

Il testo è stato sottoposto al processo di valutazione double-blind peer review

Immagini e disegni in copertina:

- Colata di calcestruzzo all'interno dei blocchi Isotex, blocchi cassero di legno-cemento (*Isotex S.r.l.*)

- Solaio contro terra realizzato con casseri a perdere di plastica riciclata (igloo) (*Cazzaniga Costruzioni civili ed industriali S.r.l.*)

- Montaggio della facciata a cellule indipendenti del Solar Carve Tower, grattacielo sulla High Line a Manhattan (NY) – 40 Tenth Avenue (*Focchi S.p.A.*)

- Ferri di armatura e casseri per la realizzazione di una fondazione a trave rovescia (*Cazzaniga Costruzioni civili ed industriali S.r.l.*)

- Sezione verticale di una parete realizzata con blocchi Ytong e serramento di PVC con cassonetto. Solaio di latero-cemento con travetti prefabbricati di tipo tralicciato con fondello di laterizio, pacchetto per il riscaldamento a pavimento e pavimentazione realizzata con listelli di parquet (*Elaborazione di Valentina Puglisi*)

ISBN 978-88-916-3058-2

© **Copyright 2019 Maggioli S.p.A.**

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, anche ad uso interno e didattico, non autorizzata.

Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.

Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2008

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8

Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

[www.maggiolieditore.it](http://www.maggiolieditore.it)

e-mail: [clienti.editore@maggioli.it](mailto:clienti.editore@maggioli.it)

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento, totale o parziale, con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Il catalogo completo è disponibile su [www.maggiolieditore.it](http://www.maggiolieditore.it) area università

Finito di stampare nel mese di febbraio 2019 nello stabilimento Maggioli S.p.A.  
Santarcangelo di Romagna (RN)

*Matteo Cazzaniga e Valentina Puglisi*

L'involucro, nell'architettura contemporanea e nel mercato edilizio, non è più visto come una semplice divisione dall'esterno, ma ha acquisito molteplici funzioni e scopi grazie all'evoluzione del mondo delle costruzioni e dei materiali, fino a diventare un oggetto indipendente dall'edificio<sup>167</sup>.

Contrariamente all'edilizia tradizionale che impiegava la muratura per la definizione dell'involucro esterno, i tamponamenti esterni sono ora sorretti da strutture di sostegno che permettono scelte compositive e formali molto varie. L'involucro è divenuto un vero e proprio elemento architettonico che delimita e racchiude l'organismo costruttivo e strutturale, mediando gli scambi tra gli ambienti interni ed esterni. Infatti, la sua funzione è proprio quella di mediare, connettere e separare (verticalmente ed orizzontalmente) lo spazio interno dell'organismo edilizio dall'ambiente esterno.

L'involucro è uno degli elementi che caratterizzano in maniera più importante un edificio: in esso si trovano racchiuse due differenti valenze, rispondenti alle seguenti esigenze:

- proteggere gli spazi interni di un edificio dall'ambiente esterno, contribuendo a creare le condizioni di comfort abitativo in relazione alle condizioni ambientali ed atmosferiche che si verificano all'esterno (temperatura, rumore, vento, ecc.). In questo modo è possibile individuare una valenza funzionale dell'involucro, costituito da materiali aventi specifiche caratteristiche che operano al fine di ottenere determinate prestazioni in termini, per esempio, di isolamento termico ed acustico;
- definire architettonicamente un edificio mediante la modellazione degli spazi interni. In questo caso l'involucro si configura con una valenza estetica, sotto forma di una vera e propria "pelle", sostanzialmente l'immagine con cui l'edificio si presenta al mondo esterno. Qualità e consistenza dei materiali, nonché colori e caratteristiche visive sono, quindi, gli aspetti di maggior importanza per la definizione dell'architettura di un manufatto.

---

<sup>167</sup> Puglisi, V. (2014), *Sistemi, tecnologie e materiali innovativi per gli involucri contemporanei*, Aracne Editrice, Roma (RM).

Attraverso il connubio di questi due aspetti passa il lavoro dell'Architetto, chiamato a scegliere le migliori soluzioni tecniche in grado di garantire un alto livello di vivibilità degli spazi interni unitamente ad una gradevolezza degli esterni.

Un concetto fondamentale quando si parla di involucro edilizio è quello della stratificazione: molto spesso gli elementi perimetrali di un edificio sono costituiti da un'elevata sovrapposizione di differenti livelli (materiali), ognuno dei quali assolve ad una specifica funzione tecnica. Generalmente, maggiore è la stratificazione e migliori sono le prestazioni garantite dall'involucro. Questo è particolarmente vero nell'isolamento acustico, dove ogni materiale risponde in maniera diversa alle varie frequenze e, pertanto, un mix eterogeneo permette di coprirne la più ampia gamma possibile.

Analogamente il motivo per cui un elemento di chiusura perimetrale è spesso costituito da vari strati sovrapposti è dovuto all'elevato numero di funzioni che esso deve assolvere<sup>168</sup>:

- strato resistente (capacità meccaniche);
- strato di isolamento termico;
- strato di tenuta all'acqua;
- strato di barriera al vapore (per evitare fenomeni di condensa);
- strato di protezione e di rivestimento (finitura esterna ed interna);
- strato di collegamento (tra i vari strati della parete);
- strato di ripartizione dei carichi (in caso di elementi strutturali);
- strato di ventilazione (interna al paramento, ove necessario);
- strato di protezione al fuoco;
- strato di isolamento acustico.

## 7.1. Le prestazioni dell'involucro edilizio

Per l'analisi prestazionale dei requisiti dell'involucro edilizio è possibile far riferimento alla norma UNI 7959<sup>169</sup> che tratta le seguenti classi di prestazioni:

---

<sup>168</sup> Alcuni strati possono essere racchiusi in un unico materiale.

<sup>169</sup> Nel testo della norma UNI 7959:1988, *Edilizia. Pareti perimetrali verticali. Analisi dei requisiti*, le chiusure verticali vengono definite come le «classi di elementi tecnici con funzioni principali di regolare il passaggio di energia tra gli spazi interni e gli spazi esterni dell'organismo edilizio», la cui scelta deve essere mirata «[...] a mantenere la temperatura della superficie interna il più possibile vicina a quella dell'ambiente interno nelle varie situazioni di clima esterno e di clima interno previste, limitando al minimo l'apporto energetico degli impianti di climatizzazione (riscaldamento, raffreddamento, ventilazione) e controllando i fenomeni di condensa possibili».

- la *sicurezza dell'elemento di fabbrica*: è legata alla sicurezza in fase di realizzazione, gestione e dismissione degli elementi di involucro. Tra queste possono essere identificate quelle di natura gravitazionale statica (quali la resistenza alle azioni agenti sull'elemento di fabbrica e derivanti dal peso proprio, dai carichi permanenti e variabili direttamente applicati sull'elemento) e quelle di natura dinamica (derivanti dall'azione di perturbazioni esterne variabili quali i moti sismici, l'azione del vento o le variazioni di temperatura);
- il *benessere indoor*: consente il perdurare delle condizioni microclimatiche utili a un corretto uso dello spazio interno. Questa classe di prestazione vede la presenza di quattro sottoclassi che permettono di definire:
  - o il *benessere igro-termico*: isolamento termico, inerzia termica e permeabilità al vapore acqueo;
  - o il *benessere visivo*: controllo dell'illuminamento interno e della luminanza delle superfici;
  - o il *benessere acustico*: isolamento acustico da rumori aerei esterni e da rumori impattivi esterni;
  - o la *qualità dell'aria interna*: tenuta e permeabilità all'aria, non emissione di odori, gas, polveri e radiazioni nocive da parte dei materiali che costituiscono l'interfaccia dell'involucro edilizio con l'ambiente interno;
- le *esigenze estetiche e tattili dell'involucro*: quali la planarità delle superfici interne ed esterne, l'assenza di difetti superficiali, l'omogeneità di colore e di brillantezza delle finiture;
- l'*attrezzabilità*: assume un ruolo fondamentale nell'ottica della specializzazione delle funzioni e, di conseguenza, al maggiore grado di industrializzazione del processo edilizio;
- la *durabilità*: il mantenimento dei livelli prestazionali dell'involucro edilizio nel tempo può essere visto da più punti di vista a seconda delle azioni che tendono a degradare l'elemento costruttivo. Le azioni perturbatrici possono essere gli urti, il calore, l'irraggiamento solare, il gelo e il disgelo, le nebbie, i venti, la sabbia, l'acqua piovana e la polvere;
- l'*economia di energia*: si tratta di una prestazione che, negli ultimi anni, sta assumendo un ruolo sempre più rilevante nella progettazione dei componenti edili. L'energia legata a un componente edile è la somma di quella spesa per il reperimento delle materie prime (approvvigionamento e trasporto fino al luogo di produzione del componente), dell'energia di produzione e assemblaggio dei componenti (energia coinvolta nel processo

produttivo e nell'imballaggio dei componenti) e dell'energia legata alla gestione del sistema, nonché alla sua dismissione o riciclaggio.

Tutte queste caratteristiche devono collaborare per il corretto funzionamento dell'involucro, chiamato anche a soddisfare i dettami compositivi e formali richiesti dal progettista.

## 7.2. I ponti termici

I ponti termici sono quei punti dell'involucro dove si verifica una trasmissione di calore tra due superfici (interna ed esterna) superiore alla media dell'intero edificio. Sono quindi dei punti critici dell'involucro dove le prestazioni medie, in termini di isolamento termico, decadono in maniera netta, dando luogo a fenomeni quali muffa, condensa, efflorescenza e distacco degli intonaci. I ponti termici sono indice di un problema a livello progettuale, in quanto sono il risultato di scelte tecniche sbagliate o di imperfezioni, a volte anche rilevanti, a livello di coibentazione delle strutture.

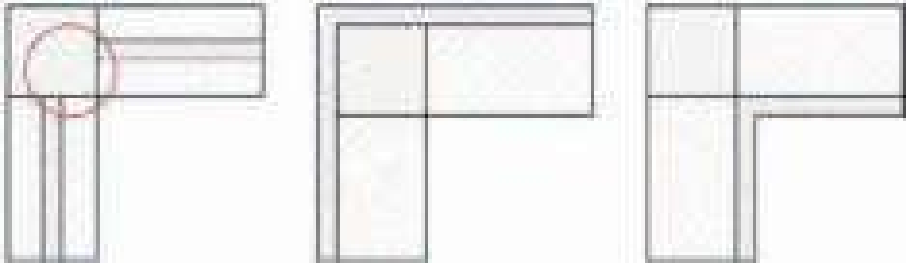
La maggior parte dei ponti termici si riscontrano in corrispondenza dei nodi di giunzione o dei punti di contatto tra gli elementi costruttivi aventi coefficienti diversi di trasmissione di calore; in particolare:

- nelle zone d'angolo tra due pareti esterne (fig. 7.1 e 7.2);
- tra muro esterno e pavimento e/o muro interno (fig. 7.4);
- in corrispondenza degli elementi strutturali (fig. 7.3);
- in corrispondenza di aperture e infissi (fig. 7.5).

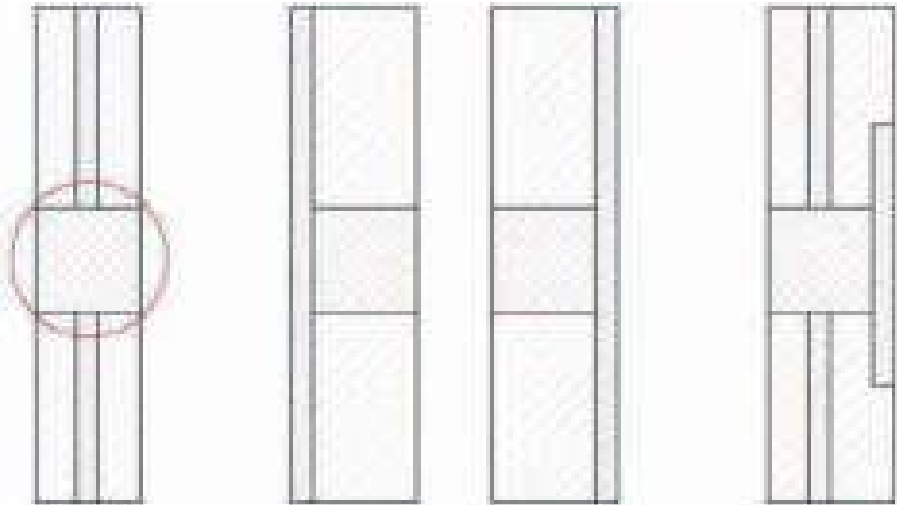


**Fig. 7.1:** Esempio di efflorescenza su una muratura interna causata da un cattivo isolamento dell'involucro perimetrale. Nei punti più freddi della muratura si ha una tendenza alla formazione di muffe diffuse.

*Fonte: Foto di Matteo Cazzaniga.*

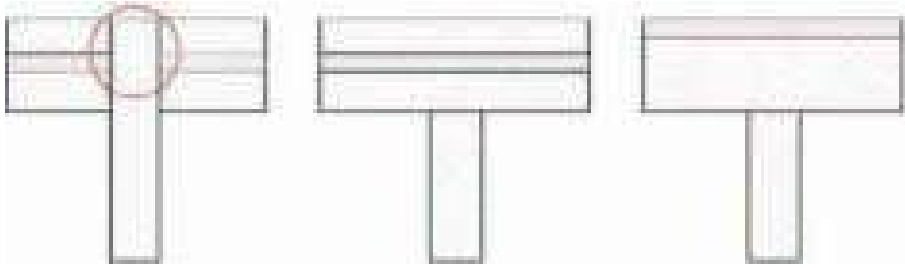


**Fig. 7.2:** Possibili soluzioni per il collocamento dell'isolamento termico in corrispondenza di una giunzione ad angolo che si viene a creare tra due muri. Nella figura a sinistra l'interruzione dell'isolamento in corrispondenza di un pilastro genera un ponte termico che può essere corretto con l'applicazione di un isolamento a cappotto esterno (figura al centro) o interno (a destra) (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).

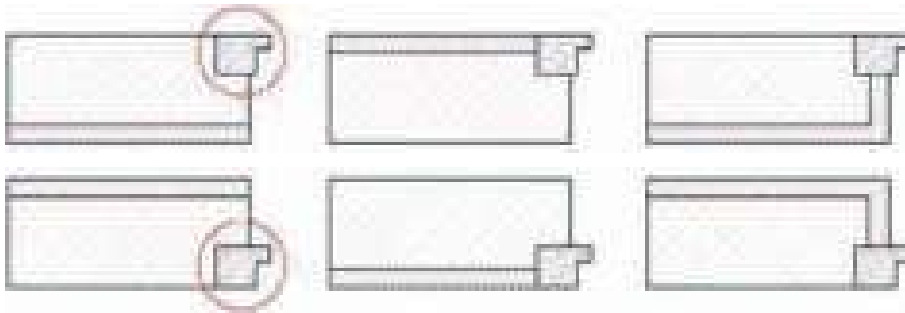


**Fig. 7.3:** Isolamento in corrispondenza di un pilastro. Se il paramento murario ha uno spessore inferiore o uguale a quello del pilastro, la scelta di porre l'isolamento all'interno dell'intercapedine muraria risulta il più delle volte non corretta. Per evitare ponti termici è più idoneo adottare una delle altre tre soluzioni riportate sulla destra (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).

Proprio per le differenti risposte (in termini di conduttività termica) che possono fornire i vari materiali (legno, acciaio, calcestruzzo, laterizio, ecc.) è opportuno dedicare particolare attenzione alla loro corretta coibentazione, mantenendo fissa la regola secondo cui la continuità di un isolamento non deve mai essere interrotta, nel limite del possibile, pena la creazione dei succitati ponti termici.



**Fig. 7.4:** Isolamento in corrispondenza di una giunzione tra il muro perimetrale e il muro divisorio interno. Nella figura a sinistra il muro divisorio interno interrompe sia la struttura che l'isolamento, generando un ponte termico. Da un punto di vista statico i divisori non devono mai attraversare i muri perimetrali, pertanto anche l'isolamento deve mantenere la sua continuità sia se posto all'interno (figura al centro) che all'esterno (figura a destra) del paramento murario (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).



**Fig. 7.5:** Isolamento in corrispondenza di un serramento. Uno dei punti più critici per la formazione di ponti termici sono le aperture all'interno delle murature perimetrali. Particolare attenzione deve essere riservata alla loro messa in opera al fine di non lasciare scoperto alcun punto in prossimità della giunzione con il serramento (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).

### 7.3. Le chiusure perimetrali opache

Si definiscono “chiusure opache” quegli elementi costruttivi perimetrali di un edificio che sono costituiti da materiali e superfici non trasparenti, generalmente caratterizzate da una serie di stratificazioni atte al soddisfacimento di uno o più requisiti.

Tali chiusure sono nella gran parte dei casi dei setti murari, realizzati in opera o a secco, con caratteristiche strutturali portanti, semi-portanti o di semplice tamponamento e con uno strato di finitura interno od esterno generalmente costituito da intonaci cementizi o a base di gesso, quando non sono presenti appositi rivestimenti.

### 7.3.1. Le pareti con isolamento nell'intercapedine ("cassavuota")

La grande maggioranza delle partizioni verticali ed orizzontali di un edificio contiene elementi ricavati dall'uso del laterizio, sotto forma di mattoni, blocchi forati e altro.

La tipologia di parete perimetrale che è più comunemente riscontrabile negli edifici realizzati da metà Novecento in poi è quella cosiddetta a "cassavuota".

Si tratta di una muratura stratificata costituita da due paramenti murari distinti, costituiti generalmente da elementi forati non portanti dello spessore di 8 o 12 centimetri ciascuno, distanziati da un'intercapedine interna di spessore variabile<sup>170</sup>. Tale intercapedine, che originariamente veniva lasciata vuota, negli anni ha visto l'inserimento di una coibentazione a pannelli rigidi o semirigidi (lana di vetro, lana di roccia, polistirene espanso/estruso, ecc.).



**Fig. 7.6:** Messa in opera di una parete a "cassavuota".

<sup>170</sup> Il paramento murario esterno ha generalmente uno spessore e una consistenza meccanica maggiore, in quanto ad esso è demandato il compito di sostenere il peso di eventuali rivestimenti applicati in facciata.



**Fig. 7.7:** Inserimento di un pannello isolante all'interno della parete a "cassavuota".

La parete a "cassavuota" è stata per molti anni la tecnica costruttiva più utilizzata per realizzare le chiusure di tamponamento perimetrale negli edifici con struttura portante a telaio di calcestruzzo armato.

Le maggiori criticità di questa muratura sono rappresentate dalle frequenti discontinuità nell'isolamento, in corrispondenza degli elementi strutturali (travi o pilastri). In questi casi le correzioni devono essere effettuate già in fase di costruzione, in modo da evitare "rappezzi" esteticamente sgradevoli e poco efficaci durante la vita dell'edificio.

Negli ultimi anni tale tecnica è stata in buona parte abbandonata, lasciando il posto a soluzioni più performanti ed economiche, costituite dai singoli blocchi o da isolamenti realizzati a cappotto (interno o esterno).

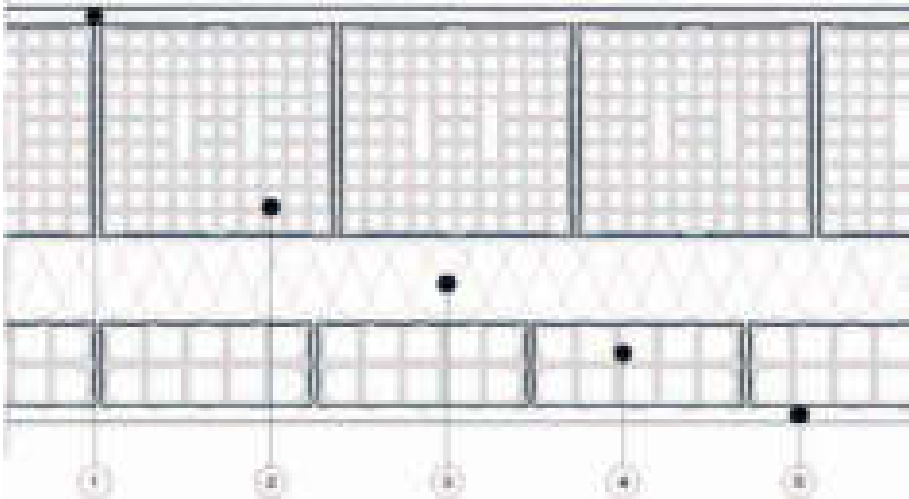


Fig. 7.8: Dettaglio tecnologico 1.

Dettaglio tecnologico 1	
1	Intonaco esterno - sp. 2,0 cm
2	Laterizio forato, dimensioni 25x27x25 cm
3	Isolante termico di poliuretano espanso - sp. 10,0 cm
4	Laterizio forato, dimensioni 10x25x25 cm
5	Intonaco interno - sp. 2,0 cm

Tab. 7.1: Sezione orizzontale di una parete "cassavuota" con isolamento posto nell'intercapedine.

### 7.3.1.1. La tecnica dell'isolamento tramite insufflaggio

Molte abitazioni, soprattutto quelle costruite dagli anni 70 agli anni 90, sono caratterizzate da murature dotate di intercapedini, cioè spazi vuoti tra le due facce che formano la parete, quella interna e quella esterna. Questi spazi, se riempiti con materiali isolanti ad alta prestazione, consentono di coibentare l'edificio. Riempire le intercapedini vuote dei muri significa eliminare gli spifferi e le correnti che spesso s'insinuano nelle microfrazioni delle pareti, contrastare l'umidità, evitare che i muri assorbano troppo calore e isolare termicamente.

La tecnica dell'isolamento tramite insufflaggio può essere applicata a tutti gli edifici che hanno muri dotati di intercapedini. Si tratta di una tecnica che consiste nel riempire l'intercapedine posta all'interno del muro con del materiale isolante sfuso (lana di vetro in fiocchi, fibra di cellulosa sfusa, perle di EPS, ecc.), iniettandolo attraverso dei fori effettuati con

passo regolare sul paramento esterno od interno della muratura. Le intercapedini delle pareti vengono completamente riempite con il materiale coibente, dopodiché si procede a ripristinare i fori con l'applicazione di stucco o materiali affini.

Il riempimento dei muri tramite insufflaggio è un'operazione piuttosto veloce che non implica demolizioni e grandi opere murarie. Solitamente, per isolare tramite insufflaggio un appartamento di medie dimensioni (circa 100 m<sup>2</sup>) bastano al massimo un paio di giorni di lavoro.

La tecnica consiste nel praticare dei fori nel muro e, tramite l'utilizzo di uno specifico macchinario (posizionato al piano strada, il materiale viene trasportato con tubo flessibile), inserire nell'intercapedine delle pareti del materiale isolante.

Uno degli aspetti positivi di questa tecnica è che può essere effettuata dall'interno dell'edificio,

agendo anche su una singola unità abitativa di un

condominio, senza che vi sia perdita di spazio utile abitato. Tale sistema consente, inoltre,

di evitare il montaggio di ponteggi esterni all'edificio.

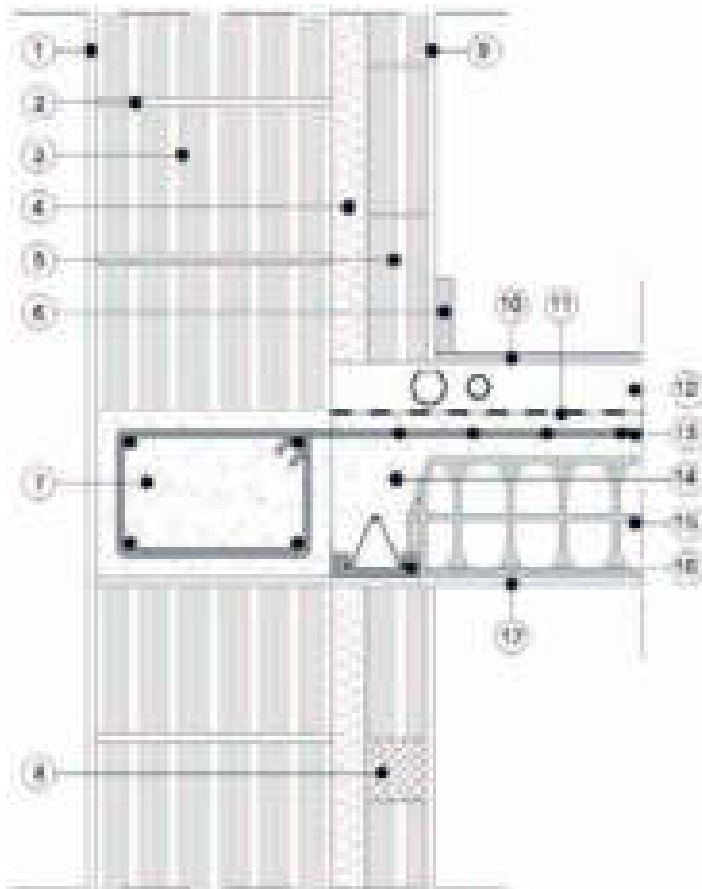


Fig. 7.9: Dettaglio tecnologico 2.

Dettaglio tecnologico 2	
1	Intonaco esterno - sp. 2,0 cm
2	Malta bastarda - sp. 0,6 cm
3	Laterizio forato, dimensioni 25x40x19 cm
4	Isolante termico di poliuretano espanso - sp. 6,0 cm
5	Laterizio forato, dimensioni 10x25x25 cm
6	Zoccolino di resina epossidica effetto lucido
7	Trave di calcestruzzo armato gettato in opera, dimensioni 40x30 cm (formata da n. 4 Ø12 mm)
8	Foro per insufflaggio, dimensioni 10x10 cm
9	Intonaco interno - sp. 2,0 cm
10	Pavimentazione di resina epossidica effetto lucido - sp. 1,5 cm
11	Isolante acustico di poliuretano espanso a base poliestere - sp. 1,0 cm
12	Massetto porta impianti di argilla espansa - sp. 8,0 cm
13	Caldana sp. 5 cm (2,5+2,5 cm) con rete elettrosaldata Ø5 mm, maglia 20x20 cm
14	Gettata di calcestruzzo alleggerito per il riempimento del solaio
15	Pignatta di laterizio, dimensione 40x38x20 cm
16	Travetto tralicciato con fondello di laterizio (formato da n. 3 ferri Ø10 mm e n. 2 staffe Ø6 mm)
17	Intonaco interno - sp. 1,5 cm

**Tab. 7.2:** Muratura a "cassavuota" con ponte termico in corrispondenza del solaio d'interpiano. Il numero 8 indica la tecnica di isolamento per insufflaggio.

Pur non risolvendo in maniera definitiva il problema dei ponti termici, la tecnica dell'insufflaggio può risultare utile per un miglioramento generale dell'efficienza termica di un edificio/appartamento o, in alternativa, come integrazione ad altre tecniche di isolamento (es. cappotto).

La tecnica dell'isolamento tramite insufflaggio può essere utilizzata anche per la coibentazione dei sottotetti.

### 7.3.1.2. Le pareti perimetrali di cartongesso

Un'evoluzione della muratura perimetrale di laterizio stratificata presente oggi sul mercato sono le pareti realizzate a secco con lastre rigide di cartongesso, gesso fibrato o legno, intervallate da strati di isolamento in pannelli semirigidi di lana di roccia o lana di vetro. La costruzione di queste pareti avviene mediante il semplice avvitarimento delle lastre (aventi spessori dell'ordine del centimetro) ad una sottostruttura metallica a montanti e traversi, a sua volta fissata agli elementi strutturali dell'edificio. Realizzare murature con lastre di cartongesso rappresenta

oggi una delle soluzioni più comuni, soprattutto in quelle situazioni in cui la rapidità di posa è riconosciuta come fattore fondamentale.



**Fig. 7.10:** Nelle foto in alto è visibile il dettaglio dei montanti (guide a “U” posizionate a pavimento e a soffitto; montanti a “C” inseriti nelle guide) per l’installazione di pareti perimetrali di cartongesso Knauf. Sull’anima dei montanti sono presenti delle asole per il passaggio delle canalizzazioni impiantistiche, collocate nella parte bassa della parete per agevolare il passaggio dei cavi (foto in alto a sinistra). Nella foto in alto a destra è visibile il materassino di lana isolante posizionato fra i montanti, opportunamente rivestito con un cartone speciale. Alloggi E.R.S. via Gustavo Bianchi - Ferrara.

*Fonte: Knauf S.r.l.*



**Fig. 7.11:** In alto: sistema di montanti e guide con interposto il materiale isolante e installazione dei montanti delle finestre. In basso: particolare del materassino di lana isolante da collocare fra i montanti. Condominio Posta 1, Corpo A - Mirandola (MO).

*Fonte: Knauf S.r.l.*

Il sistema costruttivo a secco permette la realizzazione di pareti sia autoportanti che non, ad elevato contenuto tecnologico, caratterizzate da una semplice e rapida realizzazione.

Le lastre Knauf, prodotte in varie tipologie, spessori e dimensioni, sono composte essenzialmente da:

- un'orditura metallica;
- un nucleo di gesso rivestito da un cartone speciale, contenente degli additivi, in minime percentuali, per migliorarne le caratteristiche prestazionali.

Le pareti così realizzate si identificano anche come "pareti leggere", in quanto il peso specifico di un tramezzo "a secco" è 8-10 volte inferiore a quello di un tramezzo di muratura.



**Fig. 7.12:** Condominio Posta 1, Corpo A - Mirandola (MO).  
*Fonte: Knauf S.r.l.*

La struttura portante della parete è costituita da un'orditura metallica, ossia da profili in lamiera di acciaio sottile ( $\geq 0,6$  millimetri) profilata a freddo e protetta dalla corrosione mediante galvanizzazione a caldo, con rivestimento di zinco. I profili possono essere di due tipi:

- *guide a "U"*, da posizionare a pavimento e a soffitto;
- *montanti a "C"*, da inserire nelle guide. Le ali dei montanti a "C" hanno un'altezza differenziata, per permettere il posizionamento di un montante uno dentro l'altro, in modo da formare un profilo scatolare, ad elevata rigidezza meccanica.

I profili a "C" devono essere posizionati ad un interasse di 600/400/300 millimetri, a seconda dei parametri statici e/o di certificazione antincendio, acustica o di resistenza agli urti prestabiliti durante il progetto (nel caso si preveda l'incollaggio di rivestimenti ceramici, l'interasse dei montanti non deve essere superiore a 400 millimetri).

L'orditura metallica viene collegata agli elementi portanti adiacenti e può essere semplice o doppia (i profili in questo caso possono essere affiancati "schiena contro schiena" o "in scatolati" per incrementare la resistenza meccanica della parete). Le orditure possono essere disposte anche in doppia serie parallela, adiacenti o distanziate, separate o collegate con strisce di lastre adeguatamente disposte e fissate.

Tali pareti possono inoltre essere attrezzabili (ossia è possibile appendere alle pareti finite dei carichi di vario peso e distribuzione, dal semplice quadro al pensile della cucina alle scaffalature di negozi e magazzini) attraverso l'installazione di opportuni irrigidimenti tra i montanti.

Dopo la posa delle orditure metalliche vengono inserite le reti impiantistiche. Queste vengono fatte passare in apposite asole ricavate nell'anima dei montanti, collocate nella parte bassa della parete per agevolare il passaggio dei cavi.

In seguito, tra i montanti viene posizionato un materassino di lana isolante. Quest'ultimo è generalmente realizzato con materiali fibrosi (lana di vetro<sup>171</sup> e lana di roccia<sup>172</sup>) di vario spessore e densità, al fine di incrementare le prestazioni di isolamento termico e/o acustico della parete.

Infine, il rivestimento delle pareti può essere realizzato con:

- lastre di gesso rivestito (aventi uno spessore minimo di 12,5 millimetri);

---

<sup>171</sup> La lana di vetro, a bassa densità, ad alta capacità fonoassorbente, incrementa il potere fonoisolante della parete.

<sup>172</sup> La lana di roccia, con alti punti di fusione ( $> 1000^{\circ}\text{C}$ ), incrementa l'isolamento termico anche alle alte temperature di incendio, conferendo migliori proprietà di protezione al fuoco alla partizione.

- lastre di gesso-fibra per una particolare resistenza agli urti;
- lastre in gesso arricchito con perlite e rivestito con tessuto in fibra di vetro per un'elevata protezione al fuoco;
- lastre in cemento fibrorinforzato (Aquapanel) per pareti ad alte prestazioni di resistenza agli urti e all'umidità.

Il rivestimento in lastre può essere formato da uno, due o tre strati per lato. Il tipo ed il numero delle lastre di rivestimento sono scelti in funzione delle prestazioni della parete in relazione alla statica, alla protezione al fuoco, all'acustica e all'isolamento termico.

### **7.3.2. Le pareti monoblocco con isolamento integrato**

Le murature ad intercapedine eseguite con metodo tradizionale stanno vivendo un progressivo calo di gradimento da parte dei progettisti: la motivazione è principalmente legata ai costi elevati derivanti dalla loro posa in opera articolata e alle varie criticità tecniche connesse alla discontinuità dell'isolamento termico.

Negli ultimi anni si sta riscontrando una maggior diffusione nell'utilizzo di murature perimetrali costituite da elementi monoblocco con isolamento integrato, in grado di garantire livelli di coibentazione elevati.

#### **7.3.2.1. I blocchi porizzati**

L'evoluzione del laterizio forato ha portato negli anni alla produzione di elementi la cui funzione non fosse più solo quella di dividere gli spazi interni o di offrire resistenza meccanica all'involucro, bensì di contribuire al miglioramento del comfort abitativo interno.

Il laterizio porizzato è un mattone il cui impasto cotto risulta alleggerito con alveoli ottenuti additivando all'argilla cruda una determinata quantità di alleggerenti.

Si possono avere macroporizzazioni ottenute additivando:

- polistirolo espanso in forma di piccole sfere di diametro compreso tra 1 e 2 millimetri che, durante la fase di cottura, brucia scindendosi in anidride carbonica ed acqua;
- farine fossili, di cellulosa, di legno ed altri dimagranti e/o alleggerenti di natura organica e non.

In entrambi i casi l'impasto rimane disseminato di alveoli (macropori o micropori) tra loro non comunicanti, privi di qualsiasi deposito carbonioso e contenenti solo aria<sup>173</sup>.

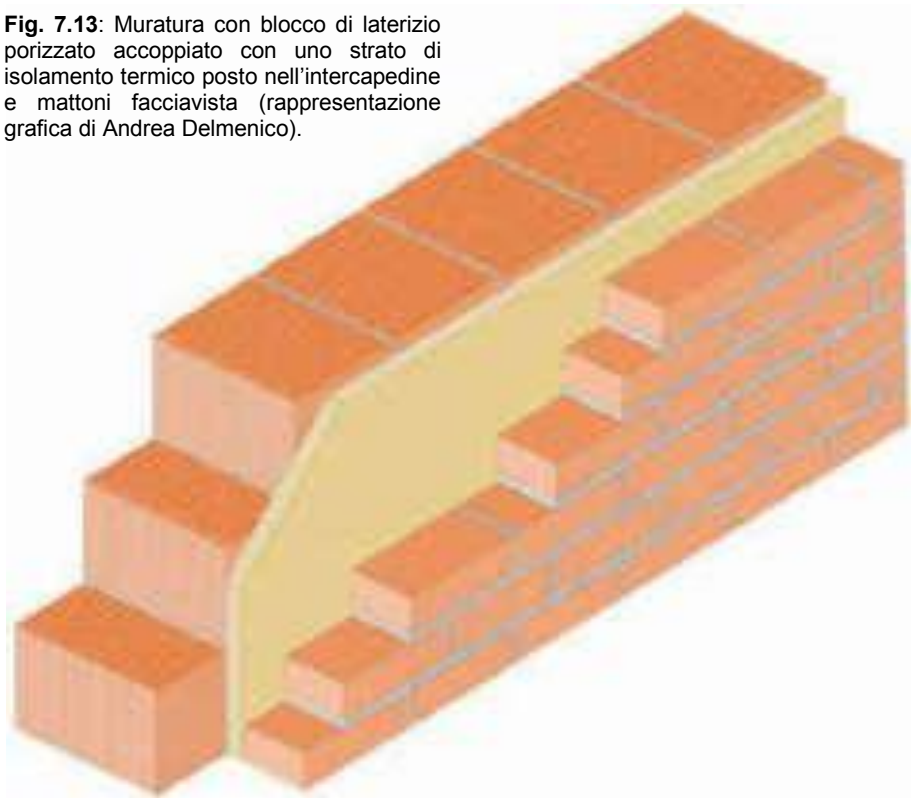
---

<sup>173</sup> Consorzio POROTON®.

Normalmente l'argilla cotta ha un peso variabile tra i 1.800 e i 2.000 kg/m<sup>3</sup> (a seconda del tipo) che, attraverso il processo di porizzazione, può diminuire fino ad arrivare a valori di 1.400-1.500 kg/m<sup>3</sup>.

L'alleggerimento dell'impasto comporta il cambiamento delle caratteristiche termofisiche del materiale: a parità di altre condizioni, un materiale leggero è termicamente più performante di un materiale pesante e, viceversa, meno resistente dal punto di vista meccanico.

**Fig. 7.13:** Muratura con blocco di laterizio porizzato accoppiato con uno strato di isolamento termico posto nell'intercapedine e mattoni facciavista (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).



Lo standard di produzione del laterizio porizzato prevede un peso dell'impasto cotto alleggerito variabile in relazione alle caratteristiche della materia prima di partenza (1.450÷1.600 kg/m<sup>3</sup>), raggiungendo un compromesso tra le caratteristiche di resistenza meccanica e termica. Una diminuzione in peso del 25% comporta una diminuzione della conducibilità del materiale di circa il 40%; ciò consente, unitamente all'impiego di forature opportunamente studiate, di conferire ai blocchi prodotti (e alle murature) quella capacità di isolamento termico ed inerzia termica che un normale laterizio non è in grado di fornire.

Da un punto di vista meccanico la perdita di resistenza non comporta particolari problemi (percentuale di foratura dei blocchi inferiore al 45%). I blocchi prodotti possono comunque avere caratteristiche portanti ed essere utilizzati per la costruzione di murature strutturali.

L'alleggerimento dell'impasto, inoltre, permette di incrementare le prestazioni acustiche.

Il laterizio porizzato è presente sul mercato sotto forma di blocchi portanti o per il tamponamento, di spessore variabile tra i 25 e i 50 centimetri. Può essere accoppiato con sistemi di coibentazione a cappotto esterno, interno o ad intercapedine, raggiungendo ottimi livelli prestazionali. Più difficilmente può essere utilizzato da solo in una muratura perimetrale perchè non è in grado di garantire il rispetto dei parametri di isolamento termico richiesti nella maggior parte delle zone climatiche in cui è suddiviso il territorio nazionale.

#### *7.3.2.2. I blocchi rettificati*

A livello termico, uno dei punti maggiormente critici di una muratura di laterizio sono i corsi di malta, in quanto creano:

- dei piccoli ponti termici in corrispondenza del punto che mette in comunicazione il lato interno con quello esterno della muratura;
- delle irregolarità in facciata che generano dei piccoli spazi vuoti in cui si disperde il calore.

Per ovviare a questi problemi sono presenti sul mercato dei blocchi di laterizio rettificati, le cui facce di posa (superiore ed inferiore) sono rese, tramite un processo industriale, quasi perfettamente planari. In questo modo, una volta sovrapposti, i blocchi risultano perfettamente aderenti fra di loro, permettendo l'utilizzo di speciali collanti vegetali a basso spessore (dell'ordine di 2-3 millimetri) che vengono stesi in sostituzione della tradizionale malta. Tale procedimento consente, inoltre, di ottimizzare i tempi di messa in opera.

Questi blocchi hanno una "maschiatura" sulle facce laterali che permette un incastro tra gli elementi affiancati: il risultato è una muratura monolitica compatta che offre prestazioni termiche elevate (conducibilità termica  $0,09 \div 0,14$  W/mK per le murature esterne).

I blocchi di laterizio rettificati sono generalmente costituiti da un impasto di tipo porizzato ed hanno spessore variabile dai 25 ai 45 centimetri (per i tramezzi lo spessore va dagli 8 ai 20 centimetri). Possono essere utilizzati sia per la realizzazione di murature di tamponamento che per murature aventi caratteristiche portanti.



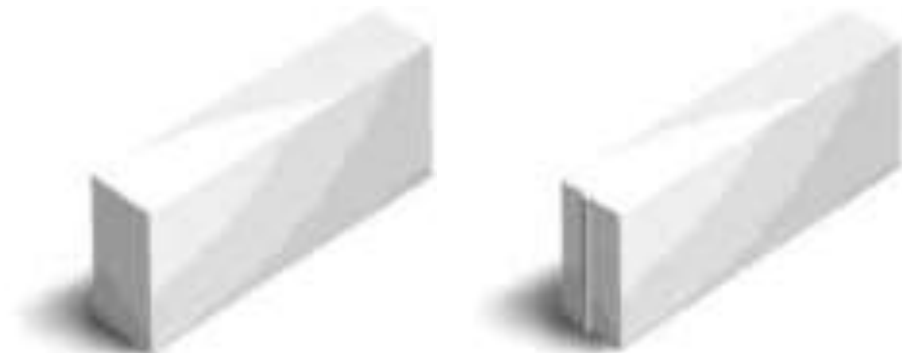
**Fig. 7.14:** Messa in opera di blocchi rettificati. Nella foto sopra: stesura del collante vegetale (spessore 2-3 millimetri).

Esiste inoltre un'ulteriore evoluzione prestazionale di queste tipologie di blocchi che è il blocco rettificato con materiale isolante integrato (o accoppiato). Si tratta di blocchi rettificati i cui fori sono riempiti, in fase di produzione, con materiale isolante (come il polistirene additivato con grafite, sughero o altro). In tal modo sono in grado di garantire valori di trasmittanza termica molto bassi, tali da permettere, nella maggioranza dei casi, il soddisfacimento dei requisiti di legge con la sola applicazione del singolo blocco, senza l'aggiunta di ulteriori strati di isolamento.

### 7.3.2.3. I blocchi di calcestruzzo cellulare autoclavato

I blocchi di calcestruzzo cellulare autoclavato sono un'ottima alternativa ai sistemi di laterizio per la realizzazione di pareti di tamponamento (o divisori interni) ad alte prestazioni energetiche e di resistenza al fuoco. Sono costituiti da calcestruzzo cellulare sottoposto a un particolare processo industriale, accoppiato all'utilizzo di inerti a pezzatura fine. Tale processo permette la realizzazione di un materiale molto compatto, leggero e poroso i cui vantaggi principali sono:

- *peso specifico contenuto*: rende i blocchi particolarmente adatti negli interventi di ristrutturazione;
- *grande lavorabilità*: i blocchi possono essere tagliati e modellati con l'utilizzo di un semplice segaccio a mano;
- *semplicità di posa*: avviene mediante l'utilizzo di specifici collanti cementizi (come per i blocchi rettificati);
- *omogeneità del blocco*: da cui ne consegue un comportamento lineare dal punto di vista termico ed acustico.



**Fig. 7.15:** A sinistra tavola - blocco Ytong sottile liscio (62,5x25x5-8-10 cm) per fodere sottili (cucine in muratura, bagni, ecc.) tramezzi, divisori, contropareti e pareti resistenti al fuoco; a destra blocco Ytong sottile maschiato (62,5x25x8-10-12-15 cm) per tramezzi, divisori, contropareti e pareti resistenti al fuoco.

Fonte: Xella Italia S.r.l.



**Fig. 7.16:** A sinistra blocco Ytong “ClimaGold” maschiato (62,5x20x40-45-48 cm) per tamponamenti esterni monostrato ad elevato isolamento termico (trasmissione termica 0,17-0,15 W/m<sup>2</sup>K); a destra blocco Ytong “ClimaPlus” maschiato (62,5x20x24-30-36 cm) per tamponamenti esterni monostrato (trasmissione termica 0,31-0.21 W/m<sup>2</sup>K).

*Fonte: Xella Italia S.r.l.*



**Fig. 7.17:** Edificio realizzato esclusivamente con blocchi Ytong di varia tipologia.

*Fonte: Xella Italia S.r.l.*

Dettaglio tecnologico 3	
1	Trave di cemento armato gettata in opera, dimensioni 40x30 cm (formata da n. 4 Ø12 mm)
2	Tavella sottile di tamponamento Ytong con taglio termico, dimensioni 62,5x25x10 cm
3	Architrave ribassato Ytong composto da: - 2 blocchi laterali, dimensioni 11,5x130x12,4 cm; - 1 blocco centrale, dimensione 15x130x12,4 cm
4	Cassonetto per avvolgibile di poliuretano prefabbricato coibentato, dimensioni 130x25x30 cm
5	Avvolgibile di PVC
6	Celino di chiusura del vano di ispezione del cassonetto - sp. 3,0 mm
7	Guida metallica per avvolgibile
8	Doppio vetro
9	Infisso di PVC con taglio termico, dimensioni 120x130 cm - sp. 7,0 cm
10	Davanzale di marmo con taglio termico - sp. 3,0 cm
11	Intonaco interno - sp. 2,0 cm
12	Blocco Ytong "ClimaGold", dimensioni 62,5x20x40 cm
13	Rivestimento esterno di Gres porcellanato incollato - sp. 3,0 mm
14	Pilastro di calcestruzzo armato gettato in opera, dimensioni 30x30 cm
15	Tavella Ytong liscia con taglio termico, dimensioni 62,5x25x10 cm

**Tab. 7.3:** Sezione verticale di una parete realizzata con blocchi Ytong "ClimaGold". Serramento di PVC con taglio termico, doppio vetro, cassonetto e avvolgibile interno. La sezione è stata effettuata in alto sulla parete Ytong e, in basso, sul pilastro in modo che siano visibili le tabelle Ytong utilizzate in corrispondenza del pilastro.



**Fig. 7.18:** Dettaglio tecnologico 3.

### **7.3.3. Le murature armate**

Normalmente siamo abituati a pensare ad un edificio come a uno scheletro strutturale con delle murature di tamponamento. In realtà è possibile realizzare edifici monopiano o multipiano anche senza ricorrere ad un telaio portante, bensì ad una struttura perimetrale monolitica portante su cui poggiare i solai d'interpiano (muratura armata).

Avendo il vantaggio della velocità esecutiva, in quanto in un'unica operazione si realizzano sia la struttura portante sia le chiusure perimetrali, la muratura armata può oggi trovare applicazione in varie casistiche, in particolar modo nelle aree a maggior sismicità, grazie al suo comportamento monolitico ed omogeneo.

Una muratura armata è costituita da blocchi di laterizio semplici, porizzati o rettificati, di spessore variabile e con caratteristiche portanti che presentano delle specifiche asole all'interno delle quali sono posizionate delle barre di armatura (gli stessi tondini di acciaio usati per il cemento armato). Queste asole vengono poi riempite, corso dopo corso, con dei getti di calcestruzzo: in questo modo si crea una muratura mista di laterizio con irrigidimenti di calcestruzzo armato, dalle spiccate caratteristiche portanti.

La muratura armata è oggi un sistema costruttivo ben definito dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni e costituisce una valida alternativa per la realizzazione di edifici non particolarmente elevati. Trattandosi di un vero e proprio elemento portante necessita di appositi calcoli dimensionali al fine di definire posizione, tipologia e passo degli irrigidimenti armati.

### **7.3.4. Le pareti portanti a elementi modulari misti**

L'obiettivo di realizzare degli involucri edilizi dal comportamento il più possibile omogeneo e privo di punti critici ha, negli ultimi anni, fatto sviluppare la produzione di sistemi modulari misti, in cui le tipologie costruttive e i nodi strutturali sono studiati in maniera preliminare in laboratorio, portando sempre più il cantiere verso il concetto di luogo di assemblaggio.

Il concetto fondamentale che sta dietro alla ricerca di questi sistemi, disponibili in diverse tipologie a seconda del materiale che si intende utilizzare, è quello di creare un sistema costruttivo "autonomo" in cui l'unione dei singoli elementi consenta di costruire un edificio completo delle caratteristiche strutturali e di isolamento termo-acustico. Per questo in tali sistemi si trovano tutta una serie di "pezzi speciali" in grado di

risolvere i nodi critici più ricorrenti: gli architravi, i frontali dei solai, le giunzioni d'angolo, ecc.

I vantaggi di questi sistemi costruttivi sono:

- la *garanzia prestazionale* (statica e termo/acustica): fornita direttamente dal produttore;
- la *velocità di posa*: si traduce in un contenimento generale dei costi di manodopera (tipica dei sistemi semi-prefabbricati);
- una *semplificazione delle operazioni di cantiere*: in quanto gli operatori devono solamente applicare uno schema di posa già predefinito nei dettagli, con riduzione degli scarti di lavorazione.

#### 7.3.4.1. I blocchi cassero di legno-cemento

Tra i sistemi modulari misti più diffusi si possono citare i blocchi cassero di legno-cemento dove il blocco, già pre-accoppiato ad un isolamento di polistirene espanso, svolge la doppia funzione di elemento per parete e di cassero per il contenimento del getto di irrigidimento in calcestruzzo.

Il sistema si completa con l'inserimento, all'interno dei fori del blocco, di tondini e gabbie di armatura di acciaio ad aderenza migliorata (tipo B40C) creando così, a getto effettuato, una "lama" portante di 15-20 centimetri di spessore lungo tutto il perimetro dell'edificio.



**Fig. 7.19:** Scuola di Musica "CTE" di Mogol a Terni (TR) realizzata con i sistemi Isotex.  
*Fonte: Isotex S.r.l.*



**Fig. 7.20:** Polo scolastico a Pavullo (MO) realizzato con il sistema costruttivo Isotex.  
*Fonte: Isotex S.r.l.*



**Fig. 7.21:** Condominio rivestito di marmo, realizzato a Parma con il sistema Isotex.  
*Fonte: Isotex S.r.l.*

Le caratteristiche dei blocchi e dei solai di legno-cemento Isotex permettono di ottenere:

- facilità e velocità di posa (posa a secco);

- riduzione dei tempi e dei costi di costruzione;
- sicurezza antisismica;
- risparmio energetico (“Classe A4”);
- resistenza al fuoco (REI 120 e REI 240);
- resistenza allo scoppio;
- ottima inerzia termica;
- permeabilità al vapore e impermeabilità all’aria;
- isolamento acustico (“Classe I”);
- bioedilizia (Dichiarazione Ambientale di Prodotto, *Environmental Product Declaration* – EPD).

All’interno dei blocchi (posati a secco) vengono prima inseriti i ferri d’armatura e, in un secondo momento, si opera la gettata di calcestruzzo ottenendo così una struttura a pareti portanti solida e antisismica.

Esistono “pezzi speciali” per tutte le esigenze costruttive che permettono la completa eliminazione dei ponti termici ed acustici.

La posa a secco permette di avere tempi estremamente veloci di costruzione e costi ridotti rispetto ad altri sistemi costruttivi. Tale risultato è ulteriormente garantito dal fatto che, con una sola operazione, è possibile soddisfare gli aspetti strutturali (eliminando i pilastri), termici, acustici, ecc.

Il modo migliore per creare un involucro esterno isolato è realizzare un isolamento a cappotto. Per garantire a quest’ultimo la massima durata nel tempo ed evitare che subisca danneggiamenti e fessurazioni, è necessario che sia protetto in modo adeguato. Nel sistema costruttivo realizzato con blocchi di legno-cemento Isotex, lo strato di isolante (avente uno spessore fino a 20 centimetri) è coperto da uno strato di legno-cemento in grado di garantire la massima protezione e traspirazione alla parete. Ricerca e innovazione hanno portato Isotex alla realizzazione di un nuovo modello di blocco, migliorato dal punto di vista dell’isolamento termico e della capacità portante (quest’ultima aumentata del 45%). Dal punto di vista tecnico i nuovi blocchi sono stati progettati con due nervature al posto di tre, ottenendo uno strato di materiale isolante più continuo ed omogeneo (+15% di isolamento termico).

Il blocco cassero Isotex a due nervature risulta migliorativo strutturalmente rispetto al precedente modello per i seguenti motivi:

- i pilastri di calcestruzzo che si formano durante il getto sono perfettamente allineati e sono caratterizzati da una larghezza costante in altezza. Tale modello consente così di avere un incremento del 45% dell’area del pilastro con un conseguente aumento del 45% della portata dei carichi verticali;

- la lunghezza dei traversini che collegano orizzontalmente i pilastri verticali è ridotta della metà e la resistenza degli stessi è stata incrementata del 30%;
- le pareti realizzate con i nuovi blocchi presentano rigidità e buona duttilità. Sono caratterizzate da una maggior resistenza alle spinte orizzontali nel piano con una conseguente riduzione delle deformazioni.

I blocchi Isotex permettono la completa eliminazione dei ponti termici attraverso l'utilizzo di "pezzi speciali" (blocco d'angolo, architrave, blocco "Correa", blocco "Spalla" per porte e finestre, ecc.). Nei blocchi destinati alla realizzazione delle pareti portanti esterne le trasmittanze oscillano da 0,34 a 0,15 W/m<sup>2</sup>K, mentre in quelle interne vanno da 0,79 a 0,56 W/m<sup>2</sup>K. Nei solai intermedi, invece, le trasmittanze variano da 0,63 a 0,60 W/m<sup>2</sup>K e da 0,24 a 0,28 W/m<sup>2</sup>K in quelli di copertura. Questi valori di trasmittanza termica sono ottenuti con il calcolo tridimensionale, come previsto dalle normative vigenti (norma UNI EN ISO 6946<sup>174</sup>). Tali valori (abbinati alle caratteristiche degli altri componenti necessari per il calcolo energetico) consentono agli edifici realizzati con blocchi Isotex di raggiungere la migliore classificazione energetica ("Classe A4")<sup>175</sup>.

I blocchi Isotex offrono, inoltre, la massima sicurezza anche sotto l'aspetto di resistenza al fuoco, in quanto sia il calcestruzzo che l'armatura si trovano all'interno del blocco cassero e, quindi, sono protetti dal legno-cemento. Il legno viene sottoposto ad un processo di mineralizzazione naturale che lo rende inerte (inorganico) e, pertanto, non attaccabile dal fuoco, dalle muffe e dai parassiti. I test di resistenza al fuoco, condotti su blocchi e solai Isotex senza intonaci (con la fiamma direttamente a contatto con il legno-cemento) hanno determinato rispettivamente le classi di resistenza al fuoco REI 120 e REI 240.

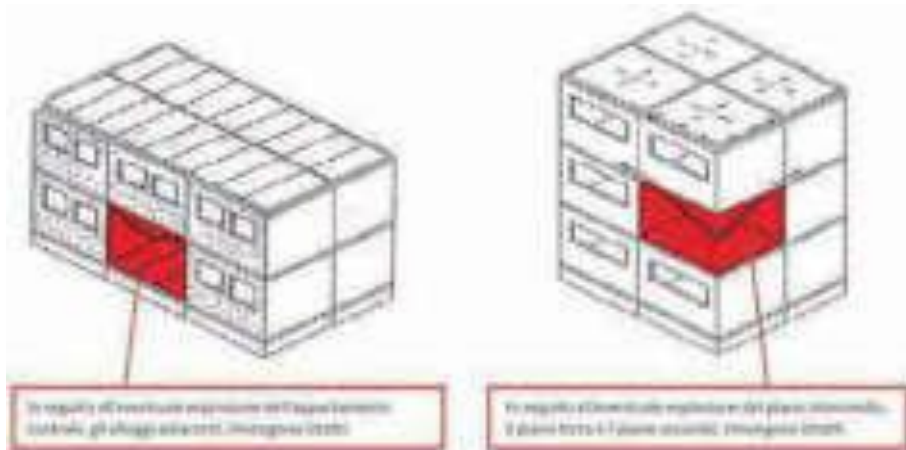
I blocchi cassero Isotex sono posati a secco e vengono riempiti ogni sei corsi con calcestruzzo debolmente armato. In questo modo si realizza una parete "massiva" con un'ottima inerzia termica in grado di ridurre al minimo, all'interno dell'abitazione, la variazione di temperatura che si ha

<sup>174</sup> Norma UNI EN ISO 6946:2018, *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo.*

<sup>175</sup> Dal primo ottobre 2015 è stato introdotto l'APE unico (Attestato di Prestazione Energetica), valido su tutto il territorio nazionale, per eliminare le disomogeneità che si erano create, con le diverse normative regionali, nella valutazione delle prestazioni energetiche di un edificio. Le classi energetiche da sette sono diventate dieci: dalla G (la peggiore), alla Classe A4 (la migliore). Il nuovo APE riporta, oltre i consumi per il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo, le emissioni di CO<sub>2</sub> correlate e l'eventuale energia esportata dall'autoproduzione con impianti da fonte rinnovabile.

abituamente durante l'arco della giornata. Questa caratteristica incide notevolmente sul comfort abitativo perché mantiene costante la temperatura all'interno dell'abitazione sia in inverno che in estate, riducendo i consumi per il riscaldamento e il raffrescamento.

In caso di esplosione, l'edificio non crolla in quanto il sistema di armature verticali e orizzontali contenute nei blocchi cassero, collegate ai rispettivi cordoli dei solai, salvaguarda l'integrità dei piani superiori e inferiori a quello colpito dall'esplosione<sup>176</sup> (in pratica la parete Isotex funziona come trave portante).



**Fig. 7.22:** Resistenza allo scoppio di un edificio realizzato con blocchi Isotex. Studio realizzato dal Prof. Claudio Ceccoli in collaborazione con l'Ing. Gilberto Dallavalle.

Fonte: Isotex S.r.l.

Le pareti in blocchi Isotex sono state testate all'impermeabilità all'aria (*Blower Door Test*) con ottimi risultati; ciò significa che non presentano fuoriuscite di aria dalle pareti e, quindi, non vi sono dispersioni di calore.

Un altro aspetto fondamentale per il comfort abitativo e per il microclima interno all'abitazione è il passaggio del vapore attraverso le pareti. Il materiale dei blocchi Isotex (legno-cemento) offre una resistenza molto bassa al passaggio del vapore ( $\mu=5,9$ ). Attraverso le nervature che collegano le due pareti del blocco cassero si formano delle corsie preferenziali in cui passa il vapore. In queste nervature non sono presenti né il calcestruzzo né l'isolante che hanno valori di resistenza al passaggio del vapore molto più elevati del legno-cemento. Questa

<sup>176</sup> Dimostrazione effettuata dal Prof. Claudio Ceccoli (docente del Dip. di Ingegneria Strutturale dell'Università di Bologna) in collaborazione con l'Ing. Gilberto Dallavalle.

peculiarità, sommata all'assenza di ponti termici e a un adeguato ricambio d'aria, porta a non avere formazione di condensa e muffe.

L'abbinamento del calcestruzzo con il legno-cemento (materiali che formano la parete portante Isotex) è studiato per assorbire i rumori alle diverse frequenze raggiungendo la "Classe I"<sup>177</sup>.

I prodotti di legno-cemento Isotex hanno ottenuto le seguenti certificazioni:

- per la Bioedilizia (ICEA – Istituto per la Certificazione Etica e Ambientale): in cui si evidenzia che i prodotti non sono pericolosi per la salute umana e per l'ambiente;
- il test effettuato sulla radioattività ha dato valori molto bassi:  $I = 0,115 \pm 0,010$ ;
- la Dichiarazione Ambientale di Prodotto EPD<sup>178</sup>.



**Fig. 7.23:** Realizzazione di 400 alloggi (Social Housing) a Parma con i blocchi Isotex.  
*Fonte: Isotex S.r.l.*

---

<sup>177</sup> La "Classe I" è la migliore prestazione raggiungibile in termini di insonorizzazione delle pareti.

<sup>178</sup> L'etichetta ambientale di tipo III (EPD), conforme alla norma UNI EN 15804 e ISO 14025, è un documento informativo che fornisce dati quantitativi sul profilo ambientale di un prodotto, basandosi su una valutazione del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment – LCA*) per la quantificazione degli impatti ambientali.



**Fig. 7.24:** Realizzazione di 70 alloggi a Parma con i blocchi Isotex.

*Fonte: Isotex S.r.l.*



**Fig. 7.25:** Realizzazione di 8 alloggi a Cremona (CR) con blocchi e solai Isotex.

*Fonte: Isotex S.r.l.*



**Fig. 7.26:** A sinistra posa del primo corso di blocchi Isotex su malta, con bolla; a destra messa in opera a secco dei successivi corsi di blocchi Isotex.  
*Fonte: Isotex S.r.l.*



**Fig. 7.27:** Colata di calcestruzzo all'interno dei blocchi Isotex (effettuata ogni 6 corsi).  
*Fonte: Isotex S.r.l.*



**Fig. 7.28:** A sinistra l'inserimento, a getto fresco, delle armature verticali per contrastare l'azione sismica; a destra la realizzazione delle tracce con la scanaltrice.  
*Fonte: Isotex S.r.l.*



**Fig. 7.29:** Posa dei pannelli-solaio Isotex calcolati e realizzati su misura.  
*Fonte: Isotex S.r.l.*



**Fig. 7.30:** Posa di blocchi e pannelli-solaio Isotex.  
*Fonte: Isotex S.r.l.*



**Fig. 7.31:** A sinistra parete curva realizzata con blocchi Isotex; a destra parete Isotex e travi di legno.

*Fonte: Isotex S.r.l.*



**Fig. 7.32:** Apertura ad arco a sinistra e taglio tondo per la realizzazione di un'apertura in una parete Isotex.

*Fonte: Isotex S.r.l.*

### 7.3.4.2. I blocchi cassero di polistirene espanso

I blocchi cassero di polistirene espanso sono degli elementi modulari di varie forme e dimensioni preposti al montaggio di cassature per la realizzazione di pareti di cemento armato. I vari elementi sono costituiti da due lastre di polistirene, di altezza e lunghezza variabile e di spessore differenziato, distanziate da staffe in lamiera d'acciaio zincato inglobate nel polistirene in fase di stampaggio al fine di rendere solidali ed equidistanti le due lastre.

Tali blocchi consentono la realizzazione di pareti portanti dallo spessore variabile dai 25 ai 45 centimetri (al netto delle finiture esterne). I casseri sono montati a secco fino all'altezza di un piano. Ad ogni corso sono posati i ferri d'armatura orizzontali. I ferri d'armatura verticali vengono invece calati dall'alto prima del getto di calcestruzzo. La cassetta autoportante (costituita dalle due lastre di polistirene) rimane a maturazione del getto come elemento isolante della parete, conferendole un valore di trasmittanza termica compreso tra 0,27 e 0,13 W/m<sup>2</sup>K.



**Fig. 7.33:** Messa in opera del primo corso di blocchi cassero coibentati di polistirene espanso e posizionamento dei ferri di armatura. Sistema costruttivo Bioisotherm - Argisol.  
*Fonte: Bioisotherm S.r.l.*



**Fig. 7.34:** Messa in opera tramite incastro dei blocchi cassero coibentati di polistirene espanso per la realizzazione di una parete. Sistema costruttivo Bioisotherm - Argisol.

*Fonte: Bioisotherm S.r.l.*



**Fig. 7.35:** Pareti realizzate con il sistema costruttivo Bioisotherm - Argisol.  
*Fonte: Bioisotherm S.r.l.*



**Fig. 7.36:** Gettata di calcestruzzo all'interno dei blocchi cassero coibentati di polistirene espanso per la realizzazione di una parete. Sistema costruttivo Bioisotherm - Argisol.  
*Fonte: Bioisotherm S.r.l.*



**Fig. 7.37:** Sistema costruttivo Bioisotherm - Termosolaio.  
*Fonte: Bioisotherm S.r.l.*



**Fig. 7.38:** Pareti realizzate con il sistema costruttivo Bioisotherm - Argisol e solaio realizzato con il sistema costruttivo Bioisotherm - Termosolaio.  
*Fonte: Bioisotherm S.r.l.*



**Fig. 7.39:** Blocchi cassero coibentati in polistirene per la realizzazione del complesso di Social Housing a Gazzera.  
*Fonte: Bioisotherm S.r.l.*



**Fig. 7.40:** Blocchi cassero coibentati di polistirene per la realizzazione della villa unifamiliare a Pescantina.

*Fonte: Bioisotherm S.r.l.*

#### **7.4. L'isolamento a cappotto**

L'attenzione nei confronti dei consumi energetici rappresenta oggi uno degli aspetti di maggior importanza nel mondo delle costruzioni, facendo leva, in particolar modo, sull'utilizzo di materiali ecosostenibili, sul ricorso a fonti di energia rinnovabili e sul maggior isolamento dell'involucro degli edifici.

Quest'ultimo aspetto ha portato all'adozione di sistemi costruttivi in grado non solo di incrementare la coibentazione termica dell'involucro dell'edificio ma anche di correggere all'origine eventuali ponti termici.

Uno dei sistemi più utilizzati è l'isolamento a cappotto, così definito perché prevede un vero e proprio "avvolgimento" delle parti opache dell'edificio con materiale isolante di diversa natura.

L'isolamento a cappotto, andando ad intervenire in maniera complessiva sull'involucro di un edificio, necessita di opportune verifiche

termoigrometriche a livello progettuale, in modo da appurare l'inesistenza di punti di condensa interstiziali nelle stratigrafie delle murature. Questa tipologia di isolamento può essere applicata esternamente o internamente alla parete.

L'*isolamento a cappotto esterno* è il sistema maggiormente utilizzato e consiste nel rivestire le murature perimetrali di un edificio (nuove o esistenti) con del materiale isolante in pannelli rigidi/semirigidi oppure in rotoli. Il ciclo di applicazione prevede il fissaggio dell'isolante alla faccia esterna del supporto murario mediante appositi collanti o con tasselli meccanici. Sulla coibentazione viene poi stesa una rete di armatura anti-fessurazione in fibra di vetro a maglia fine (1x1 centimetri) su cui viene effettuata una doppia rasatura incrociata con rasante cementizio. Infine, viene applicata la mano di finitura, generalmente costituita da un intonaco cementizio del colore prescelto.

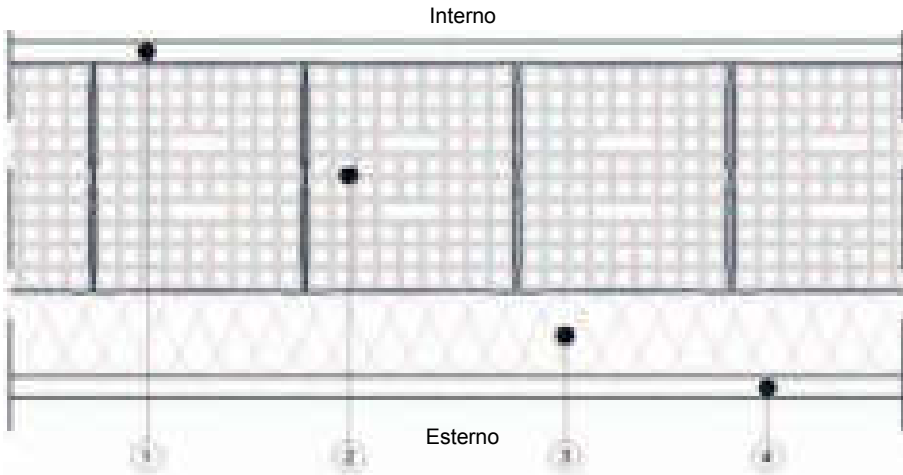


Fig. 7.41: Dettaglio tecnologico 4.

Dettaglio tecnologico 4	
1	Intonaco interno - sp. 2,0 cm
2	Laterizio forato, dimensioni 25x27x25 cm
3	Isolante termico per cappotto esterno di poliuretano espanso (sp. 10,0 cm) incollato alla faccia esterna del supporto murario
5	Doppia rasatura incrociata con rasante cementizio + intonaco (sp. 2,0 cm) realizzati su una rete di armatura anti-fessurazione in fibra di vetro (maglia 1x1 cm)

Tab. 7.4: Sezione orizzontale di una muratura con isolamento a cappotto esterno.



**Fig. 7.42:** Isolamento a cappotto esterno. Nella foto a sinistra l'applicazione di pannelli isolanti in polistirene espanso su un muro di cemento armato. Nella foto a destra la rete in fibra di vetro anti-fessurazione con interposta una doppia rasatura cementizia.

L'*isolamento a cappotto interno* consiste nell'applicare un isolamento sul lato interno di una muratura perimetrale. È generalmente utilizzato negli interventi di ristrutturazione o di risanamento conservativo, laddove non è possibile intervenire in facciata a causa di vincoli architettonici o strutturali. A differenza del cappotto esterno non risolve il problema dei ponti termici in corrispondenza degli elementi strutturali (in particolare dei solai d'interpiano) e determina una perdita di spazio all'interno degli ambienti abitati. La più comune modalità di applicazione prevede la realizzazione di una controparete interna in cui l'isolante, ancorato alla muratura, è rivestito con una doppia lastra di cartongesso oppure con elementi di laterizio. Può essere utile come intervento migliorativo per pareti già isolate, anche su singole unità abitative, sfruttando l'intercapedine della controparete come sede per il passaggio delle reti impiantistiche.

Per l'esecuzione di un isolamento a cappotto i materiali utilizzati possono essere: polistirene espanso (EPS), lana di vetro, lana di roccia, fibra di legno, sughero, lane o fibre naturali.

Nonostante sia un sistema costruttivo dagli indubbi vantaggi economici ed esecutivi, uno dei maggiori rischi correlati al suo utilizzo è l'eccessivo isolamento delle parti opache che, unito al trattamento delle parti trasparenti con elementi altamente prestazionali (infissi ad alta

resistenza termica), possono provocare degli scompensi igrometrici negli ambienti interni causati dalla scarsa ventilazione naturale. Non a caso è ormai quasi irrinunciabile, in edifici ad alte prestazioni energetiche, l'installazione di impianti di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) che hanno la funzione di compensare la mancanza di ricircolo d'aria naturale all'interno degli spazi abitati.

## **7.5. La facciata ventilata**

«La parete ventilata è costituita da una doppia parete formata da uno strato resistente interno e da uno strato sottile di rivestimento esterno, nella cui intercapedine d'aria si producono moti convettivi dovuti alla presenza di aperture al piede e in sommità dello strato di rivestimento, in grado di attivare un effetto camino per il riscaldamento dell'aria interna»<sup>179</sup>.

Nelle facciate ventilate la rimozione dell'umidità dipende da due fenomeni che si verificano nell'intercapedine di ventilazione:

- la capacità di assorbimento dell'umidità nell'aria: dipende dal contenuto di umidità nell'aria all'ingresso dell'intercapedine, dallo spessore dello strato isolante, dallo spessore del supporto continuo e dall'altezza dell'intercapedine di aerazione;
- la velocità del flusso di aerazione: dipende dall'inclinazione della parete (nel caso delle coperture ventilate dall'inclinazione del tetto, dal grado di esposizione al vento e dalla ruvidità superficiale degli strati che delimitano l'intercapedine di ventilazione).

### **7.5.1. Gli strati funzionali della facciata ventilata**

Gli strati funzionali che caratterizzano una facciata ventilata, dall'interno verso l'esterno, sono:

- la muratura (definita anche "strato resistente");
- lo strato isolante;
- l'intercapedine di ventilazione,
- i sistemi di montaggio;
- il rivestimento esterno.

---

<sup>179</sup> Arbizzani, E. (2015), *Tecnica e tecnologia dei sistemi edilizi. Progetto e costruzione. Con disegni, schemi funzionali, dettagli costruttivi e immagini di cantiere*, Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna (RN).

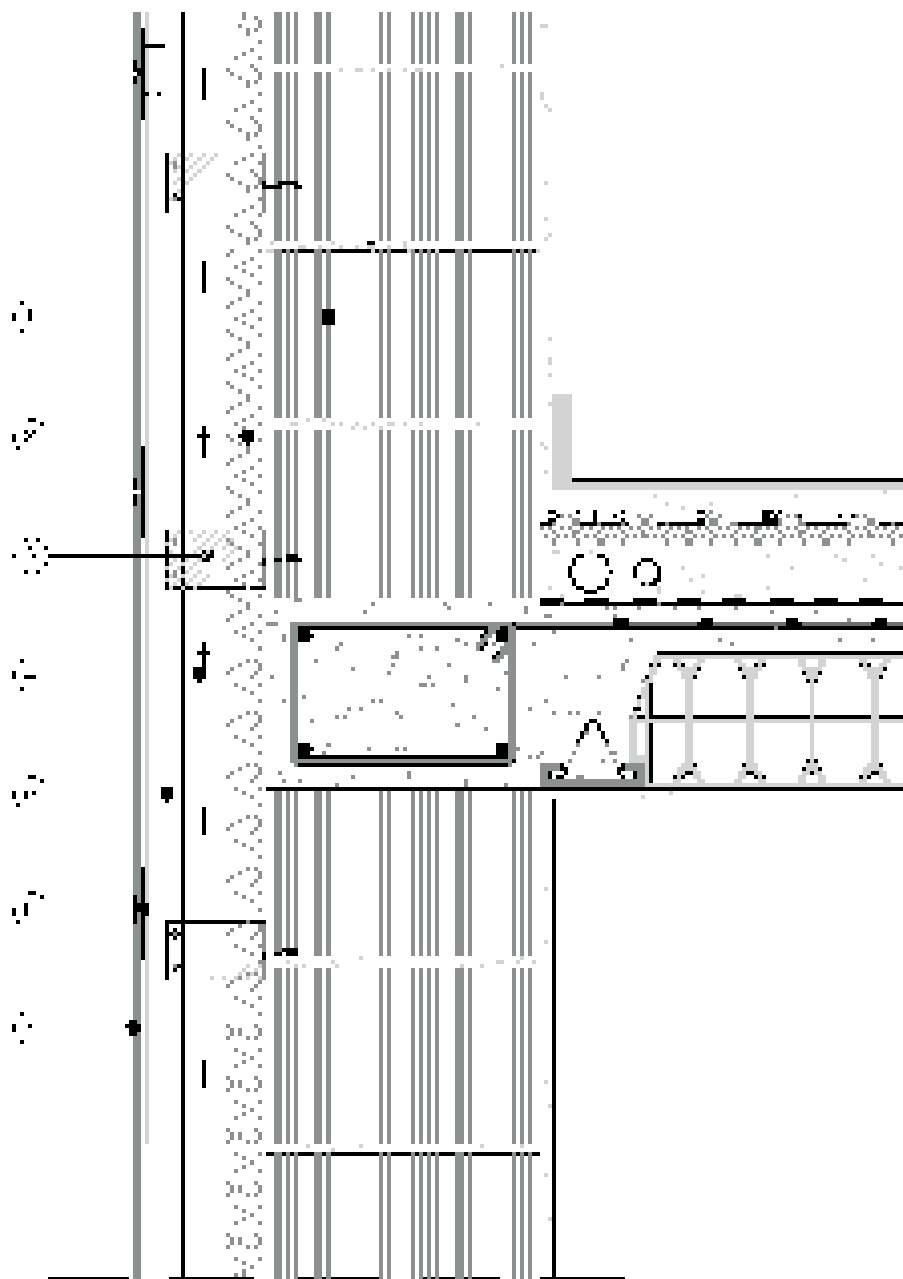


Fig. 7.43: Dettaglio tecnologico 5.

Dettaglio tecnologico 5	
1	Laterizio forato, dimensioni 30x25x19 cm
2	Isolante termico di fibra minerale incollato alla muratura - sp. 6,0 cm
3	Mensola di acciaio per l'aggancio della parete ventilata alla parete di laterizio, dimensioni 16x5 cm
4	Intercapedine d'aria - sp. 6,0 cm
5	Montante di alluminio con profilo "a T" per l'attacco delle piastre di aggancio - sp. 6,0 cm
6	Piastra di aggancio di acciaio per l'ancoraggio dei pannelli di rivestimento - sp. 2,0 mm
7	Pannello di rivestimento in gres porcellanato, dimensioni 60,0x120,0x1,5 cm

Tab. 7.5: Sezione verticale di una parete ventilata.

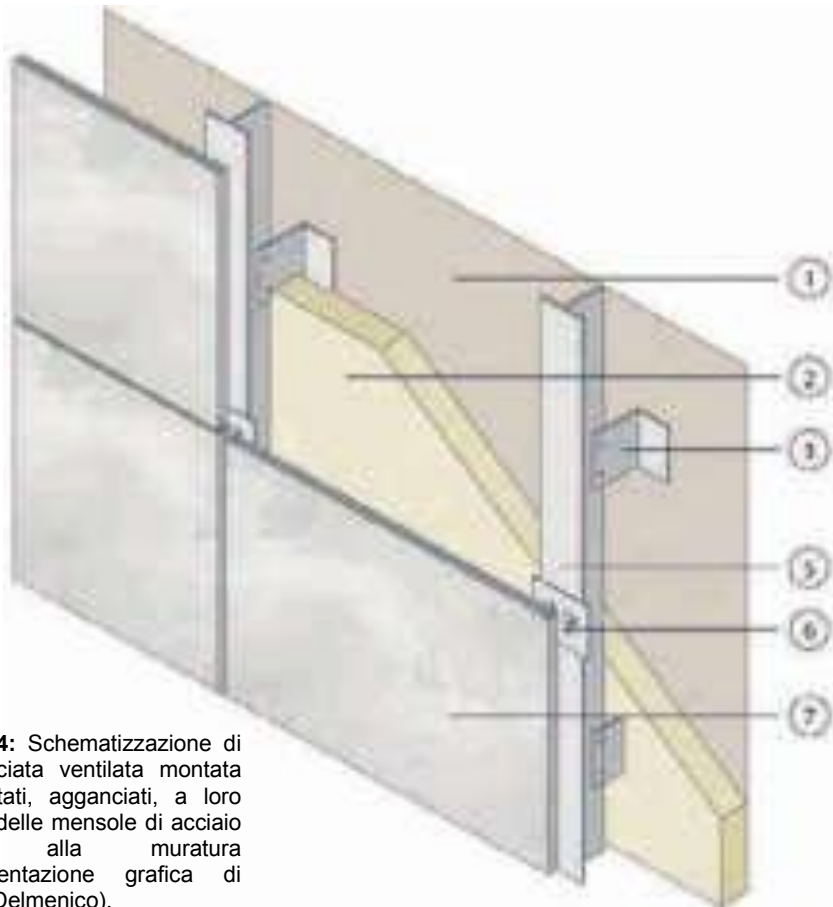


Fig. 7.44: Schematizzazione di una facciata ventilata montata su montanti, agganciati, a loro volta, a delle mensole di acciaio fissate alla muratura (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).

### 7.5.1.1. Lo strato isolante

I pannelli isolanti sono disposti sulla faccia esterna della muratura perimetrale (strato resistente) in modo da formare uno strato continuo. Si tratta di elementi appositamente sviluppati per i sistemi a facciata ventilata. È preferibile utilizzare isolanti termici non fibrosi poiché quelli fibrosi tendono a gonfiarsi con il tempo, riducendo l'effettiva altezza dell'intercapedine di aerazione.



**Fig. 7.45:** Esecuzione di una facciata ventilata su un edificio esistente: l'isolamento, in lastre di polistirene espanso (EPS), è posizionato tra gli elementi verticali della sottostruttura metallica portante, agganciata a sua volta allo strato resistente.

### 7.5.1.2. L'intercapedine d'aria

L'intercapedine d'aria è l'elemento essenziale della parete ventilata. Lo spessore dello strato di ventilazione deve essere studiato in fase progettuale, garantendo il rispetto delle dimensioni minime per consentire la corretta evacuazione dell'eventuale acqua piovana di infiltrazione tra i giunti del sistema. Con riguardo a questa esigenza, lo spessore dello strato, così come consigliato dalla norma UNI EN 11018<sup>180</sup>, deve essere di almeno 2 centimetri e deve innescare una corretta ventilazione all'interno dell'intercapedine sfruttando l'effetto

---

<sup>180</sup> Norma UNI 11018:2003, *Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate e montaggio meccanico. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione. Rivestimenti lapidei e ceramici.*

camino. La dimensione è in funzione del tipo di ventilazione che si vuole realizzare e dell'altezza della parete ventilata<sup>181</sup>.

Per determinare l'altezza dell'intercapedine di ventilazione esistono diversi metodi di calcolo. In condizioni normali (cioè: isolamento termico medio, clima interno di +20 °C, umidità relativa massima dell'aria del 60% e lunghezza di falda non superiore a 15 metri) per una facciata può bastare un'intercapedine di 2 centimetri. In genere, si dovrebbero evitare intercapedini superiori ai 10 centimetri, in quanto la corrente d'aria potrebbe trasformarsi da laminare a turbolenta, peggiorando l'efficienza del sistema. Tuttavia, se l'aerazione supera i 15 metri di lunghezza, l'altezza dell'intercapedine può superare i 10 centimetri.



**Fig. 7.46:** Dettaglio dell'intercapedine d'aria (spessore 2 centimetri) che si viene a formare tra lo strato isolante e il rivestimento (pannelli di alluminio composito) in una facciata ventilata.

### 7.5.1.3. I sistemi di montaggio

Nel 2003, in Italia, è stata emanata la norma UNI 11018<sup>182</sup> che regola la progettazione dei rivestimenti e dei sistemi di ancoraggio per le facciate ventilate a montaggio meccanico. In funzione della tipologia di montaggio sulla sottostruttura, la norma divide le pareti ventilate in cinque categorie:

- *il montaggio puntiforme*: è caratteristico di quelle tipologie di supporto continuo nelle quali il pannello può essere liberamente

---

<sup>181</sup> Nella norma UNI EN 11018:2003 è riportato il prospetto di calcolo del rapporto tra la sezione delle griglie superiori e inferiori e l'altezza totale della parete in funzione della tipologia di ventilazione voluta.

<sup>182</sup> Norma UNI 11018:2003, *Ibidem*.

- montato tramite ancoraggi diretti che lo vincolano alla struttura di supporto (raramente utilizzato);
- *il montaggio su traversi*: i pannelli di rivestimento, non potendo essere vincolati allo strato resistente per problematiche di tipo geometrico o strutturale, vengono vincolati a strutture di supporto a sviluppo orizzontale (traversi) che, a loro volta, sono vincolati alla struttura resistente (muratura) tramite degli ancoraggi puntuali. Si ricorre a questa tecnologia quando è necessario distribuire maggiormente il carico generato dal rivestimento. La struttura di supporto su traversi risulta essere la più conveniente nei casi in cui i pannelli siano realizzati in forma rettangolare e abbiano uno sviluppo allungato verso la direzione verticale;
- *il montaggio su montanti*: è una tipologia di supporto dei pannelli alla struttura resistente, analoga a quella realizzata su traversi, ma ruotata di 90° rispetto a questa;
- *il montaggio su sottostruttura*: è una tipologia di supporto nella quale sono presenti sia i montanti che i traversi. È idonea ad essere montata su supporti di qualsiasi natura;
- *il montaggio su sottostruttura snodata*: si tratta di una tipologia del tutto analoga a quella “montata su sottostruttura” ma nella quale il vincolo tra la struttura resistente e il profilo più interno della sottostruttura avviene tramite staffe di snodo. Queste ultime hanno la funzione di distanziare la struttura di sostegno metallica della facciata dal supporto resistente anche per compensare eventuali asperità superficiali o difetti di planarità.

Esiste, poi, il montaggio mediante sistemi integrati che accoppiano, in un unico elemento prefabbricato, l'isolamento e l'ancoraggio.



**Fig. 7.47:** Sistema di aggancio (realizzato con dei profili di acciaio a “T”) del rivestimento esterno ai montanti della parete ventilata.

Fonte: Foto di Valentina Puglisi.



**Fig. 7.48:** Particolare della mensola di acciaio utilizzata per l'aggancio del montante alla muratura (parete ventilata realizzata con un montaggio su montanti).  
*Fonte: Foto di Valentina Puglisi.*



**Fig. 7.49:** Particolari della sottostruttura metallica di una facciata ventilata realizzata con montanti e mensole di acciaio.



**Fig. 7.50:** Particolari che mostrano la connessione tra montanti, mensole e muratura in una parete ventilata.

*Fonte: Foto di Valentina Puglisi.*

Isotec Parete<sup>183</sup> è un sistema termoisolante che consente di comporre a secco un cappotto funzionale alla realizzazione di facciate ventilate. Tale sistema permette di ottenere, in un'unica soluzione tecnica, un cappotto esterno termoisolante, continuo e omogeneo, e una struttura di supporto per la finitura esterna di rivestimento.

Il sistema può essere applicato sia a nuove costruzioni che a interventi di recupero e di miglioramento prestazionale di edifici esistenti.



**Fig. 7.51:** Fase di montaggio del sistema Isotec Parete.

*Fonte: Brianza Plastica S.p.A.*

---

<sup>183</sup> Isotec Parete è il risultato di un programma di ricerca e sviluppo in collaborazione con il Dipartimento BEST (ora Dipartimento ABC) del Politecnico di Milano e di successive applicazioni sperimentali a progetti reali che ne hanno consentito la verifica e la definizione dei dettagli costruttivi, sia per l'applicazione a nuove costruzioni che per interventi di riqualificazione energetica ed architettonica di edifici esistenti.

Il pannello è composto da un corpo centrale isolante realizzato con schiuma poliuretanicica espansa rigida autoestinguente ricoperto, su entrambe le superfici, da una lamina di alluminio gofrato che lo rende impermeabile. La sua conformazione a battenti contrapposti, assicura aderenza all'incastro fra i pannelli, eliminando il rischio di ponti termici. Presenta, inoltre, i lati terminali tagliati "a coda di rondine" per garantire la continuità dell'isolamento.

Il pannello viene fissato alla superficie esterna della struttura portante (murature in blocchi di laterizio o calcestruzzo, strutture di acciaio o legno, ecc.) tramite tasselli o viti di ancoraggio passanti attraverso un correntino (profilo nervato) di acciaio protetto, adattandosi ad eventuali imperfezioni delle pareti di supporto. Il correntino di acciaio (avente un'altezza pari a 4 centimetri) costituisce sia la camera di ventilazione (compresa tra il pannello isolante e la finitura) sia la struttura di supporto del rivestimento di facciata. I fori predisposti sul profilo metallico rendono possibile la ventilazione della facciata e consentono lo scorrimento di eventuali infiltrazioni d'acqua.



**Fig. 7.52:** Lo spessore del pannello Isotec Parete va da un minimo di 60 a un massimo di 160 millimetri, ha una lunghezza di circa 25 centimetri e una larghezza variabile in funzione del rivestimento utilizzato.

*Fonte: Brianza Plastica S.p.A.*



**Fig. 7.53:** Parete ventilata: correntini portanti di acciaio forato del sistema Isotec Perete che costituiscono sia la camera di ventilazione (garantita dai fori presenti su di essi) che la struttura di supporto del rivestimento di facciata.  
*Fonte: Brianza Plastica S.p.A.*



**Fig. 7.54:** Particolare delle zanche preposte ad agganciare il rivestimento di facciata ai correntini del sistema Isotec Parete. Le zanche non sono visibili in facciata poiché si inseriscono all'interno del pannello.

*Fonte: Brianza Plastica S.p.A.*

Il sistema così creato costituisce un cappotto isolante esterno dotato di profili orizzontali di supporto per gli elementi di finitura della facciata. Consente l'applicazione di differenti tipologie di rivestimento esterno, sia leggere che pesanti (tavole di cotto, lastre di fibrocemento, lastre di cemento, lastre di pietra, lastre ceramiche, rivestimenti di legno, rivestimenti metallici, ecc.).

La creazione di una camera d'aria ventilata continua tra l'isolante e il rivestimento consente di ridurre al minimo il surriscaldamento estivo della parete, limitando i rischi di fenomeni di condensazione nel periodo invernale e proteggendo la parete da infiltrazioni accidentali di acqua piovana, grazie al rivestimento impermeabile di alluminio.



**Fig. 7.55:** Edifici realizzati con il sistema Isotec. A sinistra “Impresa Paccagnella” a Pieve di Cadore (BL); a destra “Corti Milanesi” a Mirano (VE).

*Fonte: Brianza Plastica S.p.A.*

#### **7.5.1.4. Il rivestimento esterno**

Per gli elementi di finitura è possibile spaziare attraverso tipologie molto diverse, considerando che il concept architettonico fondamentale è dato dalla modularità, determinata dal passo della sottostruttura portante.

Si possono realizzare facciate ventilate scegliendo tra una vasta gamma di materiali: alluminio (anche in doghe), ceramica, metallo, cemento, cotto, pietra, legno, ecc.

Come ogni sistema costruttivo a secco, anche le facciate ventilate sono caratterizzate da rapidità di posa, pulizia del cantiere e potenziale reversibilità del sistema a fine vita (smontaggio con ripristino della situazione iniziale).

### **7.5.2. Il funzionamento della facciata ventilata**

L'aria che entra nell'intercapedine dal basso verso l'alto crea un flusso aerato che sviluppa le funzioni di traspirazione della facciata ed eliminazione dell'umidità.

Durante il *periodo estivo*, la facciata ventilata crea un flusso d'aria in movimento fra la lastra esterna e il pannello isolante che permette all'aria surriscaldata (formatasi nella camera di ventilazione) di essere espulsa alla sommità dell'edificio, diminuendo gli apporti termici dall'esterno e svolgendo anche la funzione di schermatura solare.

Nel *periodo invernale*, invece, questa ventilazione favorisce la rapida eliminazione del vapore acqueo proveniente dall'interno; in questo modo si riduce sensibilmente il fenomeno della condensa e vengono eliminati gli effetti negativi di eventuali penetrazioni d'acqua con conseguente riduzione della quantità di calore che esce dall'edificio.

### **7.6. Le chiusure perimetrali trasparenti**

Le chiusure trasparenti sono quegli elementi costruttivi perimetrali di un edificio, costituite da materiali e superfici non opachi, che permettono il passaggio di luce e aria all'interno dei locali abitati. Tali superfici servono a garantire il soddisfacimento dei requisiti minimi di aeroilluminazione dei locali, rendendoli così idonei ad essere abitati, secondo le vigenti normative.

Le superfici finestrate costituiscono un punto critico nell'isolamento termo-acustico dell'involucro e, per tale motivo, devono essere oggetto di particolare attenzione progettuale, soprattutto nei nodi di giunzione con gli elementi murari.

Le superfici trasparenti si dividono sostanzialmente in due grandi famiglie:

- le aperture puntuali (finestre e porte) finestrate;
- le facciate continue.

#### **7.6.1. Le aperture puntuali**

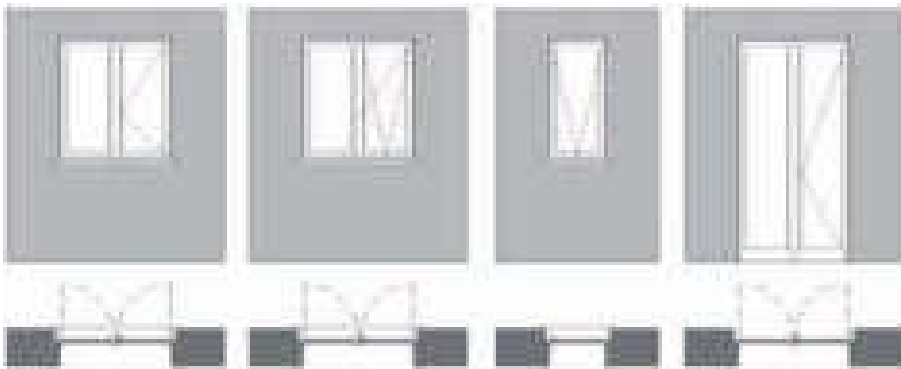
Le aperture puntuali finestrate hanno il compito di regolare l'illuminazione e la ventilazione naturale degli ambienti interni garantendo, al contempo, il soddisfacimento di alcune prestazioni quali l'isolamento termico ed acustico e la tenuta all'aria e all'acqua. Consentono, inoltre, di favorire o

precludere la visione verso l'esterno e, in alcuni casi, permettere il passaggio di persone e cose<sup>184</sup>.

La scelta del serramento rappresenta sempre un grosso problema poiché da un lato il mercato offre una vasta gamma di lastre e telai di produzione commerciale e, dall'altra, occorre garantire il comfort abitativo negli ambienti interni. Un'adeguata scelta, da parte degli addetti ai lavori, del serramento più adatto, consentirà una riduzione del consumo energetico dell'edificio con una conseguente diminuzione delle emissioni di CO<sup>2</sup>.

In commercio esistono molteplici tipologie di serramenti che si differenziano a seconda delle dimensioni, del materiale e dei sistemi di apertura/chiusura utilizzati. Questi ultimi possono essere classificati facendo riferimento alla norma UNI 8370<sup>185</sup>:

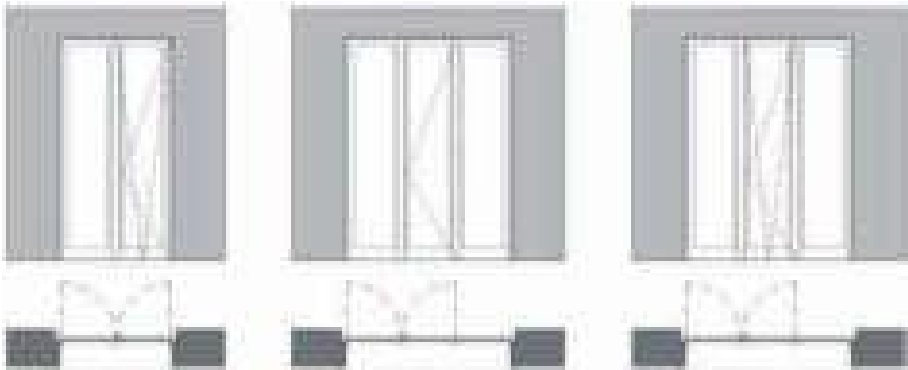
- infisso con apertura ad anta (ad asse verticale, a vasistas e a ribalta);
- infisso con apertura a bilico (ad asse orizzontale o verticale);
- infisso con apertura a lamelle (ad asse orizzontale o verticale);
- infisso con apertura scorrevole;
- infisso con apertura saliscendi.



**Fig. 7.56:** Schematizzazione del sistema di apertura/chiusura di finestre e porte-finestre. Da sinistra a destra: finestra con doppia anta e apertura a battente; finestra con doppia anta e apertura a battente/vasistas; finestra con anta singola e apertura a vasistas; porta-finestra con doppia anta e apertura a battente (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).

<sup>184</sup> Tronconi, O., Puglisi, V., Gornati, A. (2012), *Le nuove forme dell'abitare*, Maggioli editore, Sant'Arcangelo di Romagna (RN), pag. 175.

<sup>185</sup> Norma UNI 8370:1982, *Edilizia. Serramenti esterni. Classificazione dei movimenti di apertura delle ante*.



**Fig. 7.57:** Schematizzazione del sistema di apertura/chiusura di porte-finestre. Da sinistra a destra: porta-finestra con doppia anta e apertura a battente/vasistas; porta-finestra con due ante a battente + anta fissa; porta-finestra con ante a doppio battente/vasistas + anta fissa (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).



**Fig. 7.58:** Schematizzazione del sistema di apertura/chiusura di finestre e porte-finestre. Da sinistra a destra: porta-finestra con doppia anta a battente + anta a battente singola; porta-finestra con due ante scorrevoli; finestra a bilico (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).

#### 7.6.1.1. I materiali degli infissi

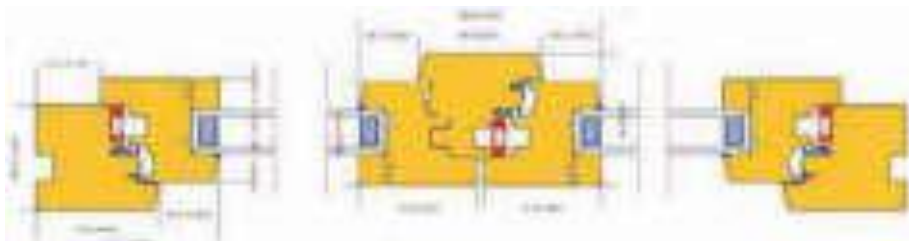
Tra i materiali maggiormente utilizzati in edilizia per la realizzazione dei serramenti possiamo trovare: il legno, l'alluminio, l'acciaio, il policloruro di vinile (PVC) ed i sistemi misti. Ognuno di questi caratterizza il serramento sia esteticamente sia a livello prestazionale.

Il *legno* è il materiale di più largo impiego nella produzione tradizionale degli infissi. Questi presentano ottime prestazioni di resistenza termica e un'elevata gradevolezza estetica, garantiscono una discreta resistenza

meccanica e sono più leggeri rispetto alle altre tipologie. Di converso hanno un costo maggiore e necessitano di operazioni di manutenzione periodica. Le essenze utilizzate per la produzione di questi tipi di infissi variano in base al costo e alle prestazioni richieste:

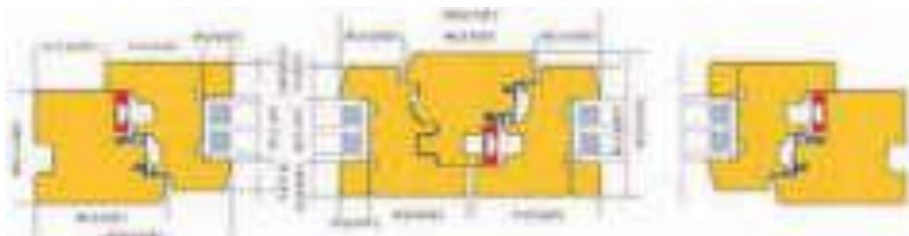
- *infissi a basso costo*: utilizzano il pioppo, in pino nazionale, il castagno e l'abete;
- *infissi con ottime prestazioni*: sono realizzati utilizzando essenze quali il larice, il rovere nazionale, il faggio e il pino del nord;
- *infissi particolarmente ricercati*: impiegano il mogano e il noce nazionale.

Essendo un materiale naturale, il legno risulta instabile alle variazioni igrotermiche stagionali ed è soggetto alle aggressioni provenienti dagli agenti biologici, quali funghi ed insetti. Per questo motivo il legno necessita, durante la fase di stagionatura ed essiccazione, di determinati trattamenti. Gli infissi più comuni, per esempio, vengono verniciati, mentre le essenze più pregiate vengono trattate con impregnanti trasparenti. Molte volte, in alternativa al legno massello, viene impiegato il legno lamellare che consente maggiore snellezza dei profili a parità di resistenza meccanica.



**Fig. 7.59:** Sezione orizzontale di un serramento della linea “Legno” della De Carlo (Denergy, 68 Design) con doppio vetro e camera d’aria.

Fonte: De Carlo S.p.A.



**Fig. 7.60:** Sezione orizzontale di un serramento della linea “Legno della De Carlo (Denergy, 78 Design) con triplo vetro e doppia camera d’aria. Serramento che ha ottenuto il bollino “Finestra Qualità” di CasaClima.

Fonte: De Carlo S.p.A.

Gli infissi realizzati con l'*alluminio*<sup>186</sup> sono frequentemente impiegati in edilizia grazie alle loro proprietà di duttilità e leggerezza. Grazie al processo di anodizzazione superficiale cui sono soggetti, questi infissi presentano caratteristiche di inossidabilità nel tempo. Per questo motivo richiedono una limitata manutenzione e hanno un'ottima resistenza alla corrosione e agli agenti atmosferici. Questi serramenti possono essere anodizzati con diverse colorazioni superficiali o essere pre-verniciati, offrendo una gamma di colorazioni pressoché illimitata. L'alluminio, grazie alla sua leggerezza ed ottima lavorabilità, è idoneo per la realizzazione di serramenti di grandi dimensioni. Uno degli svantaggi dell'alluminio rispetto al legno è la notevole capacità di conduzione termica. È importante, quindi, l'inserimento di un materiale isolante all'interno del profilato. Per garantire prestazioni adeguate, la tecnologia di produzione degli infissi di alluminio ha portato allo sviluppo di vari accorgimenti tecnici, quali:

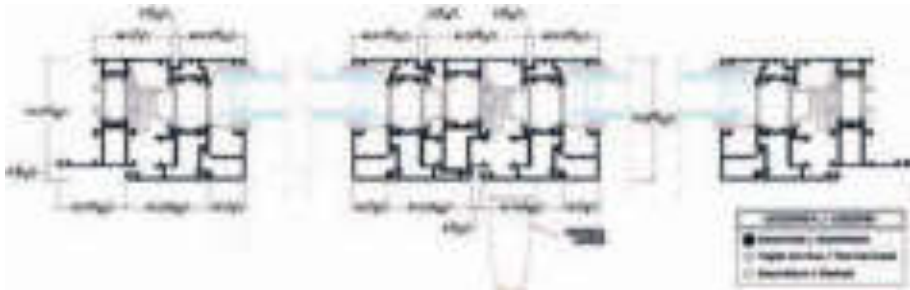
- *il sistema del taglio termico*: risponde alle esigenze di isolamento termico. Viene ottenuto mediante la separazione del profilato in due parti, collegate mediante un materiale isolante rigido. La discontinuità della sezione metallica elimina il ponte termico e, se accoppiato ad un vetro camera, offre adeguate prestazioni di benessere termo-igrometrico;
- *il sistema del giunto aperto*: garantisce maggiori prestazioni di tenuta alle infiltrazioni d'acqua sotto la pressione del vento. Viene ottenuto realizzando una discontinuità nel senso dello spessore del telaio. La tenuta all'aria e all'acqua sono affidate a una guarnizione centrale ad elevata resistenza termica e meccanica, mentre il drenaggio e l'evacuazione dell'acqua sono ottenuti dalla presenza di canaline drenanti verso la parte esterna del serramento.

L'infisso di alluminio offre minori prestazioni di resistenza meccanica rispetto al corrispettivo di acciaio. Per questo motivo, per migliorarne le prestazioni, le pareti del profilo, oltre ad essere realizzate con una sezione maggiore, vengono irrigidite da delle alette ottenute tramite il processo di estrusione.

Per motivi di incompatibilità chimica con il cemento presente nella muratura o nella malta, i telai di alluminio necessitano di un controtelaio, solitamente realizzato di acciaio zincato.

---

<sup>186</sup> L'alluminio è una lega a base di silicio e magnesio con bassa percentuale di rame.

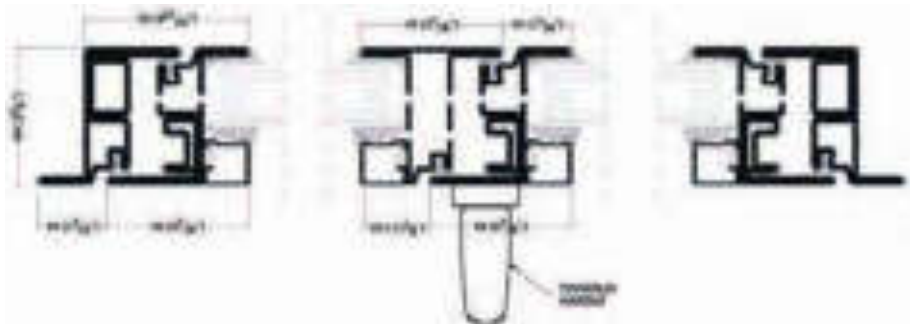


**Fig. 7.61:** Sezione orizzontale di un serramento della linea “Alluminio” della De Carlo (Denergy, 80 TT) con doppio vetro e camera d’aria.

*Fonte: De Carlo S.p.A.*

L'**acciaio**, grazie alle sue prestazioni di grande resistenza meccanica e per l'ingombro limitato che garantisce più luminosità agli ambienti interni, è un materiale che ha trovato largo impiego per la realizzazione degli infissi. A causa delle sue caratteristiche di conduttività termica, del suo elevato coefficiente di dilatazione termica e dei costi di produzione, unitamente alla necessità di maggiore manutenzione nel tempo, oggi gli infissi di acciaio sono prevalentemente impiegati per manufatti di grandi dimensioni che richiedono ingombri limitati. I profili per questi serramenti sono prodotti per laminazione:

- *a caldo*: vengono realizzati con metodi artigianali, sono piuttosto costosi e trovano impiego in soluzioni particolari. Il trattamento superficiale di protezione all'ossidazione avviene per zincatura, applicata per immersione o a spruzzo;
- *a freddo*: sono realizzati con profili in lamiera di acciaio, generalmente di spessore di 1 millimetro.



**Fig. 7.62:** Sezione orizzontale di un serramento della linea “Acciaio” della De Carlo (Denergy, OS2 steel TT 46) con doppio vetro e camera d’aria.

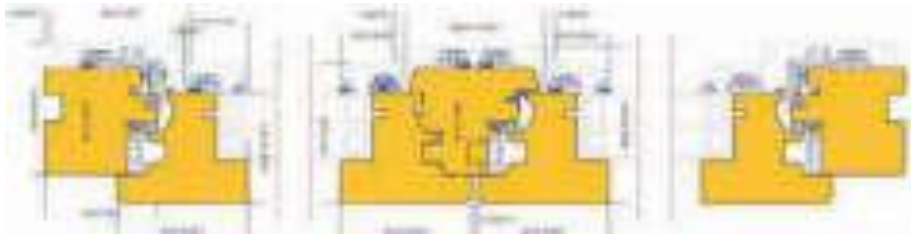
*Fonte: De Carlo S.p.A.*

Il *policloruro di vinile (PVC)* è una resina termoplastica che deriva dal petrolio e dal sale. Risulta essere una delle materie plastiche maggiormente impiegate in edilizia per la realizzazione dei serramenti poiché offre un'ottima lavorabilità e presenta buone caratteristiche di resistenza e durata a costi contenuti. Dotata, inoltre, di buone caratteristiche di resistenza alle intemperie (che impongono limitati interventi di tipo manutentivo), è leggera, riciclabile ed autoestinguente in caso di incendio. Il PVC, essendo realizzato senza l'aggiunta di plastificanti, presenta anche buone caratteristiche strutturali e di rigidità. Di contro, è un materiale caratterizzato da un elevato coefficiente di dilatazione termica.

I profili dei serramenti si ottengono per estrusione a caldo della piastra viscosa (il profilo esce dall'estrusore già caratterizzato superficialmente per aspetto, colore e dimensione). Per ovviare all'aspetto estetico poco soddisfacente possono essere realizzate finiture superficiali particolari mediante l'incollaggio a caldo sul profilato di un film acrilico. Data la modesta resistenza meccanica del materiale, i profilati di PVC vengono prodotti con delle alette interne di irrigidimento e presentano una sezione maggiore rispetto a quella degli infissi di alluminio.

Per integrare le migliori qualità dei materiali abitualmente impiegati nella costruzione degli infissi, la tecnologia di produzione ha visto lo sviluppo di tecniche di accoppiamento di due diversi materiali per la formazione di profili complessi (*infissi compositi*), caratterizzati da elevate prestazioni meccaniche, termoisolanti e di durabilità, unitamente a migliori qualità estetiche. L'utilizzo di materiali differenti è legato al fatto che:

- verso l'esterno occorrono infissi caratterizzati da resistenza agli agenti atmosferici, durabilità elevata e un aspetto estetico il più delle volte legato ai materiali della tradizione;
- verso l'interno occorrono infissi con prestazioni meccaniche elevate, temperatura superficiale omogenea alla temperatura dell'aria interna e facilità di utilizzo e pulizia.



**Fig. 7.63:** Sezione orizzontale di un serramento legno-alluminio della De Carlo (Denergy, 68 Exter Design Plus) con triplo vetro e doppia camera d'aria.

Fonte: De Carlo S.p.A.

L'abbinamento del legno con l'alluminio, per esempio, gode delle ottime caratteristiche isolanti del legno e riduce al minimo la manutenzione del serramento in quanto, esternamente, è realizzato di alluminio. La parte interna di legno controlla, invece, il surriscaldamento del serramento.

Altro materiale con cui può essere abbinato il legno è il bronzo (lega rame-altro metallo, dove il metallo aggiuntivo può essere l'alluminio, il nichel, il berillio o lo stagno) che conferisce al serramento un'elevata tenuta termica. Si tratta di un serramento di grande pregio, eleganza e raffinatezza che non necessita di alcuna protezione superficiale o manutenzione. La patina che si forma naturalmente costituisce, infatti, il migliore e più duraturo schermo di protezione, garantisce longevità all'infisso ed una gradevole finitura estetica. Sul mercato esistono differenti finiture: bronzo ossidato con varie gradazioni di colore, bronzo anticato e bronzo ramato.

#### *7.6.1.2. Gli elementi costituenti gli infissi*

Le principali parti costituenti un infisso apribile sono il telaio e il vetro, con la possibilità di aggiungere degli elementi schermanti e/o oscuranti.

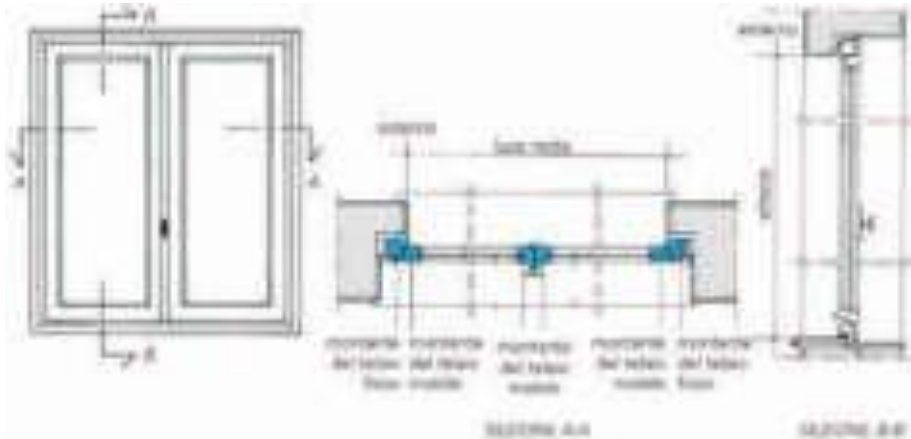
Il *telaio* di un serramento è costituito da tre elementi fondamentali:

- il *controtelaio*: ha la funzione di supporto per l'ancoraggio del telaio fisso e consente di assorbire le tolleranze dimensionali fra il telaio fisso e il vano murario. È collegato alla muratura con zanche metalliche o tasselli ad espansione, oppure è fissato tramite saldatura nel caso di ancoraggio su strutture metalliche. Può essere realizzato di legno o con profilati di lamiera di acciaio zincato;
- il *telaio fisso*: svolge la funzione di struttura resistente dell'infisso su cui sono vincolate le ante del telaio mobile. In assenza del controtelaio (strutture prefabbricate) viene direttamente collegato allo strato resistente della chiusura verticale. Il giunto tra il telaio fisso e la parete, sia in presenza di controtelaio che in sua assenza, è generalmente occultato attraverso un elemento coprifilo<sup>187</sup>;
- il *telaio mobile*: è costituito dalle ante apribili, rotanti intorno a cardini oppure scorrevoli su guide. Ai fini della tenuta all'aria e all'acqua, i bordi del telaio fisso e del telaio mobile sono sagomati e dotati di guarnizioni in modo da formare il sistema di battuta; quest'ultimo consente il bilanciamento fra pressioni differenti ed

---

<sup>187</sup> Il controtelaio e il telaio fisso devono essere quanto più allineati allo strato termoisolante della muratura in modo da eliminare la formazione di eventuali ponti termici.

assorbe le dilatazioni termiche che si creano tra il telaio fisso e quello mobile. Il telaio alloggia il vetro attraverso una sagomatura del profilo principale e lo fissa meccanicamente o con incastri attraverso un righello fermavetro.



**Fig. 7.64:** Schema tipo di un infisso costituito da un controtelaio, un telaio fisso e uno mobile e dal vetro.

Fonte: Elaborazione di Matteo Cazzaniga.

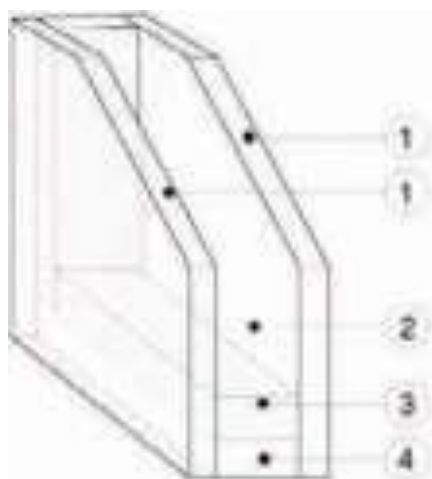
Il *vetro* permette il passaggio della luce all'interno degli edifici e rappresenta un elemento critico nel progetto del comfort ambientale e nel bilancio energetico dell'edificio poiché ha una resistenza termica inferiore a quella dell'involucro opaco.

Per impostare una corretta strategia di risparmio energetico attraverso l'involucro vetrato è necessario contenere le dispersioni energetiche nel periodo invernale e ridurre i carichi estivi. In questo modo è possibile limitare i consumi e le spese per il riscaldamento invernale e per il raffrescamento estivo. Ai fini di una corretta scelta dei sistemi di vetratura, i principali fattori da considerare sono:

- il *fattore di trasmissione luminosa*: espresso in percentuale, rappresenta il rapporto tra il flusso luminoso trasmesso e quello incidente sulla superficie esterna del vetro;
- il *fattore solare*: espresso in percentuale, rappresenta il rapporto tra l'energia solare totale trasmessa nell'ambiente interno e l'energia solare incidente sulla superficie esterna della vetrata;
- la *trasmissione termica*: espressa in  $W/m^2K$ , indica la potenza termica dispersa dal sistema di vetratura, per ogni  $m^2$  di superficie e per ogni grado di differenza di temperatura tra l'ambiente esterno e quello interno.

I primi sistemi di vetragezione erano altamente disperdenti: erano realizzati in vetro float semplice con telai a bassa tenuta, spesso di metallo e senza taglio termico.

Per aumentarne le prestazioni (fino all'80% rispetto all'utilizzo del vetro semplice) sono state realizzate vetrazioni dotate di vetrocamera (doppio e triplo vetro) con intercapedine, in cui è inserito un gas nobile come l'argon o il krypton.



Legenda	
1	Lastra di vetro (doppia) - sp. 2,0 mm
2	Camera d'aria - sp. 2,0 cm
3	Porfilio di alluminio a tenuta del gas isolante - sp. 2,0 mm
4	Sigillante

**Fig. 7.65:** Gli elementi costituenti una vetrocamera. Le prime versioni di vetrocamera erano realizzate con un elemento in alluminio; oggi si utilizzano materiali a bassa conduttività termica, che permettono di minimizzare lo scambio termico.

### 7.6.2. Le facciate continue con vetri strutturali

«La parete trasparente definisce l'aspetto formale di un edificio [...]. Si tratta di una sottile membrana continua che mette in comunicazione due ambienti (interno ed esterno) [...] assumendo integralmente il compito di barriera di regolazione degli scambi termo-igrometrici, luminosi e acustici»<sup>188</sup>.

I sistemi moderni di realizzazione dell'involucro degli edifici prevedono, per esigenze architettoniche, superfici vetrate di dimensioni sempre maggiori, anche con edifici di altezza considerevole.

Le facciate strutturali vengono realizzate attraverso il montaggio di pannelli di tamponamento trasparenti realizzati con lastre di vetro camera posizionate negli alloggiamenti predisposti dalla sagomatura dei telai, a loro volta realizzati con taglio termico. In questo modo, i pannelli nascondono alla vista il sistema di supporto e la facciata si presenta con

<sup>188</sup> Arbizzani, E. (2015), *Op. cit.*

una superficie piana e omogenea, interrotta da un semplice reticolo costituito dalle fughe tra pannello e pannello.

Si tratta di una tipologia di facciata che presenta un ingombro piuttosto consistente del telaio interno. Per questo motivo le lastre vetrate esterne vengono opacizzate lungo il bordo in modo da nascondere il telaio.

È possibile suddividere le vetrate strutturali in tre diverse tipologie<sup>189</sup>:

- *vetrate strutturali con incollaggio su due lati*: il sigillante siliconico viene utilizzato per realizzare la connessione strutturale sui due lati opposti del modulo di vetro, mentre sugli altri due l'elemento vetrato è contenuto da un elemento metallico a vista;
- *vetrate strutturali con incollaggio su quattro lati*: si tratta della vetrata strutturale vera e propria nella quale il telaio metallico scompare dalla superficie esterna. Gli elementi vetrati, infatti, sono sostenuti dal solo sigillante siliconico e da squadre metalliche posizionate per incollaggio sul lato inferiore interno dell'elemento vetrato;
- *vetrate isolanti con doppio vetro*: la vetrata strutturale ha due elementi vetrati connessi per incollaggio e un intercalare metallico su cui viene posato, senza interruzioni, un cordone di butile che costituisce la prima barriera isolante e, infine, il silicone (seconda barriera isolante) che sigilla i due elementi vetrati determinando il doppio vetro.

La continua evoluzione dei materiali, delle tecniche di produzione e delle tecnologie di assemblaggio degli involucri trasparenti (*curtain wall*) ha condotto alla realizzazione di varie tipologie di prodotti, quali: le facciate continue a montanti e traversi, a cellule indipendenti, a fissaggi puntuali (facciate sospese) e a doppia pelle.

#### 7.6.2.1. Le facciate a montanti e traversi

La facciata continua a montanti e traversi, denominata anche "*stick system*", è costituita da una struttura resistente di supporto a reticolo strutturale, generalmente di alluminio, nella quale vengono fissati, con elementi di telaio a vista, i diversi moduli di facciata. Si tratta del più diffuso tra i sistemi a facciata continua ed è costituita da:

- montanti verticali agganciati alla struttura portante dell'edificio;
- traversi orizzontali agganciati ai montanti;
- pannelli opachi o trasparenti (non apribili);
- elementi finestrati agganciati a loro volta ai montanti e ai traversi.

---

<sup>189</sup> Tronconi, O. (2008), *Tecnologia dell'architettura*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).

L'immagine del sistema è determinata dalla visibilità degli elementi strutturali che si collegano ortogonalmente all'esterno della superficie vetrata. Gli elementi di facciata presentano necessariamente determinate caratteristiche:

- *leggerezza*: la possibilità di essere facilmente trasportabile e movimentabile in cantiere;
- *tenuta agli agenti atmosferici*: a differenza degli involucri edilizi realizzati in opera, tutta la tenuta all'aria e all'acqua che solitamente è garantita dal pacchetto di finitura, nelle facciate continue è assicurato dalla tenuta dei giunti tra i singoli pannelli.



**Fig. 7.66:** Particolare dei montanti di acciaio e del sistema di aggancio delle lastre di cotto per la facciata della biblioteca comunale di Greve a Firenze.

Fonte: Colombo, C. (2011)<sup>190</sup>.

---

<sup>190</sup> Colombo, C. (2011), "Facciata in cotto con richiami antichi rivisitati", *Il Nuovo Cantiere*, n. 7, pp. 18-25.



**Fig. 7.67:** Montaggio dei pannelli al telaio della facciata continua. Complesso multifunzionale Verona Forum progettato dall'architetto Mario Bellini a Verona.  
*Fonte: Guastoni, C. (2011)<sup>191</sup>.*

#### 7.6.2.2. Le facciate a cellule indipendenti

Il sistema di facciata continua a cellule indipendenti rappresenta un'evoluzione della facciata continua a montanti e traversi. Si differenzia da quest'ultima perché viene realizzata come una sequenza di moduli autoportanti di grandi dimensioni, prodotti in stabilimento, ciascuno dotato di una propria struttura di supporto già assemblata allo strato di tamponamento. Ciascun pannello di rivestimento assolve non solo a funzioni estetiche, ma anche di tenuta all'acqua e all'aria, nonché di isolamento termo-acustico e di controllo dei flussi luminosi. Il vantaggio di questa soluzione prevede la possibilità di una composizione più flessibile dell'involucro esterno. La semplicità e la velocità di montaggio derivano dall'estrema prefabbricazione del sistema: è necessario, difatti, assemblare in opera un unico componente. Il sistema così composto, inoltre, risulta anche molto più stabile strutturalmente nei confronti delle

---

<sup>191</sup> Guastoni, C. (2011), "Facciate continue in vetro. Elementi attivi delle torri", *Il Nuovo Cantiere*, n. 5, pp. 22-29.

azioni orizzontali, in quanto la forma di ciascuna cellula ne esalta il funzionamento scatolare. I montanti e i traversi della struttura di sostegno sono, difatti, complanari e a sviluppo continuo.

Di seguito sono riportate alcune immagini di cantiere che mostrano il sistema a cellule utilizzato per la realizzazione della facciata del “Solar Carve Tower” a New York. Il progetto ha previsto la realizzazione di due tipologie di sistemi a cellule:

- EWT 1 - EWT 2: sono cellule piane che rivestono i lati lunghi dell’edificio (fronti Est e Ovest). I vetri camera sono realizzati con delle lastre monolitiche temperate sul lato interno e indurite sul lato esterno.
- EWT 3 (*carve units*): sono cellule tridimensionali a cinque vetri composte da quattro vetri triangolari e uno centrale a forma romboidale a base quadrata che rivestono i lati corti dell’edificio (fronti Nord e Sud). Si viene così a creare un effetto estetico di facciata intagliata, originale ed iconica. I vetri camera sono realizzati (sia sul lato interno che esterno) con lastre stratificate.



**Fig. 7.68:** “Solar Carve Tower”, grattacielo sulla High Line, a Manhattan (NY) - 40 Tenth Avenue, caratterizzato da un gioco di vetri, progettato dallo studio Gang e messo a punto dal Gruppo italiano Focchi.

Fonte: Focchi S.p.A.



**Fig. 7.69:** Il sistema di facciata presenta un *pattern* geometrico dall'aspetto tridimensionale che enfatizza le sezioni intagliate della torre e che, oltre al vantaggio di limitare l'irraggiamento solare e la dispersione di calore, crea anche uno spazio di lavoro dinamico.

*Fonte: Focchi S.p.A.*



**Fig. 7.70:** La facciata è caratterizzata da vetri altamente performanti *low-iron*. L'edificio è stato certificato LEED "Gold".

Fonte: Focchi S.p.A.



**Fig. 7.71:** I profili di entrambe le tipologie di cellule sono verniciati con polveri certificate di colore grigio scuro. Questo sistema è stato progettato completamente con software 3D.  
*Fonte: Focchi S.p.A.*

### 7.6.2.3. *Le facciate a fissaggi puntuali*

Il sistema di fissaggio puntuale del vetro, detto anche “SpiderGlass” o “facciata sospesa”, si presta come soluzione in molteplici situazioni, in particolare per i rivestimenti di facciata esterni, ma anche per le coperture. Rispetto ai sistemi di facciata tradizionali, il sistema “SpiderGlass” si distingue per l’elevata elasticità dei fissaggi che consentono, a parità di spessore delle lastre, la realizzazione di superfici vetrate molto più ampie.

Le facciate puntuali nascono per offrire un sistema che si contraddistingue per la massima trasparenza, caratterizzato da un aspetto immateriale e leggero, essendo in vista dall’esterno unicamente i fissaggi puntiformi con cui sono trattenuti meccanicamente i vetri.

Le lastre sono ancorate alla struttura secondaria mediante vincoli strutturali che hanno il compito di trasferire a essa i carichi propri e i carichi di esercizio dell’involucro dell’edificio. Le esigenze di massima trasparenza richiedono la progettazione di strutture di supporto particolarmente snelle. Inoltre, alla struttura non viene chiesta la funzione di alloggiamento continuo delle lastre, ma solo il fissaggio puntuale in corrispondenza degli angoli delle lastre medesime.

L’elemento di fissaggio ha il compito di “sospendere” la lastra puntualmente e trasmettere le sollecitazioni alla struttura di sostegno (da qui il nome di “facciata sospesa”). Esistono diversi elementi puntuali tra cui le “rotule” e le borchie, realizzabili anche con sagome e materiali personalizzati.

Le fughe tra i vetri possono essere libere o sigillate, per cui il sistema permette di realizzare facciate continue a controllo climatico, rivestimenti esterni per facciate a doppia pelle, tensostrutture per coperture e rivestimenti di facciata ventilate.

### 7.6.2.4. *Le facciate a doppia pelle*

Tra i sistemi vetriati innovativi e di maggiore applicazione è possibile classificare la doppia pelle vetrata che, come principale caratteristica, presenta all’esterno dell’involucro edilizio una seconda pelle vetrata in maniera tale da creare tra i due involucri un’intercapedine ventilata. Di questi due involucri, quello esterno determina l’interfaccia dell’intercapedine con l’ambiente esterno, mentre quello interno rappresenta il diaframma verso l’interno dell’edificio<sup>192</sup>.

I sistemi a doppia pelle vetrata sono di due tipi:

---

<sup>192</sup> Oesterle, E. (2011), *Double-skin facades: integrated planning: building physics, construction, aerophysics, airconditioning, economic viability*, Prestel Pub Editore, Londra.

- *a ventilazione naturale*: la ventilazione naturale viene innescata naturalmente per effetto camino in presenza di irraggiamento solare diretto sul piano di facciata;
- *a ventilazione forzata*: la ventilazione è meccanizzata attraverso specifici dispositivi in grado di garantire una portata d'aria costante all'interno del sistema.



**Fig. 7.72:** A sinistra particolare della facciata caratterizzata da una doppia pelle di vetro con camera d'aria da 60 centimetri; a destra, sistema di cavi inclinati collocati nell'intercapedine della parete vetrata. Auditorium Niemeyer a Ravello (Salerno).

Fonte: Ferrano, M. (2011)<sup>193</sup>.

## 7.7. I sistemi di schermatura

Una schermatura solare, in base alla definizione dettata dal Decreto Legislativo n. 311 del 2006, è un sistema che «applicato all'esterno di una superficie vetrata trasparente permette una modulazione variabile e controllata dei parametri energetici e ottico luminosi in risposta alle sollecitazioni solari»<sup>194</sup>.

La norma UNI 8369-4<sup>195</sup> classifica gli elementi di schermatura in base al piano formato dai vari elementi (orizzontale, verticale, parallelo alla parete e verticale ortogonale alla parete), alla disposizione dei singoli

<sup>193</sup> Ferrano, M. (2011), "Rivestimenti acustici e una doppia pelle in vetro", *Il Nuovo Cantiere*, n. 5, pp. 40-46.

<sup>194</sup> D.Lgs. 29 dicembre 2006, n. 311, *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*.

<sup>195</sup> Norma UNI 8369-4:1988, *Edilizia. Chiusure verticali. Classificazione e terminologia degli schermi*.

elementi nel piano formato dagli stessi e alla loro possibilità di movimentazione.

Sul piano legislativo, il decreto pone particolare attenzione al contributo che le schermature solari possono apportare in tema di risparmio energetico, in particolare nel periodo estivo.

All'articolo n. 10 (allegato A) è fatto obbligo al progettista di installare sistemi schermanti esterni in presenza di edifici con superficie superiore a 1.000 m<sup>2</sup>, sia che si tratti di edifici nuovi che di ristrutturazioni.

L'articolo n. 35 chiarisce che la schermatura solare non deve essere fissa ma regolabile, cioè utilizzabile dinamicamente al variare delle condizioni energetiche e luminose.

I materiali che possono essere utilizzati per realizzare le schermature sono:

- il *metallo*: le schermature sono realizzate come profili estrusi di acciaio o alluminio, consentendo un notevole livello di riflessione delle radiazioni luminose (50-80% in funzione sia del grado di finitura superficiale che del colore), ma con scarse prestazioni acustiche;
- il *legno*: il sistema di montaggio delle schermature realizzate con il legno avviene per fissaggio a telai lignei o metallici. Il legno è un materiale dotato di un elevato potere assorbente, dovuto al colore e alla porosità; ciò permette che il livello di riflessione della radiazione si riduca a valori del 20-40%, con conseguente riduzione del grado di luminosità interna degli ambienti del 30-40%. Gli interventi manutentivi variano in funzione delle diverse essenze e dei trattamenti precedentemente eseguiti;
- il *cotto*: queste schermature sono costituite da profili estrusi, pressati ed arrotondati, sostenuti da un'anima di acciaio inossidabile, passante per il materiale e fissata ad un telaio metallico di supporto. Il materiale presenta superfici porose con scarso livello di riflessione dei raggi incidenti (25-30%) e di luminosità interna;
- il *vetro*: generalmente per la realizzazione delle schermature viene impiegato il vetro stratificato che può essere opaco, traslucido o semiriflettente. Le caratteristiche del materiale permettono di ottenere un elevato livello di autonomia progettuale nella definizione di dimensioni, geometria e tecnologia di supporto.

Le schermature in facciata possono essere suddivise in due grandi categorie:

- *rigide* (aggetti, *lightselve*, frangisoli, modulatori solari, pannelli con profili a orientamento variabile, schermature combinate orizzontali e verticali);
- *flessibili* (avvolgibili, tende, scorrevoli e persiane).

### 7.7.1. Le schermature rigide

L'*aggetto* è la parte dell'edificio che sporge orizzontalmente dalla facciata rispetto all'involucro verticale ed è il sistema più diffuso per il controllo dell'irraggiamento. Nelle nostre realtà urbane lo incontriamo ogni giorno sotto forma di tetti sporgenti, davanzali, balconi ecc. «La sua funzione è quella di proteggere un ambiente con finestra dall'irraggiamento solare diretto, senza compromettere al fruitore la visione verso l'esterno»<sup>196</sup>. Diminuendo il livello di luce all'interno, questa schermatura offre ombreggiatura e protegge parzialmente l'apertura dalla pioggia, anche se non risulta efficace in caso di elevata radiazione solare diffusa. Le sue dimensioni sono determinate in base agli angoli solari locali e stagionali, sporgendo solitamente dalla facciata da 0,4 a 1 metro circa. È realizzabile con diversi materiali opachi come il calcestruzzo, il metallo, il legno, in un formato continuo o discontinuo.

Il *lightselve* è una schermatura che può essere orizzontale o inclinata, finalizzata ad ombreggiare la finestra sottostante. La sua superficie superiore ha il compito di riflettere e diffondere la luce verso il soffitto interno, rendendo l'illuminazione interna più equilibrata e riducendo gli effetti abbaglianti. Può essere collocata all'esterno o all'interno delle finestre oppure su entrambi i lati. Per riflettere la luce verso il soffitto, necessita di un posizionamento quanto più possibile basso, ma al di sopra del livello degli occhi per non ostruire la vista verso l'esterno. La sua larghezza viene scelta in rapporto all'altezza della finestra e all'ombreggiamento che si vuole ottenere. In base all'inclinazione è possibile regolare il livello d'illuminamento:

- *in estate*:
  - o inclinata di 30° verso l'alto, aumenta del 10-20% il livello d'illuminamento e conferisce meno ombra alla zona presso la finestra;
  - o inclinata di 30° verso il basso, riduce del 30-40% il livello d'illuminamento ma ombreggia meglio la zona presso la finestra;

---

<sup>196</sup> Tucci, F. (2006), *Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Alinea Editrice, Firenze (FI).

- *in inverno*: quando la posizione del sole è bassa, la luce diretta può penetrare dalle finestre sotto e sopra il *lightshelve* e si ha quindi bisogno di schermature complementari contro l'abbagliamento.

I *frangisole* (a lamelle o a pale) possono essere di due tipologie: esterni o interni<sup>197</sup>.

Quelli esterni sono realizzati da una serie di lamelle esterne fisse (più efficaci per pareti opache) o mobili (impiegati per superfici vetrate) che, solitamente, coprono l'intera superficie della finestra, ma possono arrivare a estendersi oltre. In base all'orientamento delle lamelle, la radiazione solare diretta può essere ostruita, riflessa o direzionata nella zona interna: quando i profili sono chiusi è possibile creare una sorta di pannello opaco solare per ombreggiare completamente.

Nelle facciate Est e Ovest, difficilmente schermabili a causa dei bassi raggi d'incidenza del sole al mattino e al pomeriggio, la soluzione migliore è rappresentata dai sistemi che prevedono la combinazione di lamelle orizzontali e verticali regolabili. Per la loro installazione è richiesta la presenza di una struttura esterna all'involucro (di acciaio o alluminio), collocata a una distanza adeguata dalle pareti esterne in modo da favorire la canalizzazione del vento tra i due corpi. Per la loro forma sottile e per il loro minimo ingombro, le lamelle vengono disposte in prossimità della facciata, quasi a formare una seconda pelle. La sezione delle lamelle può essere lineare, ellittica o circolare ed è generalmente cava per evitare il surriscaldamento della superficie esterna.

Le pale sono, invece, di dimensioni maggiori rispetto alle lamelle e si trovano perciò a una distanza superiore dall'edificio, producendo un aumento di riflessione dei raggi solari e un tipo di ombreggiatura compatta che comporta una riduzione della visibilità verso l'esterno. Le lamelle producono, al contrario, un tipo di ombreggiatura meno compatta e un effetto luminoso di luce diffusa. «Le pale necessitano di una struttura esterna di sostegno perché nella maggioranza dei casi sono appese»<sup>198</sup> e possono raggiungere altezze tra i 30 e i 40 metri, ragion per cui è fondamentale che vengano analizzate le sollecitazioni provocate dalla spinta dei venti. Con una sezione lineare, ellissoidale o circolare, generalmente presentano una nervatura centrale per tutta la loro lunghezza, al fine di aumentarne la rigidità.

---

<sup>197</sup> Ceccherini Nelli, L., D'Audino, E., Sala, M. (2000), *Schermature solari*, Alinea Editrice, Firenze (FI).

<sup>198</sup> Tucci, F. (2006), *Op. cit.*



**Fig. 7.73:** Frangisoli esterni fissi. Edificio U15 dello studio CZA Cino Zucchi Architetti a Milanofiori (MI).

*Fonte: Foto di Valentina Puglisi.*



**Fig. 7.74:** La torre orizzontale a Rho Fiera dello Studio 5+1AA. Facciata continua a cellule di alluminio con sistema brise soleil a struttura metallica con lame di vetro dorate.

*Fonte: Foto di Valentina Puglisi.*

I frangisole interni risultano meno efficaci di circa il 35% rispetto a quelli esterni, poiché producono un apporto termico elevato che non viene

dissipato, come invece accade per quelli esterni grazie alla presenza di correnti d'aria. Durante l'estate il sistema di frangisole interni inducono all'utilizzo di sistemi di condizionamento che conducono a un aumento dei consumi energetici.

Il *modulatore solare* è una variante dei frangisole a pale, con una struttura analoga a quella di una veneziana invertibile. La sagoma delle pale è rivestita da un metallo riflettente, sul lato concavo, mentre sul lato opposto da un materiale opaco, per controllare l'abbagliamento.

In inverno, durante la notte, la superficie riflettente agisce da isolante, mentre la superficie assorbente, rivolta verso l'interno, controlla la dispersione termica; in estate, invece, la superficie assorbente, rivolta verso l'esterno, cede tutto il calore accumulato durante il giorno<sup>199</sup>.

I *pannelli con profili a orientamento variabile* sono costituiti da due lastre di vetro con interposte micro-lamelle a posizione variabile che consentono il controllo della radiazione solare. Le micro-lamelle mobili vengono azionate da un meccanismo elettronico esterno che, mediante sensori, si adattano alle diverse condizioni climatiche, assicurando così una buona illuminazione interna. Nel caso d'irraggiamento solare diretto estivo sugli involucri orientati a Sud, Sud-Est e Sud-Ovest, i profili sono capaci di riflettere la radiazione luminosa pur garantendo un'ottima diffusione luminosa. Nel caso invernale, invece, i profili possono essere orientati per permettere il massimo attraversamento dei raggi solari, garantendo un buono sviluppo di calore e un alto livello d'illuminazione. Nel caso di irraggiamento indiretto sugli involucri orientati a Nord, in estate i profili eliminano fenomeni d'abbagliamento indiretto provenienti da eventuali corpi riflettenti esterni; in inverno, invece, massimizzano la penetrazione dei raggi in profondità.

La *combinazione di pannelli con profili a orientamento variabile* è un sistema, posizionabile sul lato interno dell'involucro, basato sull'abbinamento dei pannelli prismatici diffusori con le micro-lamelle, risultando particolarmente adatto per gli edifici a destinazione terziaria. Si tratta di uno dei migliori metodi nel campo della graduazione interna della luce proveniente dal sole in quanto offre protezione dal surriscaldamento e permette un'efficace diffusione della luce naturale all'interno degli ambienti, evitando fenomeni di abbagliamento. Il dispositivo è composto da due sorte di persiane posizionate una di seguito all'altra: le lamelle trasparenti prismatiche vengono orientate perpendicolarmente rispetto al sole in modo da riflettere costantemente la luce solare diretta, generando calore di convezione verso l'esterno e

---

<sup>199</sup> Ceccherini Nelli, L., D'Audino, E., Sala, M. (2000), *Op. cit.*

ombra verso l'immediato interno con la contestuale penetrazione nell'ambiente di una diffusa illuminazione naturale. La luce viene poi guidata nella profondità dello spazio dalle lamelle d'alluminio parzialmente perforate, con sezione parabolica e specchiate sul lato inferiore, per proteggere dall'abbagliamento e rendendo possibile la relazione visuale con l'esterno.

Le *schermature combinate orizzontali e verticali* permettono «di ottenere un maggiore controllo dell'ombreggiamento»<sup>200</sup>. In particolare, consentono di ridurre gli inconvenienti dovuti alla presenza di elementi continui di eccessiva lunghezza, quali: l'ostruzione del campo di visibilità all'esterno, la riduzione del guadagno solare della superficie vetrata e l'eccessivo sovraccarico nei mesi invernali. Uno sporto fisso di ridotte dimensioni può essere accompagnato da una parte mobile impiegabile durante:

- *i mesi estivi*, per aumentare le dimensioni dell'oggetto e ottenere un'ottima ombreggiatura;
- *i mesi invernali*, per ottenere un alto guadagno termico dovuto al surriscaldamento della parete vetrata. Tale soluzione permette di ottenere un'ombra di grandi dimensioni, compatta in estate ma ridotta durante l'inverno.

Un elemento continuo fisso può essere combinato con dei frangisole orizzontali montati su un piano parallelo rispetto alla superficie verticale vetrata e perpendicolare all'oggetto; tale soluzione permette di ottenere un'ombra meno compatta in estate e parziale in inverno, una maggiore protezione della superficie vetrata dagli agenti atmosferici, una riduzione dell'abbagliamento e un maggior controllo dell'introspezione visiva dall'esterno.

Il maggior inconveniente nell'impiego di una griglia è la creazione di una grande ostruzione della visuale verso l'esterno, ma la mobilità di uno degli elementi o di entrambi permette di ridurre il problema.

### **7.7.2. Le schermature flessibili**

Gli *avvolgibili* si basano sul collegamento meccanico o manuale tra un rullo e il materiale da avvolgere che si muove lungo un asse verticale. A questa categoria appartengono sia le persiane che le tende: il metodo di funzionamento è il medesimo, la differenza sta nel fatto che le tende possono anche essere utilizzate all'interno di vetrocamere. Gli avvolgibili

---

<sup>200</sup> Tucci, F. (2006), *Op. cit.*

possono essere sia interni che esterni e di materiale flessibile o rigido come il metallo, la plastica o il legno.

I tessuti sono solitamente disponibili a partire da una larghezza di 120 centimetri, la massima larghezza è tra 250 e 400 centimetri e la superficie massima tra 20 e 25 m<sup>2</sup>.

Le *tende* sono le più comuni schermature negli edifici residenziali. Sono generalmente realizzate con stoffa e si possono aprire o chiudere<sup>201</sup> in base alle esigenze. Collocate all'interno risultano molto efficaci per proteggere la privacy e contro l'abbagliamento ma non per prevenire il surriscaldamento. Possono anche essere integrate all'interno dei vetrocamera e si suddividono in:

- *lisce*;
- *plissé*: sono applicate internamente poiché i materiali che le compongono si usurano con maggior facilità sotto l'azione degli agenti atmosferici. Sono molto leggere, poco costose e disponibili in vari materiali (idrorepellenti, ininfiammabili e riflettenti). Possono essere montate sull'architrave, sul soffitto, ai lati della finestra o sul telaio;
- *veneziane*: si muovono lungo l'asse verticale, come tutti gli avvolgibili, ma essendo composte da lamelle sono più leggere e flessibili. Le lamelle possono essere disposte all'interno o all'esterno di una finestra, o all'interno di due lastre di vetro. Esse determinano il controllo e la regolazione della radiazione solare diretta, proteggono dall'introspezione e favoriscono l'ingresso della ventilazione naturale. In aggiunta le lamelle possono essere fisse o regolabili; quando sono mobili possono essere orientate per produrre ombreggiamento, muoversi lungo l'apertura o essere arrotolate nella parte superiore. Sono realizzate di legno, plastica, alluminio, acciaio o cartone e hanno larghezze tra i 25 e i 50 millimetri (questa larghezza consente l'inserimento delle tende anche all'interno delle lastre di vetro di una finestra).

Gli *scorrevoli* si muovono orizzontalmente rispetto alla superficie vetrata. Tale sistema comprende sia le persiane che le tende: le prime si distinguono in un tipo di scorrimento a fisarmonica oppure parallelo alla superficie vetrata; le seconde, invece, possono presentare uno scorrimento orizzontale di 3 tipi (tradizionale, a pannelli o a lamelle).

In inverno, durante il giorno, gli scorrevoli vengono posizionati in modo da permettere l'ingresso della luce diretta, mentre di notte sono chiusi per impedire la dispersione del calore. Viceversa, in estate, durante il

---

<sup>201</sup> Ceccherini Nelli, L., D'Audino, E., Sala, M. (2000), *Op. cit.*

giorno, sono chiusi per impedire la penetrazione solare; di notte vengono, invece, lasciati aperti per facilitare il ricambio d'aria tra le masse fresche esterne e quelle interne.



**Fig. 7.75:** Scorrevoli di diversa densità che assurgono sia la funzione di scuri totali che di filtri parziali. Residenze progettate da OBR Open Building Research a Milanofiori Nord (MI).

Fonte: Foto di Valentina Puglisi.

Le *persiane* sono un sistema tradizionale che conserva, ancora adesso, la sua efficacia, nonostante alcuni suoi aspetti siano stati surclassati dai più moderni e perfezionati sistemi frangisole. Possono ostruire totalmente la radiazione solare quando sono chiuse o ostruire in modo parziale se socchiuse o aperte. Possono essere posizionate all'esterno (più comuni), all'interno oppure piegate verso il lato di apertura e sono realizzate generalmente di legno, alluminio o PVC. Lo scuro di cui è composta l'anta può essere privo di bucatore o con inserti di lamelle

fisse o mobili per facilitare la diffusione all'interno degli ambienti di una luce radente e omogenea<sup>202</sup>.

### 7.7.3. Le schermature in copertura

«Nel caso di grandi bucaure in copertura, la presenza di un frangisole risulta essenziale a causa delle grandi quantità di radiazioni solari incidenti»<sup>203</sup>. La luce incidente su una superficie orizzontale, infatti, ha un'intensità tre volte superiore a quella incidente su una superficie verticale.

Le schermature si distinguono in continue o discontinue. Quelle a *elementi continui* a loro volta sono classificate in due tipologie:

- *esterne*: in estate, in posizione di chiusura, ostacolano e filtrano la radiazione solare diretta, generando ombreggiatura e riducendo il carico termico, senza privare l'ambiente di un'illuminazione diffusa. In inverno, in parziale o totale apertura, consentono il passaggio dei raggi solari i quali, captati e riflessi verso il lucernario, sono direzionati verso l'interno, consentendo un'ottima qualità illuminativa capace di evitare anche rischi d'abbagliamento. Tali elementi assumono innumerevoli forme a seconda delle esigenze progettuali (un lucernario curvo può essere schermato da un elemento continuo mobile di lamiera traforata sagomata);
- *interne*: l'utilizzo di deflettori all'interno della sezione del lucernario, oltre a creare ombreggiamento all'interno degli ambienti, regola la quantità e il percorso della radiazione solare riflessa mediante il dimensionamento dell'apertura e del materiale di cui è rivestito il deflettore. Quando sono mobili è possibile governare il loro posizionamento e, di conseguenza, regolare l'ombreggiatura e il carico termico. Tali elementi, collocati internamente alla copertura, presentano però l'inconveniente di produrre un surriscaldamento eccessivo nonostante siano realizzabili con diversi materiali, tra cui i pannelli prismatici che consentono l'ingresso di una luce diffusa e un buon livello di visione verso l'esterno<sup>204</sup>.

---

<sup>202</sup> Tronconi, O., Pignetti, M., Pessina, C. e Puglisi, V. (2008), *L'architettura montana. Tecnologie, valori ambientali e sociali di un patrimonio storico-architettonico vivo ed attuale*, Maggioli Editore, Milano (MI).

<sup>203</sup> Tucci, F. (2006), *Op. cit.*

<sup>204</sup> Gaspari, J., Trabucco, D., Zannoni, G. (2010), *Involucro edilizio e aspetti di sostenibilità. Riflessioni sul comportamento energetico di pareti massive e stratificate*

Gli *elementi discontinui* risultano più efficaci per ottenere una schermatura ottimale nel caso di lucernai a cupola, in quanto presentano la capacità di ruotare in funzione delle diverse condizioni climatiche, Inoltre risultano particolarmente adatti nei climi con alta predominanza di cielo coperto, tramite il rivestimento nella loro parete esterna con materiali riflettenti che catalizzano e direzionano i raggi solari.

I *lucernai riflettenti (skylight reflector)* sono meccanismi di schermatura aventi caratteristiche tecnologiche avanzate per la presenza di sistemi di automazione e di sensori che regolano l'orientamento della parabola di cui sono costituiti. Quest'ultima presenta una curvatura in grado di focalizzare i raggi solari incidenti e ridistribuirli all'interno durante l'inverno o rifletterli all'esterno durante l'estate. I lucernari possono essere di due tipologie:

- *esterni*: sono i sistemi più diffusi grazie alla facile installabilità, all'efficacia del funzionamento e alla buona efficienza sotto l'aspetto manutentivo. Risultano efficaci nella captazione della luce e sono in grado di fornire un corretto ombreggiamento. Permettono di ridurre al minimo il surriscaldamento della superficie vetrata e l'abbagliamento da parte dei raggi zenitali. In inverno, durante le ore diurne, i profili vengono posizionati in modo da permettere l'accesso della luce all'interno dell'ambiente, consentendo un accumulo di calore, mentre durante le ore notturne, posti in assetto di totale chiusura, impediscono la dispersione di calore verso l'esterno. In estate, durante le ore diurne, facilitano la canalizzazione dei venti e permettono lo spostamento di masse d'aria mediante moti convettivi; questi ultimi permettono il ricircolo d'aria tra l'interno e l'esterno e il raffrescamento delle masse interne che sono in grado, il giorno seguente, di ripartire "fredde" e di sottrarre così calore per irraggiamento dai corpi situati all'interno degli spazi. Le pale risultano più ingombranti ma maggiormente efficaci nella schermatura dei raggi zenitali;
- *interni*: sono posti internamente ai lucernai, generando un surriscaldamento minore rispetto a quello prodotto dalle altre schermature continue, poiché sono protetti dalle radiazioni zenitali e dagli agenti atmosferici; per tale motivo si possono realizzare in diversi materiali come, per esempio, il tessuto

---

*iperisolate: performances ambientali ed embodied energy*, Franco Angeli Editore, Milano (MI).

colorato, in grado di produrre un ombreggiamento con effetti cromatici all'interno degli ambienti.

Le *schermature combinate orizzontali e verticali* consentono di associare a un lucernario degli elementi continui, posti parallelamente alla superficie vetrata. Permettono l'ingresso delle radiazioni invernali basse e impediscono l'ingresso delle radiazioni estive che hanno un'angolazione più alta; nei mesi estivi vi sarà una sommatoria di ombre, la prima prodotta dal lucernario e la seconda fornita dall'elemento schermante.

I *flessibili avvolgibili interni* creano un minor surriscaldamento rispetto a quello generato dagli elementi continui, ma il ricircolo d'aria risulta più difficoltoso. Vengono realizzati in materiali di colore chiaro al fine di facilitare il passaggio dei raggi solari e produrre una luce diffusa e omogenea, contribuendo anche a ridurre i fenomeni d'abbagliamento.