



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Prof. Carlo Antonio Stival
via A. Valerio 6/1
34127 Trieste
+390405583478
cstival@units.it

LEZIONE

13B

**Comportamento termo-igrometrico
e materiali per l'involucro edilizio**

Chiusure verticali

Corso di **Architettura Tecnica**

13_B.1

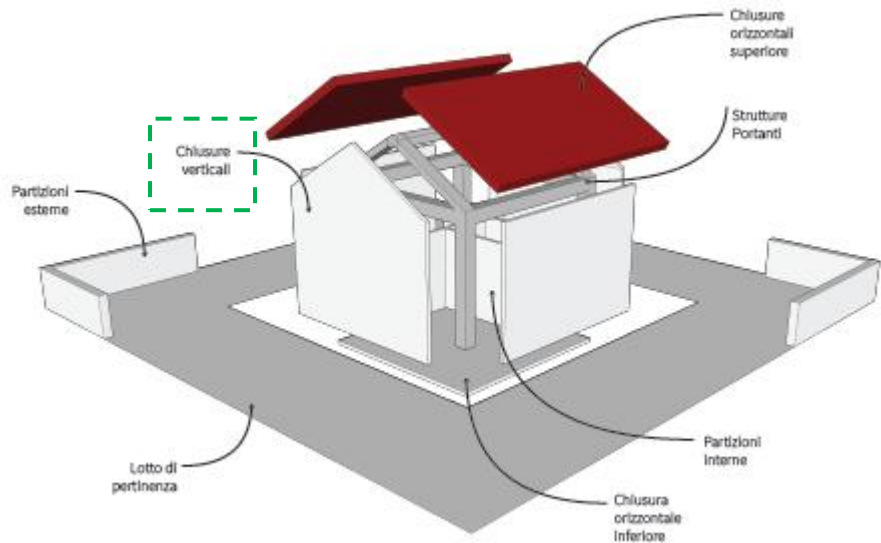
Comportamento delle chiusure verticali opache

Chiusure verticali

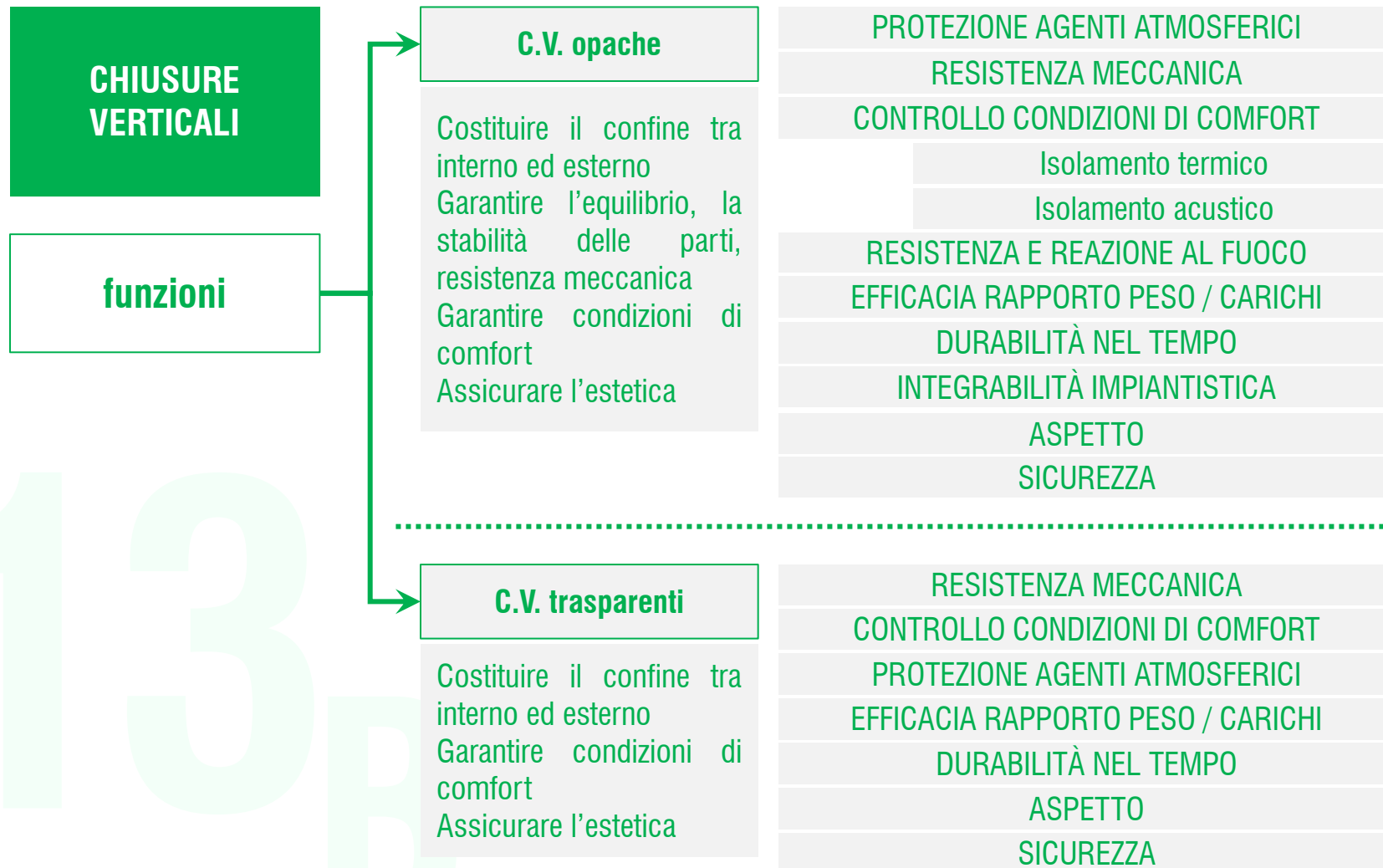
Le **chiusure verticali** rappresentano l'involuppo verticale esterno dell'organismo edilizio, e sono costituite dalle unità tecnologiche e degli elementi del sistema edilizio con funzione di **separare** e **conformare** gli **spazi interni** del sistema rispetto all'esterno.

Le funzioni espletate dalle chiusure verticali sono molteplici:

- la capacità di **sostenere** i **carichi** propri e, per sistemi ad ossatura muraria, anche i carichi trasmessi dalla copertura e dagli orizzontamenti;
- il **controllo** degli **agenti atmosferici**; in quanto esposte direttamente all'aria esterna, devono garantire la tenuta all'acqua e all'aria in misura tale da non compromettere il comfort degli ambienti interni;
- il **controllo** degli **agenti termici** ed **igrometrici**;
- la riduzione dell'effetto delle sorgenti di **rumore esterne**;
- l'**attrezzabilità impiantistica** e, più in generale, una **coordinazione** con gli **elementi tecnologici**.

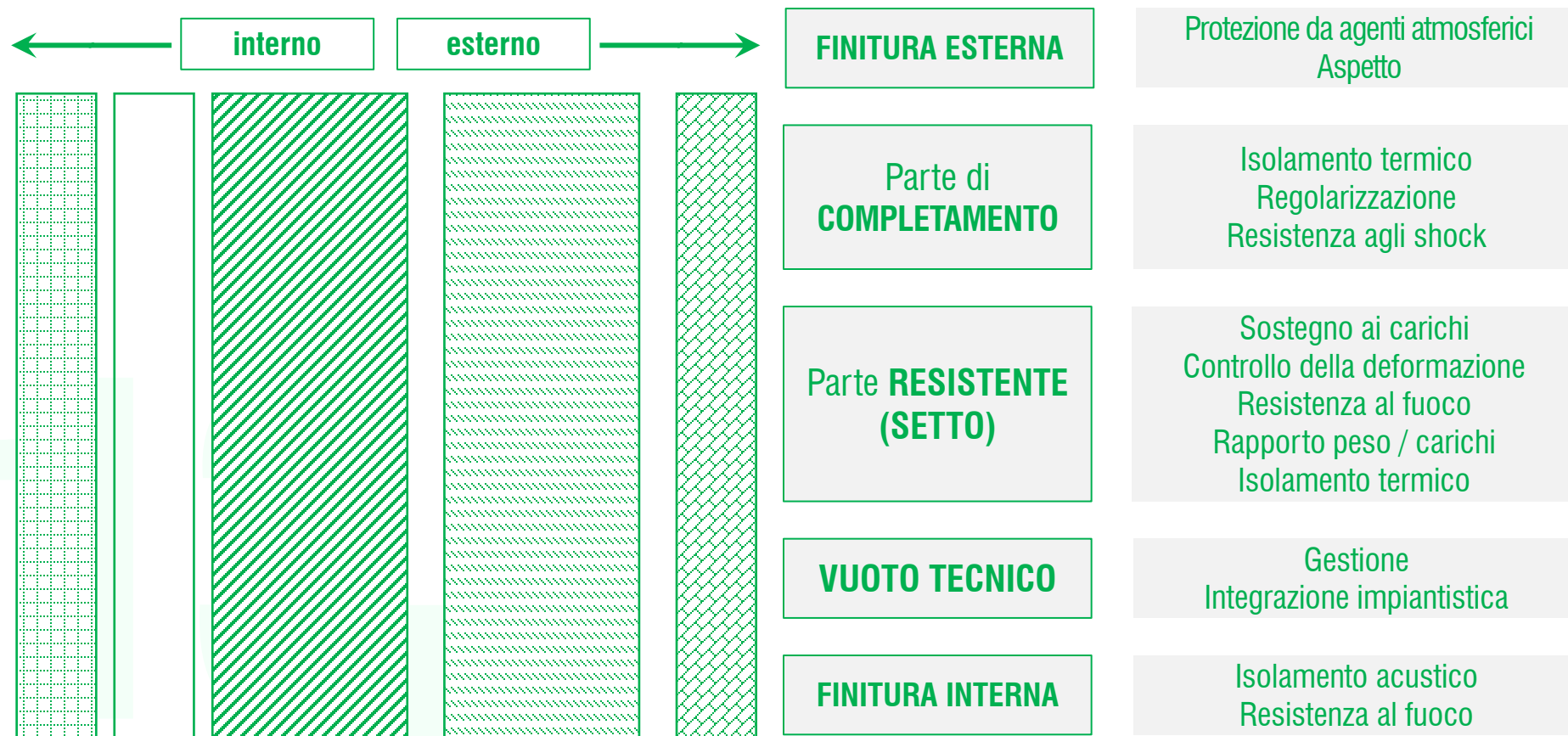


Chiusure verticali

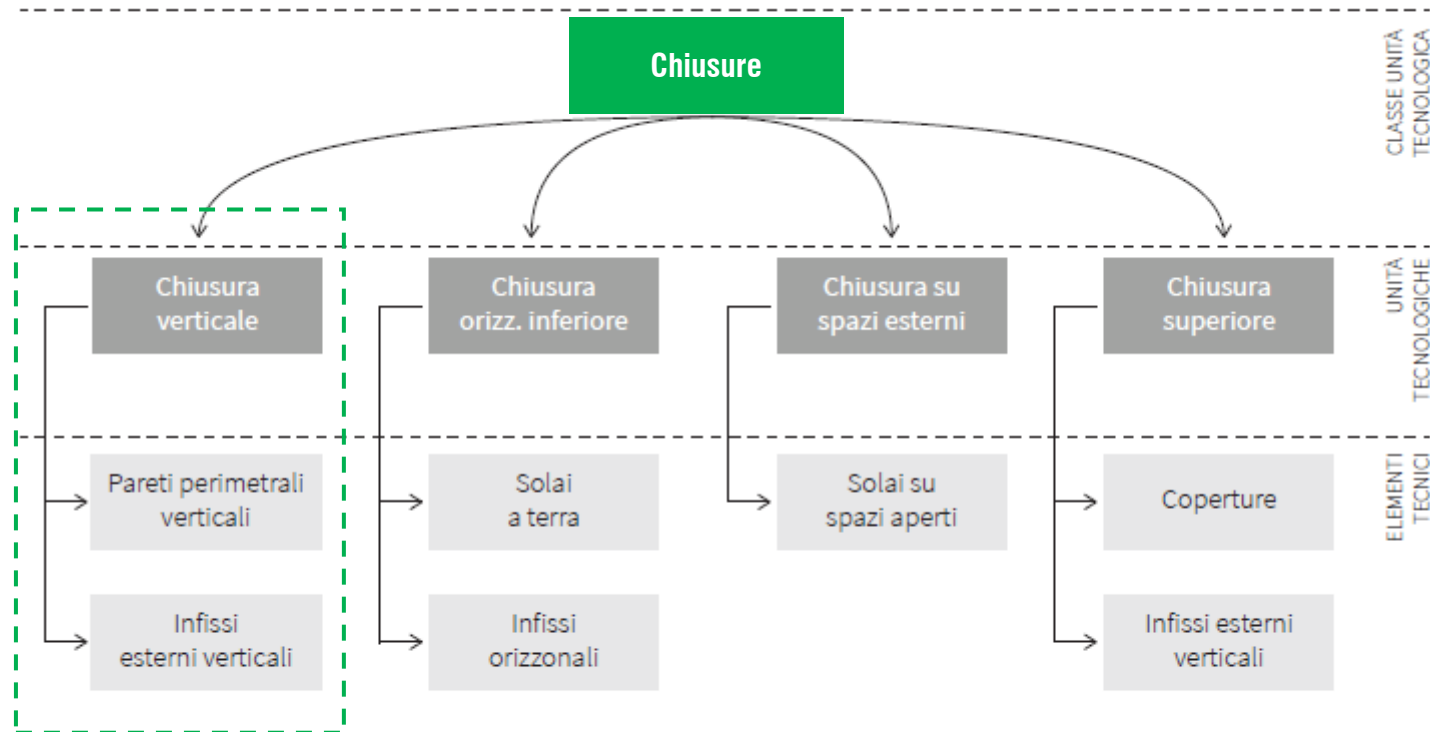


Correlazioni requisiti e strati funzionali

Esploso per composizione degli elementi tecnologici di chiusura verticale



Chiusure verticali



Struttura in genere pressoinflessa, esposta a carichi verticali e all'azione eolica

Costituita da elemento portante (*) con frequente funzione di massa termica

Caratterizzata da requisiti di tenuta / controllo ad agenti esterni

Schemi funzionali

Sono i **requisiti connotanti** a definire le peculiarità tecnologiche delle chiusure verticali; le risposte in termini **fisici** e **progettuali** ai requisiti connotanti si sviluppano con l'individuazione di **schemi funzionali**, individuati per **modelli di comportamento** e, di conseguenza, per **strati funzionali**.

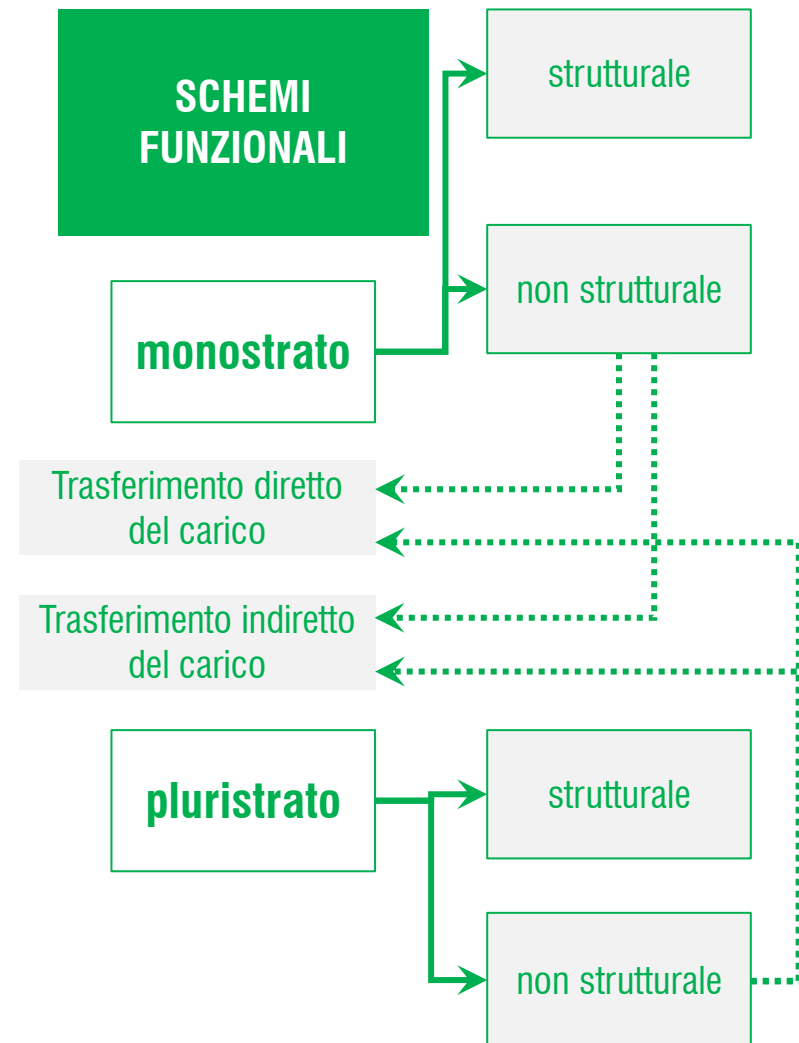
Al singolo strato funzionale (elemento tecnico, componente) corrisponde l'**espletamento** di **almeno una funzione**, nel livello di definizione corrispondente alla **soluzione conforme**.

La suddivisione in schemi funzionali delle pareti verticali avviene considerando:

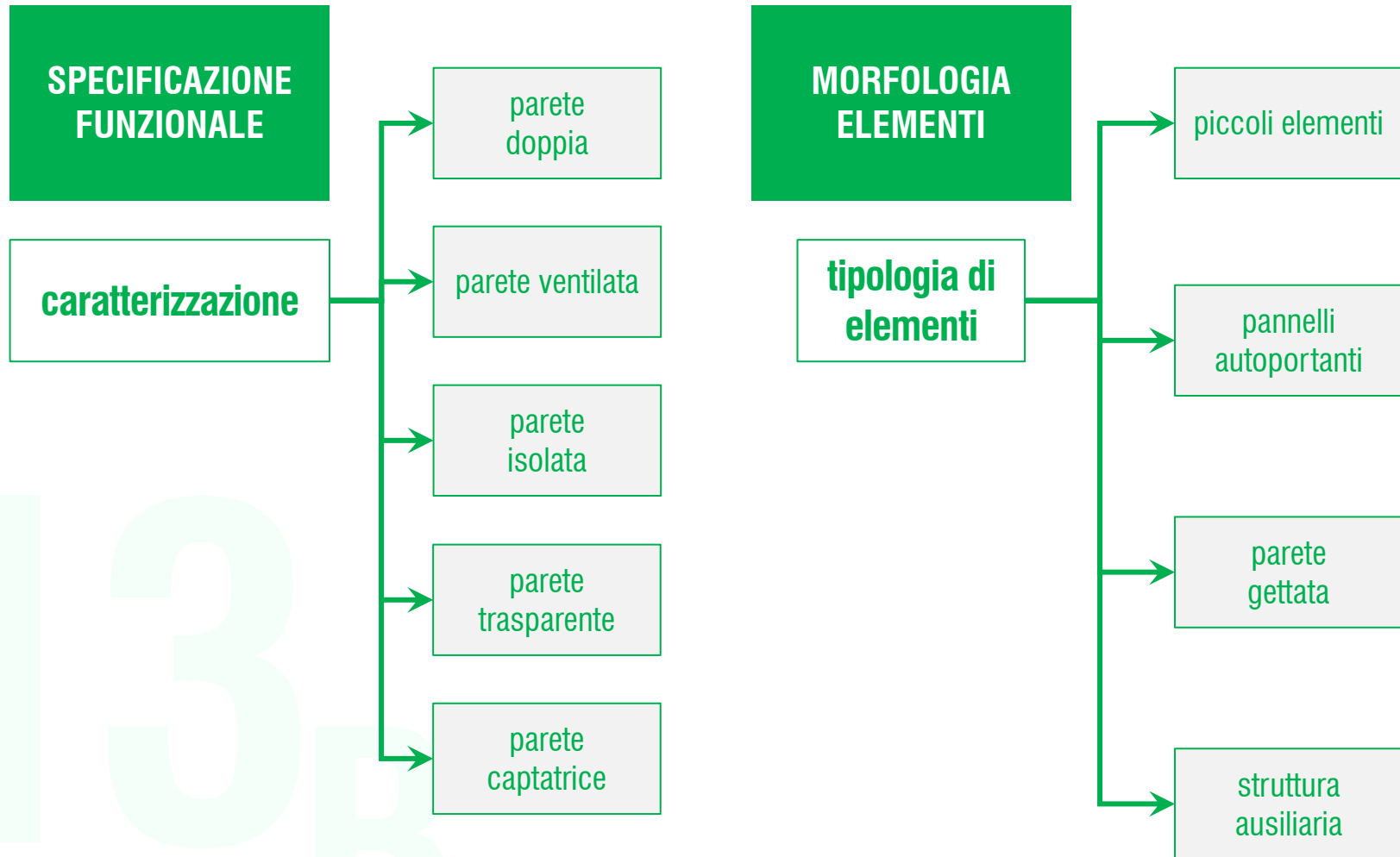
- gli strati funzionali che definiscono la chiusura;
- il rapporto con i **carichi** trasmessi dalle strutture.

Rispetto al secondo punto, si parla di pareti perimetrali **portanti**, o di pareti **portate** / di **tamponamento**.

Nelle soluzioni a scheletro portante, il **trasferimento** dei **carichi** può avvenire in modo **indiretto** o **diretto**, quindi con elementi **autoportanti**.



Schemi funzionali

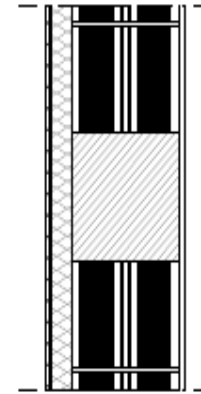
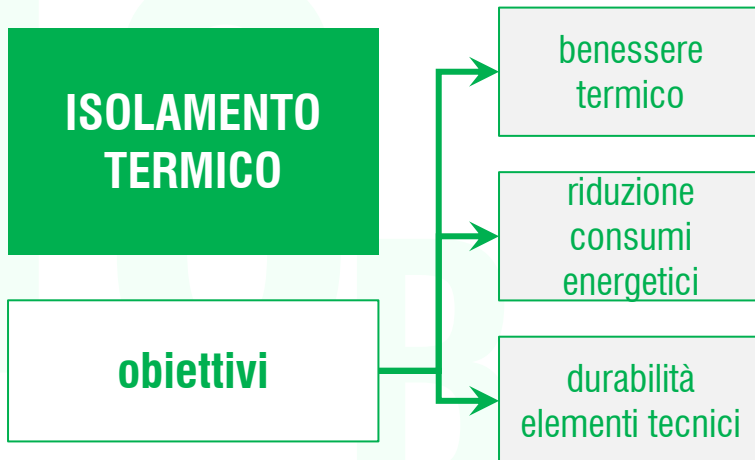


Isolamento termico

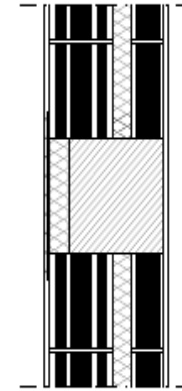
Le chiusure perimetrali **multistrato** sono caratterizzate dalla presenza di **strati** di **isolamento termico**; il soddisfacimento di quest'ultimo requisito è legato alla **configurazione complessiva** della chiusura.

Il posizionamento dello strato funzionale di isolamento termico nella soluzione tecnologica di una chiusura opaca porta all'individuazione di **quattro soluzioni**:

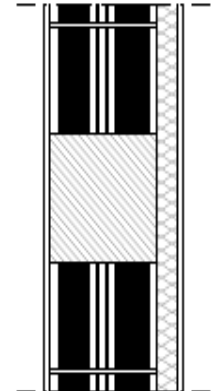
- isolamento termico all'**esterno**, involucro «**caldo**»;
- isolamento termico all'**esterno**, involucro «**freddo**»;
- isolamento termico in **intercapedine**;
- isolamento termico all'**interno**.



ISOLAMENTO TERMICO
ESTERNO



ISOLAMENTO TERMICO
INTERMEDIO



ISOLAMENTO TERMICO
INTERNO

Controllo della condensazione

Il principale agente degradante che interessa l'involucro edilizio è il **vapore acqueo**, soggetto a **trasporto** attraverso le chiusure opache in **condizioni variabili** con il clima del sito e con le stagioni. Si parla quindi di comportamento igrometrico dell'involucro edilizio o, considerando la dipendenza dei fenomeni di trasporto di vapore dalle temperature che interessano l'elemento di involucro, di **comportamento termo-igrometrico**.

Le prestazioni tecnologiche offerte per contrastare l'agente degradante vapore acqueo possono rientrare in tre diverse classi di esigenze:

- **benessere** e **salute** dell'utente, in quanto l'involucro edilizio si configura come **pelle modulante** per le condizioni climatiche esterne; una prestazione non adeguata di controllo della condensazione all'involucro può portare a fenomeni forieri di **condizioni insalubri** di **qualità dell'aria interna**;

- l'**utilizzo razionale** dei **materiali** da **costruzione**, intendendo tali prestazioni volte a garantire il **mantenimento nel tempo** dell'**efficienza** dell'involucro edilizio;
- l'aspetto, in quanto a questi stessi fenomeni sono associate **degradazioni dell'aspetto** degli elementi tecnici interessati, con una conseguente decadenza della qualità visiva.

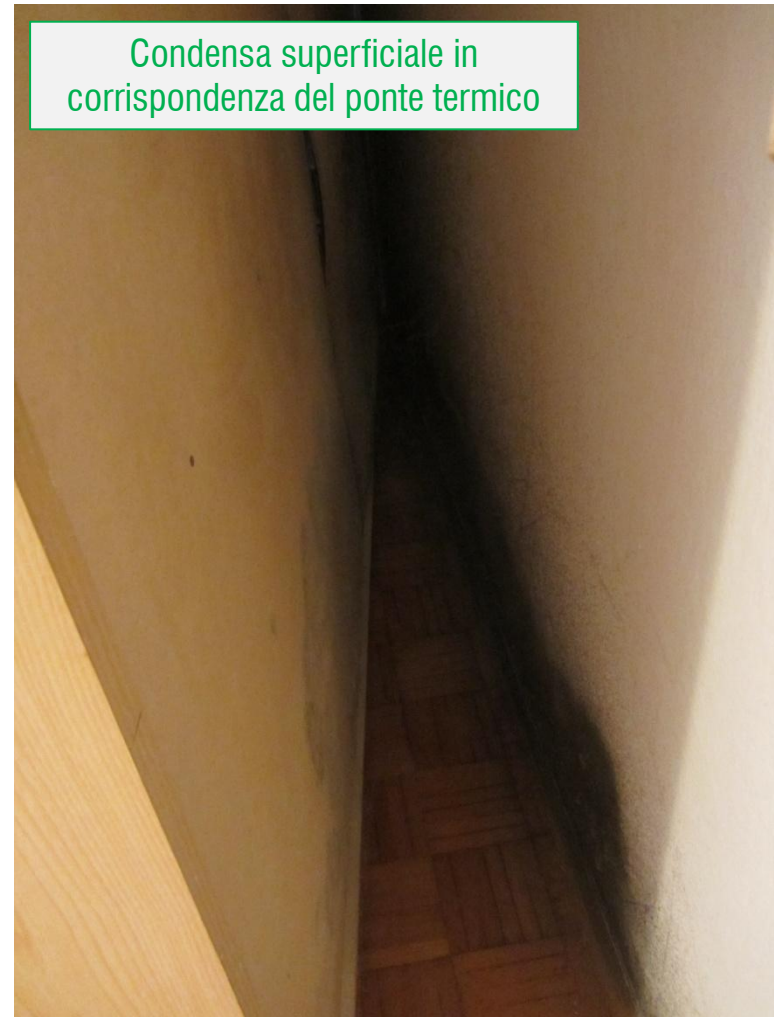
La problematica è ampiamente strutturata all'interno della normativa sull'efficienza energetica negli edifici. Si richiede di verificare l'**assenza** di **condensazioni superficiali** e **interstiziali** sugli elementi d'involucro edilizio e sulle partizioni che dividono ambienti riscaldati da vani non riscaldati, per interventi di nuova costruzione e di ristrutturazione di edifici esistenti, in accordo con la normativa tecnica di riferimento UNI EN ISO 13788.

Controllo della condensazione

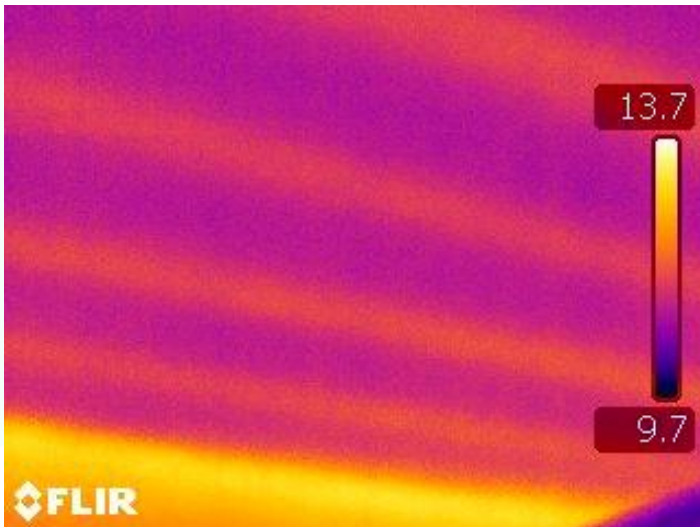
La formazione di **condensa** da vapore acqueo contenuto nell'aria ambiente si può manifestare:

- sulle **superfici interne** degli **elementi d'involucro** (condensa superficiale), che comporta il **deterioramento** delle **finiture** interne;
- **all'interno** delle stesse strutture (**condensa interstiziale**), che porta allo stazionamento del vapore acqueo in una delle interfacce determinando una **riduzione della durata prestazionale di uno o più strati** costituenti la soluzione tecnologica, più frequentemente lo strato **termoisolante**.

Le condizioni più frequenti che portano a insorgere fenomeni di condensa sono l'**insufficiente ventilazione** degli ambienti confinati, un **grado di isolamento termico basso** (ivi compresi i ponti termici, in cui si manifestano le temperature superficiali più basse) e, infine, il **non adeguato posizionamento** dello strato di **isolamento termico** all'interno della stratigrafia degli elementi di involucro.



Controllo della condensazione



Pareti monostrato isolate esternamente

Le pareti isolate all'esterno, secondo una soluzione definita di isolamento «a cappotto», sono usualmente delle pareti originariamente monostrato, interamente rivestite all'esterno di uno strato in **pannelli coibenti rigidi**, applicati direttamente sulla superficie esterna mediante **tassellatura** e **incollatura** (o una loro **combinazione**), oppure con un **sistema** di **montanti** e **traversi** applicato sulla faccia esterna della parete.

Sulla superficie esposta agli agenti atmosferici, il sistema è rivestito con un **intonaco plastico** apposto su una **rete portaintonaco**, realizzata in fibra di vetro ed avente funzione di sostegno allo spessore dell'intonaco. In questo modo l'edificio risulta integralmente coibentato, resolvendo i problemi di condensa sulle pareti piane.

D'altro canto, la superficie esterna risulta più fragile e rende necessario una **doppia rete** in corrispondenza di **sporgenze** e **rientranze**, o in corrispondenza di **bucature**.

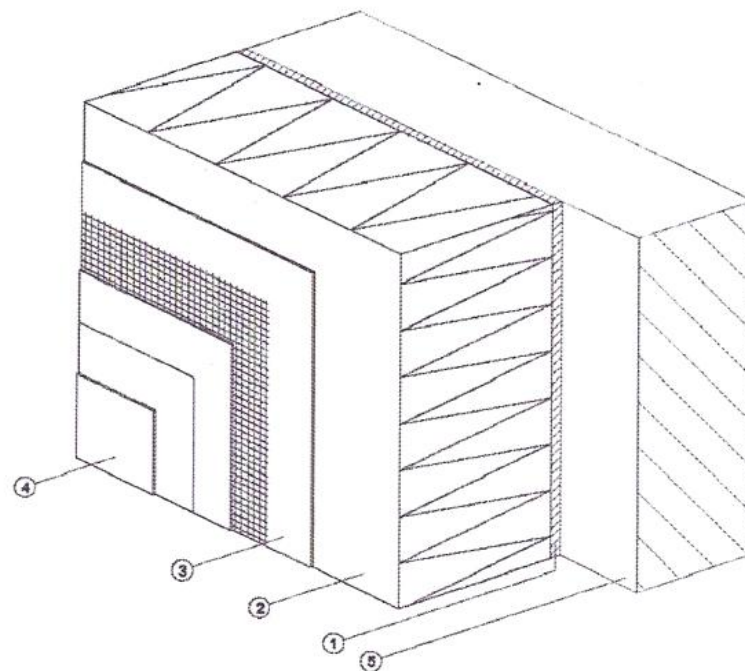


Pareti monostrato isolate esternamente

A questa categoria appartengono dunque quegli involucri edilizi in cui l'ultimo strato funzionale verso l'esterno è costituito dall'isolamento termico; inoltre, il rivestimento esterno aderisce completamente allo strato di isolamento termico.

L'isolamento termico posizionato all'esterno, detto anche "a cappotto", avvolge tutti gli elementi d'involucro rendendo così minimi i ponti termici, risolvendo al contempo le problematiche relative ai fenomeni di **condensa** negli elementi di chiusura.

Il sistema 'a cappotto', oggetto di una normativa specifica che ne disciplina componenti e prestazioni, è noto in ambito comunitario con l'acronimo ETICS (**External Thermal Insulation Composite System**).



Esempio di soluzione conforme per l'isolamento 'a cappotto' costituito dal collante (1) applicato al supporto portante (5), dal pannello termoisolante (2), dalla rasatura armata (3) e dallo strato di finitura superficiale (4).

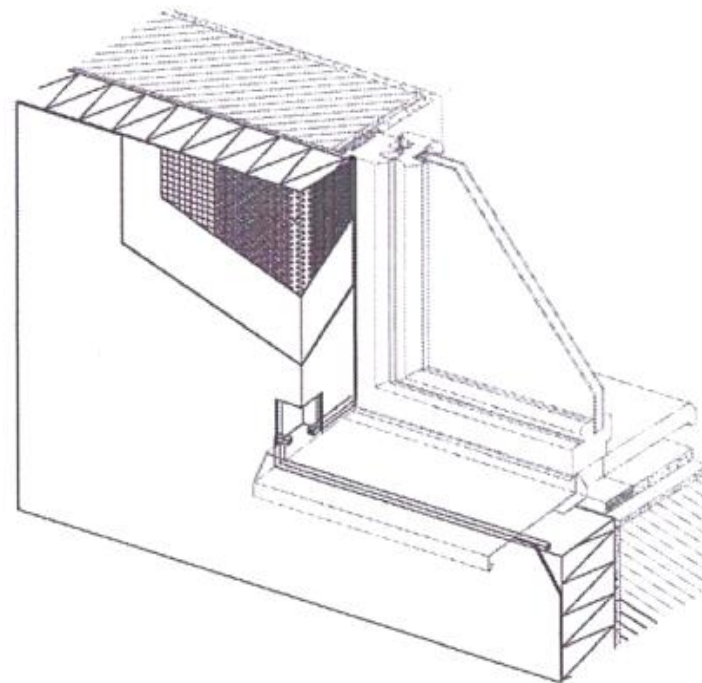
Pareti monostrato isolate esternamente

Esso è definito come un sistema composto, costituito da un materiale isolante incollato, o ancorato meccanicamente tramite **tasselli** o profili alla parete, rasato da uno o più strati direttamente sui pannelli isolanti con una rete d'armatura di rinforzo.

Lo strato termoisolante, non idrofilo, è fissato allo strato resistente tramite **collanti** o **ancoraggi** (se la natura dello strato di supporto lo consente) e rivestito con intonaco. Se lo strato termoisolante ha uno spessore superiore a 10 cm, è consigliata la tassellatura. Tale operazione ($6 \div 10$ tasselli / m^2) è invece necessaria:

- su supporti **intonacati** e in **calcestruzzo**;
- in sistemi d'isolamento a cappotto la cui **massa** superficiale complessiva sia superiore a 30 kg/m^2 ;
- in edifici di **altezza** superiore a 22 ml.

L'intonaco viene rinforzato con un'armatura in fibra di vetro o in materiali affini, coperta da una sottile rasatura; per tale motivo lo strato di finitura viene solitamente steso in due momenti diversi.

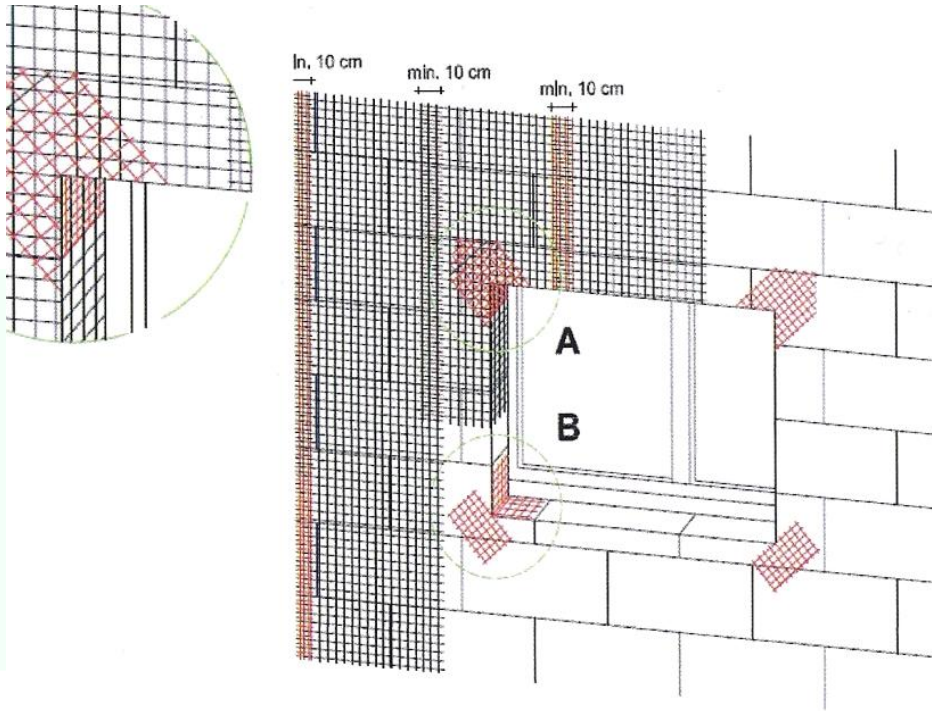


Raccordo della soluzione conforme con isolamento termico esterno in prossimità di una bucatina.

Pareti monostrato isolate esternamente

L'armatura funge da elemento di **resistenza meccanica** agli urti e controlla le **variazioni dimensionali** dell'intonaco. In prossimità di bucatore e discontinuità geometriche l'armatura deve essere **rinforzata** localmente per evitare la comparsa di fessurazioni.

In edifici esistenti, a vantaggio si ascrivono la maggiore stabilità termica della parete e l'eliminazione di molti ponti termici, ma si evidenzia anche la necessità di **riallineare cornicioni** e **davanzali** e di prevedere un'impalcatura esterna per l'applicazione del cappotto.



Posizionamento della rete d'armatura per i sistemi ETICS; particolari della posa in corrispondenza delle bucatore.

Pareti monostrato isolate esternamente

MODALITÀ DI REALIZZAZIONE DEGLI ISOLAMENTI TERMICI ALL'ESTERNO (1)

1

Controllo preliminare dell'omogeneità e della planarità del supporto

2

Tracciamento dei piani di posa dei pannelli e posa dei profili di partenza

3

Preparazione della malta per l'incollaggio dei pannelli

4

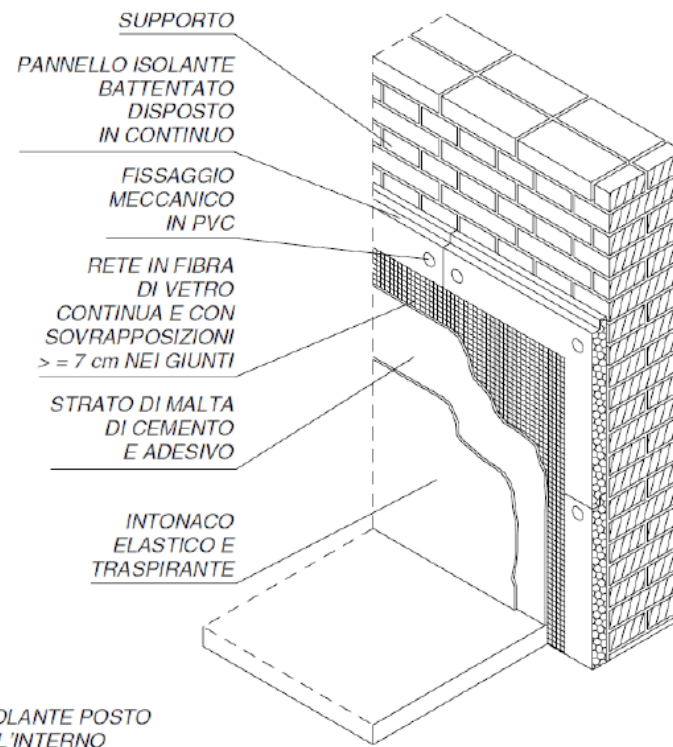
Posa in opera dei pannelli isolanti e di strisce di guarnizione verso elementi costruttivi quali serramenti e davanzali

5

Fissaggio meccanico dei pannelli coibenti

6

Preparazione della malta rasante e posa di profili di rinforzo localizzati



Pareti monostrato isolate esternamente

MODALITÀ DI REALIZZAZIONE DEGLI ISOLAMENTI TERMICI ALL'ESTERNO (2)

7

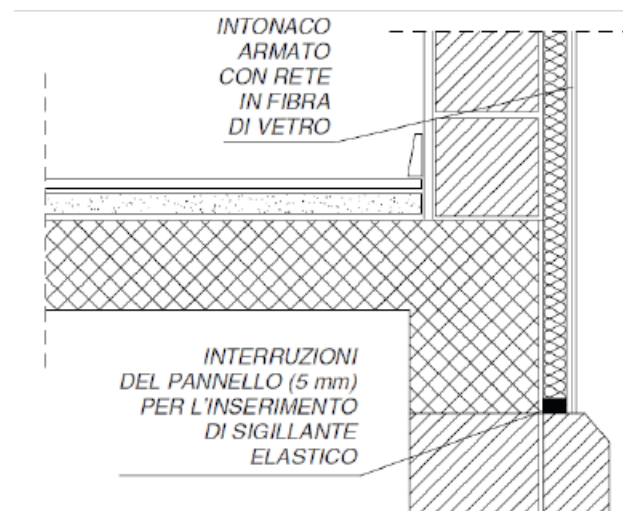
Realizzazione della rasatura armata sulla superficie esterna dello strato isolante

8

Sigillatura dei giunti tra rasatura armata ed elementi costruttivi singolari

9

Applicazione dello strato esterno di finitura ed eventuale tinteggiatura



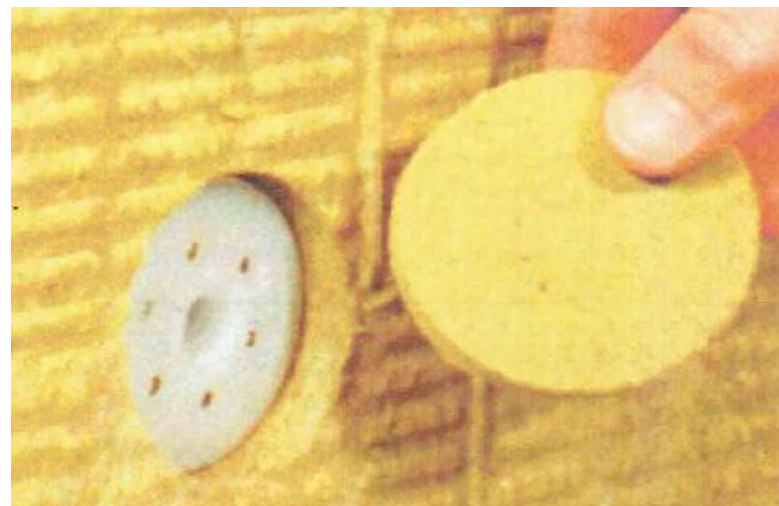
TASSELLI PER IL FISSAGGIO DI PANNELLI ISOLANTI



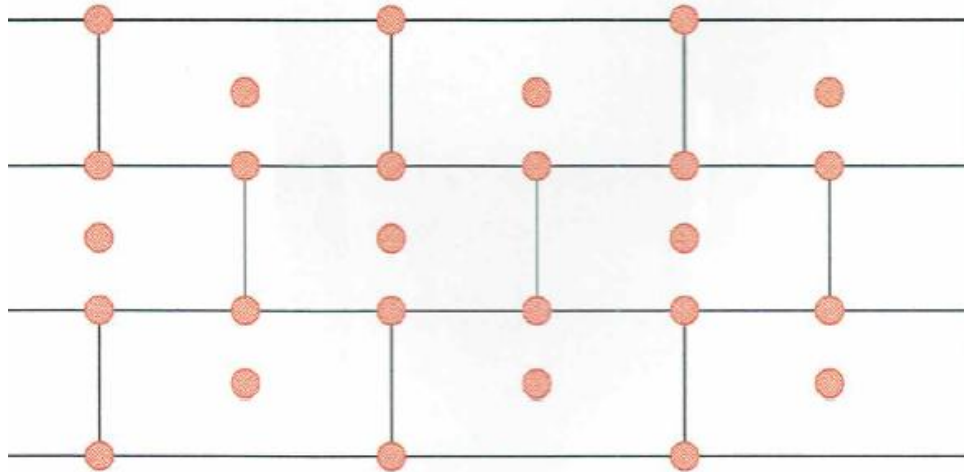
Pareti monostrato isolate esternamente



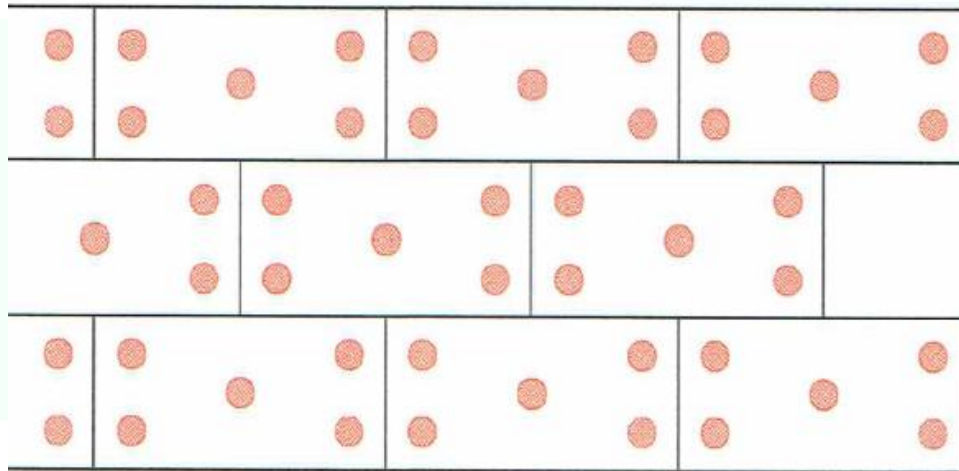
Particolari della tassellatura di pannelli coibenti.



Pareti monostrato isolate esternamente



Organizzazione della tassellatura per pannelli in coibente sintetico.



Organizzazione della tassellatura per pannelli in fibra di legno.

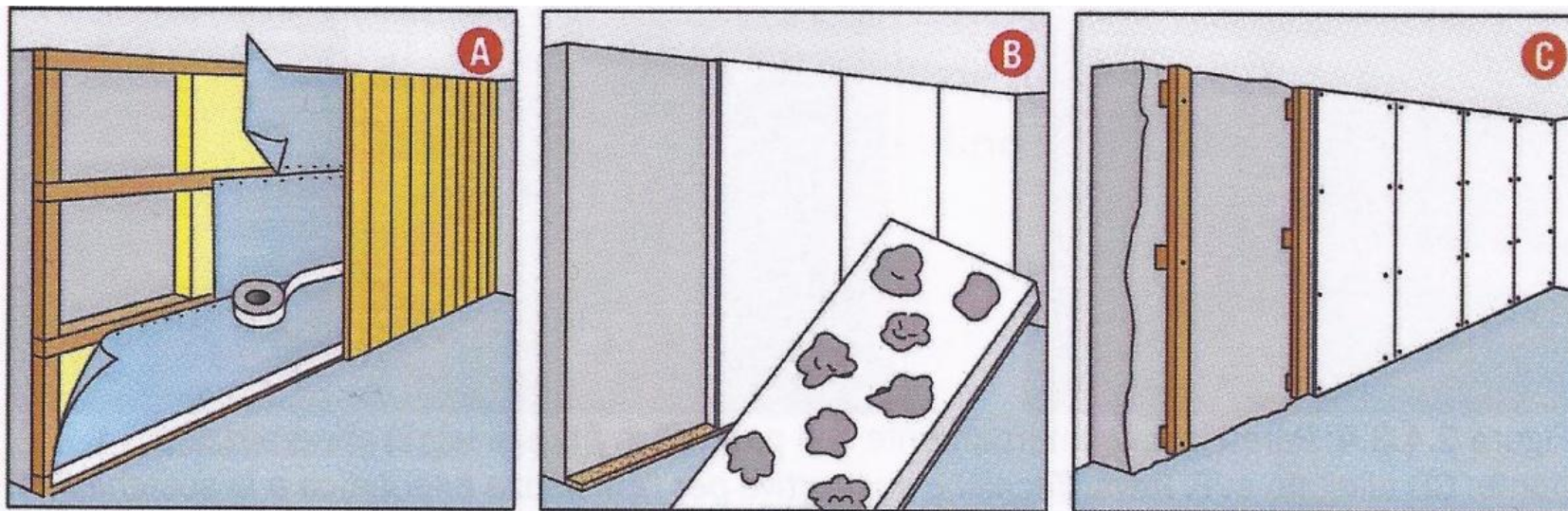
Pareti monostrato isolate internamente

L'isolamento termico **interno** è la soluzione scelta di solito nel caso di edifici preesistenti dove non è realizzabile (ad esempio se la facciata risulta vincolata) l'applicazione dello strato termoisolante all'esterno.

L'applicazione di questa soluzione non è mai del tutto efficiente poiché:

- le strutture dell'edificio rimangono esposte alle **variazioni** della **temperatura esterna**;
- i **ponti termici non** sono **evitabili**; la posizione dell'isolamento termico accentua tali effetti;
- il **rischio** di **condensazione** superficiale ed interstiziale è più elevato rispetto alle altre tipologie.

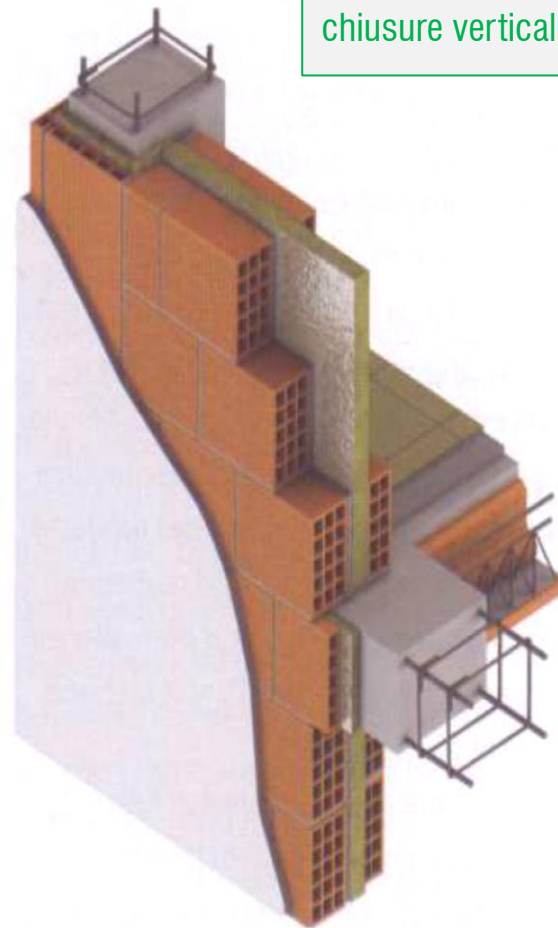
Modalità di realizzazione dello strato di isolamento termico interno: pannelli di lana minerale su orditura lignea, barriera al vapore e rivestimento con doghe in legno (A), pannelli prefiniti incollati per punti allo strato portante (B), pannelli inchiodati ad una struttura di sostegno in listelli lignei, con intercapedine d'aria.



Pareti ad isolamento intermedio

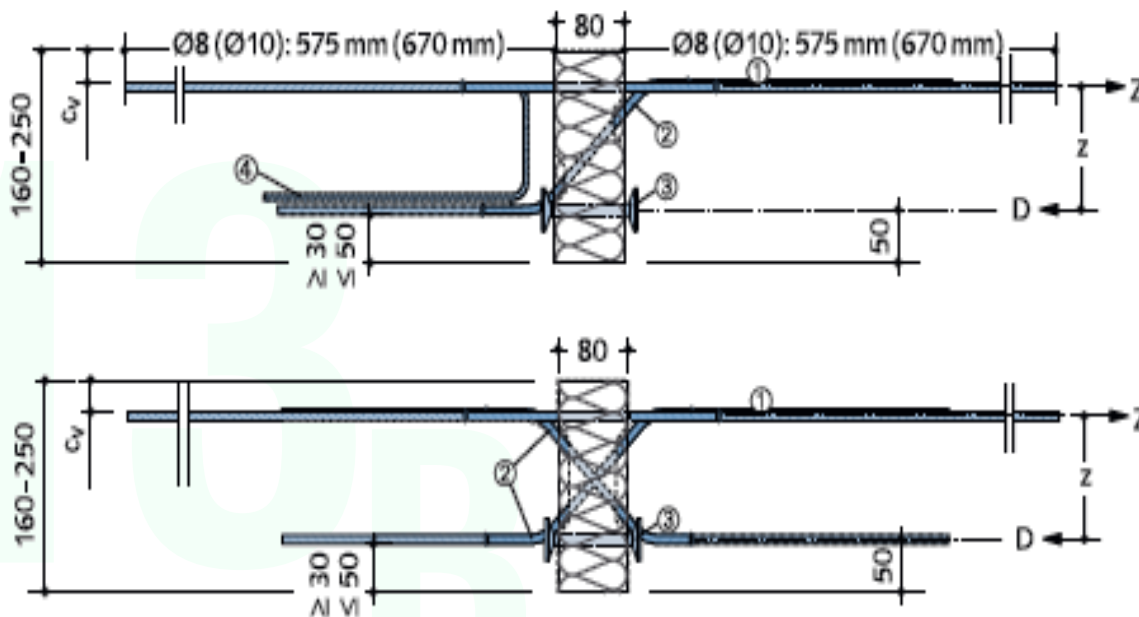
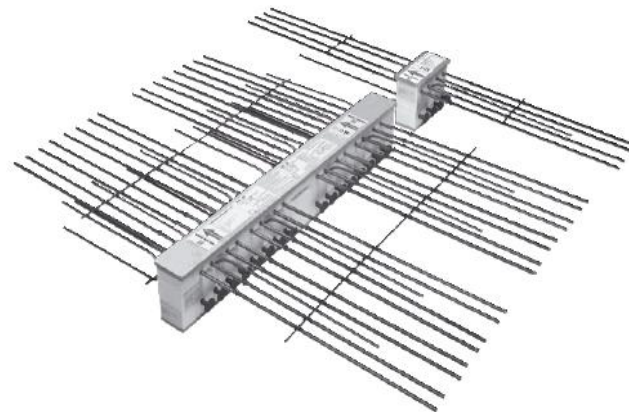
Una parete a due paramenti, dei quali in genere **uno** è **portante** e l'**altro** è **non portante**, rende disponibile un'**intercapedine** per l'**isolamento** termico **intermedio**; l'intercapedine può essere interamente occupata dallo strato termoisolante o rimanere in parte libera. La presenza di una lama d'aria di ridotte dimensioni (2÷5 cm) tra lo strato termoisolante ed il paramento esterno protegge la parete da fenomeni di **condensa interstiziale** e preserva l'integrità dello strato stesso in caso di infiltrazione d'acqua. Intercapedini di dimensioni maggiori di 5 cm inibiscono il **potere termoisolante** della lama d'aria, in quanto rendono possibili moti convettivi di trasmissione del calore. Lo strato termoisolante può essere realizzato con **pannelli rigidi** o **semirigidi** o con materassini non idrofili; in edifici esistenti, l'intercapedine d'aria può essere riempita con **isolanti sciolti**, soluzione che presenta alcune problematiche legate alla ridotta stabilità dimensionale dei materiali sfusi.

Problema della continuità dell'isolamento termico per chiusure verticali doppie



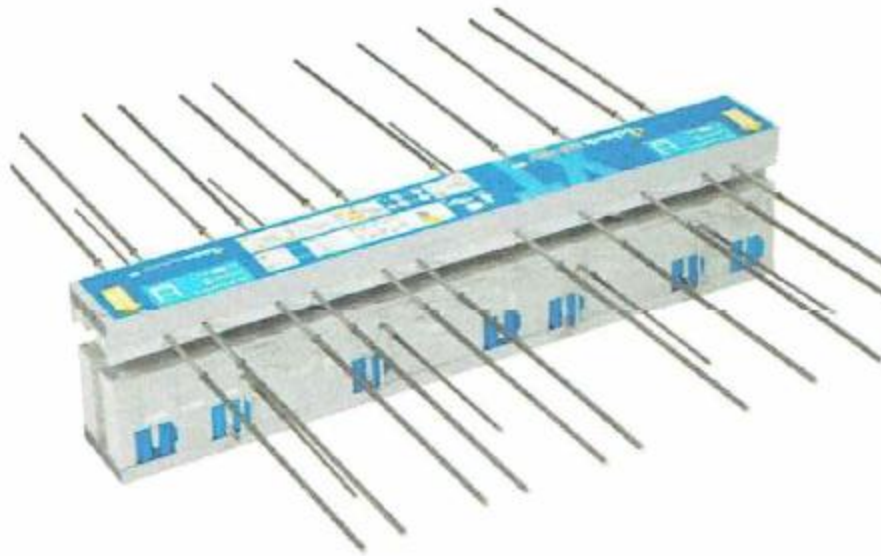
Pareti ad isolamento intermedio

In prossimità di cordoli perimetrali e in corrispondenza di aggetti, la realizzazione della continuità dello strato coibente è possibile ricorrendo a speciali **elementi di raccordo**. Queste soluzioni tecnologiche sono applicabili su tutti gli involucri opachi che presentano il medesimo problema di **continuità d'isolamento** in corrispondenza di aggetti.

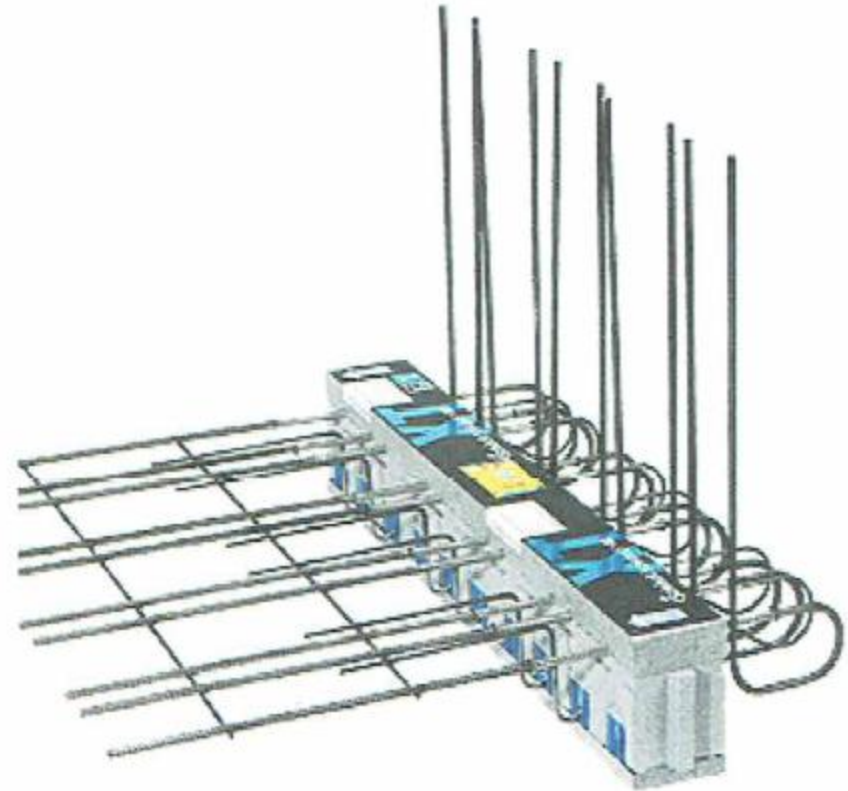


Realizzazione della continuità dell'isolamento all'aggetto con l'impiego di elementi metallici di raccordo innestati all'orizzontamento: assonometria dell'elemento tecnico (moduli da 1 ml e moduli di completamento da 20 cm) ed armatura per la ripresa delle sollecitazioni flessionali.

Pareti ad isolamento intermedio



Disgiuntore strutturale per il getto di un elemento a sbalzo orizzontale.



Disgiuntore strutturale per il getto di un elemento a sbalzo a sviluppo verticale.

Pareti ad isolamento intermedio

25



A sinistra, armatura della trave di bordo.
A destra, armatura di ripresa per soletta a sbalzo.



A destra, struttura provvisoria per il getto della soletta a sbalzo, con tavola di chiusura.

13_B.2

Ponti termici

Ponti termici

In organismi edilizi ad elevato isolamento termico, le **dispersioni** di energia termica si concentrano in prossimità dei **ponti termici**, ossia in **singularità** lineari e puntuali in cui il flusso termico scambiato per conduzione è **non monodimensionale**.

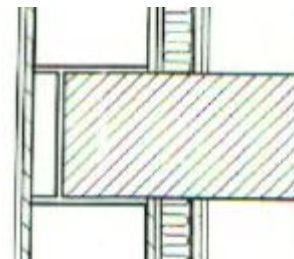
I ponti termici, che insorgono in presenza di una delle seguenti situazioni:

- **discontinuità tra i materiali**, o ponti termici di struttura (ad esempio, l'inserimento di un pilastro in cemento armato all'interno di una parete in laterizio);
- **discontinuità geometriche**, o ponti termici di forma (ad esempio angoli, rientranze, sporgenze);
- **discontinuità** o **interruzioni** dello **strato isolante** (ad esempio raccordo con serramenti, aggetti).

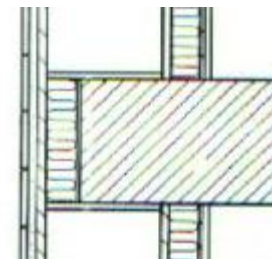
In corrispondenza del ponte termico si instaura una **via preferenziale** per il **passaggio** del **calore**, manifestata da un **abbassamento** locale della **temperatura superficiale**.

La disomogeneità della temperatura degli elementi d'involucro in punti diversi comporta due ordini di effetti:

- la possibilità di sensazioni di **discomfort termico** per asimmetria della temperatura media radiante;
- con elevate concentrazioni di umidità all'interno dei locali, la possibile **insorgenza** di macchie d'**umidità**, o **distacchi** dell'**intonaco** interno.



ponte termico



correzione

Ponti termici



Striscia perimetrale per la correzione del ponte termico solaio – parete perimetrale

Ponti termici ricorrenti

**ISOLAMENTO
TERMICO**

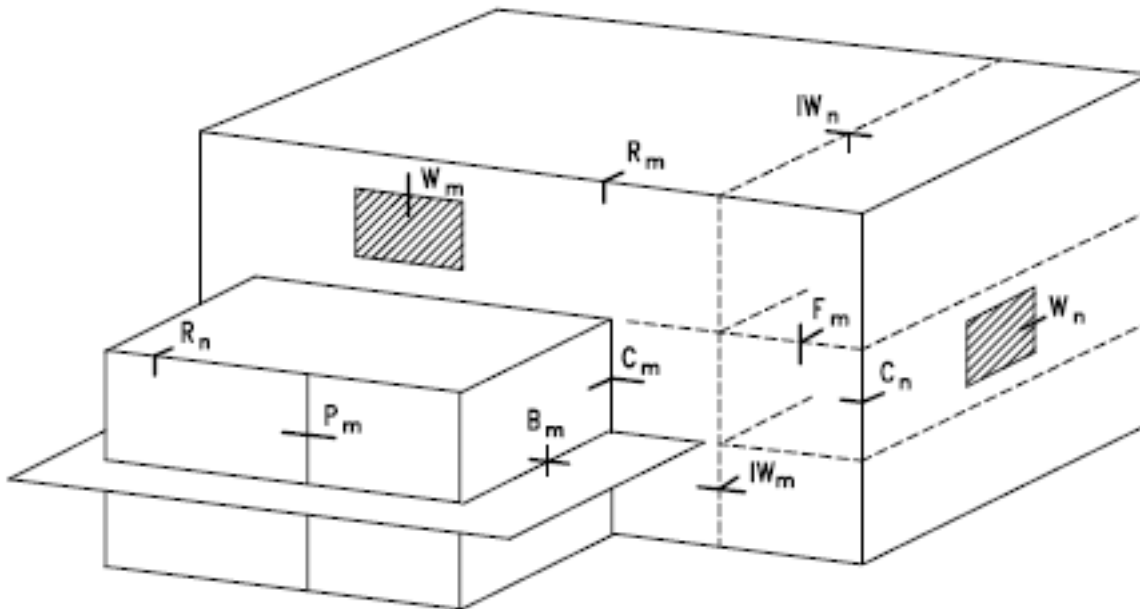
nodi di continuità

intersezione
partizione-chiusura

raccordo
infisso-chiusura

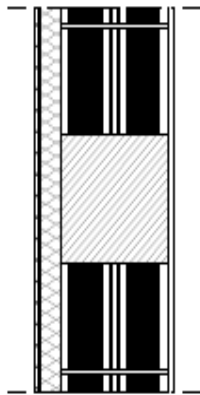
discontinuità di
materiale

angoli e rientranze

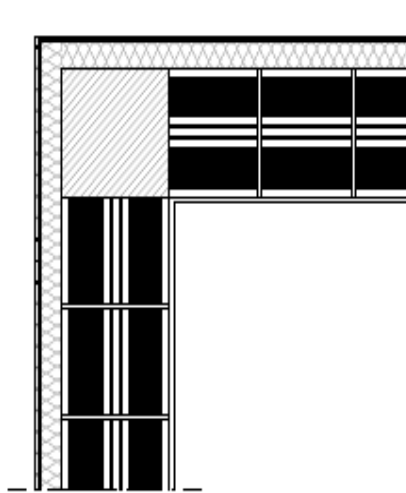


Ponti termici con isolamento esterno

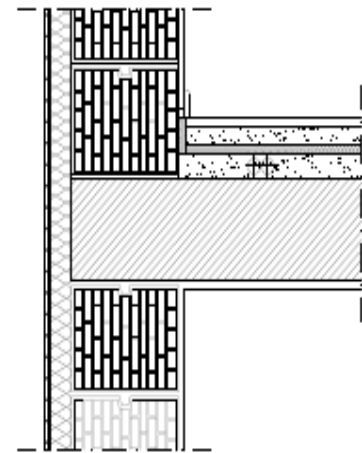
PILASTRO
– PARETE CORRENTE



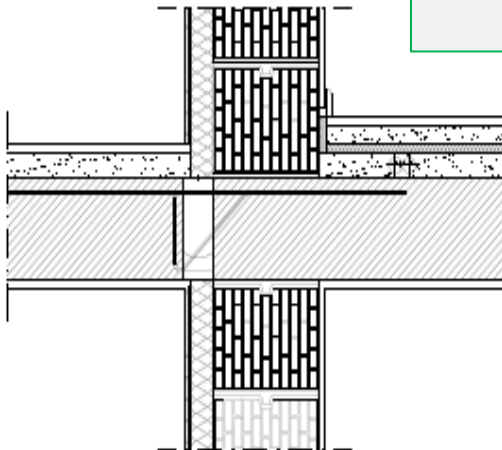
PILASTRO D'ANGOLO –
PARETE



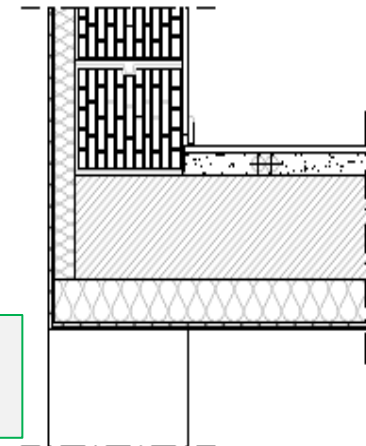
PARETE
– SOLAIO D'INTERPIANO



PARETE – AGGETTO

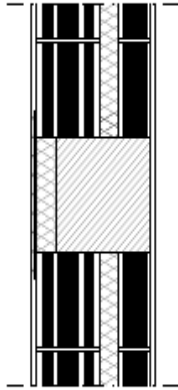


PARETE –
SOLAIO SU PORTICATO

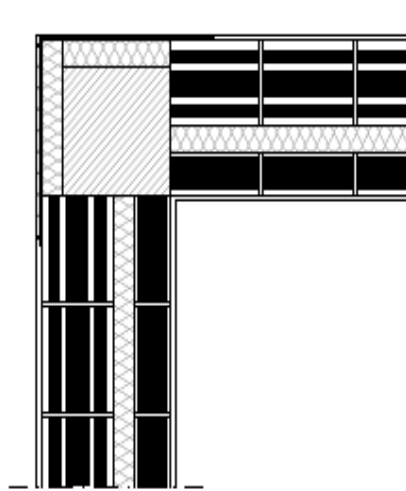


Ponti termici con isolamento intermedio

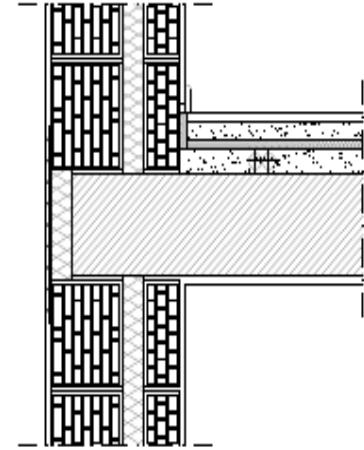
PILASTRO
– PARETE CORRENTE



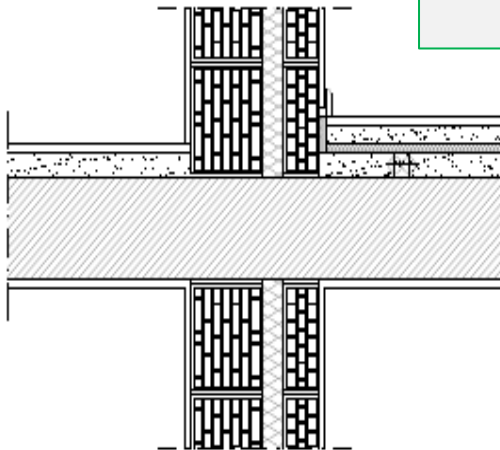
PILASTRO D'ANGOLO –
PARETE



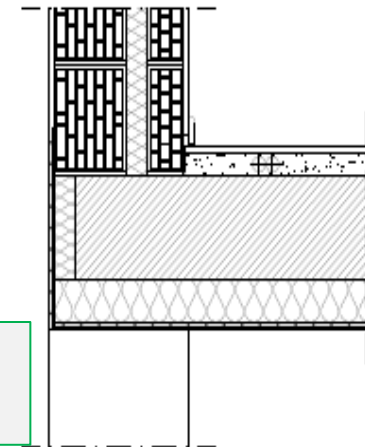
PARETE
– SOLAIO D'INTERPIANO



PARETE – AGGETTO

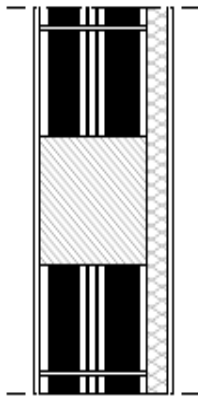


PARETE –
SOLAIO SU PORTICATO

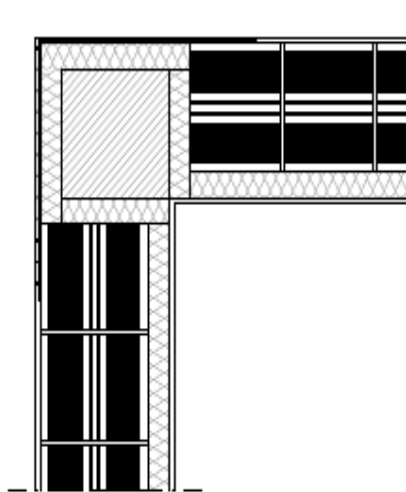


Ponti termici con isolamento interno

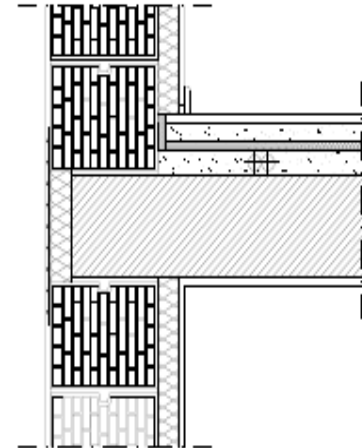
PILASTRO
– PARETE CORRENTE



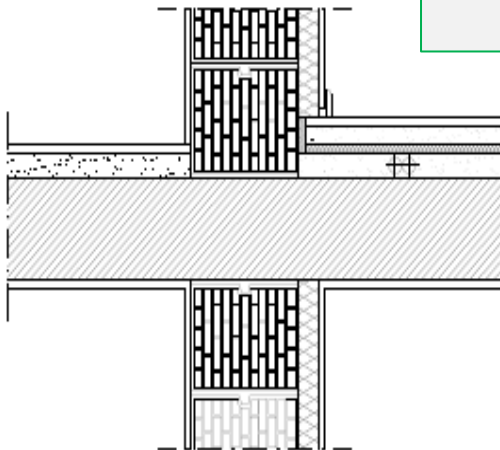
PILASTRO D'ANGOLO –
PARETE



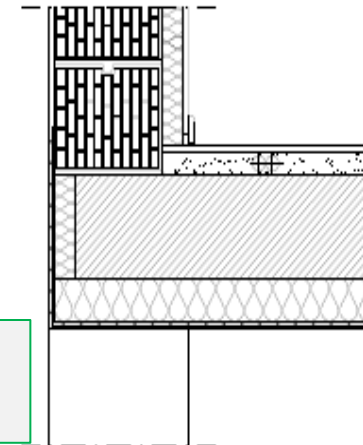
PARETE
– SOLAIO D'INTERPIANO



PARETE – AGGETTO

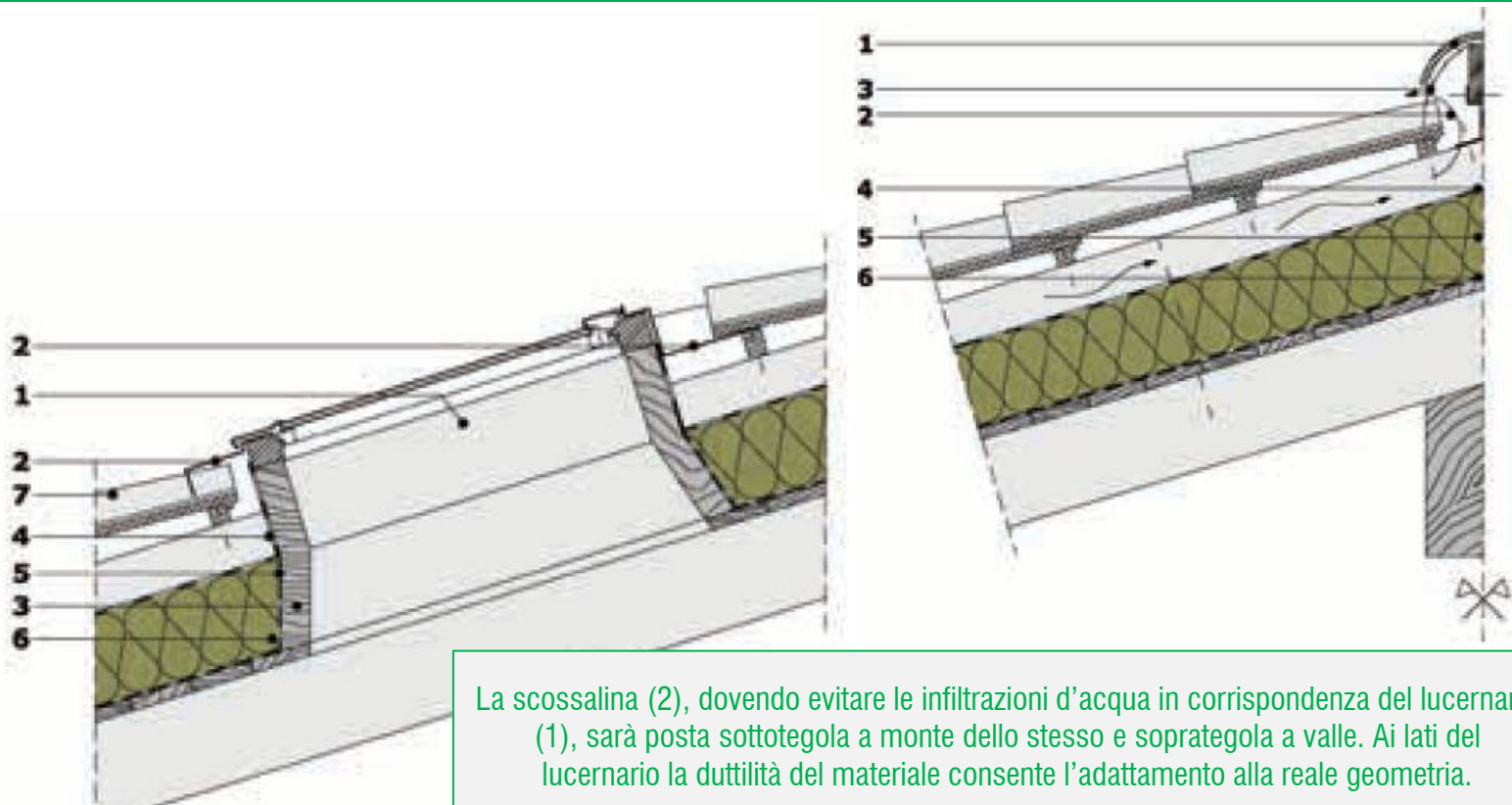


PARETE –
SOLAIO SU PORTICATO



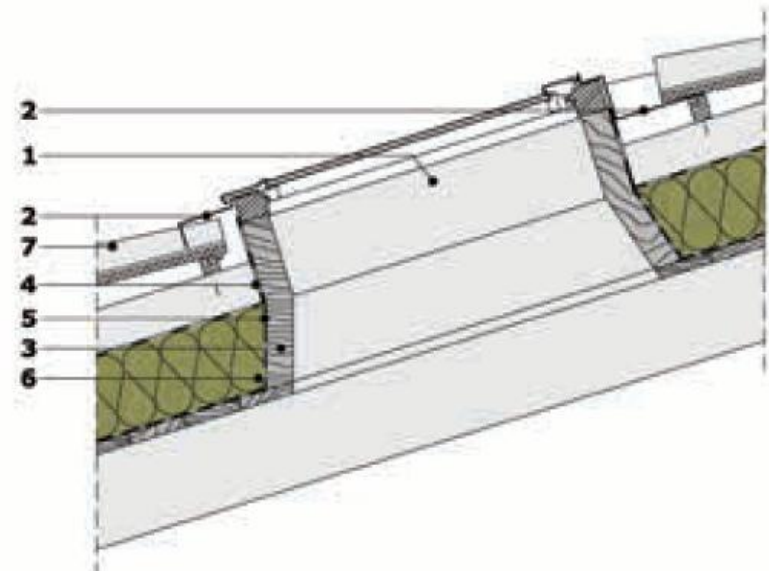
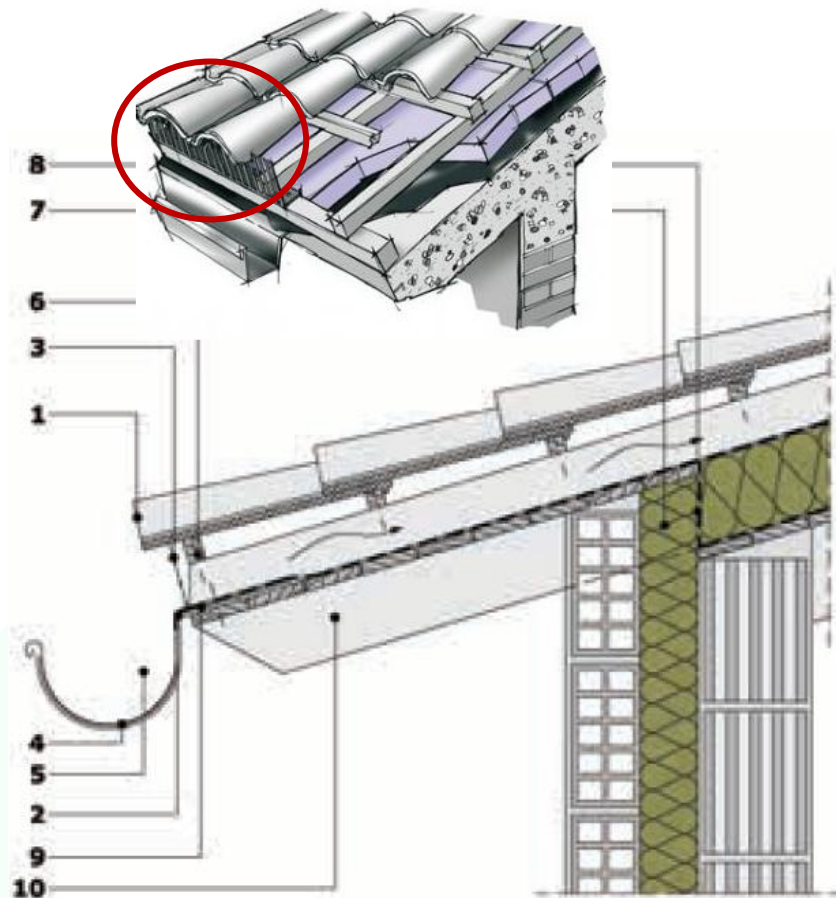
Punti singolari nelle coperture inclinate

L'elemento di aerazione (1) è fissato ad un supporto ligneo solidale con la struttura principale e provvisto di rete parapasseri (3); la sezione di aerazione al colmo (2) non deve presentare restrizioni rispetto al canale di falda.



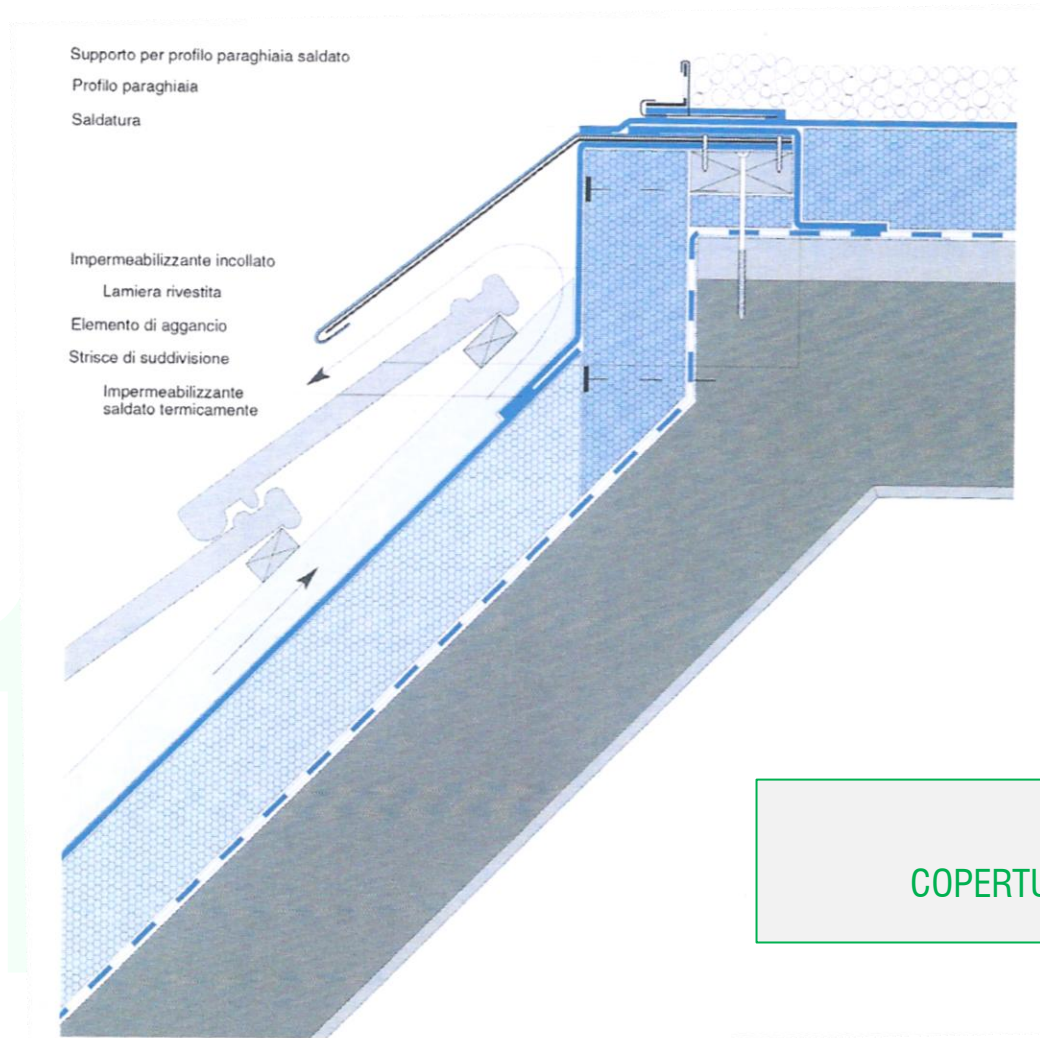
La scossalina (2), dovendo evitare le infiltrazioni d'acqua in corrispondenza del lucernario (1), sarà posta sottotegola a monte dello stesso e soprattegola a valle. Ai lati del lucernario la duttilità del materiale consente l'adattamento alla reale geometria.

Punti singolari nelle coperture inclinate



Il manto di copertura (1) deve sporgere per circa 1/3 della larghezza del canale di gronda (5) per consentire la caduta dell'acqua meteorica. Lo strato di tenuta all'acqua (2) deve raggiungere il canale di gronda; nella stessa sezione, la bocca dei canali di ventilazione (3) deve possedere una rete parapasseri. Il primo listello (6) presenta un'altezza maggiore rispetto alle altre per uniformare la pendenza delle tegole. Lo strato di tenuta all'aria deve raggiungere la chiusura perimetrale.

Punti singolari nelle coperture inclinate

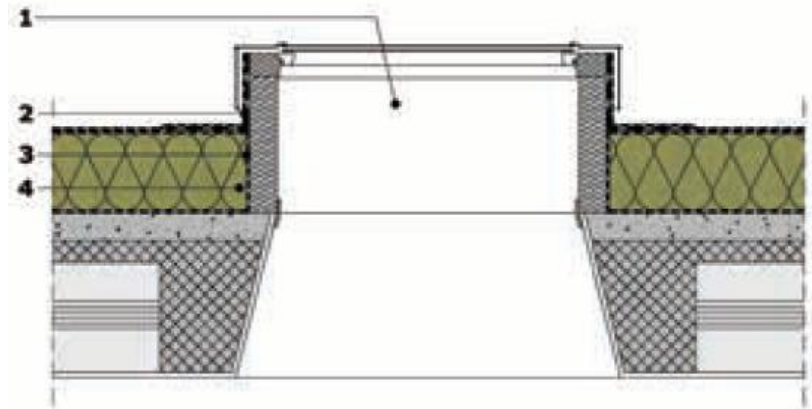
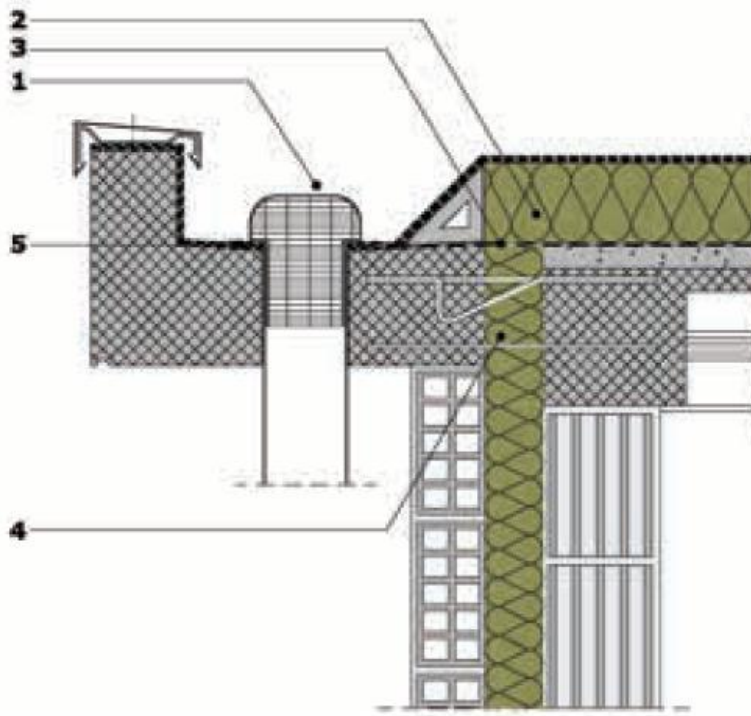


RACCORDO
COPERTURA PIANA - FALDA VENTILATA

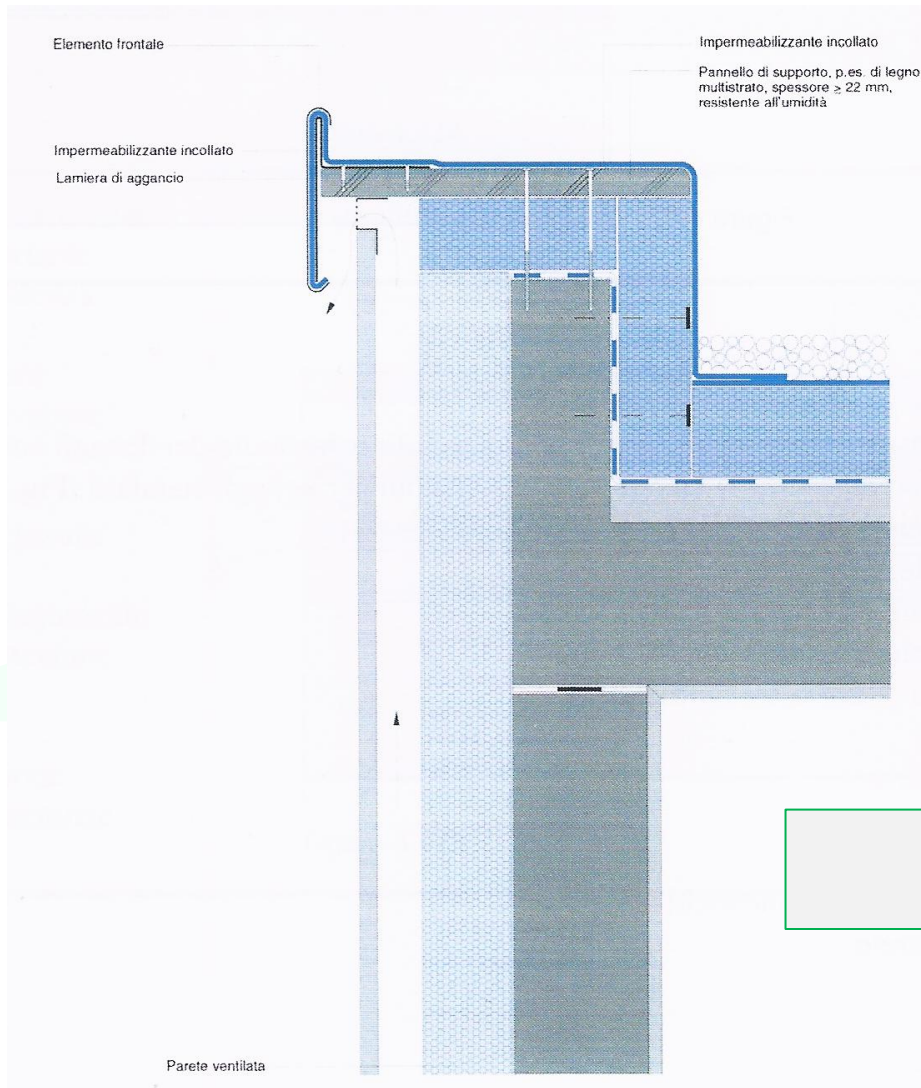
Punti singolari nelle coperture piane

La continuità dell'elemento termoisolante (2) è garantita mediante elementi prefabbricati di ripresa dell'armatura. Lo strato di controllo vapore (3) prosegue fino allo strato di tenuta.

La membrana bituminosa (tenuta all'acqua, 2) e il foglio in polietilene (controllo vapore acqueo, 3) devono essere risvoltati fino alla scossalina del lucernario



Punti singolari nelle coperture piane

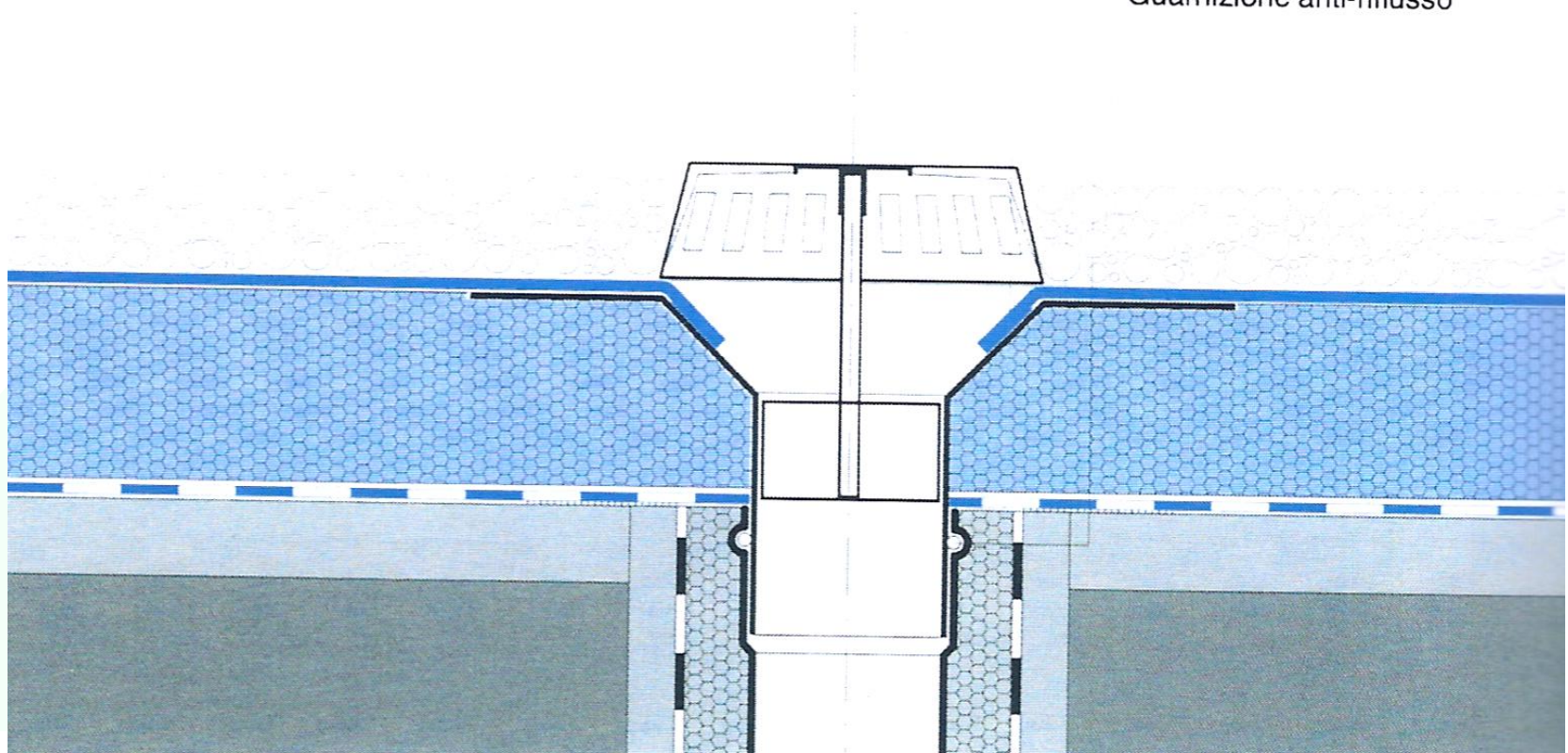


RACCORDO CON PARETE VENTILATA

Punti singolari nelle coperture piane

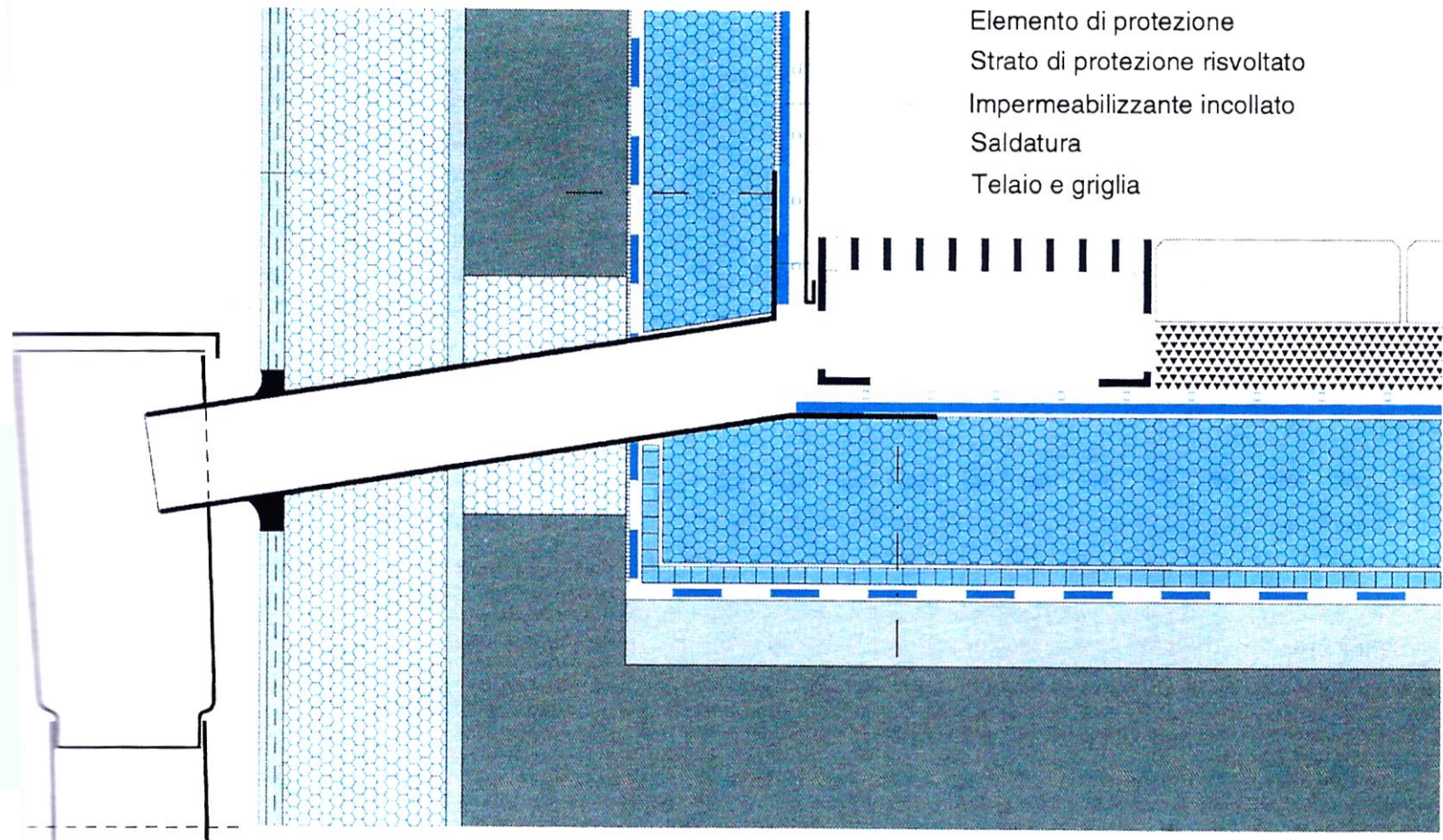
RACCORDO CON BOCCHETTA DI SCARICO

Paraghiaia
Saldatura
Bocchetta di scarico plastificata
Guarnizione anti-riflusso



Punti singolari nelle coperture piane

RACCORDO DI SCARICO VERSO PLUVIALE



13_B.3

Involucri «freddi»

Schema funzionale

Gli involucri freddi, a differenza dei precedenti, sono comunque caratterizzati dalla disposizione dello strato di **isolamento termico all'esterno**: in queste soluzioni, però, il **rivestimento esterno** si presenta **distaccato** dalla faccia esterna di tale strato, realizzando così **un'intercapedine aerata**. Lo strato isolante termico risulta perciò **protetto dall'ingresso di acqua meteorica e dall'irraggiamento solare diretto**, il quale può causarne il surriscaldamento. Tra gli involucri freddi si possono citare le **'facciate ventilate'**, le coperture **'a tetto freddo'**, le coperture discontinue isolate e ventilate.



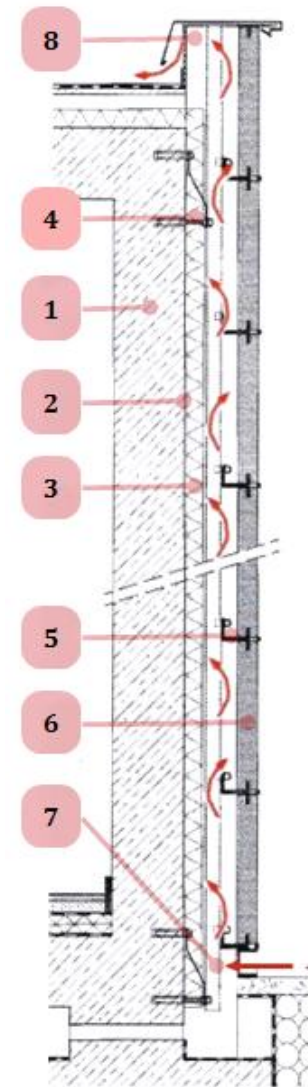
Schema funzionale

Una facciata ventilata è costituita da due elementi tecnici ben differenziati ed opportunamente distanziati, solidarizzati da sistemi di **graffaggio metallico** e separati da un'intercapedine d'aria; questa comunica con l'ambiente esterno alla **base** ed in **sommità**, così da permettere l'«**effetto camino**».

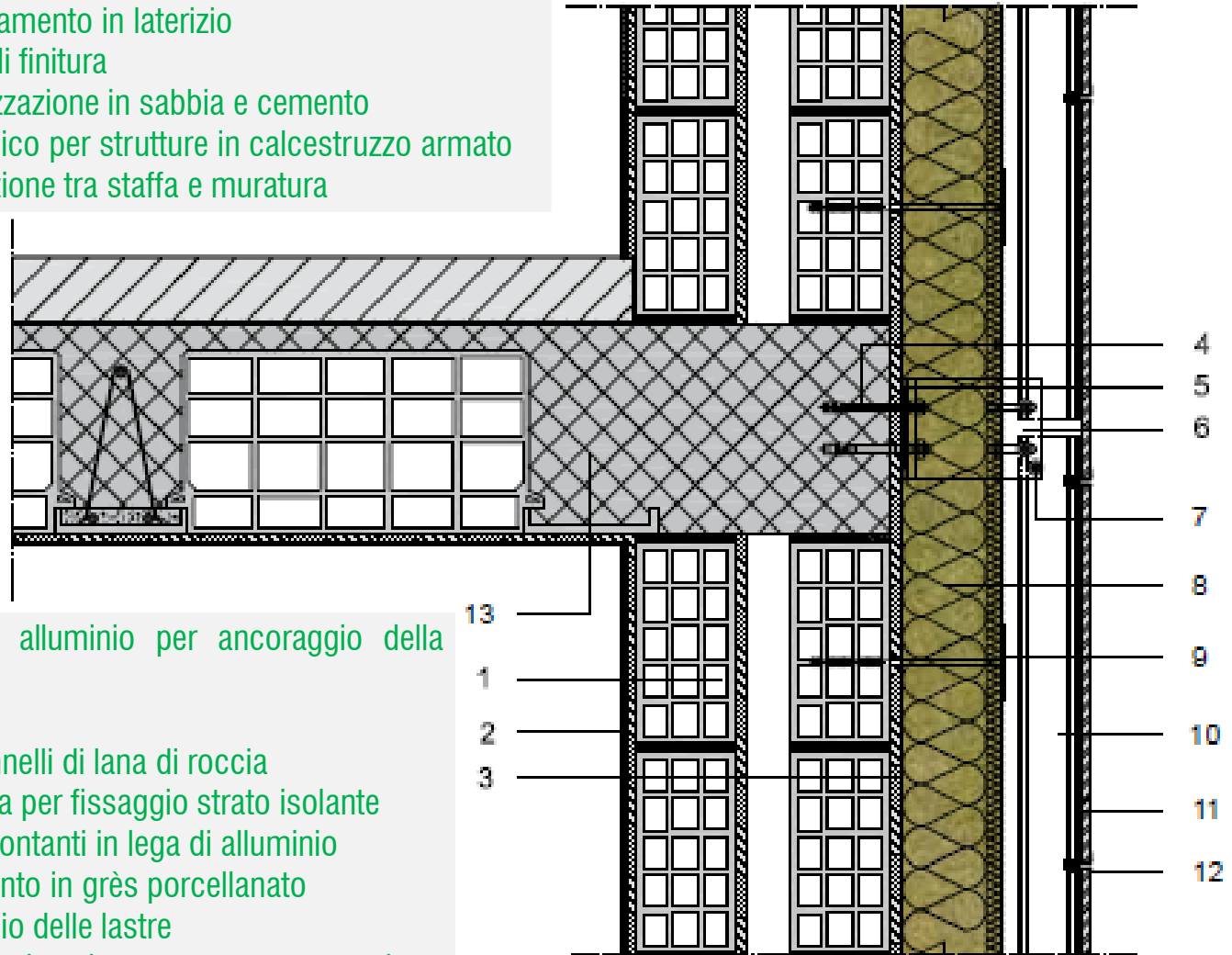
La discontinuità tra strato di protezione e strato isolante blocca le infiltrazioni d'acqua verso l'interno, mentre la **coibentazione** risulta **continua** su tutto l'involucro verticale, impedendo la formazione di ponti termici.

Nel **periodo estivo** è possibile **asportare** per **ventilazione** i **carichi termici in eccesso**, mentre nella stagione fredda la stessa ventilazione **asporta** l'eventuale **umidità** presente.

1. strato portante o di supporto
2. strato di regolarizzazione
3. strato termoisolante
4. strato di collegamento tra strato portante e strato coibente
5. strato per il supporto strutturale (sovrastuttura di sostegno al rivestimento)
6. strato di finitura o di rivestimento esterno, opaco, avente funzione di tenuta all'acqua e protezione dagli agenti atmosferici
7. ingresso e ...
8. ...uscita in sommità dello strato di ventilazione



1. Muratura di tamponamento in laterizio
2. Intonaco di base e di finitura
3. Intonaco di regolarizzazione in sabbia e cemento
4. Ancoraggio meccanico per strutture in calcestruzzo armato
5. Elemento di separazione tra staffa e muratura



6. Staffa in lega di alluminio per ancoraggio della sottostruttura
7. Punto fisso
8. Isolamento in pannelli di lana di roccia
9. Chiodi con rondella per fissaggio strato isolante
10. Sottostruttura a montanti in lega di alluminio
11. Lastre di rivestimento in grès porcellanato
12. Clips per il fissaggio delle lastre
13. Cordolo perimetrale in calcestruzzo armato e soletta

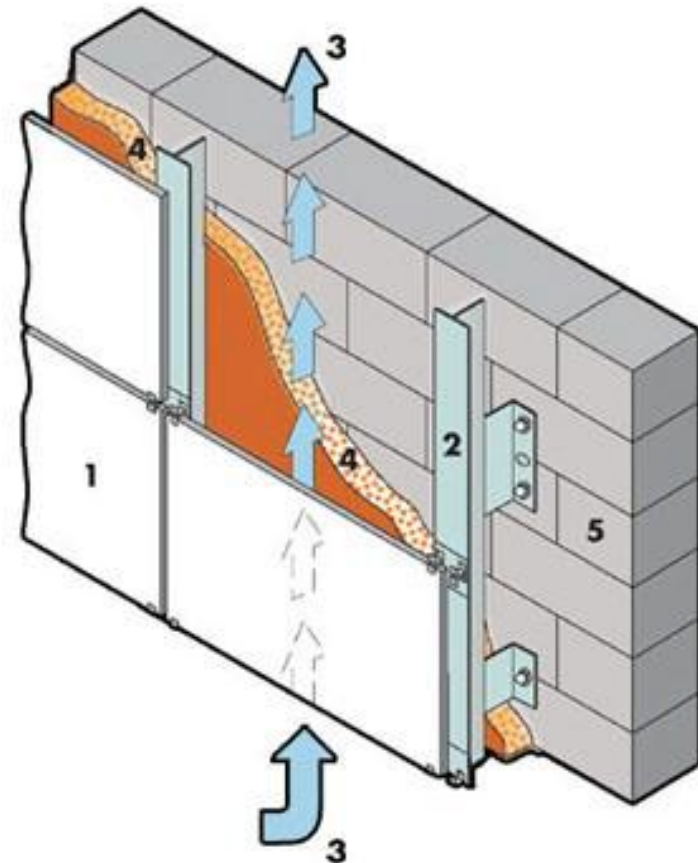
Pareti ventilate

L'intercapedine d'aria presenta uno **spessore** variabile tra i **20** ed i **50 mm** per consentire l'instaurarsi di un **effetto camino**; in edifici soggetti a controllo di prevenzione incendi, l'intera altezza dell'intercapedine dovrà essere sezionata per piani onde **evitare la propagazione di fiamme e fumi** (compartimentazioni di piano).

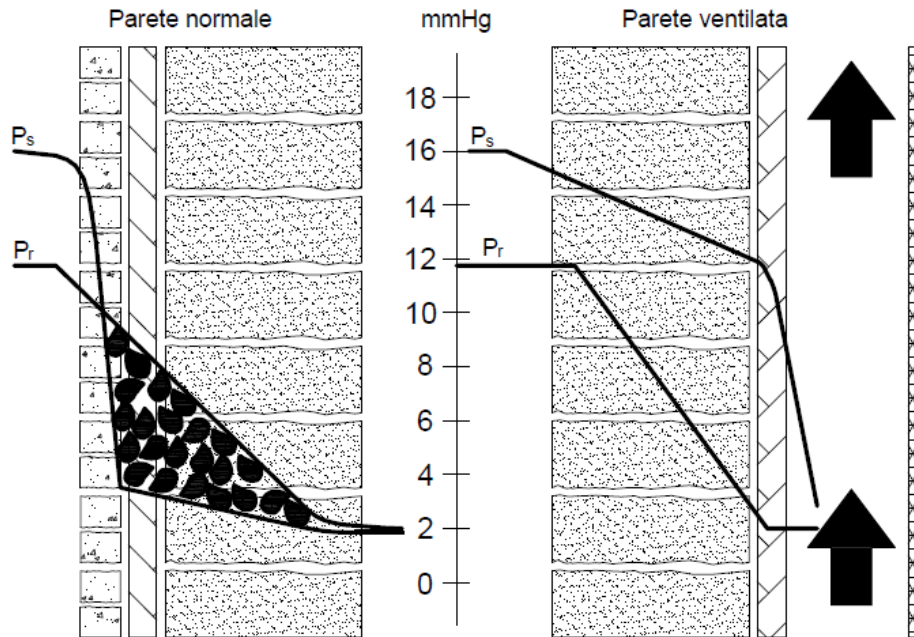
La facciata ventilata è applicabile efficacemente a:

- edifici **esistenti** non **energeticamente efficienti**; permette l'incremento dell'isolamento termico ed acustico;
- chiusure affette da **patologie** di **facciata**, quali lo scrostamento dell'intonaco esistente;
- edifici per i quali è richiesto un **miglioramento d'aspetto architettonico** con l'impiego di rivestimenti innovativi.

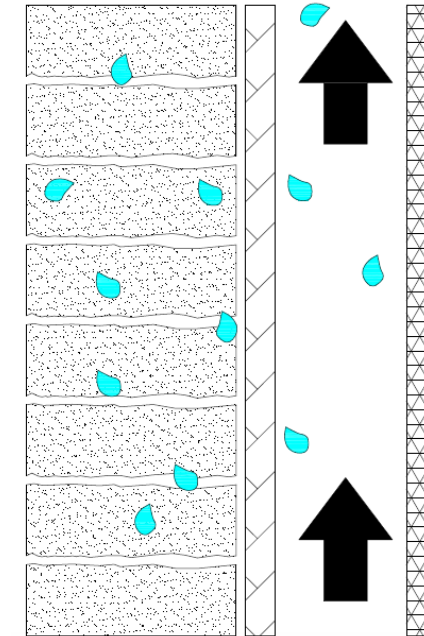
Il rivestimento esterno è caratterizzabile per forma (lastre, pannelli, doghe) e per materiale costitutivo.



Pareti ventilate

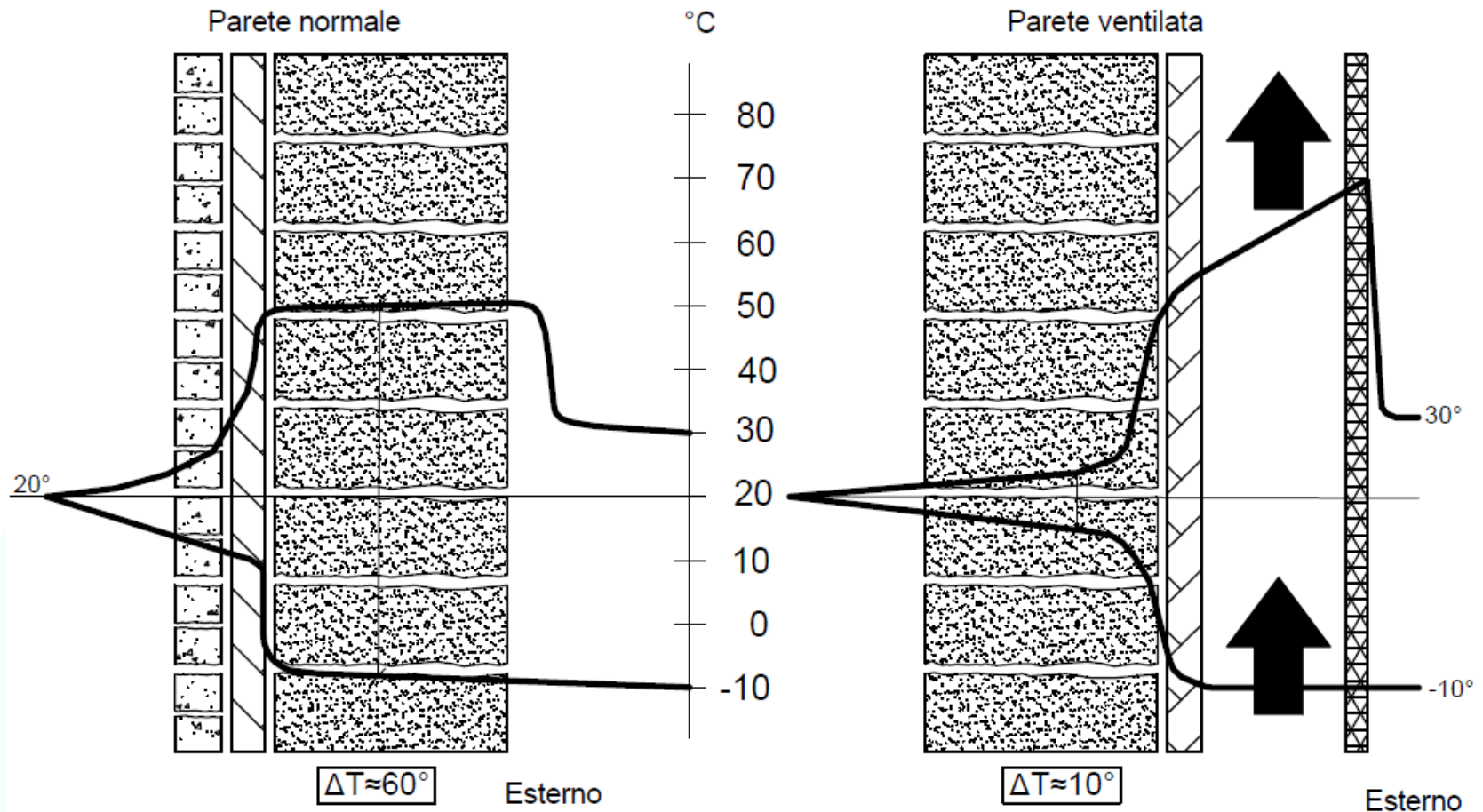


Migliore controllo della permeabilità al vapore



Effetto camino

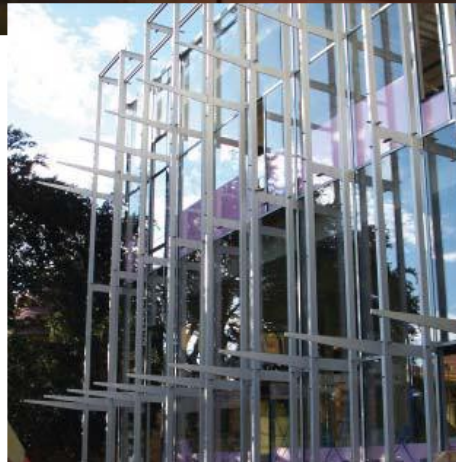
Pareti ventilate



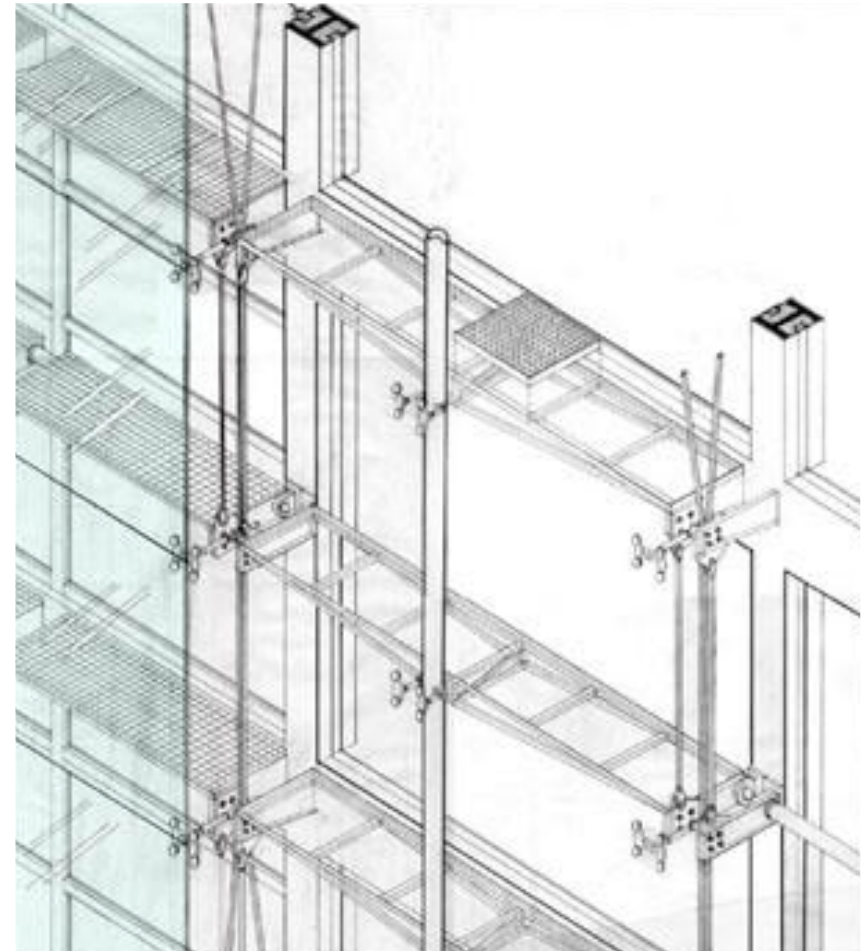
Riduzione shock termici
sulla muratura

Facciate a doppia pelle in vetro

Cambridge Public Library,
Cambridge (MA, USA)

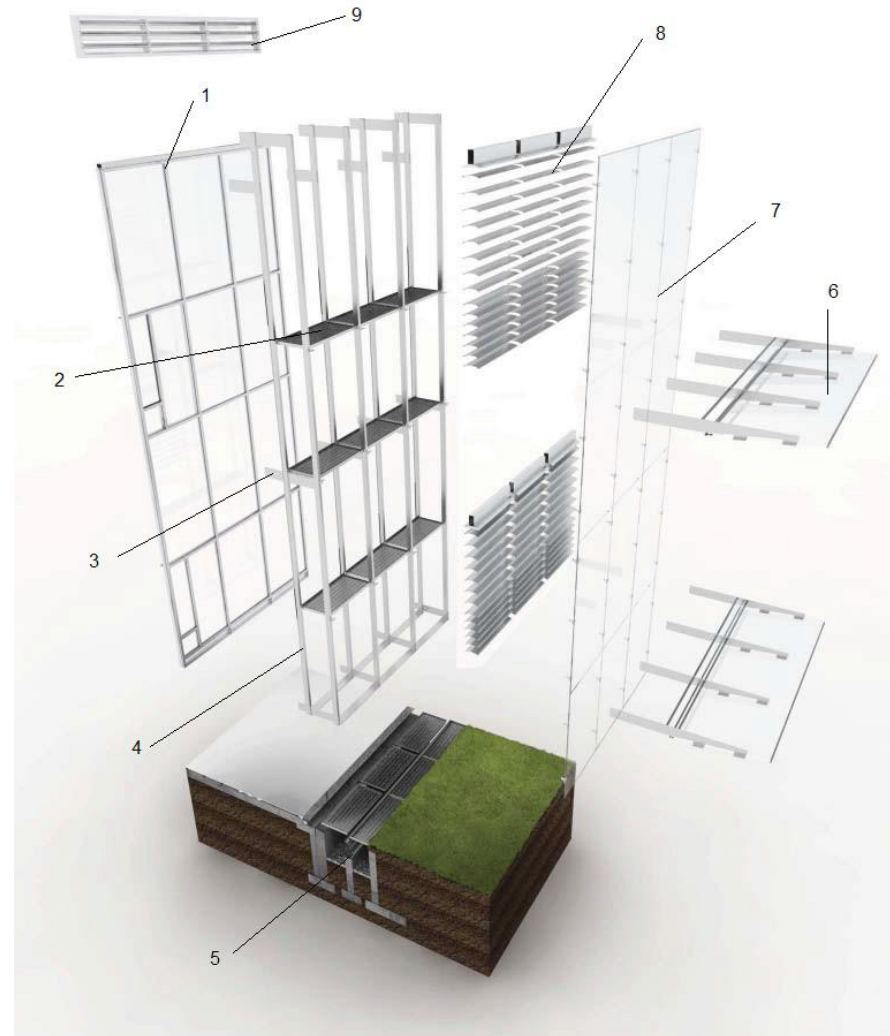


Facciate a doppia pelle in vetro



Facciate a doppia pelle in vetro

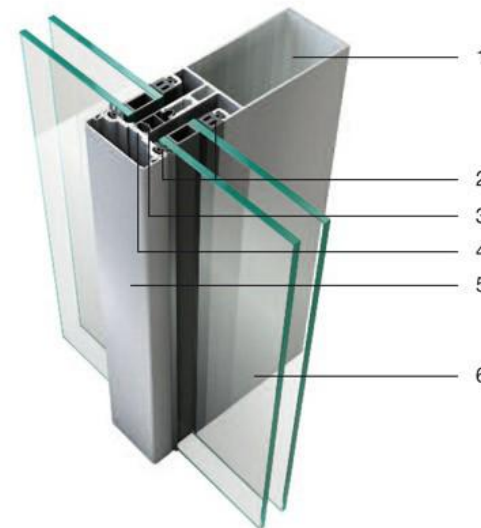
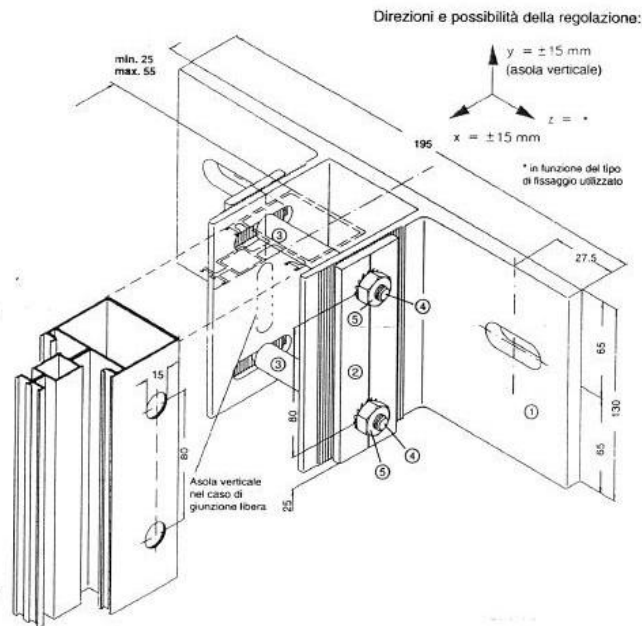
1. facciata continua con montanti e traversi, vetrocamera «isolante»
2. spazi per la manutenzione
3. elementi di collegamento
4. sottostruttura a telaio per il sostegno della facciata esterna
5. griglie apribili per la ventilazione alla base
6. schermature solari fisse esterne alla facciata
7. strato di rivestimento esterno in vetro (facciata appesa)
8. schermature solari mobili poste in intercapedine
9. griglie apribili in sommità



Facciate a doppia pelle in vetro

Staffa di ancoraggio
del telaio metallico
agli orizzontamenti
dell'edificio

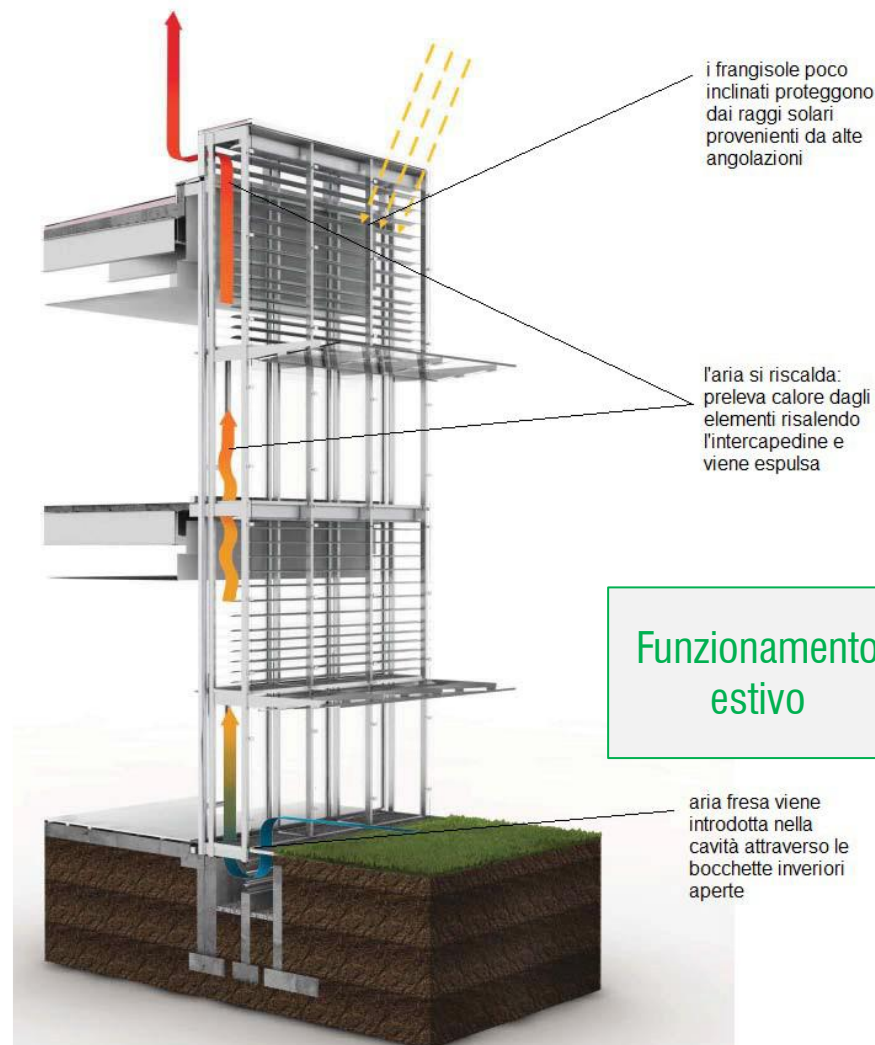
Fissaggio delle lastre
mediante pressori
in alluminio



Facciate a doppia pelle in vetro



Funzionamento
invernale



Funzionamento
estivo

13_B.4

Materiali isolanti

Definizioni

ISOLANTI

Un materiale viene definito **isolante** se ha particolari proprietà tali da:

- opporsi al passaggio del calore (**termoisolanti**);
- opporsi alla trasmissione del suono (**fonoisolanti**);
- annullare o attenuare la riflessione del suono (**fonoassorbenti**).

La classificazione di materiale isolante avviene in base a specifici **parametri normativi**.



Parametri di classificazione

PARAMETRI NORMATIVI

TERMOISOLANTE

Un materiale risulta classificato termoisolante in base alla conduttività utile di calcolo ($\lambda < 0,05 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$), una conducibilità maggiorata in base alle reali condizioni di esercizio di un materiale termoisolante

FONOSOLANTE

Un materiale risulta classificato fonoisolante in base a specifici parametri per le diverse unità tecnologiche di un edificio (requisiti acustici passivi)

FONOASSORBENTE

Un materiale risulta classificato fonoassorbente in base al coefficiente di assorbimento acustico (α), ossia la capacità di un elemento di non riflettere energia verso la sorgente sonora, ponderato sulla frequenza dell'onda sonora

Categorie di classificazione

TIPOLOGIE

Alcuni materiali hanno **contemporaneamente** proprietà termoisolanti, fonoassorbenti e/o fonoisolanti. Si introduce una generale **classificazione** con cui i materiali isolanti sono classificati in base:

- alla loro **natura**;

NATURALI

SINTETICI

ORGANICI

INORGANICI

- alla loro **struttura**.

FIBROSI

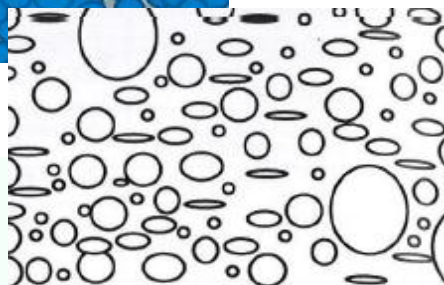
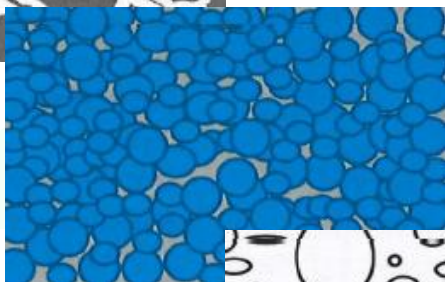
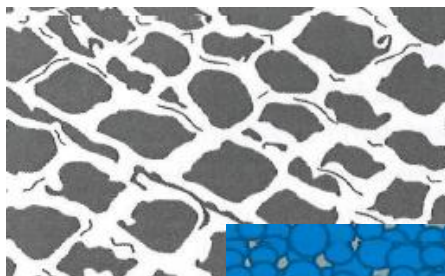
CELLULARI

POROSI

La densità apparente (ρ) e la struttura di un materiale sono le proprietà che principalmente influiscono sui fenomeni di **propagazione** delle **onde** del calore e del suono.

Categorie di classificazione

STRUTTURA



I materiali termoisolanti e fonoassorbenti sfruttano la presenza di **aria ferma** all'interno di piccole cavità. Con aria intrappolata e mantenuta ferma risulta un **ottimo** materiale **isolante** ($\lambda = 0,022 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Per mantenere aria ferma in spazi di piccole dimensioni i materiali isolanti sono prodotti con struttura:

- **fibrosa**, tipo di struttura a cella aperta che sfrutta la presenza del numero elevato di **fibre** molto ravvicinate che consentono la copresenza di aria ferma e di canali di piccolissime dimensioni collegati all'esterno. Tale copresenza consente di avere buon isolamento termico, permeabilità al vapore e assorbimento acustico;
- **cellulare**, contenente **celle chiuse** ottenute da processi di espansione. Consente di mantenere una quantità elevata d'aria **ferma** in piccole celle non collegate tra di loro;
- **porosa**, caratterizzata da un'elevata quantità di piccoli **vuoti** interni.

Classificazione

MATERIALI ISOLANTI

STRUTTURA

NATURA

ESEMPI

fibrosi	naturali	organici	fibra di legno, fibra di canapa, lana di pecora, cellulosa
		inorganici	
	sintetici	organici	fibra di poliestere
		inorganici	fibra di vetro, fibra di roccia
	naturali	organici	sughero
		inorganici	
cellulari	sintetici	organici	EPS, XPS, PUR, resine fenoliche, elastomeri espansi
		inorganici	vetro cellulare
porosi	naturali	organici	
		inorganici	pomice, argilla espansa, perlite
	sintetici	organici	
		inorganici	calcio silicato

Caratteristiche fisiche degli isolanti

MATERIALI ISOLANTI	Isolante	Densità [kg m ⁻³]	Conducibilità termica [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Coefficiente di assorbimento sonoro [-]
	Fibra di legno	45-300	0,04-0,06	0,10-0,40
	Lana di roccia	20-170	0,032-0,044	0,10-0,90
	Sughero	100-170	0,040-0,055	-
	EPS	30-100	0,034-0,055	0,04-0,20
	PUR	25-50	0,024-0,034	-
	Perlite espansa	30-150	0,060-0,070	-

Categorie di classificazione

ISOLANTI NATURALI ORGANICI



La **fibra di legno** è costituita primariamente da legno di **scarto** (ottenuto direttamente in segheria) con aggiunta di **collanti** e **additivi**.

Il processo di produzione dei pannelli prevede:

- frantumazione della materia prima
- raffinamento delle fibre mediante processi termomeccanici
- miscelazione con acqua e additivi
- pressatura ed essiccazione (fino ad umidità 2%).

Le caratteristiche peculiari sono: elevato potere termoisolante, facile lavorabilità, alta permeabilità al vapore, deteriorabile in presenza d'acqua.

Le applicazioni sono: **isolamento termico** su tutti gli elementi costruttivi, prestando attenzione alla presenza d'acqua.

Categorie di classificazione

ISOLANTI NATURALI ORGANICI



Il **sughero** deriva dalla **corteccia** di **quercia**.

Il processo di produzione prevede:

- scorzatura dell'albero
- stagionatura
- bollitura e successiva essiccazione
- macinazione
- cottura dei granuli ottenuti con fuoriuscita della resina legante
- raffreddamento e ulteriore stagionatura
- formazione e finitura.

Prodotto in pannelli, fogli, strisce e in forma sciolta, tutti rivestibili, presenta elevato potere termoisolante, media/bassa permeabilità al vapore, buona capacità termica utile per l'**isolamento capacitivo**.

Categorie di classificazione

ISOLANTI NATURALI INORGANICI



La **perlite espansa** deriva dalla **riolite**, roccia vulcanica di composizione felsica (a base di feldspato e silicio).

Il processo di produzione prevede:

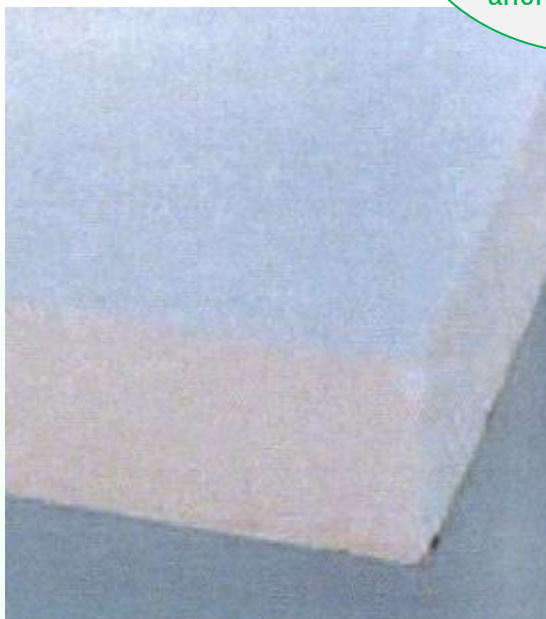
- frantumazione
- riscaldamento rapido a 1000 °C
- evaporazione e espansione dei granuli

Prodotta come materiale sciolto, viene utilizzato anche come **aggregato** di **conglomerati cementizi alleggeriti** e **termoisolanti**.

Categorie di classificazione

ISOLANTI SINTETICI ORGANICI

Polimero di sintesi
termoplastico, che
riscaldato può
direttamente
essere modellato,
anche in più cicli



L'**EPS** è costituito primariamente da un polimero a base di **stirene**.

Il processo di produzione prevede:

- espansione per gonfiaggio a vapore di anidride carbonica
- inserimento a stampo
- asciugatura
- formazione e sagomatura.

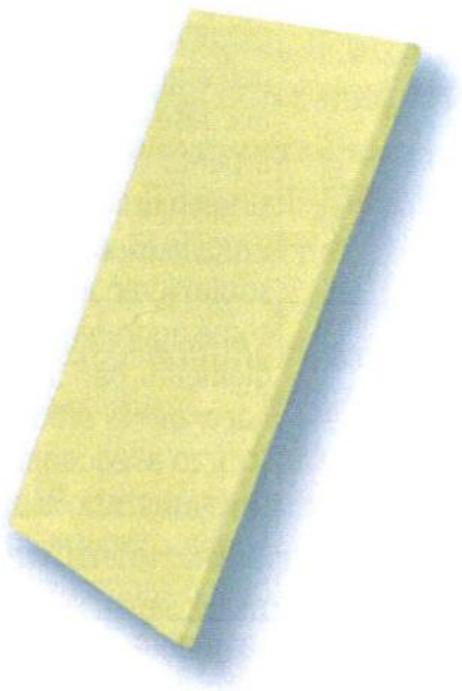
Prodotto in pannelli, sfere sciolte, prodotti opportunamente sagomati, il materiale può essere **accoppiato** alla **grafite** per diminuire gli scambi di calore radiativi o con altri strati per assolvere più funzioni (es. **cartongesso**).

Le caratteristiche peculiari sono: elevato potere termoisolante, facile lavorabilità, bassa permeabilità al vapore, sensibilità ai raggi UV e alle alte temperature.

Le applicazioni sono: isolamento termico con **potenziali proprietà fonoassorbenti** per tutti gli elementi costruttivi.

Categorie di classificazione

ISOLANTI SINTETICI ORGANICI



L'**XPS** è costituito primariamente da un polimero a base di **stirene**.

Il processo di produzione prevede:

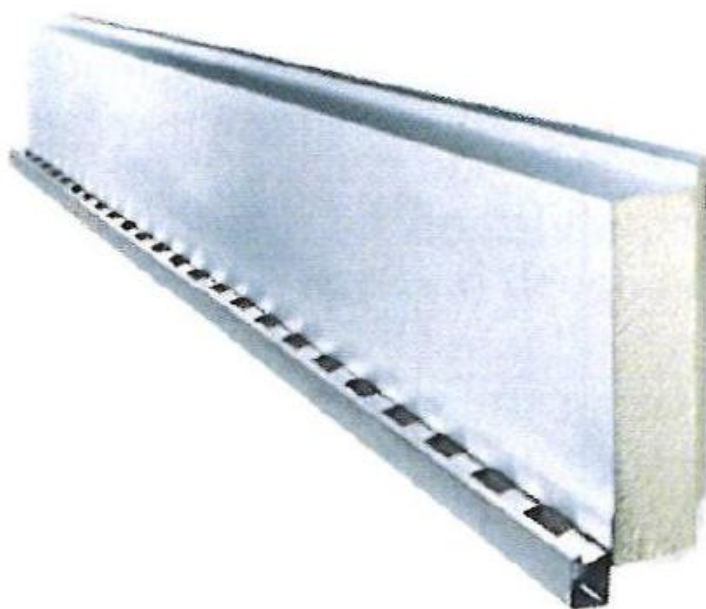
- miscelazione di granuli con polistirene di riciclo (a.e. ottenuto da imballaggi recuperati)
- fusione con aggiunta di espandenti e ignifuganti
- estrusione
- asciugatura
- formazione e sagomatura.

Prodotto in pannelli con substrati superficiali ad alta densità e compattezza, il materiale può essere **accoppiato** con altri elementi funzionali o subire lavorazioni ulteriori di ottimizzazione.

Le caratteristiche peculiari sono analoghe a quelle dell'EPS; essendo esaltate densità e resistenza, è particolarmente indicato per **elementi sagomati** o **applicazioni sensibili** per carico o esposizione ad ambienti aggressivi.

Categorie di classificazione

ISOLANTI SINTETICI ORGANICI



Il **PUR** è costituito primariamente da composti di polimeri poliassidraulici.

Il processo di produzione prevede la **miscelazione** delle **materie polimeriche** in forma **liquida**, con differenziazione in base al prodotto atteso.

Prodotto in blocchi, pannelli a rivestimento flessibile o rigido, semilavorati liquidi da utilizzarsi come schiume, il PUR può essere anche **spruzzato** entro elementi preassemblati o in **luoghi confinati**, infine accoppiato con altri strati.

Le caratteristiche peculiari sono: elevato potere termoisolante, bassa sensibilità alla presenza d'acqua, lavorabilità, bassa permeabilità al vapore, sensibilità ai raggi UV.

Categorie di classificazione

ISOLANTI SINTETICI INORGANICI



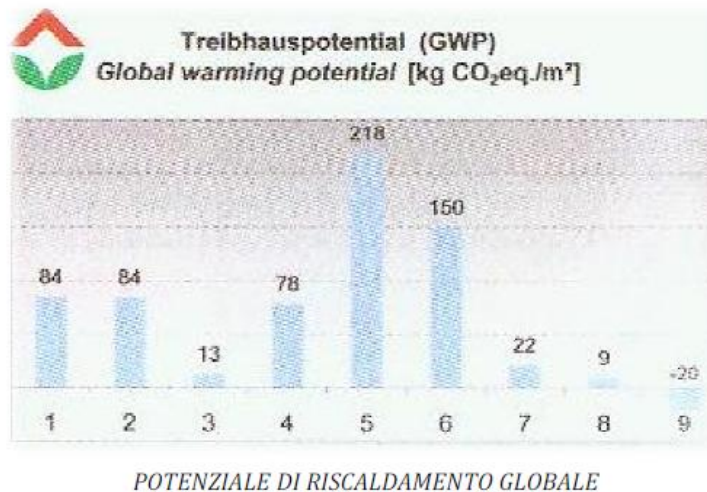
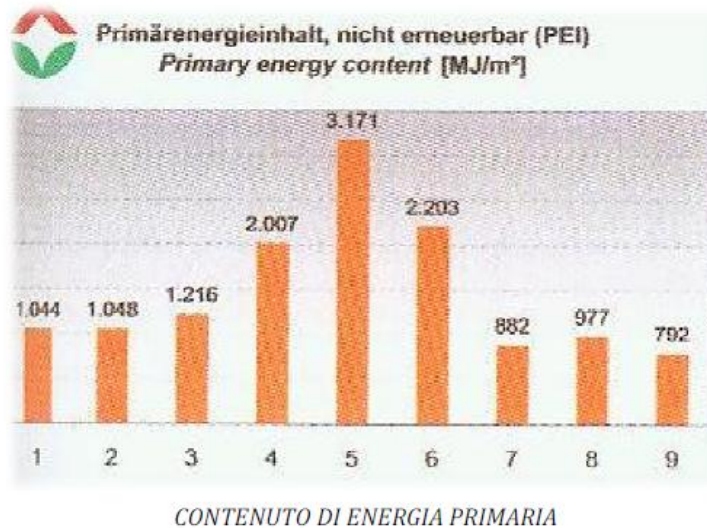
La **lana di roccia** è costituita primariamente da miscele di **origine vulcanica** o **sedimentaria**.

Il processo di produzione dei pannelli prevede:

- miscelazione con carbon coke, laterizi o scorie d'altoforno
- fusione ad alta temperatura (1500 °C)
- formazione delle fibre con aggiunta di oli e resine
- polimerizzazione e indurimento per cottura
- sezionamento e finitura.

Prodotta in pannelli, feltri, rotoli e coppelle, accoppiabile con altri materiali, presenta elevato potere termoisolante, buona permeabilità al vapore, **resistenza** al **fuoco**.

Ciclo di vita



1. pannello in schiuma minerale con intonaco silicato (30 cm)
2. pannello in schiuma minerale con intonaco di resina silicica (30 cm)
3. strato di pannello in sughero con intonaco silicato
4. strato di EPS con intonaco silicato (30 cm)
5. doppio strato in lana di roccia
6. strato di pannello lamellare in lana di roccia
7. isolamento in cellulosa (30 cm), pannello leggero in lana di legno
8. isolamento in cellulosa (30 cm), pannello leggero in fibra di legno
9. isolamento in cellulosa (30 cm), pannello leggero in sughero