibile o a lamelle, tende da sole esterne, sistemi di videosorveglianza, sistemi antifurto e antintrusione, rilevamento presenze, sistemi d'illuminazione, ecc. Tutti questi sistemi e componenti di corredo dell'edificio delle singole unità abitative si interfacciano direttamente con il sistema di rivestimento sia per quanto concerne le moda-

lità di fissaggio di componenti e terminali, sia per l'installazione dei cablaggi che vengono solitamente fatti passare in intercapedine. I sistemi d'oscuramento e le tende da sole esterne necessitano in particolare di una struttura di sostegno quasi sempre ancorata alla retrostante muratura di tamponamento e/o alle strutture dell'edificio. Per l'installazione di apparecchi e sensori appartenenti alle altre categorie d'impianto (videosorveglianza, sistemi antintrusione, rilevamento presenze, ecc.) è in genere opportuno predisporre ed integrare appositi staffaggi di adeguata resistenza meccanica che non interagiscano con il rivestimento;

- cartelloni e insegne luminose. Eventuali cartelloni o insegne necessitano di apposita baraccatura di sostegno, quasi sempre ancorata alla retrostante muratura di tamponamento e/o alle strutture dell'edificio (travi e pilastri). Essa si deve raccordare o sovrapporre alla facciata senza interagire con il suo rivestimento. Anche in questo caso, è pertanto necessario predisporre un accurato progetto che consideri eventuali interferenze o aspetti critici di realizzazione ed eviti il ricorso a delatorie soluzioni improvvisate in cantiere;
- pannelli solari (di tipo fotovoltaico e/o solare termico) per lo sfruttamento di energia derivante da fonti rinnovabili. I pannelli solari sono tra i principali elementi che si prestano ad essere installati ed integrati all'interno di un sistema di rivestimento a parete ventilata. Ciò grazie alla loro modularità, al ridotto spessore e peso, nonché alla possibilità di installazione mediante apparecchi e dispositivi meccanici di sostegno e ritegno che ben si sposano con le sottostrutture dei rivestimenti a parete ventilata. I cablaggi elettrici e le reti idrauliche (per i pannelli o collettori solari termici) essendo collocate in intercapedine, devono essere facilmente raggiungibili e manutenibili. A tale scopo è consigliabile prevedere, in punti strategici e predefiniti, la smontabilità degli elementi di rivestimento.

Sistemi di accesso alle facciate

Per consentire un'agevole esecuzione delle operazioni di manutenzione ordinaria e/o straordinaria, sia del rivestimento che degli impianti integrati in facciata, è consigliabile che, fin dalle prime fasi progettuali, sia prevista la modalità di accesso all'occorrenza, e ove ve ne sia l'opportunità e la convenienza, tramite sistemi permanenti a navicella su gru o binari. Ove previsti, tali sistemi possono essere utilizzati non solamente per le operazioni di pulizia periodica ad edificio ultimato (ad es. pulizia di vetri, pannelli fotovoltaici, lavaggio lastre, etc.), ma anche ed eventualmente per gli stessi lavori di costruzione dell'edificio, per la riparazione-sostituzione di elementi di facciata, per allestimenti pubblicitari ed altro ancora. Moltissime lavorazioni di finitura possono essere eseguite direttamente tramite questi sistemi, eliminando o riducendo drasticamente sia i costi per il noleggio di piattaforme mobili temporanee o ponteggi, sia le tempistiche legate al loro posizionamento/installazione. Se da un lato quindi negli interventi di nuova costruzione l'ideale sarebbe prevedere sistemi di accesso permanente alle facciate già in sede di progetto, dall'altro è opportuno che tali sistemi siano il più possibile flessibili, in modo da potersi efficacemente utilizzare anche in interventi su edifici esistenti, laddove spesso l'aspetto manutentivo non è stato in precedenza valutato in modo adeguato.

Le tipologie oggi più diffuse e utilizzate sul mercato (tralasciando quelle più tradizionali, quali scale aeree su braccio, piattaforme idrauliche e trabattelli) sono riconducibili ai sistemi con piattaforme sospese a livello variabile (tra cui le unità di manutenzione permanente - BMU: *Building Maintenance Unit* - e le piattaforme sospese temporanee - TSP: *Temporary Suspended Platform*), scale e passerelle mobili (ad azionamento manuale o meccanizzato) e operatori in fune. Questi sistemi di accesso alle facciate sono realizzati tramite:

- gru fisse (unità di manutenzione permanente - BMU) collocate in copertura dotate di braccio telescopico installato su basamento rotante. Il cestello collocato all'estremità del braccio, qualora i fronti dell'edificio siano verticali e privi di aggetti e/o rientri, è in grado di raggiungere ogni punto del rivestimento di facciata. Questi sistemi sono caratterizzati da un elevato peso del macchinario posto in copertura, che deve essere perciò considerato durante le fasi progettuali dell'edificio. Difficilmente una sua collocazione può avvenire su edifici esistenti;
- piattaforme sospese con sistema di movimentazione collocato in copertura. Tali macchinari dotati di sistemi di traslazione orizzontale si muovono su binari o monorotaie installate all'interno o all'esterno del filo di gronda dell'edificio. Nel primo caso, la piattaforma vincolata ad un carrello che si muove lungo binari collocati sul perimetro dell'edificio viene calata mediante elementi di sospensione e permette agli operatori di raggiungere ogni punto della facciata. Tale dispositivo necessita di spazi liberi e di dimensioni adeguate in copertura per poter essere installato ed utilizzato. La seconda tipologia di navicella è dotata di binario fisso, collocato esternamente al coronamento dell'edificio, sul quale si muovono i carrelli di movimentazione. Tale sistema, a differenza del precedente, può essere dotato di binari con cremagliera che permettono di superare anche differenze di quota, per cui risulta più flessibile e meglio adattabile ad ogni tipologia di facciata;

- operatori in corda. Questo sistema prevede degli ancoraggi in copertura ai quali si assicurano, mediante corde ed imbragature, operatori specializzati per calarsi in facciata. Tale sistema necessita di spazi ridotti in copertura ed è utilizzabile sia su edifici esistenti (dove spesso vi è l'impossibilità di installare un sistema meccanizzato di accesso alle facciate), sia su edifici di nuova costruzione, in particolare laddove le geometrie sono assai complesse e con superfici difficilmente raggiungibili con sistemi TSP e BMU.

Qualora non si possa o non si voglia dotare gli edifici di sistemi di accesso alle facciate (ad esempio in immobili di pochi piani, di semplice geometria e con sufficiente spazio libero alla base), è comunque buona norma prevedere degli accorgimenti per agevolare il montaggio di un ponteggio tradizionale per l'esecuzione delle operazioni di manutenzione. Considerando il sistema a parete ventilata, è possibile predisporre elementi di ancoraggio "nascosti". Trattasi di ancoraggi connessi alle parti strutturali dell'edificio e installati dietro il rivestimento, la cui parte terminale è costituita da un elemento piatto in acciaio, dotato di foro, in grado di ruotare ed emergere dalla fuga del rivestimento. Questo permette l'innesto del gancio di ancoraggio del ponteggio senza necessità di smontare le lastre di rivestimento, velocizzando così le operazioni di manutenzione. Specifiche indicazioni relative alla collocazione di questi ancoraggi devono essere riportate all'interno del fascicolo dell'opera e sulle tavole *as-built*.

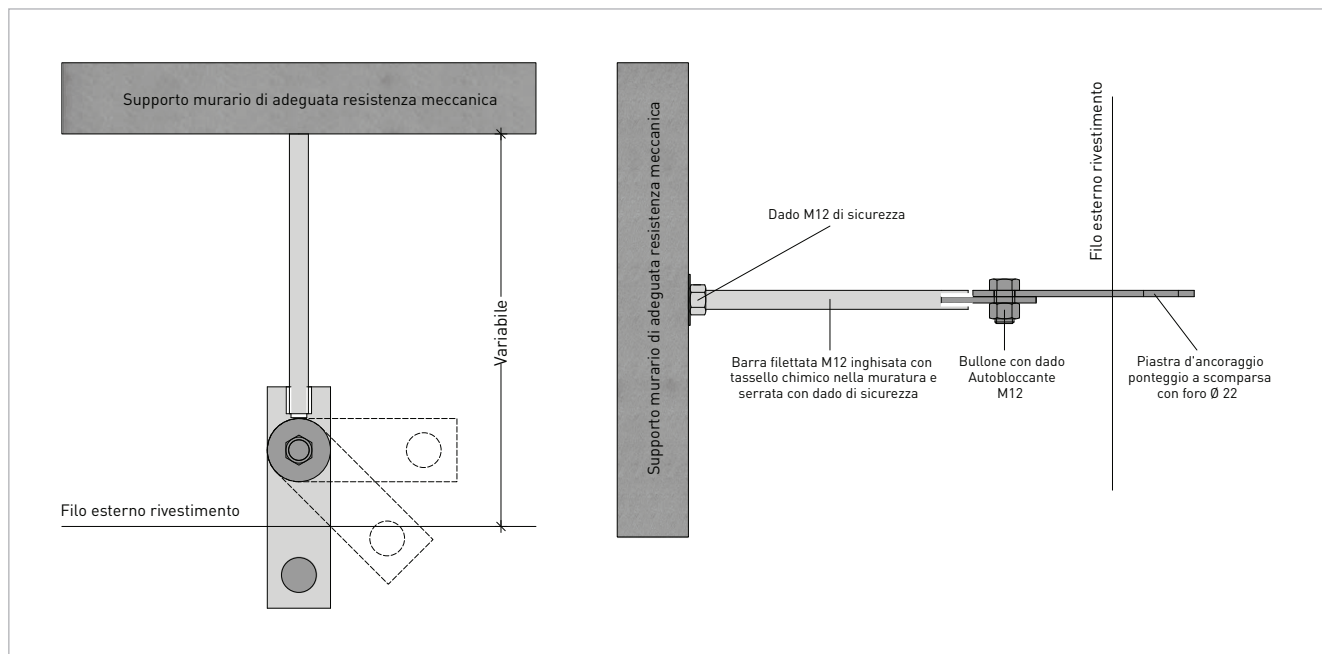


Figura 4.2 - Schematizzazione di piastra a scomparsa per l'ancoraggio ponteggio in facciata. Tale sistema permette, all'occorrenza, di poter nuovamente elevare il ponteggio senza dover smontare gli elementi del rivestimento. Una mappatura dei punti di ancoraggio del ponteggio deve essere inserita nel fascicolo dell'opera

In sintesi, è necessario che, anche ai fini della manutenzione, ogni sistema ed elemento costituente il rivestimento venga definito e correttamente interfacciato con quelli adiacenti, che siano riportate in progetto in modo chiaro le indicazioni di montaggio, smontaggio e sostituzione e che non vi siano carenze progettuali, al fine di non lasciar spazio ad interventi improvvisati da parte degli installatori.

b. Tipologie d'intervento: nuova costruzione e riqualificazione architettonico energetica di edifici esistenti

Il progetto per la realizzazione di un sistema di rivestimento a parete ventilata si può differenziare in alcune sue parti, a seconda che si tratti di un edificio di nuova costruzione oppure di un intervento su edificio esistente, che necessiti di una riqualificazione energetico-prestazionale ed architettonica. Le differenze progettuali che si possono manifestare all'interno del progetto possono essenzialmente riguardare la scelta del materiale di rivestimento, la definizione del formato degli elementi da installare, la tipologia della sottostruttura o dei fissaggi puntuali, le modalità di posa in opera dello strato di finitura e le indagini preliminari atte ad identificare la resistenza meccanica del supporto murario esistente.

Nel caso in cui il rivestimento opaco di facciata vada installato in un edificio di nuova edificazione, le fasi progettuali sono quelle precedentemente elencate e descritte; l'involucro nel suo complesso viene quindi ideato e progettato fin dall'inizio come unico pacchetto.

Durante l'iter progettuale, modifiche, integrazioni e ottimizzazioni si susseguono al fine di definire in dettaglio la soluzione di chiusura a parete ventilata più consona all'edificio. Ciò può comportare una progressiva revisione di alcune scelte, come ad esempio la tipologia di sottostruttura da impiegare, le dimensioni degli elementi di rivestimento, ecc., al fine di assicurare sia le prestazioni richieste all'involucro, sia l'ottimizzazione del rapporto costo/prestazioni nonché le più opportune e veloci operazioni di posa in opera.

Nel caso in cui si intenda riqualificare un edificio esistente la cui architettura (altezza, larghezza, lunghezza, dimensioni dei serramenti presenti in facciata, presenza di aggetti, balconi e/o logge, ecc.) non possa essere modificata, si dovrebbe procedere preliminarmente con una serie di indagini esplorative. Tali operazioni consistono nel reperimento o nella realizzazione di un preciso rilievo dello stato di fatto, delle caratteristiche tecnologiche e materiche e del degrado dei vari fronti dell'edificio. Inoltre, mediante prove non distruttive, quali ad esempio di resistenza meccanica al *pull-out* e/o di taglio dei tasselli, si individuano le caratteristiche di resistenza meccanica dei tamponamenti e delle parti strutturali, al fine di definire tipologia della sottostruttura e modalità di ancoraggio della stessa all'edificio. La scelta della tipologia di rivestimento da installare, sia esso di tipo leggero oppure pesante, e le dimensioni degli elementi di finitura andrebbero effettuate definitivamente solo dopo l'esito delle prove.

Dedicare un tempo più cospicuo alla progettazione ha spesso positive ripercussioni in termini di risparmio economico e di tempo nelle fasi di costruzione. Ciò in quanto assicura una drastica diminuzione del rischio di incorrere in criticità che possano dilatare i tempi di realizzazione dell'opera ed evita l'introduzione non controllata di soluzioni improvvisate in cantiere e non consone ai criteri di sicurezza richiesti.

c. Cantierizzazione

La realizzazione di un sistema di rivestimento a parete ventilata avviene per fasi successive, che ne garantiscono sia la corretta messa in opera, sia il raggiungimento delle prestazioni volute. Tali fasi, tra loro strettamente correlate, prendono avvio solamente dopo l'ultimazione del progetto costruttivo del sistema di rivestimento.

Le principali fasi di realizzazione di un sistema di rivestimento a parete ventilata risultano essere quelle di seguito analizzate.

Layout dell'area di cantiere

Il cantiere deve essere organizzato prevedendo un adeguato spazio per lo stoccaggio dei materiali e degli elementi costituenti la parete ventilata. Le dimensioni delle aree di stoccaggio dipendono sia dalla tipologia di elementi da stoccare, sia dalle tempistiche di approvvigionamento (giornaliere, settimanali, quindicinali o mensili). In cantiere vi deve essere comunque un quantitativo di materiali minimo tale da non pregiudicare il regolare avanzamento delle operazioni di installazione, in caso di mancato approvvigionamento per cause di forza maggiore.

E' consigliabile che le aree di stoccaggio, la cui localizzazione, gestione ed eventuale evoluzione sono gestite dal direttore tecnico di cantiere, non creino interferenze con le lavorazioni previste in cantiere, siano protette dagli agenti atmosferici e siano facilmente raggiungibili dai mezzi di approvvigionamento e da quelli di movimentazione interna al cantiere (muletti, gru, ecc.).

La sottostruttura del rivestimento a parete ventilata è solitamente approvvigionata in fasci, mentre la bulloneria (bulloni, viteria, rivetti ed altri componenti di piccole dimensioni) è posta in contenitori collocati su bancali. Gli elementi di rivestimento sono invece collocati su bancali dotati di specifiche protezioni contro urti accidentali che potrebbero provocare rotture e/o graffi.

La movimentazione e il tiro al piano di profili metallici ed elementi di rivestimento avviene mediante mezzi di cantiere con braccio allungabile, oppure mediante

l'ausilio di gru. Il fascio di profili o il bancale, dopo esser stato saldamente assicurato, viene portato in quota e posto in apposite aree di carico predisposte sul ponteggio. Sarà poi compito delle maestranze prelevare e smistare gli elementi ove necessario.

Per facilitare le operazioni di posa, le lunghezze massime dei profili della sottostruttura dovranno essere pari all'altezza d'interpiano, e comunque non superiori ai 3,5 – 4,0 m per assicurare la loro agevole movimentazione sul ponteggio, mentre il peso degli elementi di rivestimento non dovrà superare i previsti limiti di legge vigenti e indispensabili per la tutela della sicurezza e del benessere fisico delle maestranze.

Verifica della resistenza meccanica del supporto

L'esecuzione di prove di *pull-out* ed eventualmente di resistenza a taglio dei tassello da impiegare per l'ancoraggio della sottostruttura alla parete di tamponamento (siano essi di tipo chimico per supporti in laterizio forato/alveolare o affini, oppure meccanico per quelli in laterizi pieni o elementi in calcestruzzo armato, e viti da legno per supporti in *cross-lam* o similari) forniscono al progettista dati indispensabili ai fini del raggiungimento delle resistenze meccaniche richieste. Ciò vale sia per gli edifici di nuova realizzazione sia per gli esistenti, anche se in questo secondo caso le prove che verranno eseguite dovranno essere in numero superiore rispetto a quelle svolte su edifici di nuova realizzazione. Tali prove permettono infatti di individuare eventuali aree o porzioni di tamponamento dalle differenti caratteristiche di resistenza meccanica, consentendo eventuali interventi di integrazione e/o modifica per garantire le condizioni di sicurezza richieste (direttamente sulla muratura oppure tramite l'incremento del numero di ancoraggi/controventi). I risultati di tali prove, oltre ad essere necessari per la redazione della relazione di calcolo e verifica statico-dinamica, sono anche parte integrante della documentazione di verifica e collaudo del sistema a parete ventilata, in corso d'opera e finale.

Campionature del rivestimento

Prima dell'installazione del rivestimento, è buona regola eseguire delle campionature al vero di alcuni dettagli di facciata (specie per quelli particolarmente complessi per forma, dimensione e interfaccia con altri sistemi di rivestimento e/o finitura). Ciò al fine di verificare la bontà sia delle scelte progettuali, sia della sequenza di montaggio in opera. Modifiche locali alla sottostruttura, ai fissaggi degli elementi di rivestimento oppure agli elementi del rivestimento stesso (specie per i pezzi speciali), eseguite in cantiere ad opera delle maestranze addette al montaggio del rivestimento, sono da evitare perché possono condurre a criticità o anomalie di montaggio e di funzionamento dei singoli elementi.

Accettazione e controllo di materiali e componenti

Tutti i materiali edili utilizzati per la costruzione di un edificio devono essere preventivamente controllati e accettati dal direttore tecnico di cantiere o da un suo preposto, il quale deve verificare quantitativi, rispondenza alle specifiche di progetto, presenza di adeguata documentazione tecnica di accompagnamento, presenza di etichette e cartellini che identifichino in modo univoco la fornitura. Il controllo della qualità spetta sia al direttore tecnico di cantiere, sia alla direzione lavori. Un doppio controllo incrociato dovrebbe assicurare che i materiali approvvigionati ed utilizzati siano effettivamente rispondenti alle specifiche di progetto. Ulteriori controlli di qualità e messa in opera verranno poi eseguiti dal collaudatore durante le fasi di montaggio e a fine lavori, prima del rilascio del certificato di corretta posa e collaudo finale.

Tracciamenti

Le operazioni di tracciamento sono di fondamentale importanza per garantire una perfetta planarità e verticalità del piano di facciata. Il tracciamento viene normalmente eseguito in due fasi. La prima consente di individuare la posizione degli ancoraggi e dei controventi sul piano della muratura al rustico, la seconda è deputata alla messa a piombo ed alla regolazione in piano degli elementi di supporto del rivestimento (sottostruttura o puntuali).

Il tracciamento della posizione dei punti di ancoraggio e controvento (eseguito con bolla e fili a piombo, oppure con allineamenti laser) prevede la battitura sulla muratura al rustico o sullo strato isolante di fili verticali di riferimento per la messa in opera di sottostruttura e apparecchi di ancoraggio. Tali devono essere eseguiti sull'intera estensione del fronte da rivestire.

Nel caso in cui il progetto preveda la realizzazione di un doppio strato d'isolamento termico, il tracciamento di ancoraggi e controventi può eventualmente essere fatto direttamente sul primo strato d'isolante. In tal caso, una volta individuati gli allineamenti e la posizione dei vari apparecchi, si procede dapprima con la locale rimozione dell'isolante e successivamente con la posa di questi elementi ed il ripristino del materiale asportato. Si procede poi con la posa del secondo strato isolante, avendo cura di sfalsare i giunti tra i pannelli del secondo strato rispetto al primo. Tale modalità esecutiva permette di realizzare uno strato isolante

continuo, ed è utilizzabile qualora si preveda l'impiego di staffe, squadrette o apparecchi di ancoraggio e controvento di forma a L, Z, C, Ω , ecc., oppure elementi costituiti da barre filettate inghisate con tasselli chimici alla muratura.



Figura 4.3 - Esempio di tracciamento della posizione nel piano della sottostruttura a montanti in acciaio mediante utilizzo di fili a piombo

Una volta posizionati gli apparecchi di ancoraggio della sottostruttura alla muratura, è necessario un secondo tracciamento, anch'esso da eseguire mediante filo a piombo e livella oppure con battitura laser, per allineare i montanti, ed eventualmente anche i traversi, al fine di garantirne il loro corretto posizionamento (ottenuto con una precisa regolazione nelle tre dimensioni spaziali) dal quale dipenderà la planarità della superficie di rivestimento.

Definizione della sequenza operativa di montaggio

Il progettista deve individuare in modo univoco la procedura di montaggio dell'intero sistema di rivestimento al fine di assicurarne la corretta installazione. La sequenza di posa di una facciata ventilata è influenzata da numerosi fattori che si traducono in particolari accorgimenti o criticità, cui porre particolare attenzione in fase di messa in opera. I principali sono:

- tipologia di sottostruttura, suo ancoraggio e controventamento all'edificio. Indipendentemente dal sistema impiegato, si deve ridurre al minimo l'interferenza con lo strato isolante, al fine di evitare aree carenti sotto il profilo termico. L'isolante in corrispondenza degli apparecchi di fissaggio e controvento deve essere continuo e all'occorrenza integrato da altra tipologia di materiale dalle analoghe prestazioni;
- modalità di posa dello strato d'isolamento termico. Per spessori significativi dello strato isolante (solitamente oltre i 10-12 cm c.ca) è possibile optare per una realizzazione in doppio strato a giunti sfalsati per minimizzare eventuali imprecisioni nell'accostamento tra i pannelli e controllare in modo più efficace le irregolarità del piano di posa;
- fissaggio degli elementi di rivestimento. La posa del rivestimento a schema libero (lastre tra loro indipendenti e pertanto montabili in qualunque ordine), oppure a sequenza obbligatoria, seppur per piccoli campi di facciata, determina una ben precisa direzione di posa (dall'alto verso il basso oppure in orizzontale per righe). Essendo il rivestimento normalmente montato con l'ausilio di ponteggio, è buona norma prevedere che le lastre corrispondenti agli ancoraggi del ponteggio possano essere montate per ultime e in modo indipendente dalle altre, così da completare progressivamente la facciata durante lo smontaggio dell'opera provvisoria. In alternativa si possono utilizzare i ganci d'ancoraggio a scomparsa così come descritto nel precedente capitolo 3;

- dettagli d'interfaccia con serramenti, aggetti, coronamento, spigoli e piede dell'edificio. Tali punti, se non definiti in fase di progetto, possono presentare problemi durante le operazioni di montaggio, la cui soluzione affidata alle maestranze spesso non assicura eguali livelli di sicurezza rispetto alle restanti parti del rivestimento. Pertanto poter disporre di un sistema altamente ingegnerizzato ed ottimizzato, la cui flessibilità di montaggio non impone precisi e rigidi schemi, oltre a permettere una semplificazione delle operazioni di posa in opera e ridurre le relative tempistiche, limita al minimo eventuali criticità di difficile soluzione in cantiere;
- piede della facciata. Tale porzione del rivestimento è per sua natura soggetta ad urti accidentali. La possibilità di disporre di un sistema di fissaggio in grado di permettere il montaggio di tale fascia perimetrale in modo indipendente ed in un tempo successivo rispetto al rivestimento di facciata si dimostra particolarmente utile per consentire il completamento delle lavorazioni al piano strada (quali ad esempio: impermeabilizzazione, asfaltatura, posa di masselli autobloccanti, ecc.) e per intervenire in tempi rapidi e con veloci operazioni di sostituzione del rivestimento nel caso in cui avvengano danneggiamenti o rotture accidentali del rivestimento.

L'analisi delle criticità e delle interferenze di un sistema a parete ventilata con altri sistemi e sottosistemi costituenti l'involucro dell'edificio impone al progettista la definizione di una precisa sequenza di posa in opera. Tralasciando i punti di singolarità comuni ad ogni sistema di rivestimento esterno, la sequenza costruttiva della parete ventilata può essere così riassunta:

- verifica dei materiali approvvigionati in cantiere e controllo della loro rispondenza alle specifiche di progetto;
- verifica del supporto murario ed eventuale esecuzione di prove di resistenza meccanica a *pull-out*, e/o di taglio tasselli;
- approvvigionamento dei materiali e stoccaggio nell'area di cantiere dedicata;
- tracciamento sul tamponamento murario al rustico della posizione dei punti ove vincolare la sottostruttura o i fissaggi puntuali;
- installazione delle staffe di ancoraggio e di controvento della sottostruttura o degli apparecchi di tipo puntuale tramite specifici tasselli;
- posa dello strato d'isolamento termico (mono o bistrato a singola o doppia densità) con fissaggio meccanico alla parete di supporto;
- eventuale installazione di componenti impiantistici (cablaggi elettrici, connessioni idrauliche, tubazioni di smaltimento acque meteoriche, ecc.);
- installazione, regolazione, controllo della planarità (messa a piombo ed allineamento dei montanti) degli apparecchi oppure della sottostruttura di sostegno del rivestimento;
- posa, allineamento, messa in bolla ed unione traversi sui montanti se presenti;
- eventuale esecuzione di verifiche localizzate di portanza e resistenza meccanica della sottostruttura e/o degli apparecchi di fissaggio puntuale del rivestimento, eseguiti ad opera del collaudatore;
- posa degli apparecchi e dispositivi meccanici per il fissaggio degli elementi di rivestimento alla sottostruttura;
- installazione degli elementi di rivestimento (lastre, doghe, pannelli, cassette, ecc.) sulla sottostruttura;
- eventuali regolazioni dei singoli elementi di rivestimento al fine di distanziare correttamente le singole lastre le une dalle altre ed ottenere giunti delle dimensioni di progetto;
- verifica e serraggio degli apparecchi di fissaggio delle lastre di rivestimento alla sottostruttura;
- installazione di eventuali sistemi di sicurezza anticaduta atti a garantire maggiore sicurezza statico-dinamica in caso di evento eccezionale (sisma);
- ove previsto, installazione di pannelli solari termici o fotovoltaici su sottostruttura, del medesimo tipo di quella del rivestimento o su sottostruttura apposita, e connessione alle reti impiantistiche precedentemente predisposte;
- eventuale esecuzione di verifiche localizzate di corretta installazione del rivestimento, ad opera del collaudatore della facciata e del collaudatore impianti (se presente);
- lavaggio del rivestimento di facciata;
- eventuale trattamento protettivo del rivestimento con applicazione di idrorepellente;

- smontaggio ponteggio e, all'occorrenza, montaggio delle lastre collocate in corrispondenza degli ancoraggio del ponteggio;
- esecuzione delle prove finali necessarie al rilascio del collaudo del sistema di rivestimento;
- redazione tavole *as-built*, raccolta di documentazione tecnica dei materiali costituenti il rivestimento, completamento del fascicolo dell'opera con indicazione delle procedure di utilizzo e manutenzione del sistema di rivestimento;
- formale consegna del rivestimento a parete ventilata.

Pulizia finale ed eventuale ciclo di trattamento protettivo

Dopo l'ultimazione del sistema di rivestimento è consigliabile eseguire un ciclo di pulizia dell'intera superficie di facciata. Un accurato lavaggio è sempre consigliabile con qualunque tipologia di rivestimento adottato, sia esso in pietra, vetro, laminato di sintesi, metallico, ecc. integrante o meno sistemi di sfruttamento di fonti di energia rinnovabile.

Oltre alla pulizia finale della facciata, il progettista dovrebbe valutare, fin dalle fasi di stesura del progetto, l'opportunità di prevedere l'applicazione di un ciclo di protezione (idrorepellente o di altro genere) al fine di prolungare il tempo di sporcamento del rivestimento nonché la durata dello stesso. Tale applicazione è consigliabile con tutti i prodotti di rivestimento porosi, vale a dire lapidei naturali e ricomposti, cotto, ecc.. Per tutti gli altri non è strettamente necessario prevedere un trattamento di questo tipo, anche se è tuttavia consigliabile prevedere un trattamento protettivo che ne assicuri un lento sporcamento oppure garantisca un effetto autopulente (a tal proposito i nuovi materiali a base di nanotecnologie possono contribuire al mantenimento nel tempo di elevati standard di pulizia che, in caso di elementi fotovoltaici, significa anche mantenimento di una buona efficienza).

d. Controlli e collaudi

Le diverse figure professionali coinvolte nell'intero processo di progettazione e realizzazione di un sistema di rivestimento a parete ventilata (progettista, direttore tecnico di cantiere, direttore lavori, collaudatore) hanno il compito e la responsabilità di effettuare differenti controlli, consoni alle proprie competenze. Le vigenti disposizioni di legge, le normative ISO, EN, UNI e i codici di corretta procedura sono i principali documenti da rispettare e da cui trarre fondamentali indicazioni per la realizzazione di ogni singolo elemento costituente l'organismo edilizio. Inoltre, le indicazioni dettate dal buon senso e la progettazione/realizzazione secondo la regola dell'arte devono accompagnare l'operato delle varie figure professionali al fine di conseguire gli obiettivi di qualità prefissati.

Pertanto la procedura di controllo, verifica e collaudo di un sistema di rivestimento a parete ventilata, valida tra l'altro per ogni sistema e sub-sistema dell'organismo edilizio, si articola in diverse fasi, ciascuna di competenza dei vari soggetti che partecipano alla progettazione e realizzazione dello stesso. Al progettista spetta la verifica del rispetto di tutte le prescrizioni di legge, nonché di quanto contenuto all'interno delle diverse normative non cogenti e ai codici di corretta procedura, per la realizzazione di un progetto completo e corretto in ogni sua parte. Direttore tecnico di cantiere e direzione lavori, oltre a condividere il progetto e farsi garanti della sua scrupolosa realizzazione, sono responsabili per quanto concerne i controlli inerenti la qualità dei materiali impiegati, nonché della corretta realizzazione dell'opera. Al collaudatore, quale figura "super partes", totalmente esterna al processo di progettazione e realizzazione, spettano le verifiche di corretta progettazione ed installazione del sistema di rivestimento a parete ventilata, oltre che del grado di sicurezza offerto dallo stesso.

Il processo di controllo, verifica e collaudo di un sistema di rivestimento opaco di facciata a parete ventilata si può riassumere nelle seguenti fasi:

- verifiche intermedie e finali sulla correttezza e completezza del progetto. Disegni tecnici, dettagli, relazione di calcolo, descrizione soluzione e componenti, relazione di montaggio, smontaggio e manutenzione del rivestimento sono i principali documenti costituenti il progetto esecutivo elaborato dal progettista, i quali devono essere elaborati nel pieno rispetto delle vigenti prescrizioni di legge;
- analisi, verifica e condivisione di scelte e soluzioni contenute nel progetto esecutivo da parte dell'impresa affidataria alla quale è commissionata la realizzazione dell'opera;
- elaborazione del progetto costruttivo/operativo a cura dell'impresa appaltatrice. Tale progetto recepisce le indicazioni del progettista, e viene redatto indicando materiali, elementi ed apparecchi proposti dall'impresa, successivamente si effettua la trasmissione del progetto costruttivo al progettista della parete ventilata per le necessarie verifiche di conformità al progetto esecutivo;
- ricevimento da parte dell'impresa affidataria di eventuali modifiche e/o integrazioni al progetto richieste dal progettista;

- eventuale esecuzione di prove di laboratorio (resistenza meccanica, invecchiamento accelerato, ecc.), per valutare la durabilità dei materiali e dei componenti del rivestimento;
- eventuale modifica e/o integrazione del progetto costruttivo, con approvazione del progettista dell'opera, a seguito dei dati e delle informazioni ricavate attraverso i test di laboratorio;
- verifica documentale e approvazione dei materiali da utilizzare per la realizzazione del rivestimento a cura del direttore lavori;
- verifica del progetto costruttivo da parte del collaudatore e definizione di modalità/tempistiche di verifica e controllo durante le operazioni di installazione del rivestimento;
- esecuzione di prove di *pull-out* e all'occorrenza anche prove di resistenza a taglio sui tasselli, collocati sia nella muratura di tamponamento che nelle strutture primarie dell'edificio, per verificare le effettive caratteristiche di resistenza meccanica del supporto e numero, tipologia e posizione degli ancoraggi della sottostruttura (o degli apparecchi di tipo puntuale). Secondo la particolare tipologia di supporto dovranno essere impiegati i tasselli più idonei: di tipo chimico per supporti in laterizio alveolare, forato, calcestruzzo aerato autoclavato e similari; di tipo meccanico per supporti compatti ad elevate prestazioni di resistenza meccanica come calcestruzzo armato, laterizi pieni, ecc. Tali prove dovranno essere condotte in presenza di progettista, direttore tecnico di cantiere e direttore lavori;
- eventuale realizzazione di *mock-up* del rivestimento per l'esecuzione di test di laboratorio al fine di verificare le effettive prestazioni (acustiche, di resistenza meccanica a sollecitazioni del vento, sismiche, ad impatti da corpo molle e/o rigido, comportamento in caso d'incendio, ecc.) del sistema di facciata. Ciò è consigliabile in tutti i casi in cui il rivestimento a parete ventilata debba essere installato su edifici particolarmente alti, di forma complessa, in zone soggette ad elevate sollecitazioni sismiche o di vento, oppure ove si impiegassero per la prima volta materiali di tipo innovativo;
- realizzazione di campionature al vero, da eseguirsi direttamente sull'edificio, al fine di risolvere eventuali criticità di installazione del rivestimento, valutarne l'aspetto estetico finale, ecc.;
- verifica e controllo dei quantitativi e delle caratteristiche dei materiali approvvigionati in cantiere, ad opera del direttore tecnico di cantiere;
- verifica, ad opera della direzione lavori, dei certificati di qualità dei materiali approvvigionati e, in caso di esito positivo, rilascio del benestare all'uso dei materiali per la realizzazione del rivestimento opaco di facciata a parete ventilata;
- verifica della posa in opera del rivestimento secondo le prescrizioni progettuali ad opera del direttore tecnico di cantiere e del direttore lavori. Esecuzione "a spot" a campione di verifiche di corretto serraggio dei tasselli e della viteria di connessione ed ancoraggio della sottostruttura (in ragione del 5% minimo sul totale degli elementi installati);
- durante la realizzazione del rivestimento, esecuzione di controlli e verifiche di resistenza meccanica della sottostruttura e degli elementi di rivestimento ad opera del collaudatore, per accertare il raggiungimento dei valori di resistenza di progetto (prove di carico verticali e perpendicolari al piano di facciata, includendo sollecitazioni di taglio, trazione e momento sugli elementi componenti la sottostruttura);
- redazione delle tavole *as-built* ad opera dell'appaltatore, da approvare da parte del direttore lavori;
- raccolta di tutta la documentazione inerente i materiali e le prove effettuate;
- esecuzione delle verifiche per il rilascio del collaudo finale ad opera del collaudatore. Eventuale esecuzione di ulteriori prove di sollecitazione meccanica, montaggio e smontaggio lastre, ecc., per verificare il raggiungimento dei valori di resistenza meccanica previsti in progetto e comprovare la corretta installazione del rivestimento;
- eventuale aggiornamento del fascicolo dell'opera, a cura del coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione.

Dalle prime fasi di stesura del progetto fino al collaudo del rivestimento, progettista, direttore lavori, coordinatore della sicurezza e direttore tecnico di cantiere, ciascuno per le proprie mansioni e competenze, devono assicurare che lo svolgimento delle operazioni avvenga in modo corretto, sicuro e secondo le procedure atte a garantire l'incolumità di tutte le maestranze impiegate in cantiere, ciò in piena armonia con le vigenti normative di sicurezza (D.Lgs. 81/2008 e s.m.i.).

La procedura di verifica, controllo e collaudo dell'opera deve essere svolta con coscienza e serietà da tutte le figure partecipanti al fine di ottemperare al meglio le prescrizioni di legge, garantendo adeguate prestazioni, qualità e sicurezza da parte di un'opera che connoterà per diverso tempo l'immobile sul quale è realizzata.

