

COSTRUIRE

Polistirene Espanso Sinterizzato
in Edilizia

COSTRUIRE Polistirene Espanso Sinterizzato in Edilizia



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

VOLUME 2



Via M.U. Traiano, 7 - 20149 Milano - Tel. (02) 33606529 - Telefax (02) 33606604
e-mail: aipe@epsass.it - <http://www.epsass.it>

L'AIPE - Associazione Italiana Polistirolo Espanso

è una associazione senza fini di lucro costituita nel 1984 al fine di tutelare l'immagine del polistirene espanso sinterizzato (o EPS) di qualità e di svilupparne l'impiego.

Le aziende associate appartengono sia al settore della produzione delle lastre per isolamento termico munite di Marchio UNI-IIP che a quello della produzione di manufatti destinati all'edilizia ed all'imballaggio.

Fanno parte dell'AIPE le aziende produttrici della materia prima, il polistirene espandibile, fra le quali figurano le più importanti industrie chimiche europee.

Un gruppo di soci è costituito dalle aziende fabbricanti attrezzature per la lavorazione del polistirene espanso sinterizzato e per la produzione di sistemi per l'edilizia.

L'AIPE, con la collaborazione delle aziende associate, ha creato una rete che provvede alla raccolta ed al riciclo di imballi e scarti in polistirene espanso.

A livello internazionale l'AIPE rappresenta l'Italia in seno all'EUMEPS, European Manufacturers of Expanded Polystyrene, associazione europea che raggruppa le associazioni nazionali dei produttori di EPS.

L'AIPE, che opera secondo il principio fondamentale della qualità dei prodotti, fornisce agli utilizzatori una informazione seria ed obiettiva sulle caratteristiche e prestazioni dei semilavorati e manufatti in polistirene espanso sinterizzato di qualità.



Via M.U. Traiano, 7 - 20149 Milano
Tel. (02) 33606529 - Telefax (02) 33606604

Per qualsiasi informazione si prega di visitare il sito AIPE:
www.epsass.it

Per contattarci:
e-mail: aipe@epsass.it

COSTRUIRE

Polistirene Espanso Sinterizzato in Edilizia

Testi a cura di AIPE - Marco Piana

VOLUME 2



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

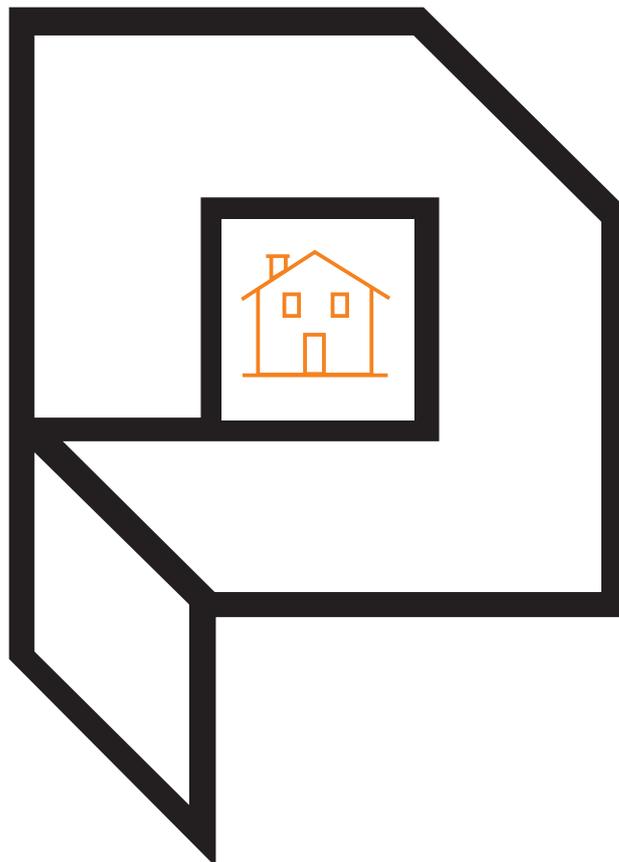
Sommario

1. Elementi di isolamento termico delle costruzioni	pag. 3
2. Isolamento termico con EPS nel recupero edilizio	pag. 33
3. Dimensionamento economico dell'isolamento termico con EPS	pag. 39
4. Isolamento esterno delle pareti verticali a "cappotto" con EPS	pag. 49
5. Isolamento esterno ventilato delle pareti verticali con EPS (Facciata ventilata)	pag. 63
6. Isolamento delle pareti verticali in intercapedine con EPS	pag. 91
7. Isolamento interno delle pareti verticali con EPS	pag. 121
8. Isolamento esterno delle pareti verticali con componenti leggeri prefabbricati (Vêtures)	pag. 137
9. Isolamento dei tetti piani con EPS	pag. 161
10. Isolamento dei tetti a falde con EPS	pag. 187



1.

**ELEMENTI
DI ISOLAMENTO TERMICO
DELLE COSTRUZIONI**



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

INTRODUZIONE

Il benessere abitativo è ormai una esigenza irrinunciabile; il suo ottenimento con il minimo costo energetico e finanziario è un obiettivo che vale sempre la pena di perseguire e che spesso è una necessità, sia personale che collettiva (e quest'ultima si converte spesso in un obbligo di legge).

Il raggiungimento di valide soluzioni è questione complessa, che coinvolge la comprensione dei fattori biologici e fisici che condizionano la sensazione di benessere, dei fenomeni climatici, di quelli di scambio termico e igrometrico e di ricambio d'aria attraverso l'involucro dell'edificio, nonché la considerazione dell'effetto delle attività degli utenti e delle azioni (impianto e sua gestione) di questi ultimi per ottenere le condizioni interne desiderate.

È però intuitivo che il primo posto fra questi fattori deve essere in definitiva riservato allo scambio energetico che ha luogo attraverso l'involucro; in effetti è controllando questo scambio che si può raggiungere il risparmio energetico ed è questa infatti anche la via principale perseguita dalle normative in tutti i paesi. Anche così limitato, il campo è ancora molto complesso ed è di spettanza degli specialisti. È tuttavia desiderabile che sia il committente di un lavoro edile, sia il progettista, sia i tecnici di cantiere, conoscano almeno i principi fisici che stanno alla base dei fenomeni di trasmissione del calore nelle costruzioni, per potere impostare nella giusta direzione le proprie scelte e disporre di un valido criterio nell'operare. Sarà così più facile anche valutare l'opportunità dell'intervento dello specialista, agevole la comprensione reciproca e minore il rischio di dover stravolgere un progetto, o disfare il già fatto a seguito dello studio specialistico.

Questa informazione di base è possibile se si accettano alcune approssimazioni. Se queste vengono ben tenute presenti, così da far uso dei principi elementari nelle situazioni appropriate (che sono poi la maggioranza di quelle che si presentano in edilizia), tali principi sono anche sufficienti a fornire quelle dimostrazioni di conformità alle prescrizioni che la normativa richiede.

Scopo del presente quaderno è appunto un'esposizione elementare dei principi di trasmissione del calore applicati alle costruzioni edili, con particolare riguardo alle parti opache dell'involucro, pareti e coperture, nelle quali il Polistirolo Espanso (EPS) trova così larga e appropriata applicazione, specialmente nelle costruzioni moderne, nelle quali la voluta resistenza termica non può essere raggiunta se non con l'impiego di uno strato coibente specializzato.

Appariranno quindi in ombra i problemi specifici delle chiusure trasparenti e dei serramenti in generale, che

implicano anche fenomeni di scambio di massa per i ricambi d'aria che avvengono attraverso di essi; sono problemi altrettanto importanti e da tenere presente, ma estranei al punto di vista del presente quaderno. Questo intende fornire, per la parte muraria, gli elementi richiesti per il contenimento dei consumi energetici degli edifici, cercando di mettere in evidenza i limiti dei procedimenti elementari, cosicché chi legge sia consapevole del grado di adeguatezza alla propria situazione; in linea di massima infatti questi procedimenti possono essere ritenuti adeguati per il dimensionamento termico dell'involucro ai fini del contenimento dei consumi invernali negli edifici ad occupazione continua e nell'ipotesi di non tener conto degli apporti gratuiti (sole, illuminazione, abitanti e loro attività), dell'inerzia termica della costruzione, ecc.; però anche in questo caso il procedimento può non essere soddisfacente nel valutare il comportamento di punti singolari della costruzione, i così detti "ponti termici", fonte principale di patologie nelle moderne costruzioni; ad essi il quaderno dedica particolare attenzione.

L'argomento delle patologie non potrebbe essere seriamente trattato senza prendere in considerazione, come fa il quaderno, i fenomeni di trasmissione del vapore attraverso le pareti e dell'eventuale formazione di condense, così strettamente legati ai fenomeni di trasmissione del calore.

Tutta la trattazione ha necessariamente un carattere generale, ma a chi consulta, avendo presenti le considerazioni qui esposte, dovrebbe risultare evidente che l'EPS risponde in modo corretto alle esigenze termoigrometriche nella generalità dei casi e che ciò, in unione alla sua caratteristica di prodotto di qualità garantita ed economico, gli assicura ampia e tranquilla accettazione.

IL BENESSERE AMBIENTALE

Il benessere ambientale è lo scopo primario, per ottenere il quale si cerca di controllare i processi di scambio termico e igrometrico fra l'interno e l'esterno dell'edificio. È quindi di importanza preliminare definirlo e comprendere i fattori che lo influenzano, in modo particolare quelli legati alle caratteristiche dell'involucro dell'edificio.

Il benessere ambientale può essere definito come "atteggiamento mentale di soddisfazione per l'ambiente dal punto di vista termico". I fattori che influenzano questo atteggiamento sono molteplici: temperature dell'aria e delle superfici che circondano l'individuo, umidità, velocità dell'aria, tipo di abbigliamento, tipo di attività fisica svolta, ecc..

Per produrre tale atteggiamento deve sussistere una

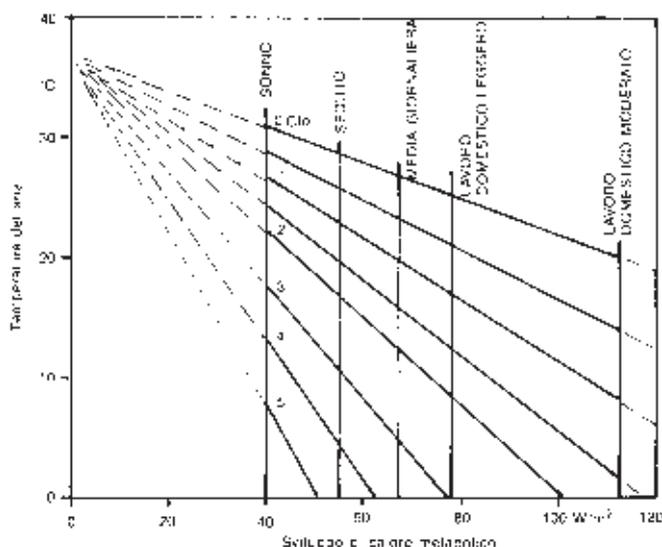


Fig. 1
Condizioni medie di benessere ambientale per vari livelli di attività e vari tipi di abbigliamento (0 Clo: nudo; 1/2 Clo: leggero estivo; 1 Clo: invernale per interni; 1,5 Clo: pesante da lavoro. 3-5 Clo: tenute polari). con aria a 0,1 m/s. (da Marsh: Thermal Insulation and Condensation).

situazione di equilibrio fra i fattori sopra ricordati. La Figura 1 mostra il tipo di correlazione che esiste fra di essi; si può verificare, p. es., che per un adulto con normale abbigliamento invernale da interno, che svolge un lavoro limitato, la temperatura di benessere è intorno a 20°C.

Questa temperatura non può peraltro identificarsi con la temperatura dell'aria dell'ambiente, perché gli scambi di calore del corpo avvengono anche direttamente per radiazione con le pareti dell'ambiente; se queste sono molto più fredde dell'aria, ciò che avviene in inverno per pareti esterne poco coibenti, la sensazione di benessere si ottiene soltanto se la temperatura dell'aria è sensibilmente più elevata.

Per tener conto di ciò, la temperatura che viene presa come parametro per la valutazione del benessere ambientale è una temperatura fittizia t_r , detta **temperatura operante**, che solitamente è espressa come media fra la temperatura dell'aria t_a e la media ponderale delle temperature superficiali delle pareti del locale, detta appunto **temperatura media radiante** t_{mr} :

$$t_r = \frac{t_a + t_{mr}}{2} \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

È evidente quindi l'importanza delle temperature delle superfici interne dell'involucro edilizio ai fini del benessere ambientale, anche indipendentemente da considerazioni di risparmio energetico. Anche molte patologie edilizie sono in relazione a queste temperature e il presente Quaderno vi dedica particolare attenzione.

IL CLIMA

Le condizioni di benessere ambientale all'interno di un edificio devono essere ottenute a fronte di un clima variabile; questo è il fattore che maggiormente influenza l'entità degli scambi energetici fra interno ed esterno dell'edificio; la sua conoscenza è quindi il presupposto di ogni progettazione e gestione dell'edificio energeticamente consapevole.

La situazione climatica può essere descritta, per le applicazioni edilizie, per mezzo di alcune grandezze meteorologiche:

- temperatura dell'aria
- umidità dell'aria
- radiazione solare
- radiazione atmosferica
- velocità e direzione del vento
- precipitazioni.

Alcune di esse (temperatura, radiazione, vento) influenzano direttamente lo scambio di energia con l'interno, che, per la parte che avviene attraverso i componenti opachi, è l'oggetto di questo Quaderno. Temperatura, umidità, vento, precipitazioni, danno luogo a scambio di massa (rinnovo d'aria, migrazione di umidità), con conseguenti scambi di energia; il Quaderno si occupa soltanto delle migrazioni di umidità attraverso i componenti opachi, essendo il rinnovo d'aria dipendente piuttosto dalla costituzione e gestione dei serramenti.

Di queste grandezze si dispone ora anche in Italia di un'ampia raccolta critica (CNR/PFE "Dati climatici per la progettazione edile ed impiantistica") sotto forma di dati orari per i mesi del così detto "anno tipo", per numerose località italiane. Questi dati sono indispensabili per le simulazioni più raffinate, ma correntemente si usano piuttosto alcuni parametri climatici derivati.

Il primo fra questi è la **temperatura esterna invernale di progetto** (t_{eip}).

Altro parametro relativo al comportamento invernale è quello, proporzionale al fabbisogno di energia di un edificio per un certo periodo, così definito:

$$G = \sum_{i=1}^n (t_i - t_{eip}) \quad \text{per } t_{eip} \leq t_i \quad (2)$$

e chiamato **gradi giorno**; esso è dunque la somma, estesa a N giorni (che può essere il **periodo di riscaldamento** di un anno o altra durata, p. es. mese), della differenza fra una **temperatura Interna di riferimento** t_r e la temperatura esterna media t_e del giorno.

Dato il fine del parametro, la temperatura t_r è inferiore di qualche grado alla temperatura interna t_i ; si tiene conto così, approssimativamente, degli apporti gratuiti di energia all'edificio (sole, occupanti, illuminazione, elettrodomestici).

Nella nostra legislazione anche l'entità dell'isolamento è correlata ai gradi-giorno della località, perchè esso è tanto più elevato è il salto termico fra interno ed esterno che causa il consumo di energia per il riscaldamento.

È per tale motivo che vengono fissati, sia i gradi giorno G che la durata N del periodo di riscaldamento per ciascuna località.

Questi tre parametri (t_{eip} , G, N) sono sufficienti, dal punto di vista climatico, per i calcoli richiesti, ma per qualche analisi particolare, senza ricorrere ai dati orari sopra ricordati, è utile qualche altro parametro, in particolare per quanto riguarda gli scambi per irraggiamento dell'edificio con l'esterno.

IL BILANCIO TERMICO DELL'EDIFICIO E IL RISPARMIO ENERGETICO

Il mantenimento del benessere ambientale può essere ottenuto, in condizioni di clima variabile, soltanto con un intervento attivo di apporto o di asportazione di calore, che riporti in pareggio il bilancio energetico dell'edificio al livello termico interno voluto.

Poiché questo intervento è costoso, si cerca di minimizzarlo in tre modi principali:

- riducendo al minimo gli scambi termici con l'esterno; è questo il problema che viene affrontato nel presente quaderno per quanto riguarda pareti e coperture opache, la cui trasmittanza termica può essere ridotta con un opportuno impiego di un materiale con specifica funzione coibente, quale è l'EPS;
- cercando il massimo rendimento nella produzione e distribuzione del calore (p. es. caldaie ad alto rendimento);
- sfruttando al meglio gli apporti energetici gratuiti, in primo luogo l'energia solare, ciò che può essere fatto in maniera attiva, con soluzioni impiantistiche, o passiva, seguendo i suggerimenti della "architettura solare".

Mentre quest'ultimo modo viene preso in considerazione soltanto in qualche caso, il secondo e soprattutto il primo devono essere sempre considerati, sia nella progettazione di nuovi edifici, in cui la limitazione delle dispersioni termiche è imposta dalla legge, sia negli interventi sull'esistente, in cui più spesso soltanto considerazioni economiche consigliano di provvedere ad una riduzione delle dispersioni termiche. A questo fine è fondamentale la comprensione, almeno nei principi di base, dei meccanismi di trasmissione del calore attraverso l'involucro opaco dell'edificio, che rappresentano sempre la voce più importante del suo bilancio termico.

CALORE E TEMPERATURA

Il **calore** è la forma sotto cui si trasmette l'energia in un sistema fisico a causa di una distribuzione non uniforme della temperatura. Esso è misurato in Joule (J), come l'energia meccanica, elettrica, ecc..

La parte di sistema che cede calore si dice che è a temperatura maggiore; quella che lo riceve è a temperatura minore. Si possono quindi misurare soltanto differenze di temperatura, la cui unità di misura è il Grado Kelvin (K), definito come la centesima parte della **differenza di temperatura** fra acqua bollente e ghiaccio fondente (a pressione atmosferica).

La differenza di temperatura fra un corpo e il ghiaccio fondente è detta correntemente temperatura del corpo e si misura in gradi centigradi o Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Si dimostra in fisica che esiste un limite inferiore a tutte le temperature raggiungibili; questo limite è a $-273,16^{\circ}\text{C}$ e viene detto **zero assoluto**.

La differenza di temperatura fra un corpo e lo zero assoluto è detta **temperatura assoluta** e viene indicata ancora in gradi Kelvin; la sua relazione con la temperatura centigrada è pertanto

$$t \text{ (K)} = t \text{ (}^{\circ}\text{C)} + 273,16 \quad (3)$$

In generale in un sistema la temperatura è funzione sia della posizione che del tempo. Se la temperatura non varia nel tempo si dice che il sistema è in **regime stazionario**. Se nell'unità di tempo la quantità di calore Φ attraversa una superficie unitaria, Φ (in $\text{J/s} \cdot \text{m}^2 = \text{W/m}^2$) è detto **flusso termico**; in regime stazionario Φ è costante nel tempo e quindi nell'intervallo di tempo $\Delta\tau$ la superficie sarà attraversata dalla quantità di calore.

$$Q = \Phi \Delta\tau \quad \text{(J)} \quad (4)$$

Il calore che deve essere fornito (o asportato) da un corpo per alzarne (o abbassarne) la temperatura, si chiama **calore sensibile**. La quantità necessaria per variare di 1 K la temperatura di 1 kg del corpo si chiama **calore specifico** del corpo e si misura in $\text{J/kg}\cdot\text{K}$. Se questa quantità è riferita all'unità di volume (m^3), prende il nome di **capacità termica volumica**, si misura in $\text{J/m}^3\cdot\text{K}$ ed è il prodotto del calore specifico per la massa volumica (kg/m^3) del corpo.

Se durante il processo di fornitura (o asportazione) di calore al corpo, questo giunge alla temperatura alla quale passa dallo stato solido a quello liquido o dal liquido al gassoso, o viceversa (cambiamento di fase), continuando a fornire (o asportare) calore, la temperatura si stabilizza a quel livello, finché il cambiamento di fase non è completo. Il calore che deve essere fornito (o asportato) a 1 kg del corpo per un cambia-

mento di fase si chiama **calore latente di fusione** o di **vaporizzazione** del corpo e si misura in J/kg. Il solo materiale che, nelle costruzioni, è interessato a questi passaggi di stato è l'acqua; il suo calore di fusione è pari a 80 volte il suo calore specifico e quello di vaporizzazione è 540 volte il calore specifico.

In generale i calori latenti sono sempre molto più grandi dei calori specifici; per questo negli ultimi tempi hanno acquistato un certo interesse alcuni materiali, detti appunto **materiali a transizione di fase** (MTF), che attuano il passaggio da solido a liquido e viceversa in prossimità della temperatura ambiente e pertanto, inseriti nelle strutture edilizie, ne aumentano notevolmente la capacità termica, senza aumentarne molto la massa.

Molte caratteristiche fisiche sono influenzate dalla temperatura; oltre quelle legate al trasporto del calore, che verranno esaminate in particolare, per i materiali e nel campo di temperature che interessano l'edilizia, la caratteristica più importante legata alla temperatura è il **coefficiente di dilatazione lineare**, che, espresso in m/m-K (cioè K⁻¹) indica la variazione di lunghezza di un corpo lungo 1 m, per una variazione di temperatura di 1 K.

MODI DI PROPAGAZIONE DEL CALORE

Si possono distinguere tre modi di propagazione del calore:

- conduzione;
- convezione;
- irraggiamento.

Nella quasi totalità dei fenomeni termici i tre modi coesistono, ma è possibile, e nelle applicazioni edilizie se ne fa un uso molto esteso, ottenere risultati quantitativamente equivalenti anche facendo l'ipotesi che la propagazione avvenga soltanto in due o anche uno solo dei modi (di solito la conduzione). Si dovranno però sempre tenere presenti i limiti di queste e altre semplificazioni impiegate.

CONDUZIONE

Si chiama **conduzione** il modo di trasmissione del calore per cui esso si propaga senza trasporto di materia. Il fenomeno è dovuto allo scambio di energia di vibrazione fra atomi e molecole, e, nei gas, anche ad urti fra le molecole; nei buoni conduttori elettrici si aggiunge lo spostamento degli elettroni liberi.

Il caso più semplice e fondamentale per la definizione delle grandezze del fenomeno è quello, idea-

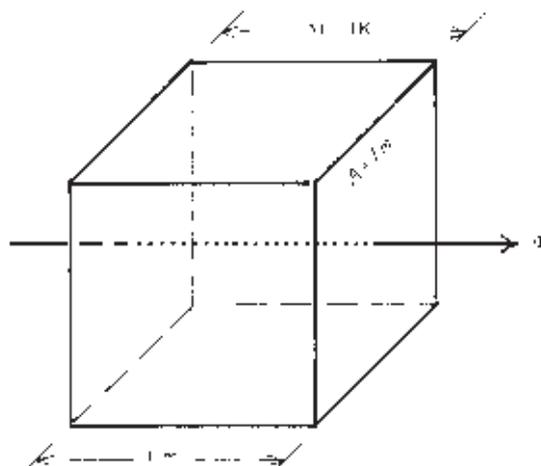


Fig. 2

le, della **lastra piana indefinita**, di materiale solido, omogeneo, isotropo, in regime stazionario.

Se una lastra così fatta (Figura 2), di spessore s (m) viene mantenuta a due temperature diverse ma uniformi e costanti sulle due facce, il flusso di calore F per unità di area (m²) e perpendicolare alle facce (conduzione mono dimensionale) ed è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura ($t_1 - t_2$) fra le due facce e inversamente proporzionale allo spessore s :

$$\Phi = \lambda \frac{t_1 - t_2}{s} \quad (\text{W/m}^2) \quad (5)$$

Il fattore di proporzionalità λ , che si esprime in W/m-K, si chiama **conduttività termica** del materiale ed è il parametro principale per caratterizzare il comportamento del materiale dal punto di vista della trasmissione del calore.

Dalla linearità della (5) deriva che anche la variazione di temperatura da t_1 a t_2 è lineare lungo lo spessore della parete (Fig. 3).

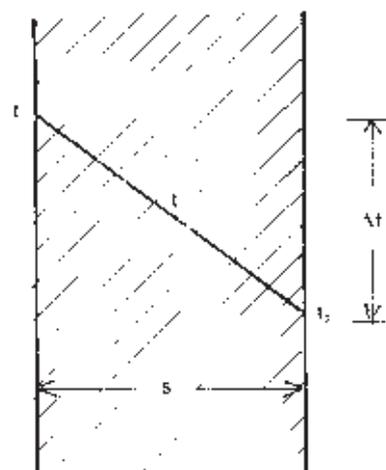


Fig. 3

Esempio 1 - Determinare il flusso termico di una parete in calcestruzzo di argilla espansa di massa volumica 1400 Kg/m³, dello spessore di 0,1 m, per un salto di temperatura fra le due superfici di 25 K, nei due casi di parete interna e di parete esterna non protetta.

1) Parete interna: $\lambda = 0,50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, quindi

$$\Phi = \frac{\lambda \cdot \Delta t}{s} = \frac{0,50 \cdot 25}{0,1} = 125 \text{ W/m}^2$$

2) Parete esterna non protetta: $\lambda = \lambda_{re} (1 + m) = 0,42 \cdot 1,30 = 0,546 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

$$\Phi = \frac{0,546 \cdot 25}{0,1} = 136,5 \text{ W/m}^2$$

Ciò è vero finché si può ritenere λ indipendente dalla temperatura ed è praticamente sempre lecito nelle applicazioni edilizie, in cui i salti di temperatura fra le facce di una parete sono limitati.

La relazione (5) viene usata anche per caratterizzare materiali non omogenei, ma composti da elementi la cui dimensione media è di uno o più ordini di grandezza inferiore allo spessore della lastra e omogeneamente mescolati fra di loro; esempi tipici sono i calcestruzzi (cis), i plastici cellulari, i pannelli di materiali fibrosi vari. In questo caso si parla di **conduttività termica apparente**, perché in realtà il trasporto del calore, specialmente se uno dei componenti è gassoso, come nei plastici cellulari, avviene in maniera più complessa, in cui intervengono anche altri modi di trasmissione del calore. Ciò fa sì che la conduttività appaia dipendente dallo spessore.

Vi è poi in generale una dipendenza dalla temperatura media e dalla entità del salto termico fra le facce e dal contenuto di umidità. Per questi motivi le condizioni cui ci si deve riferire per specificare i valori di conduttività da usare nelle applicazioni edilizie sono precisati in una norma specifica.

Inoltre le misure devono essere eseguite con i metodi prescritti dalle norme, il valore prende il nome di conduttività indicativa di riferimento λ_m .

Le condizioni in cui i materiali si trovano quando sono in opera possono differire per vari motivi da quelle sopra precisate; in particolare influiscono negativamente il maggior contenuto di umidità, l'eventuale invecchiamento o costipamento in opera, le tolleranze di spessore, la manipolazione o installazione non a regola d'arte. Per questi motivi la UNI 10351 prescrive che ai valori di riferimento della conduttività venga applicata per i calcoli una maggiorazione m , che è diversa per le diverse famiglie di materiali e le diverse condizioni di impiego degli stessi, dando così luogo ad una conduttività utile di calcolo λ . I valori di λ_m , m e λ prescritti dalla norma

sono riportati da pag 32. Essi riguardano sia i materiali omogenei, che quelli con eterogeneità minuta ed uniforme. Al Polistirolo Espanso, per la sua scarsa igroscopicità, elevata stabilità e costanza di caratteristiche, è applicata la maggiorazione m del 10%, che è la più bassa prevista dalla norma. L'esempio 1 mostra il modo di utilizzare i dati.

RESISTENZA TERMICA

Se nella (5) si pone

$$\lambda/s = C = 1/R \quad (\text{W/m}^2\cdot\text{K}) \quad (6)$$

la relazione (5) si può scrivere

$$\Phi = C (t_1 - t_2) = \frac{t_1 - t_2}{R} \quad (\text{W/m}^2) \quad (7)$$

La (7) è l'analogo formale della legge di Ohm sulle correnti elettriche; il flusso Φ corrisponde alla corrente elettrica, la differenza di temperatura a quella di tensione e le grandezze C ed R alla conduttanza e alla resistenza del circuito elettrico. Seguendo l'analogia, la grandezza C , che si esprime in $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, viene chiamata **conduttanza termica unitaria** e la grandezza R , inversa della precedente, espressa quindi in $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$, viene chiamata **resistenza termica unitaria interna**.

All'analogia elettrica si fa spesso ricorso nei problemi di trasmissione del calore; intanto con la (7) è possibile definire il flusso termico che attraversa una parete, anche quando questa è formata da elementi eterogenei regolari, ma dello stesso ordine di grandezza del suo spessore; esempi tipici sono le muraure formate da mattoni o blocchi, pieni o cavi, e da una malta di collegamento fra gli stessi; in questo caso è difficile dare un senso al parametro conduttività; si può tuttavia definire anche in questo caso una

resistenza termica unitaria, che è specifica per una certa composizione con un determinato spessore. L'analogia elettrica può venire subito utilizzata anche per trovare la resistenza interna di una parete composta di più strati paralleli di resistenza interna $R_1, R_2 \dots R_n$. Poiché il flusso termico incontra queste resistenze in serie, la resistenza complessiva sarà:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (8)$$

La (7) può essere scritta per l'intera parete, come per ogni strato; dette $t_{1,2}, t_{2,3}$, ecc. le temperature alle diverse interfacce, si ha:

$$\Phi = \frac{t_1 - t_{1,2}}{R_1} = \frac{t_{1,2} - t_{2,3}}{R_2} = \dots = \frac{t_1 - t_2}{R} \quad (\text{W/m}^2) \quad (9)$$

Il salto di temperatura fra le facce di ciascun strato è quindi proporzionale alla sua resistenza termica.

CONVEZIONE

Si ha **convezione** quando (limitandoci al caso che interessa in edilizia) lo scambio di energia fra una parete e l'aria che la lambisce avviene per effetto del movimento dell'aria.

Se il moto dell'aria è dovuto soltanto a differenze di densità, dipendenti a loro volta da differenze di temperatura nell'aria stessa, si ha **convezione naturale**; è il caso di una parete calda (p. es. perché irraggiata dal sole) o di un elemento dell'impianto di riscaldamento, che creano una corrente ascensionale di aria, o di una parete fredda, p. es. una finestra, con corrente discendente.

Se il moto dell'aria è dovuto a cause esterne, si ha **convezione forzata**; un esempio è l'aria mossa dal vento, che lambisce l'esterno di un edificio. I due tipi di convezione spesso coesistono.

Si ammette che l'aria a contatto della parete sia ferma; esiste poi una zona, detta **strato limite**, di spessore variabile nella direzione del moto, nel quale la velocità dell'aria cresce da zero al valore di regime.

Se aria e parete sono a temperatura diversa, si ha un passaggio di calore attraverso lo strato limite; la sua entità dipende non soltanto dalle caratteristiche termofisiche dell'aria, ma anche dal tipo di strato limite; in particolare se lo strato limite è **laminare**, i filetti fluidi non si mescolano fra di loro e il trasporto del calore è dovuto alla conduttività dell'aria, che è molto bassa; se lo strato limite è **turbolento** si ha invece anche scambio propriamente convettivo, dovuto al trasporto di massa perpendicolare alla corrente d'aria.

Si comprende quindi come sia difficile arrivare ad una espressione analitica degli scambi termici per convezione; nelle applicazioni edilizie si impiegano di solito espressioni semplificate, in cui il flusso termico fra parete e aria viene considerato proporzionale alla differenza di temperatura ($t_p - t_a$) fra parete e aria, con espressioni del tipo:

$$\Phi_c = \alpha_c (t_p - t_a) \quad (\text{W/m}^2) \quad (10)$$

dove α_c , chiamato **conduttanza liminare unitaria** è analogo alla conduttanza della relazione (6). Ciò rende possibile per la convezione lo stesso formalismo di calcolo della conduzione, che è quasi sempre, nelle applicazioni edilizie, il più importante.

Il coefficiente α_c dipende dalle caratteristiche geometriche della parete e dalla velocità e temperatura dell'aria nello strato limite; il Quadro 1 riporta alcune

Quadro 1 - Conduttanza liminare unitaria fra aria e pareti piane a temperature intorno a quelle ambiente

1) Convezione forzata su parete verticale (V in m/s velocità dell'aria)

$$\alpha_c = \begin{cases} 7,34 V & \text{se } 5 \leq V \leq 30 \text{ m/s} \\ 5,67 + 0,69 V & \text{se } V \leq 5 \text{ m/s} \end{cases}$$

2) Convezione naturale su parete verticale ($Gr = 1,7 \cdot 10^8 \Delta t L^{-3}$ è il "numero di Grashof" Δt (K) è la differenza di temperatura fra aria e parete; L (m) è la altezza della parete)

$$\alpha_c = \begin{cases} 1,37 (\Delta t/L)^{1/4} & \text{se } Gr < 10^9 \\ 1,75 (\Delta t)^{1/3} & \text{se } Gr \geq 10^9 \end{cases}$$

3) Convezione naturale su parete orizzontale e flusso ascendente

$$\alpha_c = \begin{cases} 1,4 (\Delta t/L)^{1/4} & \text{se } Gr < 10^9 \\ 1,88 (\Delta t)^{1/3} & \text{se } Gr \geq 10^9 \end{cases}$$

4) Convezione naturale su parete orizzontale e flusso discendente.

$$\alpha_c = 0,7 (\Delta t/L)^{1/4} \quad \text{se } Gr < 10^9$$

espressioni semplificate di α_c per i casi più comuni di parete piana.

IRRAGGIAMENTO

Si dice **irraggiamento** il trasporto di energia sotto forma di radiazione elettromagnetica. Tutti i corpi emettono energia in questo modo; per temperature vicine a quella ambiente la radiazione è emessa quasi totalmente su lunghezze d'onda corrispondenti all'infrarosso e quindi non è visibile; al crescere della temperatura aumenta la quantità di radiazione emessa e il suo massimo si sposta verso lunghezze d'onda più corte; alla temperatura della superficie del sole (~6000 K), la maggior parte della radiazione è nel campo di lunghezze d'onda cui è sensibile l'occhio umano. Per le applicazioni edilizie interessa in particolare studiare l'emissione e l'assorbimento di radiazione da parte di una superficie solida.

Il flusso globale di energia emesso per irraggiamento da 1 m² di superficie alla temperatura assoluta T (K) è dato dalla relazione (di Stephan Boltzmann).

$$\Phi = 5,67 \cdot 10^{-8} \varepsilon T^4 \quad (\text{W/m}^2) \quad (11)$$

Il coefficiente ε si chiama **emissività globale emisferica** del corpo e dipende dalle caratteristiche e dalla temperatura della sua superficie; è compreso fra 1 (corpo nero) e 0.

Così definita, l'emissività si riferisce alla radiazione di tutte le lunghezze d'onda emesse in tutte le direzioni. Essa può essere peraltro diversa nelle varie direzioni e per le diverse lunghezze d'onda, per cui può essere necessario parlare, con espressioni analoghe alla (11), di emissività monocromatica e di emissività direzionale.

La radiazione incidente su una superficie opaca viene in parte assorbita (trasformata in calore sensibile) e in parte riflessa. In condizioni di equilibrio la frazione a del flusso di una certa lunghezza d'onda, incidente secondo una certa direzione, è tale che essa è uguale all'emissività ε relativa a quella lunghezza d'onda e a quella direzione, cioè $\alpha = \varepsilon$. Per molte superfici che si incontrano in pratica si può peraltro affermare che questa relazione è indipendente dalla lunghezza d'onda e dalla direzione (ma non dalla temperatura); si parla allora di **superfici grigie**. I materiali metallici lucidi non possono essere considerati grigi; le loro caratteristiche di assorbimento/riflessione e di emissione sono infatti fortemente direzionali.

Il bilancio netto dello scambio fra due superfici piane e parallele, indefinite, a temperature T_1 e T_2 (K) e con emissività ε_1 ed ε_2 , è un flusso di energia dalla superficie a temperatura T_1 più elevata all'altra:

$$\Phi = 5,67 \cdot 10^{-8} \varepsilon (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{W/m}^2) \quad (12)$$

dove ε è dato ora da

$$\varepsilon = 1 / (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1) \quad (13)$$

Se $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \cong 1$, anche $\varepsilon \cong 1$. Se le due superfici non sono indefinite e/o non sono parallele, nella (11) occorre introdurre un **fattore di forma** F, minore di 1, per il quale i manuali riportano una casistica; se però una delle due superfici avvolge completamente l'altra ed è molto più estesa e le emissività sono prossime a 1 (è il caso dello scambio fra un corpo scaldante o una persona e le pareti del locale), si può ancora porre $F = 1$. Anche nello scambio fra una copertura e il cielo si può porre $F = 1$. (1).

Anche per l'irraggiamento è comodo riportare l'espressione dello scambio termico (11) ad una forma lineare. Ciò può essere fatto quando la differenza di temperatura $T_1 - T_2$ è piccola rispetto alla temperatura media assoluta $T_m = (T_1 + T_2)/2$, come è quasi sempre il caso nelle applicazioni edilizie. Allora si può scrivere:

$$\begin{aligned} \Phi &= 5,67 \cdot 10^{-8} \varepsilon (T_1^4 - T_2^4) \cong \\ &\cong 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 4 \varepsilon T_m^3 (T_1 - T_2) \quad (\text{W/m}^2) \end{aligned} \quad (15)$$

Nell'intorno di una data temperatura media T_m si può quindi introdurre, come nella (10), una conduttanza radiativa α_r ,

$$\alpha = 22,7 \cdot 10^{-8} \varepsilon T_m^3 \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}) \quad (16)$$

e scrivere quindi, anche in gradi centigradi t_1 e t_2

$$\Phi = \alpha (t_1 - t_2) \quad (\text{W/m}^2) \quad (17)$$

La Fig. 14 riporta il coefficiente α_r in funzione delle temperature t_1 e t_2 , per $\varepsilon = 0,9$.

CONVEZIONE E IRRAGGIAMENTO ACCOPPIATI

Lo scambio di calore fra una parete e l'ambiente circostante avviene in parallelo (per seguire l'analogia elettrica) per convezione e per irraggiamento; i due flussi calcolati, p.es., con le (10), (17), si sommano;

$$\Phi = \Phi_c + \Phi_r = \alpha_c (t_p - t_a) + \alpha_r (t_p - t_s) \quad (\text{W/m}^2) \quad (18)$$

dove t_p è la temperatura della parete, t_a quella dell'aria nelle vicinanze e t_s quella della superficie (o media delle superfici) con cui la parete scambia per radiazione.

Se, come spesso si può fare nelle applicazioni edilizie, e lo si fa quasi sempre in prima appros-

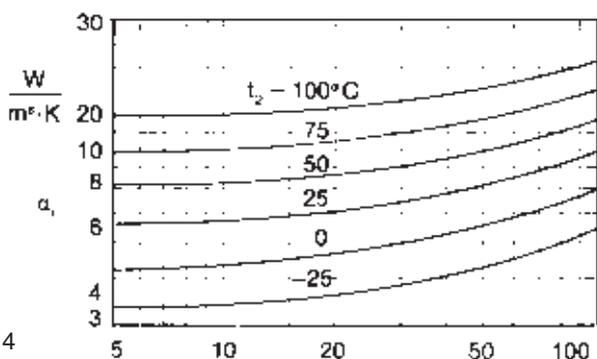


Fig. 4

Per la temperatura assoluta del cielo t_2 , necessaria per valutare il calore che un edificio disperde per irraggiamento (importante specialmente nelle notti serene), si danno varie relazioni empiriche, come la seguente:

$$T_2 = 0,0553 t_a + 2,525 c \quad (K) \quad (14)$$

dove T_2 indica la temperatura assoluta dell'aria e c la copertura di nuvole del cielo, espressa in ottavi (0 per cielo sereno, 8 per cielo completamente coperto). Si può vedere che il cielo sereno deve essere considerato ad una temperatura di decine di gradi inferiore a quella della superficie esterna dell'edificio.

simazione, si può ammettere che t_c sia quasi uguale a t_a , si può scrivere ancora più semplicemente:

$$\Phi = (\alpha_c + \alpha) (t_c - t_a) = h (t_c - t_a) \quad (W/m^2) \quad (19)$$

Il coefficiente h , che tiene conto degli scambi liminari sia per convezione che per irraggiamento, si chiama **adduttanza unitaria** e si esprime in $W/m^2 \cdot K$. Il suo inverso $1/h$, analogamente a quanto espresso con la (7) per la conduzione, si chiama **resistenza termica superficiale unitaria**.

La norma fissa i valori di h e $1/h$ da usare nei calcoli. Essi sono riportati nel Quadro 2. È da tenere presente che si tratta di valori convenzionali, che discendono dalle varie semplificazioni cui si è accennato; pertanto, ogni volta che, andando oltre i calcoli di prima approssimazione, si devono considerare condizioni diverse da quelle medie usuali, è bene affinare i calcoli sulla base delle relazioni più appropriate.

In particolare l'ipotesi $t_a = t_c$ della (19) non è più vera per le superfici esterne che ricevono la radiazione solare o ne inviano verso il cielo. Si può però anche in questo caso conservare la forma della (19), introducendo una **temperatura sole aria** t_{sa} fittizia, definita come quella temperatura dell'aria esterna che provoca uno scambio termico convettivo uguale a quello complessivo causato effettivamente dall'aria, dalla radiazione solare e dalla radiazione infrarossa della parete:

$$t_{sa} = t_a + \frac{\alpha G + \Phi_r}{h_c} \quad (^\circ C) \quad (20)$$

dove G è la radiazione solare incidente in W/m^2 , che può essere rilevata, p.es. dalla raccolta dei dati climatici del CNR/PFE. α è il coefficiente di assorbimento della radiazione solare riportata in App. 3; Φ_r è la radiazione infrarossa della parete secondo la (12), con la temperatura del cielo indicata in (14) e l'emissività ϵ riportata in App. 3 (quella del cielo è 1). La considerazione della temperatura solearia è specialmente importante quando si deve seguire l'andamento del flusso termico attraverso una parete durante le varie ore del giorno.

TRASMITTANZA

Avendo visto come ridurre all'espressione di una resistenza tutti i processi che si oppongono al passaggio del calore dall'aria che si trova da una parte di una parete a quella che si trova dall'altra parte, è facile quantificare il fenomeno complessivo, semplicemente aggiungendo alla somma delle resistenze interne R dei vari strati della parete, le resistenze superficiali che competono alle due facce. Questa somma si chiama **resistenza termica unitaria** della parete e si esprime in $m^2 \cdot K/W$.

Il suo inverso, che si suole indicare con la lettera K e si esprime in $W/m^2 \cdot K$ si chiama **trasmittanza unitaria** o **coefficiente globale di trasmissione** ed è la grandezza più usata per caratterizzare il comportamento della parete dal punto di vista della trasmissione del calore.

Quadro 2 - Adduttanze unitarie h ($W/m^2 \cdot K$) e resistenze superficiali unitarie $1/h$ ($m^2 \cdot K/W$)

	Adduttanze		Resistenze		$1/h_i - 1/h_e$
	Interna h_i	Esterna h_e (*)	Interna $1/h_i$	Esterna $1/h_e$	
Superfici orizzont., flusso ascendente	9,3	23,2	0,108	0,043	0,151
Superfici orizzont., flusso discendente	5,8	16,2	0,172	0,062	0,234
Superfici verticali	8,1	23,2	0,123	0,043	0,166

(*) Per vento con velocità $V \geq 4$ m/s, per superfici verticali e orizzontali con flusso ascendente $h_e = 2,32 + 0,4 \sqrt{V}$
 per superfici orizzontali con flusso discendente $h_e = 1,62 + 0,3 \sqrt{V}$

Le resistenze superficiali cambiano in conseguenza

ELEMENTI DI ISOLAMENTO TERMICO DELLE COSTRUZIONI

Le norme europee definiscono la trasmittanza termica con la lettera "U" ma rimane in uso per tradizione nel nostro paese il simbolo "K".

Si avrà dunque:

$$1/K = 1/h_i + \sum R + 1/h_e \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}) \quad (21)$$

dove per i valori di R dei singoli strati si userà l'espressione (6), se questi sono omogenei. La somma $1/h_i + 1/h_e$ delle resistenze superficiali interna ed esterna è riportata nel quadro 2.

Il flusso termico sarà poi dato da:

$$\Phi = K (t_i - t_e) \quad (\text{W}/\text{m}^2) \quad (22)$$

e si potrà scrivere anche, analogamente alle (9)

$$\Phi = \frac{t_i - t_{pi}}{1/h_i} - \frac{t_{pe} - t_{1,2}}{R_1} - \frac{t_{1,2} - t_{2,3}}{R_2} \dots - \frac{t_i - t_e}{1/h_e} \quad (\text{W}/\text{m}^2) \quad (23)$$

La (23) mette in evidenza l'esistenza di un salto termico ($t_i - t_{pi}$) fra aria interna e superficie interna della parete e ($t_{pe} - t_e$) fra superficie esterna e aria esterna. Ciò è importante in particolare per valutare, dalla temperatura superficiale interna t_{pi} ,

Esempio 2 - Ad una parete verticale come in Esempio 1, ma dello spessore di 200 mm, si applica un rivestimento isolante costituito da una lastra di EPS da 50 mm di spessore e da un tavolato di forati pure da 50 mm; un intonaco esterno di calce e cemento da 20 mm e uno interno di gesso da 10 mm completano la parete. Determinare la trasmittanza della parete e le temperature superficiali e alle interfacce, per aria esterna a $t_e = 2^\circ \text{C}$ e interna a $t_i = 20^\circ \text{C}$.

	Spessore (m)	Conduttività (W/m·K)	Resistenza (m ² ·K/W)
Resistenza limin. interna			0,123
Intonaco di gesso	0,01	0,35	0,029
Tavolato di forati	0,05		0,100
EPS 15	0,05	0,045	1,111
Cis di argilla esp.; parte est.	0,10	0,50	0,200
Cis di argilla esp.; parte int.	0,10	0,55	0,182
Intonaco di calce e cemento	0,02	0,90	0,022
Resist. limin. esterna			0,043
s	0,33		R 1,810

La trasmittanza è $K = 1/R = 1/1,81 = 0,55 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$

L'andamento delle temperature è mostrato dai grafici di fig. 5.

In particolare la temperatura superficiale interna è $18,8^\circ \text{C}$.

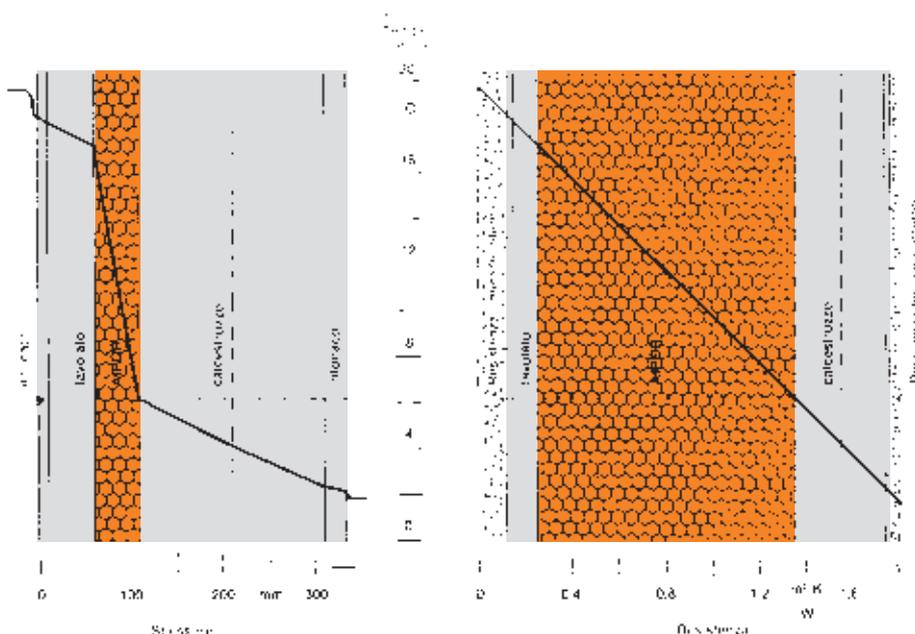


Fig. 5

l'eventuale pericolo di condensazione di umidità sulla parete.

Le temperature alle superfici della parete e alle interfacce sono ottenute con un semplice procedimento grafico, che consiste nel disegnare la sezione della parete con gli spessori dei vari strati proporzionali alle rispettive resistenze e aggiungendo dalle due parti due spessori proporzionali alle resistenze liminari $1/h_i$ e $1/h_e$.

Per la linearità della relazione fra temperatura e resistenza, la retta che unisce le due temperature dell'aria interna ed esterna costituisce il grafico dell'andamento

delle temperature nella parete, che, volendo, può essere riportato sulla sezione reale.

INTERCAPEDINI

Se fra gli strati della parete vi sono intercapedini d'aria, anche queste possono essere trattate come uno strato con una propria resistenza, da sommare a quelle degli altri strati. Occorre distinguere il caso in cui l'intercapedine è chiusa, da quelli in cui comunica in varia misura con l'esterno.

Quadro 3 - Resistenza termica delle Intercapedini e trasmittanza delle pareti con Intercapedini

A) Intercapedini chiuse (comprese fra superfici con emissività $\epsilon \approx 0,9$)

	Resistenza R (m ² K/W) per intercapedini con spessore di:		
	1 cm	2-10 cm	> 10 cm
Stato d'aria orizzontale, flusso ascendente	0,133	0,144	0,216
Stato d'aria orizzontale, flusso discendente	0,133	0,157	0,344
Stato d'aria verticale	0,133	0,192	0,246

La resistenza termica unitaria della parete $1/K_e$ è data da:

$$1/K_e = 1/h_i + R + R_{int} + R_e + 1/h_e \quad (\text{m}^2 \text{K/W}) \quad (24)$$

dove R è la somma delle resistenze interne di tutti gli strati interni all'intercapedine ed R_e quella degli strati esterni ad essa.

B) Intercapedini ventilate

L'entità della ventilazione è messa in relazione con il rapporto S/L fra area delle aperture e lunghezza della parete verticale e S/A fra area delle aperture e area della parete orizzontale.

- 1) Intercapedini aperte su almeno due lati (schermi): la resistenza termica unitaria $1/K_e$ della parete è quella R_e della sola parte interna all'intercapedine, con l'aggiunta delle resistenze superficiali interna $1/h_i$ ed esterna $1/h_e$, riportate nel quadro 2.

$$1/K_e = 1/h_i + R_e + 1/h_e \quad (\text{m}^2 \text{K/W}) \quad (25)$$

- 2) Intercapedine fortemente ventilata ($S/L \geq 0,05 \text{ m}^2/\text{m}$; $S/A \geq 0,003 \text{ m}^2/\text{m}^2$): come il caso 1), ma considerando l'intercapedine come ambiente in aria calma:

$$1/K_e = 1/h_i + R_e + 1/h_e + R_e + 2/h_e \quad (\text{m}^2 \text{K/W}) \quad (26)$$

- 3) Intercapedine debolmente ventilata ($0,02 \leq S/L < 0,05 \text{ m}^2/\text{m}$; $0,0003 \leq S/A < 0,003 \text{ m}^2/\text{m}^2$)
a) per le pareti orizzontali o con angolo sull'orizzontale $\leq 60^\circ$, la trasmittanza K_2 è:

$$K_2 = K_e \cdot I \cdot (K_e/K_i)^2 \quad (\text{W/m}^2 \text{K}) \quad (27)$$

dove I è funzione di $(K_e - K_i)$, che sono così definiti:

$$1/K_i = 1/h_i + R + R_e/2$$

$$1/K_e = R_e/2 + R_e + 1/h_e$$

(Segue)

ELEMENTI DI ISOLAMENTO TERMICO DELLE COSTRUZIONI

(Segue Quadro 3)

La tabella seguente dà i valori di l

$K_0 \cdot K_e$	0,8 - 1,2	1,3 - 1,7	1,8 - 2,4	2,5 - 3,4	3,5 - 4,4	4,5 - 5,4	5,5 - 6,9	7 - 8,9	9 - 10,9	11 e più
l	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,7

b) per le pareti verticali o con angolo sull'orizzontale $> 60^\circ$, la trasmittanza K_v è

$$K_v = K_0 \cdot J \cdot (K_0/K_e)^2 \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K}) \quad (27')$$

J è funzione dei rapporti S/L e K_0/K_e , e di $(K_0 - K_e)$; per $0,002 \leq S/L < 0,02$ si legge sull'abaco di fig. 6; per $0,02 \leq S/L < 0,05$ si moltiplicano i valori dell'abaco per 1,35.

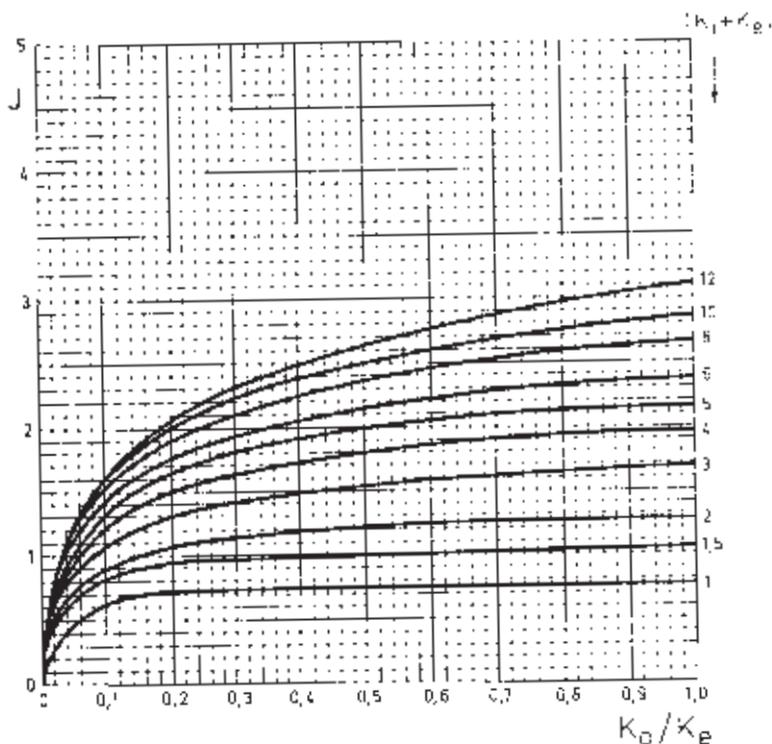


Fig. 6

L'Esempio 3 mostra un'applicazione delle regole del quadro 3.

Esempio 3 - Un tamponamento è costituito da un paramento in mattoni pieni a vista da 120 mm, con rinforzo interno di 10 mm di malta di cemento, intercapedine di 40 mm, lastra di EPS 15 di 50 mm, paramento interno in forati da 80 mm e intonaco interno in gesso da 10 mm. Determinare la trasmittanza della parete nell'ipotesi di intercapedine ventilata con aperture di $0,03 \text{ m}^2/\text{m}$.

- Resistenza interna R_i della parte interna all'intercapedine:

Intonaco di gesso	s	0,01 m	λ	0,35 W/m·K	R	0,029	} R_i	1,300 $\text{m}^2 \text{ K/W}$
Paramento forati		0,08 m				0,160		
EPS15		0,05 m		0,045 W/m·K		1,111		
- Resistenza interna R_{ie} della parte esterna all'intercapedine:

Rinforzo di cemento	s	0,01 m	λ	1,40 W/m·K	R	0,007	} R_{ie}	0,155 $\text{m}^2 \text{ K/W}$
Mattoni pieni 1800 kg/m ³ , m per esterno 1,28		0,12 m		0,81 W/m·K		0,148		
- Resistenza della parete con intercapedine chiusa (24).

Resistenza superficiale interna $1/h_i$, (Quadro 2)		0,123	} R	1,813 $\text{m}^2 \text{ K/W}$
R_i		1,300		
Intercapedine chiusa R (Quadro 3)		0,192		
R_{ie}		0,155		
Resistenza superficiale esterna $1/h_e$, (Quadro 2)		0,043		
- Tramittanza della parete con intercapedine chiusa.

$$K_v = 1/R_v = 1/1,813 = 0,55 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

(Segue)



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

(Segue Esempio 3)

— Resistenza della parete con intercapedine aperta (25)
 Resistenza superficiale interna $1/h_i$ (Quadro 2)
 R_i
 Resistenza superficiale esterna $1/h_e$ (Quadro 2)

0,123	}	$R_1 = 1,466 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
1,300		
0,043		

— Trasmittanza della parete con intercapedine aperta:
 $K_1 = 1/R_1 = 1/1,466 = 0,68 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

— Trasmittanza della parete debolmente ventilata:

$1/K_i = 1/h_i + R_i + R_{i'}/2 = 0,123 + 1,300 + 0,192/2 = 1,519$	$K_i = 0,66$	$\text{W/m}^2 \text{ K}$
$1/K_e = R_{e'}/2 + R_e + 1/h_e = 0,192/2 + 0,155 + 0,043 = 0,294$	$K_e = 3,40$	$\text{W/m}^2 \text{ K}$
$K_i + K_e = 0,66 + 3,40 = 4,06$; $K_o/K_e = 0,55/3,40 = 0,16$; $J = 1,35 \cdot 1,4 = 1,89$		
$K_2 = K_o + J (K_o/K_e)^2 = 0,55 + 1,89 \cdot 0,026 = 0,60 \text{ W/m}^2 \text{ K}$		

La trasmittanza della parete debolmente ventilata risulta del 9% superiore a quella con intercapedine chiusa, ma del 12% inferiore a quella con intercapedine aperta.

TRASMITTANZA MEDIA DI PARETI CON ETEROGENEITÀ SEMPLICI

Le relazioni fin qui trovate si riferiscono a pareti piane illimitate e servono a definire il flusso termico che ne attraversa 1 m^2 , in condizioni di salto termico stazionario. Il flusso in questo caso è in ogni punto perpendicolare alla superficie della parete e si dice **flusso unidirezionale**. Tali relazioni si usano però anche per le pareti effettive, che hanno dimensioni limitate; ciò è accettabile finché la parete è delimita-

ta da superfici perpendicolari alle facce e l'insieme è tale che non esistono flussi di calore importanti tra le parti eterogenee. In questo caso si dice che la parete ha **eterogeneità semplice** e la sua trasmittanza media K_m è la media ponderale (rispetto alle aree S delle singole parti omogenee) delle trasmittanze K delle parti omogenee:

$$K_m = \frac{\sum (KS)}{\sum S} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K}) \quad (28)$$

Esempio 4 - Determinare la trasmittanza media della parete di Fig. 7, costituita da un tamponamento in blocchi cavi di cls a pareti sottili da 250 mm, compreso fra pilastri di cls da 250 x 300 mm con interasse di 3 m. Il tutto è rivestito esternamente "a cappotto" con EPS 20 per 60 mm e internamente con intonaco a gesso da 10 mm. Si trascura il contributo della finitura esterna del cappotto.

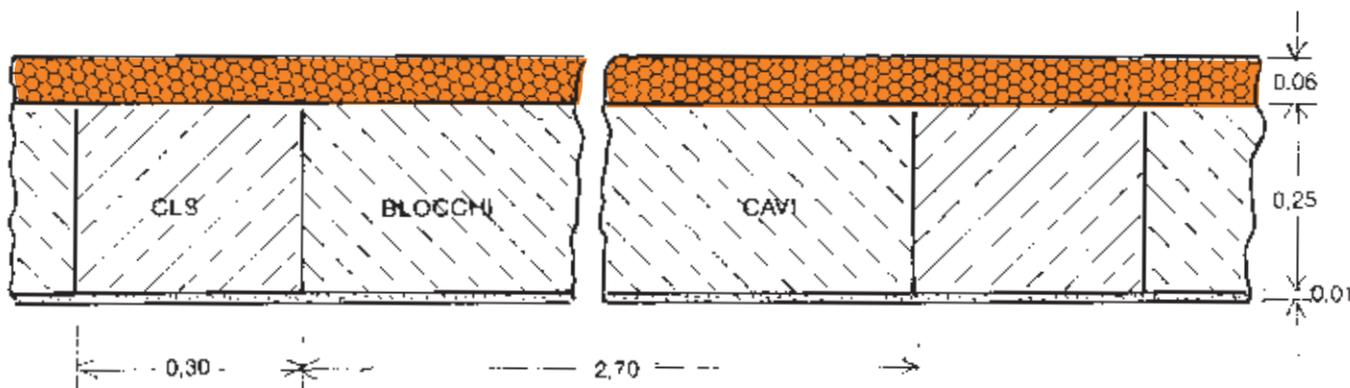


Fig. 7

(Segue)

(Segue Esempio 4)

— Resistenza del tamponamento:

	Spessore (m)	Conduttività (W/m·K)	Resistenza (m ² ·K/W)
Resistenza superficiale interna 1/h _i (Quadro 2)			0,123
Intonaco di gesso	0,01	0,35	0,029
Blocchi cavi in cls	0,25		0,340
EPS	0,06	0,041	1,463
Resistenza superficiale esterna 1/h _e (Quadro 2)			0,043
			R₁ 1,998

Trasmittanza del tamponamento K = 1/1,998 = 0,50 W/m²·K.

— Resistenza dei pilastri:

	Spessore (m)	Conduttività (W/m·K)	Resistenza (m ² ·K/W)
Resistenza superficiale interna 1/h _i			0,123
Intonaco di gesso	0,01	0,35	0,029
Cls da 2200 kg/m ³	0,25	1,48	0,169
EPS	0,06	0,041	1,463
Resistenza superficiale esterna 1/h _e			0,043
			R₂ 1,827

Trasmittanza dei pilastri K₂ = 1/1,827 = 0,55 W/m²·K.

— Per un'altezza di 1 m di parete si ha S₁ = 2,7 m²; S₂ = 0,3 m², quindi la trasmittanza media è:

$$K_{m...} = \frac{2,7 \cdot 0,50 + 0,3 \cdot 0,55}{3} = 0,505 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

L'esempio 4 mostra un'applicazione di queste relazioni. La presenza dell'isolamento esterno "a cappotto" ha reso molto piccola la differenza di trasmittanza fra le due parti dell'esempio 4 che altrimenti sarebbe stata più pronunciata. In tal caso sarebbe più appropriato considerare il flusso non unidirezionale, come nella trattazione che segue.

PARETI CON FLUSSO TERMICO NON UNIDIREZIONALE (PONTI TERMICI)

La condizione di flusso unidirezionale sopra considerata non può essere ottenuta se non in porzioni limitate dell'involucro edilizio. Le condizioni di flusso bi o tridimensionale che si presentano possono essere classificate in tre gruppi:

- parti di parete adiacenti con trasmittanza molto diversa;
- strutture non piane, come angoli e intersezioni;
- superfici con resistenza superficiale diversa.

Le conseguenze di queste situazioni, che possono presentarsi anche in combinazione, sono sempre:

- aumento del flusso termico rispetto alle parti correnti dell'involucro, da cui il nome di **ponti termici**;
 - abbassamento della temperatura superficiale interna rispetto alle parti correnti, con possibilità di condense locali di umidità e conseguente degrado.
- Corrispondentemente si hanno due problemi di valutazione dei ponti termici: flusso termico e temperatura, che si esaminano separatamente.

I problemi posti dalla presenza dei ponti termici sono una costante delle costruzioni moderne, caratterizzate da molte eterogeneità; in più l'elevata produzione di vapore acqueo e il limitato ricambio d'aria oggi usuali, fanno sì che i fenomeni di condensa e le patologie edilizie conseguenti siano frequentissimi.

I quaderni di documentazione tecnica riportano peraltro numerosi esempi che mostrano come un opportuno uso del Polistirolo Espanso contribuisca ad eliminare o attenuare la maggior parte dei ponti termici che si presentano in pratica nelle diverse strutture edilizie. Un'accurata progettazione dei particolari costruttivi è indispensabile a questo riguardo.

IL FLUSSO TERMICO ATTRAVERSO LE STRUTTURE CON PONTI TERMICI

La determinazione, sia analitica che sperimentale, dei flussi che attraversano i ponti termici sarebbe troppo onerosa per la progettazione ordinaria. La procedura che si segue si basa invece sull'uso di valori tabellari, derivati in generale da complesse calcolazioni, con le quali si analizza la struttura dopo averla scomposta idealmente in un gran numero di parti omogenee (metodo degli elementi finiti), i cui risultati vengono confermati con delicate misure di laboratorio.

Poiché le concentrazioni di flusso si riscontrano in punti singoli o lungo linee di contorno delle parti correnti (angoli, intersezioni, contorno di aperture), il concetto di base del metodo è quello di aggiungere al flusso della parte corrente un flusso supplementare, di cui le tabelle danno il valore in numerosi casi, per ogni ponte termico localizzato o per ogni unità di lunghezza di ponte termico lineare. Il flusso termico totale Φ attraverso una parete di trasmittanza corrente K e area S , si otterrà aggiungendo al flusso ricavato della (22) i termini sopradetti.

$$\Phi = (KS - \sum kl - \sum zn) (t_i - t_e) \quad (W) \quad (29)$$

Esempio 5 - Determinare il flusso termico, con temperatura interna $t_i = 20^\circ \text{C}$ ed esterna $t_e = -5^\circ \text{C}$, di una parete d'angolo di ultimo piano, cieca, costituita in parte corrente come nell'Es. 4, ma esternamente con 20 mm di intonaco di calce e cemento, anziché con il rivestimento a cappotto. Essa è larga, internamente, m 4 e alta m 3, ed è delimitata da un lato da un tramezzo in muratura, non passante, dello spessore di 100 mm, dall'altro da un pilastro d'angolo in cls di lati uguali allo spessore della parete. Superiormente e inferiormente la parete è limitata da solai in laterocemento, di cui quello superiore con isolamento esterno continuo.

— La resistenza R della parete corrente è:

	Spessore (m)	Conduttività (W/m·K)	Resistenza (m ² ·K/W)
Resistenza superficiale interna 1/h (Quadro 2)			0,123
Intonaco di gesso	0,01	0,35	0,029
Blocchi cavi in cls	0,25		0,340
Intonaco di calce e cemento	0,02	0,090	0,022
Resistenza superficie esterna 1/h _e (Quadro 2)			0,043
			R 0,557
			K 1,80 W/m ² ·K

— Si ha poi

	S o l (m ² o m)	K o k (W/m ² ·K o W/m·K)	KS o kl (W/K)
Parte corrente	12	1,80	21,60
Angolo	3	0,12	0,36
Tramezzo	3	0,07	0,21
Solaio superiore	4	0,24	0,96
Solaio inferiore	4	0,33	1,32
			KS + \sum (kl) 24,45

Il flusso termico della parete è:

$$\Phi = 24,45 (20 - (-5)) = 611 \text{ W}$$

Esso è il 13% in più di quello relativo alla parte corrente.

Se si applica il rivestimento a cappotto di 50 mm di EPS, come nell'Esempio 4, si avrebbe invece:

	S o L	K o k	KS o kl
Parte corrente (come Es. 4)	12	0,50	6,00
Angolo	3	0,08	0,24
Tramezzo	3	0,02	0,06
Solaio superiore	4	0,16	0,64
Solaio inferiore	4	0,05	0,20
			KS + \sum kl 7,14

Il flusso è ora $\Phi = 7,14 \cdot 25 = 178 \text{ W}$ pari al 29% del precedente. Il flusso dovuto ai soli ponti termici è il 40% del precedente.

ELEMENTI DI ISOLAMENTO TERMICO DELLE COSTRUZIONI

k , espresso in $W/m \cdot K$, è chiamato **trasmissione lineare** e si applica alle lunghezze l (m) di uguale ponte termico; z , espresso in W/K , è chiamato **trasmissione puntiforme** e si applica agli n punti sin-

golari uguali presenti. L'Esempio 5 mostra un'applicazione della relazione (29) con l'uso dei valori di trasmissione lineare.

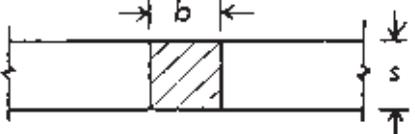
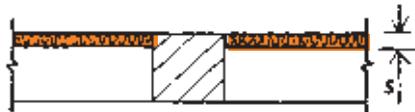
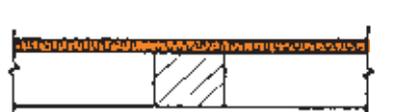
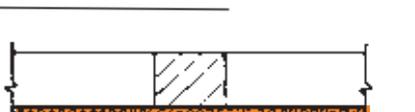
Quadro 4 - Fattore di temperatura superficiale ζ dei ponti termici piani secondo ISO 6946/2.

$$\zeta = \frac{t_i - t_p}{t_i - t_e} \cdot \frac{K_o - \eta (K_p - K_o)}{7,7} \quad (\text{adimensionate})$$

- t_i, t_e, t_p temperature ($^{\circ}C$) dell'aria interna, esterna e minima del ponte termico.
- K_o, K_p trasmissione ($W/m^2 \cdot K$) delle parti correnti e del ponte termico.
- η coefficiente dato dalla tabella seguente; b, s, s_i dimensioni riportate sugli schemi (esterno in alto); Z_1 e Z_2 grandezze ausiliarie:

$$Z_1 = \frac{(1-b)s}{b} \cdot \left(\frac{\lambda_c}{\lambda_p} \right)^{0,25} \quad Z_2 = \left[\frac{(1-b)s}{b} \right]^{0,75} \cdot \left(\frac{s}{s_i} \right)^{0,5}$$

- $\lambda_c, \lambda_p, \lambda$, conduttività ($W/m \cdot K$) della parte corrente, del ponte termico e dell'isolante ($\lambda_c < \lambda_p$).

	$\eta = \frac{1}{1 + 0,29 Z_1}$
	$\eta = \frac{1}{1 + 0,59 Z_1}$
	$\eta = \frac{1}{1 + \frac{2,4}{Z_1 + 1/Z_1}}$
	$\eta = \frac{1}{1 + 0,33 Z_1}$ <p>$s_{int} \geq 0,02 \text{ m}$ $s_{est} \geq 0,02 \text{ m}$ $2 \geq s_{int}/s_{est} \geq 0,5$</p>
	$\eta = 1 + 0,1 Z_1 Z_2$
	$\eta = \frac{1}{1 + 0,67 Z_1}$

LE TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEI PONTI TERMICI

La definizione della temperatura superficiale interna minima in corrispondenza di un ponte termico può essere ritenuta un problema ancor più importante di quello della maggiorazione del flusso

Infatti, mentre è sempre possibile sopperire a quest'ultima con un maggior dispendio di energia, il riparare gli inconvenienti della prima implica quasi sempre interventi strutturali.

Non effetti anche la condensazione superficiale, che è la conseguenza più vistosa di una bassa temperatura superficiale potrebbe in certi casi essere evitata aumentando il ricambio d'aria, ma con evidente maggior spesa energetica; non sarebbe però evitata la diminuzione del benessere ambientale, conseguente alla bassa temperatura operante, cui soltanto un miglior isolamento può porre riparo.

Nonostante la sua importanza, il problema non ha trovato finora un'elaborazione unitaria di pratica applicazione come le trasmittanze lineari o puntiformi per il problema dei flussi dei ponti termici.

Comunque, per facilitare l'espressione di indicazioni valide per qualsiasi condizione di temperatura esterna t_e ed interna t_i dell'aria, è stato definito il parametro.

$$\zeta = \frac{t_i - t_{p, \min}}{t_i - t_e} \quad (\text{adimensionale}) \quad (30)$$

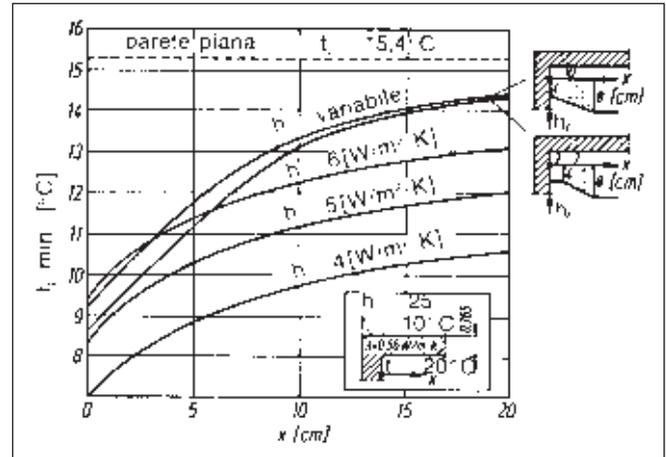


Fig. 8

detto **fattore di temperatura superficiale**; la sua conoscenza permette di ricavare la temperatura superficiale interna minima $t_{p, \min}$ del ponte termico.

La norma ISO 6946/2 fornisce un metodo di calcolo del fattore ζ nel caso di ponti termici piani, che è sintetizzato nel Quadro 4.

La Fig. 8 (da Cziesielski "Warmebrücken im Hochbau" Bauphysik, 1985, p. 141) illustra il caso di un ponte termico d'angolo.

Si deve infine rilevare che gli effetti di due ponti termici lineari che si incontrano (p. es. vertice di un triedro, incontro del giunto parete tramezzo col giunto paretsoletta), in qualche modo si sommano per creare un punto di temperatura minima ancora più bassa di quella dei due ponti termici.

Esempio 6 - Un edificio a pianta rettangolare di dimensioni di m 10 x 20 ha un seminterrato con pavimento a 1 m sotto il livello del suolo, costituito da una soletta in cls di 150 mm di spessore.

Il perimetro è un getto di cls di 250 mm di spessore. Trovare la dispersione della parte interrata per una temperatura interna di 15°C ed esterna di 5°C, senza isolamento specifico e considerando le varie possibilità di isolamento

- Perimetro $P = (10 + 20) \cdot 2 = 60 \text{ m}$
- Soletta senza isolamento $k_s = 1 \text{ W/m K}$
- Muro: $1/K = 0,123 + 0,25/1,27 + 0,043 = 0,363 \text{ K}$; $k_w = 2,76 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; $k_{\text{muro}} = 1,3 \text{ W/m K}$
- ... Dispersione della parte interrata:
 $Q = (1 + 1,3) \text{ W/m K} \cdot 60 \text{ m} \cdot 20 \text{ K} = 2760 \text{ W}$

Se si applica un isolamento di 50 mm di spessore, largo 1 m, di EPS ($r = 0,05/0,041 = 1,22 \text{ m}^2 \text{ K/W}$) si trova $k_s = 0,9$; il miglioramento sarebbe modesto anche se l'isolamento fosse esteso a tutta la soletta ($k = 0,7$).

Se si isola anche esternamente il muro, sia sopra che sotto il livello del suolo, con un "cappotto", si ha:

$$1/K = 0,123 + 0,25/1,27 + 0,05/0,041 + 0,043 = 1,58 \text{ K}; \quad k_w = 0,63 \text{ W/m}^2 \text{ K}; \quad k_{\text{muro}} = 0,4 \text{ W/m K}$$

$$Q = (0,9 + 0,4) \cdot 60 \cdot 20 = 1560 \text{ W}$$

La dispersione è ora il 57% di quella senza isolamento specifico

PARETI IN CONTATTO CON IL SUOLO

Le dispersioni delle pareti in contatto con il suolo vengono trattate nella maggior parte dei casi allo stesso modo dei ponti termici, attribuendo al perimetro dell'edificio una trasmittanza lineare k , l'esempio 6 ne mostra un'applicazione.

REGIME VARIABILE E INERZIA TERMICA

Le considerazioni fin qui svolte si basano sull'ipotesi di temperature dell'aria, interna ed esterna alle pareti, costanti nel tempo. In realtà le temperature esterne subiscono oscillazioni più o meno ampie, che in qualche modo si ripercuotono sulla temperatura interna.

Tuttavia le relazioni fin qui trovate si possono considerare corrette finché si considerano temperature **medie** giornaliere di un certo periodo dell'anno e si ha come scopo la valutazione delle dispersioni di calore **medie** del periodo; esse possono essere anche usate quale mezzo per dimensionare in modo sufficientemente prudente la trasmittanza delle varie parti dell'involucro dell'edificio, prendendo però come riferimento una temperatura **minima** annua del luogo, opportunamente definita. Quando il regime termico è variabile, il flusso termico entrante in un certo intervallo di tempo, differisce in generale da quello uscente; la differenza è costituita da energia che la parete accumula o cede come **calore sensibile** o, talvolta, di **transizione di fase**; questa variazione dell'energia interna attenua e ritarda l'effetto sul clima interno della variabilità esterna.

La quantità di calore che viene messa in gioco in questo modo dipende in primo luogo dalla massa delle pareti ed è quindi opportuno, tenere in considerazione, ai fini del benessere ambientale, gli effetti del regime variabile, soprattutto nelle moderne costruzioni, in cui le esigenze di elevato isolamento non possono essere raggiunte che con materiali specializzati, come EPS, che hanno masse estremamente ridotte.

Il calcolo del comportamento di un edificio in regime variabile è complesso.

La "Guida al controllo energetico della progettazione" del CNR/PFE e le sue appendici trattano diffusamente alcuni metodi, che considerano simultaneamente tutti i componenti dell'edificio, esterni ed interni (questi ultimi costituiscono spesso le masse più importanti).

Questi metodi sono da prendere in considerazione particolarmente nei casi di costruzioni leggere, quindi con piccola capacità di accumulo di calore, e specialmente quando in esse è previsto il condizionamento estivo; questo, oltre ad essere più oneroso del

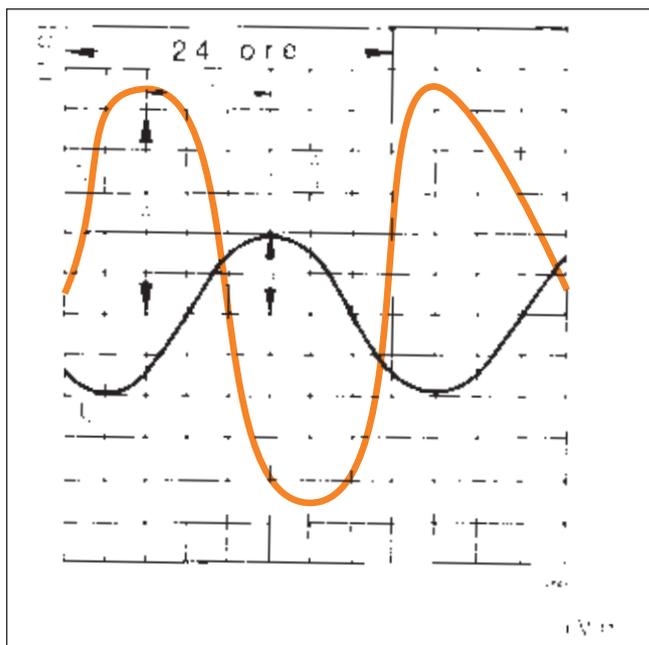


Fig. 9

riscaldamento invernale, a pari quantità di energia in gioco, deve anche fronteggiare oscillazioni di temperatura più ampie, per effetto della maggiore intensità del soleggiamento.

Queste analisi sono necessarie anche quando si vuole sfruttare al massimo gli apporti gratuiti, come nei cosiddetti "sistemi solari passivi"; in essi la capacità termica dell'edificio è fondamentale per distribuire nell'arco della giornata l'energia raccolta durante poche ore.

È tuttavia utile in tutti i casi farsi un'idea dell'adeguatezza del singolo componente opaco della chiusura esterna, in particolare per quanto riguarda la risposta alle oscillazioni diurne della temperatura esterna, mediante una trattazione semplificata.

In questa si ammette che l'oscillazione della temperatura dell'aria esterna, con periodo di 24 ore, abbia un andamento sinusoidale e si determina la riduzione di ampiezza v che l'onda termica subisce attraversando la parte e lo sfasamento con il quale essa compare alla superficie di uscita (Fig. 9). Il Quadro 5 raccoglie le formule relative e l'Esempio 7 ne mostra un'applicazione.

I risultati sono da confrontare con quelli prescritti da alcune normative; la tabella seguente ne dà un esempio.

ISOLAMENTO TERMICO E UMIDITÀ

L'isolamento termico degli edifici è negativamente influenzato dall'umidità. Questa può provenire sia dall'esterno (pioggia, neve, aria umida, suolo), sia

Quadro 5 - Smorzamento e sfasamento dell'onda termica attraverso una parete

Il parametro principale che caratterizza il **materiale** di uno strato di parete in regime periodico sinusoidale è la **capacità di accumulo S**

$$S = \sqrt{2 \pi \rho c \lambda / \tau} \quad (\text{W/m}^2 \text{K}) \quad (31)$$

dove ρ , c , λ sono la massa volumica, il calore specifico e la conduttività del materiale (v. App. 1) e τ è la durata del periodo. Per un periodo di 24 h = 86400 s si ha quindi:

$$S = 8,53 \cdot 10^{-5} \sqrt{\rho c \lambda} \quad (\text{W/m}^2 \text{K}) \quad (31')$$

Si definisce quindi **Inerzia termica** dello strato il prodotto:

$$D = S \cdot R \quad (\text{adimensionale}) \quad (32)$$

della capacità di accumulo dello strato per la sua resistenza termica R. Per una parete a più strati l'inerzia termica è la somma di quella dei singoli strati:

$$D = \sum (S \cdot R) \quad (32')$$

Infine si definisce un parametro U (W/m² K)

— per $D \geq 1$ è $U = S$ (33)

— per $D < 1$, per i vari strati (caso estivo, partendo dallo strato interno)

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= (R_1 S_1^2 + h_i) / (1 + R_1 h_i) \\ U_2 &= (R_2 S_2^2 + U_1) / (1 + R_2 U_1) \\ U_3 &= (R_3 S_3^2 + U_2) / (1 + R_3 U_2), \text{ ecc.} \end{aligned} \right\} (33')$$

(h_i e h_e sono le adduttanze interna ed esterna della parete).

Si possono ora esprimere le grandezze cercate

- 1) Smorzamento v :
 ampiezza dell'onda esterna di temperatura
 ampiezza dell'onda interna di temperatura

— per pareti monostrato:

$$v = 0,9 e^{-D} \sqrt{\lambda} \frac{S_i \cdot h_i}{S \cdot U} \frac{U_i \cdot h_e}{h_e} \quad (34)$$

— per pareti a più strati:

$$v = 0,9 e^{-\sum D} \sqrt{\lambda} \frac{S_i \cdot h_i}{S_i \cdot U_i} \frac{S_2 \cdot U_1}{S_2 \cdot U_2} \dots \frac{S_n \cdot U_{n-1}}{S_n \cdot U_n} \frac{h_e \cdot U}{h} \quad (34')$$

- 2) Sfasamento η (in ore)

— per pareti monostrato:

$$\eta = \frac{1}{15} \left(40,5 D \arctg \frac{h_i}{h_i - S \sqrt{2}} + \arctg \frac{S}{S \cdot h_e \sqrt{2}} \right) \text{ (ore)} \quad (35)$$

— per pareti pluristrato:

$$\eta = \frac{1}{15} \left(40,5 \sum D \arctg \frac{h_i}{h_i - U \sqrt{2}} + \arctg \frac{U_n}{U_n \cdot h_e \sqrt{2}} \right) \text{ (ore)} \quad (35')$$

(le funzioni arctg sono in gradi sessagesimali).

Esempio 7 - Determinare smorzamento e sfasamento dell'onda termica giornaliera in condizione estiva (flusso discendente) di un solaio superiore in cls ($\rho = 2000 \text{ Kg/m}^3$), di 200 mm di spessore, da considerare struttura protetta per la presenza dell'impermeabilizzazione.

si ha:

$$S = 8,53 \cdot 10^{-3} \sqrt{2000 \cdot 880 \cdot 1,16} = 12,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$R = 0,2/1,16 = 0,17 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$D = 12,2 \cdot 0,17 = 2,07 = U$$

Si ha quindi:

— smorzamento

$$v = 0,9 e^{-\frac{2,07 \cdot 5,8}{12,2}} \cdot \frac{12,2 \cdot 5,8}{12,2 \cdot 12,2} = \frac{12,2 \cdot 16,2}{16,2} = 5,03$$

— sfasamento

$$\eta = \frac{1}{15} \left(40,5 \cdot 2,07 - \arctg \frac{5,8}{5,8 \cdot 12,2 \sqrt{2}} - \arctg \frac{12,2}{12,2 \cdot 16,2 \sqrt{2}} \right) = 4,75 \text{ ore}$$

Poiché entrambi i valori sono da ritenere insoddisfacenti, si verifica il comportamento dello stesso solaio, cui sia applicato superiormente uno strato di EPS 30 di 50 mm di spessore.

Per lo strato di EPS è:

$$S' = 8,35 \cdot 10^{-3} \sqrt{30 \cdot 1200 \cdot 0,04} = 0,32 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$R' = 0,05/0,04 = 1,25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$D' = 0,32 \cdot 1,25 = 0,4$$

Si ha poi:

$$\Sigma D = 2,07 + 0,4 = 2,47$$

$$U' = \frac{R' S'^2 + U}{1 + R' U} = \frac{1,25 \cdot 0,4^2 + 12,2}{1 + 1,25 \cdot 12,2} = 0,76$$

E infine:

— smorzamento

$$v = 0,9 e^{-\frac{2,47 \cdot 5,8}{12,2}} \cdot \frac{12,2 \cdot 5,8}{12,2 \cdot 12,2} = \frac{0,32 \cdot 12,2}{0,32 \cdot 0,76} = \frac{16,2 \cdot 0,76}{16,2} = 45,4$$

— sfasamento

$$\eta = \frac{1}{15} \left(40,5 \cdot 2,47 - \arctg \frac{5,8}{5,8 \cdot 12,2 \sqrt{2}} - \arctg \frac{0,76}{0,76 + 16,2 \sqrt{2}} \right) = 5,9 \text{ ore}$$

La riduzione di ampiezza dell'onda termica è ora tale che lo sfasamento, anche se non è molto aumentato, è da ritenere accettabile.

Se i due strati fossero invertiti, si otterrebbe invece $v = 19,6$ e $\eta = 5,2$ ore, con effetto inferiore.

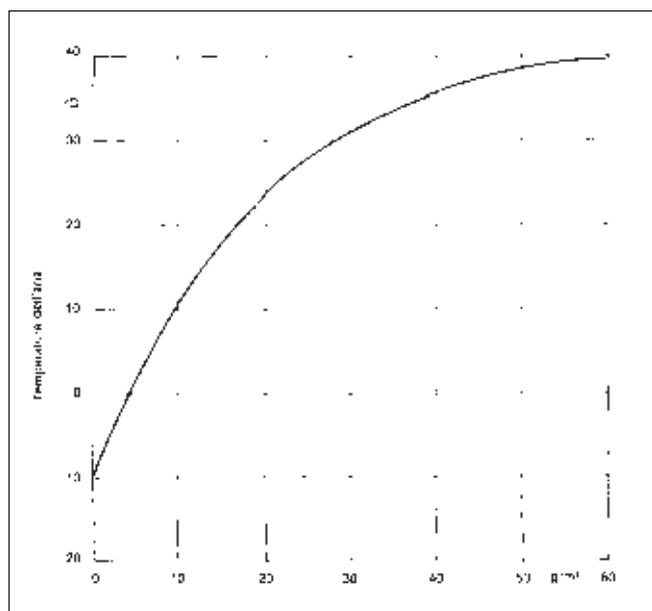


Fig. 10 - Umidità assoluta e saturazione.

dall'interno (umidità propria delle nuove costruzioni, perdite di condotti vari e soprattutto produzione da parte degli occupanti e in relazione alla loro attività di cucina e pulizia: si valuta che per ogni persona si producono 2-4 kg/giorno di vapore d'acqua). La maggior parte dei materiali da costruzione ha grande affinità per l'acqua, che può penetrarvi sia come liquido per capillarità, sia come vapore per

effetto di differenze di pressione di vapore. La presenza dell'acqua può alterare prestazioni importanti delle pareti, come la durata, la resistenza strutturale, il grado di isolamento, le finiture superficiali.

Fra i materiali isolanti specifici EPS è a questo riguardo in una posizione fra le migliori, per la sua bassissima capacità di assorbimento d'acqua, ed è perciò particolarmente consigliabile in ogni situazione; tuttavia è sempre necessario studiare il comportamento della parete nel suo complesso nei confronti dell'umidità.

Per quanto riguarda l'effetto diretto sull'isolamento, la presenza di acqua liquida aumenta la conduttività apparente, per la conduzione vera e propria dell'acqua (25 volte quella dell'aria) e per convezione, oltre che per diffusione del vapore con evaporazioni e condensazioni successive. Il fenomeno è quindi molto complesso e in pratica se ne tiene conto maggiorando la conduttività dei materiali.

Il fenomeno più pericoloso è quello della condensazione interna (ancor più pericoloso se seguito da gelo) o superficiale; il suo studio richiede alcune conoscenze sulle caratteristiche dell'aria umida.

L'aria contiene sempre vapore d'acqua; la quantità di questo, espressa in g per kg (o per m³) di aria secca, si dice **umidità assoluta**. Questa quantità ha un limite, tanto più elevato, quanto più alta è la temperatura. Quando tale limite viene raggiunto, l'aria si dice **saturo** di vapore. La Fig. 10 mostra l'andamento della quantità di vapore di saturazione al variare della temperatura.

Smorzamento minimo ν (adlm.)		Sfasamento minimo η (ore)	
Copertura senza intercapedine	25	- Coperture	10 - 12
— Copertura con intercapedine	15	Pareti esposte da N a E	6 - 7
— Parete senza intercapedine	15	Pareti esposte da SE a S	8
— Parete con intercapedine	12	Pareti esposte da SO a O	8 - 10

Pareti verticali							
Massa (kg/m ²)	20	50	100	200	300	400 e oltre	
Trasmittanza (W/m ² K)	0.50	0.71	0.94	1.26	1.57	1.62	
Pareti orizzontali o inclinate							
Massa (kg/m ²)	20	50	100	200	300	400 e oltre	
Trasmittanza (W/m ² K)	0.35	0.52	0.70	0.94	1.16	1.33	

In queste condizioni al vapore contenuto nell'aria compete una ben definita porzione p_s (Pa) della pressione atmosferica, detta **pressione parziale di saturazione**.

Normalmente però l'umidità assoluta contenuta nell'aria è soltanto una frazione ϕ di quella a saturazione e quindi anche la pressione parziale p del vapore è una frazione ϕ di quella di saturazione:

$$p = \phi p_s \quad (\text{Pa}) \quad (36)$$

La frazione ϕ viene solitamente espressa in % e chiamata **umidità relativa** (U.R.) dell'aria.

Se la temperatura dell'aria non satura viene abbassata, si giunge ad una temperatura t_s detta **temperatura di saturazione** o **temperatura di rugiada**, alla quale il contenuto, e quindi la pressione di vapore dell'aria, corrisponde al limite di saturazione. L'esempio 8 chiarisce questo fenomeno.

L'esempio mostra che l'aria interna a 20°C e 70% U.R. (condizione che viene presa di solito come termine di riferimento in edilizia) comincia a formare condensa superficiale su pareti con temperature superficiali di 14,4°C. Il grafico di Fig. 10 può aiutare a quantizzare l'entità del fenomeno.

La determinazione delle condizioni in cui possono avvenire la condensazione superficiale sulla parete e la condensazione interna, sono i due problemi da esaminare, con considerazioni diverse per i due casi.

CONDENSAZIONE SUPERFICIALE

La verifica delle condizioni di condensazione superficiale sono da ricondurre alla determinazione della temperatura t_p della superficie interna della parete.

Per la parete piana indefinita, ricordando le (22), (23) si potrà scrivere:

$$h (t - t_p) = K (t - t_s)$$

e quindi:

$$t_p = t - \frac{K}{h} (t - t_s) \quad (^\circ\text{C}) \quad (37)$$

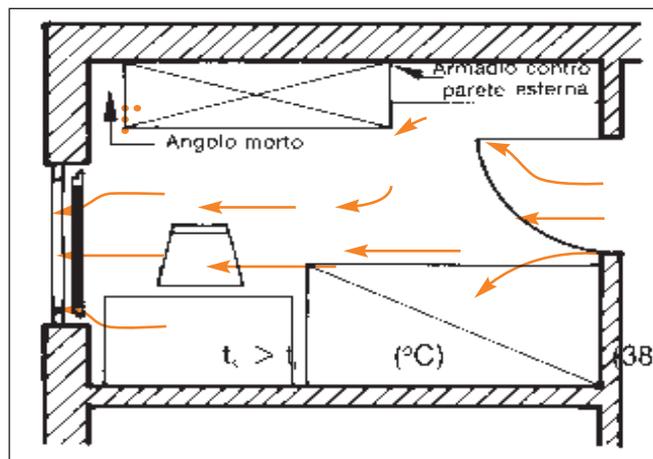


Fig. 11 (I.V.H.)

Per quanto riguarda i ponti termici, si è detto a suo luogo delle temperature superficiali minime.

Giova ripetere che in entrambi i casi spesso si hanno adduttanze h_i inferiori a quelle convenzionali di Quadro 2 e quindi temperature superficiali inferiori a quelle sopra definite. La Fig. 11 illustra queste situazioni.

In ogni caso la condizione di condensazione si verificherà ogni volta che la temperatura di saturazione t_s è superiore a quella superficiale t_p :

$$t_s > t_p \quad (^\circ\text{C}) \quad (38)$$

In linea di massima le condizioni cui ci si riferisce sono quelle riportate nell'Es. 9, ma per alcuni locali (bagni, cucine, lavanderie, ecc.), può essere opportuno considerare condizioni diverse, specialmente di umidità relativa, e quindi di temperatura di saturazione.

In presenza di modeste quantità di condensazione, questa può non essere percepita come tale se la finitura interna, come gli intonaci ordinari o le tappezzerie di carta, è porosa e quindi assorbente. Tuttavia tale condensa è sufficiente a fissare sulla superficie la polvere, che col tempo farà apparire il disegno di tutte le zone più fredde (angoli, contorni

Esempio 8 - Si abbia aria a 20° C e 70% U.R. Si desidera conoscere la temperatura di rugiada relativa.

si ha:

-- per 20°C $p_s = 2340$ Pa

— per 70% U.R.: $p = 2340 \cdot 0.7 = 1638$ Pa

valore di p_s più vicino è $p_s = 1642$ Pa, che corrisponde ad una temperatura di rugiada $t_s = 14.4$ °C

di finestre, travetti dei solai a pignatte, ecc.). Nei casi più consistenti, su questo substrato si formano muffe, che, oltre ad aggravare il degrado estetico, iniziano quello fisico della superficie (sfarinature, distacchi, decomposizione di tappezzerie, ecc.) e compromettono sia l'igiene che il benessere ambientale.

A parte meritano di essere ricordati i fenomeni di condensa superficiale legati a meccanismi di ventilazione. Un caso è costituito dalla condensa estiva su pareti più fredde dell'aria ambiente, a causa della loro inerzia termica e di scarse possibilità di scambio; è il caso degli scantinati, come in Fig. 12, e di edifici antichi con muri pieni di grosso spessore. Un isolamento applicato all'interno.

Un altro caso è offerto dalla presenza di giunti dell'involucro non a tenuta (Fig. 13). Per effetto della sovrappressione normalmente esistente all'interno, attraverso queste fessure escono quantità apprezzabili di aria, che si raffredda e condensa nella fessura. L'esempio 9 dà un'idea quantitativa del fenomeno.

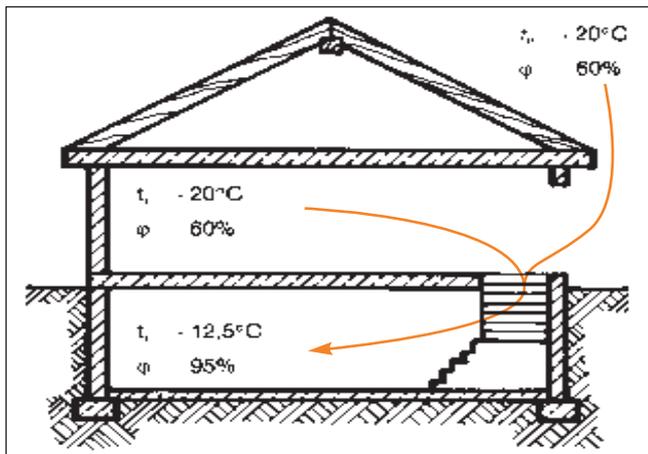


Fig. 12 (I.V.H.)

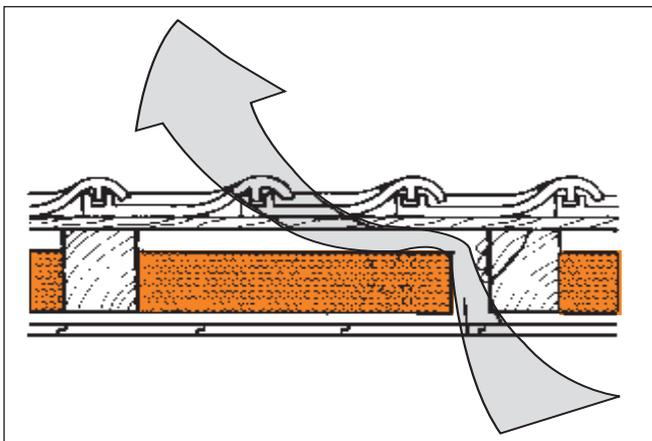


Fig. 13 (I.V.H.)

CONDENSAZIONE INTERNA

La condensazione interna ad una parete dipende dalle leggi che governano il processo di diffusione del vapore attraverso la parete.

In una trattazione semplificata si ammette che la quantità di vapore i che nell'unità di tempo attraversa l'unità di superficie di una parete, espressa quindi in $\text{kg/m}^2\text{s}$ è proporzionale alla differenza (in Pa) della pressione di vapore $p_i - p_e$ fra le due facce della parete e ad un coefficiente δ caratteristico del materiale, detto **permeabilità**, espresso in $\text{kg} \cdot \text{m/N} \cdot \text{s}$, e inversamente proporzionale allo spessore s (m) della parete.

$$i = \frac{\delta}{s} (p_i - p_e) \quad (\text{kg/m}^2\text{s}) \quad (39)$$

La relazione è quindi formalmente analoga a quella che governa la trasmissione del calore per conduzione attraverso una lastra piana. Chiamata allora "resistenza alla diffusione del vapore" la quantità $\rho = s/\delta$, si può scrivere:

$$i = (p_i - p_e) / \rho \quad (\text{kg/m}^2\text{s}) \quad (40)$$

e, per una parete a più strati:

$$i = (p_i - p_e) / \sum \rho \quad (\text{kg/m}^2\text{s}) \quad (40')$$

Nella pratica, invece della permeabilità δ dei singoli materiali, si preferisce riferirsi al rapporto $\mu = \delta_{\text{aria}} / \delta$ (adimensionale) fra la permeabilità dell'aria e quella del materiale.

La permeabilità dell'aria è funzione della temperatura, ma per temperature medie della parete intorno a 10°C si può assumere, secondo DIN 4108 (passando da secondi a ore come unità di tempo).

$$1/\delta_{\text{aria}} = 1,5 \cdot 10^6 \quad \text{Pa} \cdot \text{m} \cdot \text{h} / \text{kg} \quad (41)$$

Si potrà quindi scrivere:

$$\rho = s/\delta = s \frac{\delta_{\text{aria}}}{\delta} = \frac{1}{\delta} \mu s = \frac{1}{\delta_{\text{aria}}} \mu s = 1,5 \cdot 10^6 \mu s$$

$$\sum \rho = 1,5 \cdot 10^6 \sum (\mu s) \quad (42')$$

Il prodotto μs può quindi essere visto come lo spessore d'aria equivalente, ai fini del passaggio di vapore, alla resistenza offerta dalla parete dal singolo strato.

Dette p_1, p_2 , ecc., i valori di pressione parziale esistenti alle interfacce fra i vari strati, si potrà scrivere, in modo formalmente analogo a quello usato per trovare le temperature alle interfacce:

$$1,5 \cdot 10^6 i = \frac{p_i - p_e}{\sum (\mu s)} = \frac{p_i - p_e}{\mu_1 s_1 + \mu_2 s_2 + \dots + \mu_n s_n} \quad (43)$$

ELEMENTI DI ISOLAMENTO TERMICO DELLE COSTRUZIONI

Esempio 9

- Clima esterno t_e 0°C, 70% U.R.; p 428 Pa; 4,84 g vap./m³
- Clima interno t_i 20°C, 60% U.R.; p 1404 Pa; 17,29 g vap./m³
- Fenditura profonda 100 mm e lunga 1 m.

Quantità di vapore d'acqua in g/h trasportata attraverso la fenditura in funzione della differenza di pressione Δp dell'aria fra interno ed esterno.

Larghezza fenditura mm	Δp (Pa)			
	2	5	10	20
1	33,5	54,5	79,6	115,3
5	202,6	321	454	664

La differenza di pressione Δp di 2 Pa può essere provocata da un debole vento di 1 m/s. Per confronto la quantità di vapore che passerebbe per diffusione in aria ferma per effetto della differenza di pressione parziale del vapore (976 Pa) è di 0,006 g/h per la fenditura da 1 mm e di 0,03 g/h per quella da 5 mm.

Ciò permette di tracciare l'andamento della pressione di vapore nella parete con lo stesso procedimento grafico usato per le temperature; nel grafico le ascisse sono ora proporzionali alle resistenze μs anziché alle resistenze termiche nelle ordinate vi sono le pressioni parziali, anziché le temperature.

In corrispondenza delle interfacce fra gli strati si riportano anche le pressioni di saturazione corrispondenti alle rispettive temperature.

La retta che congiunge i valori delle pressioni parziali p_i e p_e sulle superfici della parete, è il diagramma delle pressioni di vapore all'interno della parete, se questa retta non interseca la linea che congiunge i punti segnati della pressione di saturazione.

In caso contrario si tracciano, invece della congiungente P_i - P_e , le tangenti, da p_i e da p_e alla linea della pressione di saturazione; nel punto o nella zona di tangenza si ha condensazione. Questa costruzione è nota come "diagramma di Glaser".

Il Quadro 6, tratto dalla norma DIN 4108 parte 5, illustra i vari casi possibili. La condensazione è tollerabile se la

quantità di acqua che si ferma nella parete in una stagione invernale può diffondersi di nuovo all'esterno nella successiva stagione estiva.

Per verificare ciò si calcola con la (40) il flusso di vapore **i per le condizioni medie stagionali** e lo si moltiplica per il numero H di ore della stagione. Il Quadro 6 mostra le relazioni da usare nei vari casi; sono considerati positivi i flussi diretti dell'interno verso l'esterno; in estate quindi si hanno anche flussi negativi (della parete verso l'interno); parimenti sono considerate positive le differenze di pressione in cui quella interna è maggiore.

Nell'esempio 10 si è ripresa la parete dell'esempio 2. Si vede che la parete presenta un piano di condensazione all'interfaccia. EPS/cfs (caso B del Quadro 6); l'evaporazione estiva, nella situazione climatica media ipotizzata, dovrebbe essere sufficiente a ripristinare le condizioni iniziali.

L'esempio mostra però come la condensazione può essere evitata con l'impiego di una barriera vapore opportunamente collocata, oppure con una diversa disposizione degli strati.

Esempio 10 - Determinare l'andamento delle pressioni di vapore nella parete di Es. 2 (Fig. 5), per le condizioni seguenti (medie della Pianura Padana).

- inverno (90 giorni): 20°C, 70% U.R. interno; 2°C, 80% U.R. esterno
- estate (90 giorni): 22°C, 70% U.R. interno ed esterno

Dall'App. 1 si prendono, prudenzialmente, i valori più bassi di μ per gli strati interni e i più alti per quelli esterni. Il prospetto seguente riporta tutti i dati, in base ai quali si costruisce il diagramma di Glaser (fig. 14).

	Spes- sore s m	λ W m K	R m ² K W	μ	μ_{is} m	Inverno			Estate			
						t °C	l °C	Press. vap. (Pa) sat parz.	t °C	Press. vap. (Pa) sat. parz.		
Condizioni interne						20.00		2340	1638	22	2645	1852
Res. superficiale inter			0,123			1,2						
Intonaco	0,01	0,35	0,029	10	0,1	0,3	18,8	2171				
Forati	0,05		0,100	5	0,25	1,0	18,5	2132				
EPS 15	0,06	0,045	1,111	20	1,0	11,1	17,5	2001				
Calcestruzzo	0,10	0,50	0,200	150	15	1,9	6,4	961				
Calcestruzzo	0,10	0,55	0,180	150	15	1,9	4,5	843		22	2645	2645
Intonaco di calce e cemento	0,02	0,90	0,022	35	0,7	0,2	2,6	737				
Res. superficiale ester			0,043			0,4	2,4	727				
Condizioni esterne						0,4	2	705	564	22	2645	1852
	0,35		1,810									

L'andamento invernale delle pressioni di vapore deve passare per il punto in cui la linea di saturazione traversa l'interfaccia EPS/cfs. Si ha quindi condensazione (quadro 6-B).

Il flusso di vapore dall'interno al piano di condensazione è:

$$i_i = \frac{p_i - p_c}{1,5 \cdot 10^6 (\Sigma \mu)_{is}} = \frac{1638 - 961}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,35} = 0,334 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$$

e quello dal piano di condensazione all'esterno:

$$i_e = \frac{p_c - p_e}{1,5 \cdot 10^6 (\Sigma \mu)_e} = \frac{961 - 564}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 30,7} = 0,009 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ h}$$

(Segue)

(Segue Esempio 10)

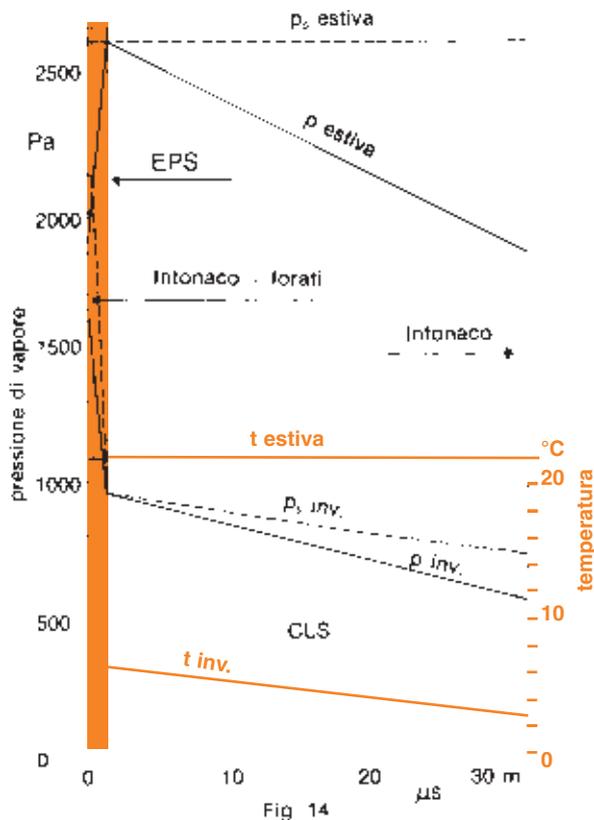


Fig. 14

$$W = 2160 (0,334 - 0,009) \cdot 10^{-3} = 0,702 \text{ kg/m}^2$$

Nella stagione estiva, di pari durata, si avrà una evaporazione, sia verso l'esterno che verso l'interno:

$$i_i = \frac{1852-2645}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,35} = 0,392 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ h}$$

$$i_e = \frac{2645-1852}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 30,7} = 0,017 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ h}$$

$$W = 2160 (0,392 - 0,017) \cdot 10^{-3} = 0,883 \text{ kg/m}^2$$

che è superiore alla condensazione invernale.

La situazione di condensazione invernale può essere eliminata inserendo fra intonaco interno e forati uno strato di elevata resistenza al vapore (barriera vapore), ma di resistenza termica trascurabile, per esempio un foglio di cartone bitumato da 3 mm di spessore ($\mu = 20,000$; $\mu s = 60 \text{ m}$). Il grafico si modifica come in fig. 15 (attenzione alla diversa scala delle ascisse). Ora non esiste più il pericolo di condensazione.

Lo stesso risultato potrebbe essere ottenuto portando all'esterno lo strato di EPS (rivestimento "a cappotto"). Le temperature alle interfacce sono ora diverse, come mostra la fig. 16 (sono stati eliminati il tavolato e l'intonaco esterno); come conseguenza le pressioni di saturazione sono anche qui ovunque superiori a quelle effettive e non si ha condensazione interna.

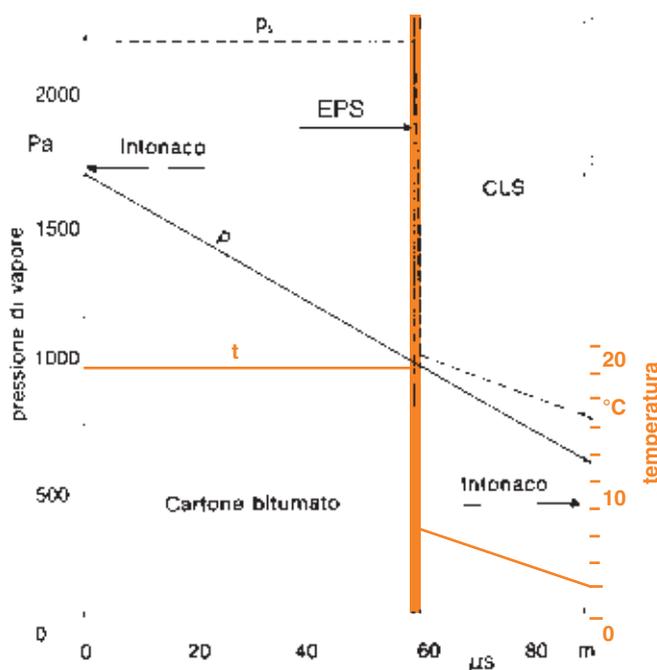


Fig. 15

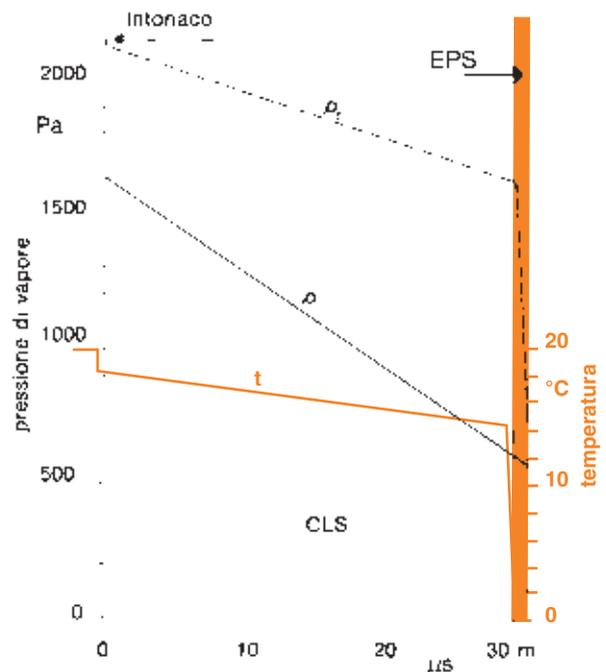


Fig. 16

Quadro 6 - Condensazione ed evaporazione nelle murature. Casi possibili del diagramma di Glaser secondo DIN 4108 parte 5

i_i, i_e, i_c : flusso di vapore relativo rispettivamente alle superfici interna - esterna e alla zona fra due piani di condensazione, positivi se diretti dall'ambiente interno a quello esterno ($\text{Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$).

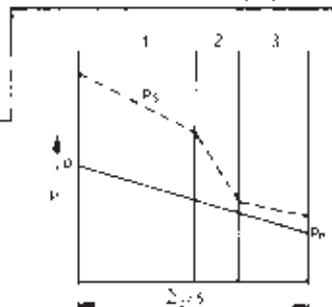
p_i, p_e, p_1, p_2 : Pressioni parziali del vapore rispettivamente sulle superfici interna ed esterna e in corrispondenza dei piani di condensazione e pressione di saturazione (Pa)

$\Sigma(\mu s), (\Sigma\mu s)_1, (\Sigma\mu s)_2, (\Sigma\mu s)_3$: spessori equivalenti, rispettivamente della parete, degli strati tra la superficie interna e il piano di condensazione, fra piano di condensazione e superficie esterna e fra due piani di condensazione (m).

H: durata della stagione (ore)

W: quantità di acqua condensata o evaporata in una stagione (kg/m^2).

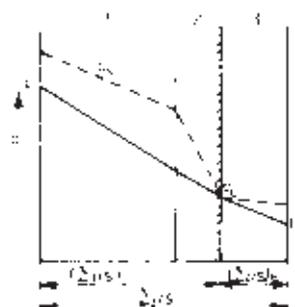
CASO A - La pressione parziale nella parete è in ogni punto inferiore alla pressione di saturazione p_s . Non si ha condensazione invernale, quindi non è necessario verificare l'evaporazione estiva.



CASO B - Condensazione in un piano (fra gli strati 2 e 3)

$$i_i = \frac{p_i - p_1}{1,5 \cdot 10^6 (\Sigma\mu s)} \quad i_e = \frac{p_2 - p_e}{1,5 \cdot 10^6 (\Sigma\mu s)_e}$$

Le relazioni valgono anche per la fase di evaporazione, in cui risulta generalmente negativo.

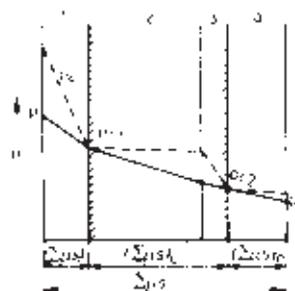


CASO C - Condensazione in due piani (fra gli strati 1 e 2 e fra gli strati 3 e 4)

$$j = \frac{p_i - p_1}{1,5 \cdot 10^6 (\Sigma\mu s)} \quad i_1 = \frac{p_1 - p_2}{1,5 \cdot 10^6 (\Sigma\mu s)_1} \quad i_2 = \frac{p_2 - p_3}{1,5 \cdot 10^6 (\Sigma\mu s)_2}$$

Condensazione nei due piani:
 $W_{1,2} = H (i_1 - i_2)$ $W_{3,4} = H (i_2 - i_3)$

Le relazioni valgono anche per la fase di evaporazione.



CASO D - Condensazione in una zona

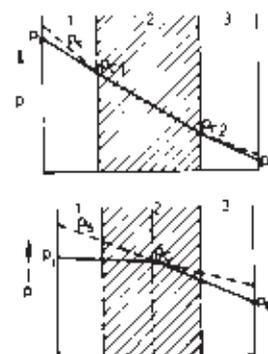
$$i_i = \frac{p_i - p_1}{1,5 \cdot 10^6 (\Sigma\mu s)} \quad i_e = \frac{p_2 - p_e}{1,5 \cdot 10^6 (\Sigma\mu s)_e}$$

$$W = H (i_1 - i_2)$$

Evaporazione di una zona

$$j = \frac{p_i - p_1}{1,5 \cdot 10^6 [(\Sigma\mu s)_1 - 0,5 (\Sigma\mu s)_2]} \quad i_e = \frac{p_2 - p_e}{1,5 \cdot 10^6 [0,5 (\Sigma\mu s)_2 + (\Sigma\mu s)_e]}$$

$$W = H (i_1 - i_2)$$



NORMA CTI - UNI 10351

DEFINIZIONI

Prodotto: manufatto, costituito da uno o più materiali, di geometria e dimensioni date e comprendente eventuali rivestimenti o finiture, nella sua forma finale pronto per l'uso.

Materiale: componente di un prodotto, indipendentemente dalla sua presentazione, geometria e dimensioni, senza rivestimenti o finiture.

Conduttività termica misurata λ : conduttività apparente misurata o misurabile in laboratorio su campioni di spessore uguale o maggiore a 100 mm., alle temperature di 283 K (10°C) e 313 K (40°C). In aggiunta a quanto previsto dalle norme citate, la differenza di temperatura tra le facce delle provette, deve essere maggiore di 15 K per materiali la cui massa volumica sia minore di 300 kg/m³; inoltre l'umidità percentuale in massa, al termine della prova, su materiali inorganici, deve essere inferiore al 2%.

Conduttività termica tabulata λ_t : conduttività termica apparente da considerare nel caso di prodotto non certificato o non identificato. I valori di λ_t definiscono il limite superiore della conduttività apparente misurata o misurabile nelle condizioni citate.

Valore termico dichiarato: valore previsto della conduttività termica o della resistenza termica dichiarato dal produttore di un materiale o prodotto che rispetti le seguenti condizioni:

- sia desunto da dati misurati in condizioni di temperatura e umidità specificate;
- sia dato per un frattile e livello di confidenza stabiliti;
- sia corrispondente ad una ragionevole vita utile in normali condizioni di esercizio.

Maggiorazione percentuale "m": maggiorazione da impiegare nei calcoli in relazione a: condizione di temperatura reale e di effettivo impiego del prodotto; protezione dagli agenti atmosferici; durata utile del prodotto. Essa tiene pertanto conto di: invecchiamento, contenuto di umidità e delle tolleranze sullo spessore nominale. È da utilizzare per la correzione della conduttività termica tabulata λ_t .

Valore termico di progetto: valore della conduttività termica o della resistenza termica di un materiale o prodotto da utilizzare nel progetto, tale valore è desunto da:

- valore termico dichiarato ricondotto alle condizioni esterne ed interne di esercizio adottate nel progetto.
- valore tabulato corretto con la maggiorazione percentuale "m".

Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ : rapporto adimensionale tra il valore di permeabilità al vapore d'acqua dell'aria e il valore di permeabilità del materiale omogeneo considerato.

Permeabilità al vapore acqueo: misura della quantità di vapore trasmessa per unità di tempo riferita a 1 m di spessore attraverso un'area unitaria quando la differenza di pressione tra le due facce del provino è pari a 1 Pa. È espressa in milligrammi al metro all'ora e al pascal.

Massima temperatura di impiego: la più alta temperatura alla quale il prodotto isolante può essere sottoposto mantenendo le proprie caratteristiche di funzionamento entro i limiti di specifica di prodotto nelle condizioni di applicazione e di spessore previsti.

Specifiche di prodotto: elencazione delle caratteristiche tecniche di ciascun tipo di prodotto con riferimento ai metodi di misura, ai valori e/o alle tolleranze ammissibili.

Isotropia: caratteristica di un materiale di presentare proprietà uguali, entro i limiti misura, nelle tre direzioni.

Valori tabulati

Nel prospetto sono riportate sei colonne contenenti i dati di:

- massa volumica indicativa ρ del materiale;
- permeabilità alla diffusione del vapore δ ;
- conduttività λ ;
- maggiorazione percentuale m ;
- conduttività di progetto λ utile

Massa volumica del materiale, ρ

Per la determinazione della massa volumica del materiale secco riferirsi alle specificazioni tecniche dei vari materiali.

Per la determinazione della massa volumica indicativa necessaria per l'individuazione dei materiali elencati in tabella far riferimento alle note relative riportate nel prospetto.

Permeabilità alla diffusione del vapore

I valori del fattore di resistenza alla diffusione del vapore sono ricavati dalla permeabilità in campo asciutto (determinata nell'intervallo di umidità relativa 0-50%).

Le verifiche del comportamento igrotermico dei prodotti si effettuano utilizzando i valori di permeabilità al vapore o i fattori di resistenza alla diffusione del vapore in campo asciutto.

In caso di possibili significative variazioni della grandezza è riportato un intervallo indicativo del campo di variabilità della stessa. La permeabilità si ricava dal fattore di resistenza alla diffusione del vapore attraverso la relazione $\delta_{mat} = \delta_{aria}/\mu$.



Conduttività termica λ

La colonna della conduttività termica tabulata si riferisce alla conduttività apparente misurata o misurabile in laboratorio su campioni di spessore uguale o maggiore di 10 cm, alla temperatura media di 283K.

I valori λ hanno valore indicativo poiché non è possibile identificare tutte le tecnologie di produzione e tutti i tipi di materiali esistenti sul mercato.

Maggiorazione percentuale m

La colonna della maggiorazione percentuale, m, tiene conto, del contenuto percentuale di umidità, in condizioni medie di esercizio, espressa in massa di acqua riferita alla massa del materiale secco (minore dell'1% per laterizi, da 2 a 5% per calcestruzzi e malte, umidità di equilibrio con un ambiente a 293 K e 65% di umidità relativa per isolanti leggeri, salvo diversa indicazione data in prospetto); tiene conto

inoltre dell'invecchiamento, del costipamento dei materiali sfusi, della manipolazione per una installazione eseguita a regola d'arte.

Per i materiali a bassa densità apparente riporta il valore riferito allo spessore di 10 cm. Valori di conduttività misurati su spessori inferiori a 10 cm possono infatti risultare inferiori a quelli tabulati.

Non tiene invece conto delle tolleranze sulle masse volumetriche nominali. Se le effettive condizioni di esercizio del materiale o del manufatto non coincidono con quelle indicate, occorre ricalcolare i coefficienti di correzione m.

Conduttività di progetto λ utile

La colonna delle conduttività di progetto λ è stata ricavata applicando le maggiorazioni m alla conduttività λ .

Vengono riportati alcuni dati dalla norma soprari-cordata.

N°	DESCRIZIONE	Massa	λ	m	λ utile	δu (10^{12})
		volumica	W/mK	%	W/mK	Kg/msP
		Kg/mq				
1	Polistirene espanso sinterizzato per alleggerimento stutture	15	0.041	10%	0.045	3,6 a 9
2	Polistirene espanso sinterizzato in lastre ricavate da blocchi, conforme a UNI	20	0.037	10%	0.041	2,5 a 6
3	Polistirene espanso sinterizzato in lastre ricavate da blocchi, conforme a UNI	25	0.036	10%	0.040	2,5 a 6
4	Polistirene espanso sinterizzato in lastre ricavate da blocchi, conforme a UNI	30	0.036	10%	0.040	1,8 a 4,5
5	Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi	10	0.051	10%	0.056	3,6 a 9
6	Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi	15	0.043	10%	0.047	2,5 a 6
7	Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi	20	0.04	10%	0.044	1,8 a 4,5
8	Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi	25	0.039	10%	0.043	1,8 a 4,5
9	Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi	30	0.038	10%	0.042	1,8 a 4,5
10	Polistirene espanso, in lastre stampate per termocompressione	20	0.036	10%	0.040	1,8 a 4,5
11	Polistirene espanso, in lastre stampate per termocompressione	25	0.035	10%	0.039	1,8 a 4,5
12	Polistirene espanso, in lastre stampate per termocompressione+C33	30	0.035	10%	0.039	1,8 a 4,5
13	Polistirene espanso estruso, con pelle	30	0.031	15%	0.036	1,8 a 4,5
14	Polistirene espanso estruso, con pelle	35	0.03	15%	0.034	1,8 a 4,5
15	Polistirene espanso estruso, senza pelle	30	0.037	15%	0.041	0,6 a 22
16	Polistirene espanso estruso, senza pelle	50	0.028	20%	0.034	0,6 a 22
17	Poliuretano in lastre ricavate da blocchi	25	0.031	10%	0.034	1 a 2
18	Poliuretano in lastre ricavate da blocchi	32	0.023	40%	0.032	1 a 2
19	Poliuretano in lastre ricavate da blocchi	40	0.022	45%	0.032	1 a 2
20	Poliuretano in lastre ricavate da blocchi	50	0.022	45%	0.032	1 a 2
21	Poliuretano espanso in situ	37	0.023	50%	0.035	1,8 a 6
22	Feltri resinati in fibre di vetro	11	0.048	10%	0.053	150
23	Feltri resinati in fibre di vetro	14	0.044	10%	0.048	150
24	Feltri resinati in fibre di vetro	16	0.042	10%	0.046	150
25	Pannelli semirigidi in fibra di vetro	16	0.042	10%	0.046	150
26	Pannelli semirigidi in fibra di vetro	20	0.039	10%	0.043	150

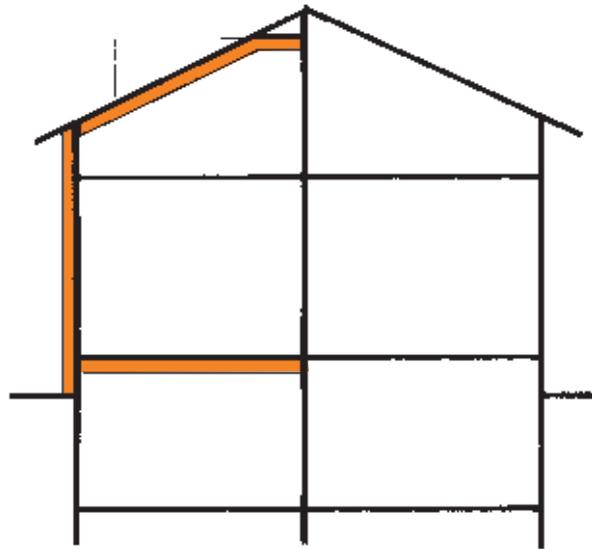
ELEMENTI DI ISOLAMENTO TERMICO DELLE COSTRUZIONI

N°	DESCRIZIONE	Massa volumica	λ	m	λ_{utile}	$\delta u (10^{12})$
		Kg/mq	W/mK	%	W/mK	Kg/msP
27	Pannelli semirigidi in fibra di vetro	30	0.036	10%	0.040	150
28	Pannelli rigidi in fibra di vetro	100	0.035	10%	0.038	150
29	Feltri resinati in fibre minerali di rocce feldspatiche	30	0.041	10%	0.045	150
30	Feltri resinati in fibre minerali di rocce feldspatiche	35	0.04	10%	0.044	150
31	Pannelli semirigidi in fibre minerali di rocce feldspatiche	40	0.038	10%	0.042	150
32	Pannelli semirigidi in fibre minerali di rocce feldspatiche	55	0.036	10%	0.040	150
33	Pannelli rigidi in fibre minerali di rocce feldspatiche	80	0.035	10%	0.039	150
34	Pannelli rigidi in fibre minerali di rocce feldspatiche	100	0.034	10%	0.037	150
35	Pannelli rigidi in fibre minerali di rocce feldspatiche	125	0.034	10%	0.037	150
36	Pannelli a fibre orientate in fibre minerali di rocce feldspatiche	100	0.044	10%	0.048	150
37	Feltri trapuntati in fibre minerali di rocce basaltiche	60	0.037	20%	0.044	150
38	Feltri trapuntati in fibre minerali di rocce basaltiche	80	0.037	20%	0.044	150
39	Feltri trapuntati in fibre minerali di rocce basaltiche	100	0.038	20%	0.046	150
40	Feltri in fibre minerali da loppe di altoforno	40	0.049	4%	0.051	150
41	Pannelli semirigidi e rigidi in fibre minerali da loppe di altoforno	40	0.049	10%	0.054	150
42	Pannelli semirigidi e rigidi in fibre minerali da loppe di altoforno	60	0.044	10%	0.048	150
43	Pannelli semirigidi e rigidi in fibre minerali da loppe di altoforno	80	0.042	10%	0.046	150
44	Pannelli semirigidi e rigidi in fibre minerali da loppe di altoforno	100	0.042	10%	0.046	150
45	Pannelli semirigidi e rigidi in fibre minerali da loppe di altoforno	150	0.044	10%	0.048	150
46	Polietilene espanso estruso in continuo, non reticolato	30	0.042	20%	0.050	1 a 2
47	Polietilene espanso estruso in continuo, non reticolato	50	0.05	20%	0.060	1 a 2
48	Polietilene espanso estruso in continuo, non reticolato	33	0.04	20%	0.048	1 a 2
49	Polietilene espanso estruso in continuo, non reticolato	50	0.048	20%	0.058	1 a 2
50	Cloruro di polivinile espanso rigido in lastre	30	0.032	20%	0.038	1 a 2
51	Cloruro di polivinile espanso rigido in lastre	40	0.035	20%	0.042	1 a 2
52	Argilla espansa in granuli	280	0.08	15%	0.092	187.5
53	Argilla espansa in granuli	330	0.09	15%	0.104	187.5
54	Argilla espansa in granuli	450	0.1	15%	0.115	187.5
55	Fibre di cellulosa costipata per strati orizzontali	32	0.04	45%	0.058	187.5
56	Perlite espansa in granuli	100	0.055	20%	0.066	187.5
57	Polistirolo espanso in granuli	15	0.045	20%	0.054	187.5
58	Pomice naturale	400	0.08	20%	0.096	187.5
59	Scorie espanse	600	0.064	20%	0.077	187.5
60	Vermiculite espansa in granuli	80	0.068	20%	0.082	187.5
61	Vermiculite espansa in granuli	120	0.069	20%	0.083	187.5
9	Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri	800	0.12	20%	0.14	2.60
10	Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri	900	0.13	20%	0.16	2.60
11	Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri	1000	0.15	20%	0.18	2.60
12	Pannelli di lana di legno con leganti inorganici	300	0.071	20%	0.09	36 a 90
13	Pannelli di lana di legno con leganti inorganici	350	0.076	20%	0.09	36 a 90
14	Pannelli di lana di legno con leganti inorganici	400	0.081	20%	0.10	36 a 90
15	Pannelli di lana di legno con leganti inorganici	500	0.091	20%	0.11	36 a 90
16	Pannelli di spaccato di legno e leganti inorganici	400	0.09	30%	0.12	36 a 90
17	Pannelli di spaccato di legno e leganti inorganici	500	0.11	30%	0.14	36 a 90
18	Pannelli di spaccato di legno e leganti inorganici	600	0.12	30%	0.16	36 a 90
19	Pannelli di particelle pressati	500	0.083	20%	0.10	1,8 a 3,6
20	Pannelli di particelle pressati	600	0.1	20%	0.12	1,8 a 3,6
21	Pannelli di particelle pressati	700	0.13	20%	0.16	1,8 a 3,6
22	Pannelli di particelle estrusi	700	0.14	20%	0.17	9.00
23	Pannelli di legno compensato (espanso duro)	90	0.039	10%	0.04	6,7 a 10
24	Pannelli di legno compensato (espanso con leganti)	130	0.041	10%	0.05	4,0 a 21
25	Pannelli di legno compensato	200	0.047	10%	0.05	4,0 a 21



2.

**ISOLAMENTO TERMICO
CON EPS
NEL RECUPERO EDILIZIO**



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni si è affermato in tutto l'occidente, e l'Italia non ha fatto eccezione, la tendenza a riportare i vecchi edifici ad un livello di prestazioni adeguato alle esigenze cresciute o comunque cambiate, in contrasto con le precedenti tendenze di abbandonare questi edifici al loro destino di degrado e costruire ex novo altrove.

Questo "altrove" ha significato in generale il sacrificio di aree verdi, l'aggravarsi dei problemi di urbanizzazione e di trasporto, la perdita di luoghi e occasioni di socializzazione. Ne è seguita la riscoperta dei valori dei vecchi edifici e dei vecchi centri e si è visto che ben spesso questi valori compensano il costo delle ristrutturazioni, talvolta di per sé più alto di quello di costruzioni nuove equivalenti.

I vincoli che si presentano in ogni operazione di ristrutturazione e devono essere osservati (aspetto, volumetrie, ecc.), le condizioni delle vecchie strutture (materiali e tecniche costruttive desueti, ecc.) e i problemi (statici, termoigrometrici, ecc.), che si presentano, sono peraltro sempre impegnativi; il buon progettista di ristrutturazioni deve possedere una somma di conoscenze molto diversificate, a partire da quelle urbanistiche e architettoniche, a quelle strutturali (di ieri e di oggi), impiantistiche e di materiali, vecchi e nuovi, su cui e con cui intervenire. Gli aspetti termoigrometrici degli interventi sono quasi sempre presenti e, accanto a quelli più propriamente impiantistici, ci sono quelli di coibentazione, per la necessità di adeguare il comportamento dell'involucro dell'edificio, non soltanto alle mutate esigenze di benessere ambientale e di risparmio energetico, ma anche alle diverse situazioni di occupazione e di gestione dell'edificio; si pensi p. es, all'accresciuta produzione di vapore acqueo negli usi delle famiglie di oggi e al concomitante ridotto numero di ricambi d'aria praticato attualmente, con i conseguenti problemi igrometrici, superficiali ed interni dell'involucro, che oltre tutto spesso non è modificabile e talvolta nemmeno ben conosciuto nella sua struttura.

Questi problemi igrotermici non sussistono soltanto negli edifici più vecchi, orientativamente quelli anteriori alla seconda guerra mondiale, che hanno di solito anche problemi di organizzazione degli spazi interni e dei servizi, ma anche, e in misura forse maggiore, negli edifici costruiti nei primi decenni dopo la guerra.

In questo periodo la fame di alloggi, congiunta alla disponibilità di energia a bassissimo prezzo, ha prodotto una grande quantità di edifici caratterizzati da un basso isolamento termico, mentre, in conseguenza della scarsa esperienza nel nuovo modo di

costruire, veniva trascurata ogni attenzione ai problemi del controllo igrometrico dell'involucro (ponti termici, condense, movimenti differenziali). Questi edifici, mentre corrispondono ancora abbastanza alle esigenze attuali per quanto riguarda volumetrie e disposizione degli spazi interni e dei servizi, hanno ben presto svelato le loro carenze, con degradi di aspetto esterno ed interno e talvolta anche con compromissione della stabilità e questi aspetti sono apparsi più evidenti quando, in seguito alla crisi energetica iniziata negli anni '70, è emerso quanto sia oneroso, con i costi moltiplicati dell'energia, mantenere all'interno il livello di benessere che oggi si richiede.

Con le disposizioni legislative emanate dopo la crisi energetica, i progettisti hanno incominciato lentamente (e ancora insufficientemente) a prendere coscienza di questi problemi e a costruire in modo più adeguato.

Il problema della riabilitazione energetica del grande parco edilizio costruito fra gli anni '50 e '70 è comunque uno dei più importanti, forse il più importante quantitativamente, fra i compiti del recupero edilizio, anche se in un certo senso meno complesso dei problemi del recupero dei vecchi centri storici.

In tutti i casi l'isolante termico ha un ruolo di primaria importanza. Fra i materiali maggiormente qualificati per questi impieghi vi è certamente il Polistirene Espanso Sinterizzato (EPS). Lo scopo è appunto quello di mettere in luce le caratteristiche generali che rendono il EPS particolarmente idoneo in questo settore delle costruzioni e di illustrare le modalità applicative che più frequentemente si riscontrano nel recupero edilizio, vuole essere soprattutto una guida introduttiva per chi si accinge a trattare un problema di recupero edilizio dal punto di vista termoigrometrico ed energetico.

L'ISOLAMENTO TERMICO NEL RECUPERO EDILIZIO

Quando si interviene su un edificio esistente, molti sono i motivi per prendere in considerazione un'operazione di coibentazione termica, ed è utile considerarli fin dall'inizio, per orientare meglio le decisioni da prendere e giustificarle.

Convenienza economica

È un motivo che dovrebbe essere sempre presente e anzi può essere anche il solo movente dell'operazione di recupero.

Fondamentalmente il criterio per decidere della con-



venienza economica di un intervento di isolamento termico sull'esistente consiste nel confrontare il costo dell'operazione con il valore attualizzato dei risparmi nel consumo di energia per il riscaldamento dell'edificio, durante gli anni di vita utile previsto per l'intervento. Ciò può essere fatto con una delle varie formule che la matematica finanziaria propone e che sono illustrate successivamente.

In questa valutazione vari aspetti particolari, propri dell'intervento sull'esistente, devono essere tenuti presenti:

- esecuzione in concomitanza di altri interventi ritenuti per sé necessari, come il rifacimento di una facciata o di una copertura; in questi casi il maggior costo dovuto all'isolamento è limitato al puro costo dell'isolante e della sua posa, con esclusione dei costi di ponteggio, preparazione dell'esistente, finitura, ecc.;
- accesso a contributi a fondo perduto;
- aumento di valore dell'edificio che offre un maggior benessere abitativo rispetto alla situazione precedente all'intervento; sebbene meno facilmente quantificabile rispetto al puro risparmio energetico e spesso difficilmente separabile dall'incremento di valore dovuto ad altri interventi concomitanti, è tuttavia un fattore da tenere presente.

Nel procedere alla valutazione occorre considerare separatamente ciascun intervento che influisca sul risparmio energetico, cioè quelli sulle diverse parti dell'involucro e quelli di tipo impiantistico, così da evidenziare una graduatoria di convenienza e decidere in conseguenza quali interventi attuare; se fra gli interventi considerati ve ne sono alcuni, impiantistici o di isolamento, giustificati da considerazioni diverse da quelle del puro tornaconto (p.es sostituzione del generatore con altro di maggior rendimento, isolamento in concomitanza con rifacimenti di facciate o di infissi, ecc.), ma che comunque contribuiscono a ridurre la dispersione termica dell'edificio, le valutazioni di convenienza degli altri interventi di isolamento devono essere fatte con riferimento a questo livello di dispersione già ridotto.

Benessere abitativo

Il benessere (o comfort) abitativo, che è richiesto oggi è decisamente superiore a quello (previsto o casuale) disponibile nella quasi totalità degli ambienti di costruzione meno recente. Per quanto riguarda l'aspetto igrotermico, che di solito è il principale, le sue componenti sono oggi meglio conosciute e in particolare è stata messa in evidenza, accanto alle caratteristiche dell'aria e dell'ambiente (temperatura, umidità, velocità), l'importanza della

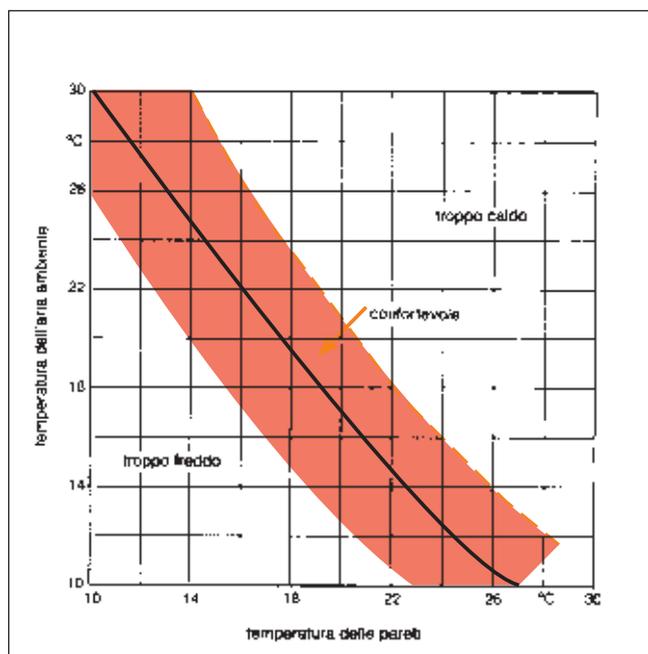


Fig. 1

temperatura della superficie delle pareti del locale, perché non è trascurabile la componente di scambio termico fra una persona e l'ambiente dovuta all'irraggiamento fra il corpo e le superfici del locale (Fig. 1). Ciò si esprime in modo approssimato considerando come parametro del benessere abitativo non la temperatura dell'aria del locale, ma la media (detta temperatura operante), fra questa e la temperatura media delle superfici (detta temperatura media radiante). Per avere la stessa sensazione di benessere in un locale con pareti più fredde occorre quindi mantenere una temperatura dell'aria più elevata (e ogni grado in più significa mediamente il 7% in più di dispendio di energia calorifica), ovvero, se la temperatura dell'aria è limitata a 20°C., come è per legge nelle abitazioni, in presenza di pareti molto fredde la condizione di benessere non potrà essere raggiunta.

Si deve poi riconoscere che non conta soltanto la temperatura media delle superfici, ma può influire negativamente anche la temperatura più bassa della media di alcune zone limitate delle superfici stesse, che si trovano in corrispondenza di sezioni dell'involucro caratterizzate da una resistenza termica particolarmente bassa (ponti termici, Fig. 2); queste zone influenzano direttamente lo scambio termico delle persone che stazionano nelle loro immediate vicinanze; inoltre sono spesso ad una temperatura inferiore alla temperatura di rugiada che compete al contenuto di umidità dell'ambiente, con conseguenza immediata di condensa superficiale (Fig. 3), cui fa

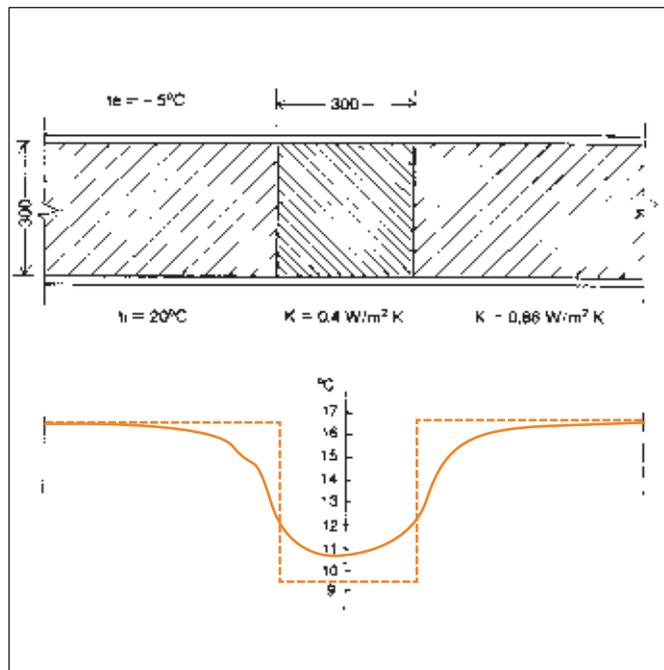


Fig. 2

seguito il fissaggio di polvere, quindi macchie, formazione di muffe e degrado della finitura. Vengono così compromesse altre componenti del benessere, quali quella igienica e quella estetica. Se questa è la situazione di buona parte delle vec-

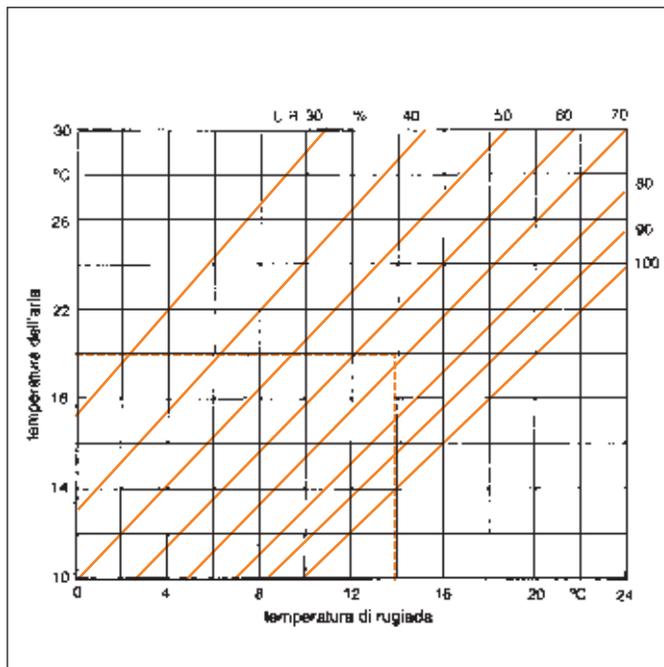


Fig. 3 - Temperatura di rugiada per aria a varie temperature e umidità.

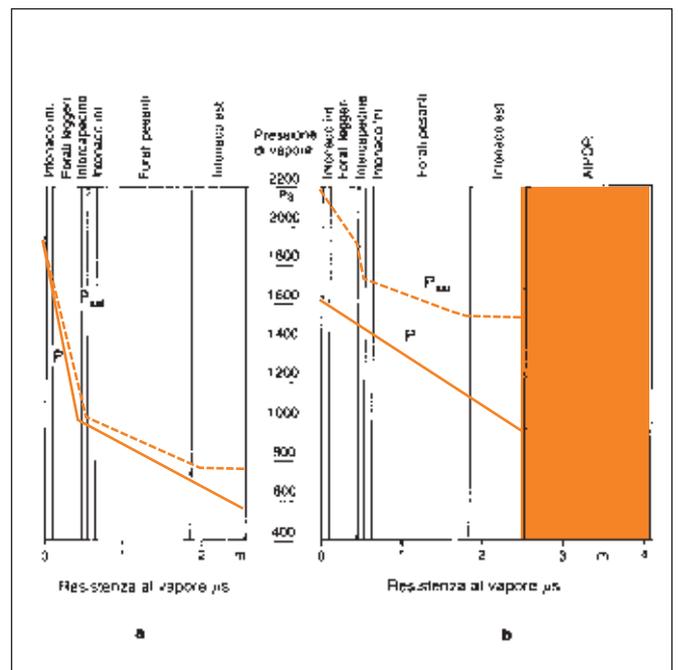


Fig. 4 - Condensazione di umidità in muratura non isolata e sua eliminazione con isolamento esterno.

chie pareti, il rimedio unico consentito della limitazione della temperatura dell'aria ambiente consiste nell'aumentare la resistenza termica delle pareti stesse, cioè nell'aggiunta di isolamento termico.

Risanamento strutturale

L'edificio vecchio presenta spesso degradi di suoi componenti che ne compromettono non soltanto l'uso e l'aspetto, ma anche la sicurezza e la ulteriore durata nel tempo. Sono situazioni che richiedono un intervento, indipendentemente dei motivi di isolamento prima elencati; tuttavia in molti casi alla loro origine vi è un difetto di isolamento e i rimedi comportano un miglioramento di quest'ultimo con l'introduzione di uno specifico strato coibente.

I casi principali sono:

- pareti e coperture con condensazione nel loro spessore di umidità proveniente dall'interno; si tratta di pareti e coperture che, in concomitanza con una resistenza al passaggio del vapore troppo elevata nei loro strati più esterni, possono scendere al loro interno a temperature più basse di quelle di saturazione del vapore. La conseguenza è uno scadimento delle caratteristiche, sia strutturali, che estetiche e di isolamento. Il procedimento, detto "diagramma di Glaser" permette di mettere in evidenza il probabile insorgere di queste situazioni. Il rimedio (Fig. 4) chiara-

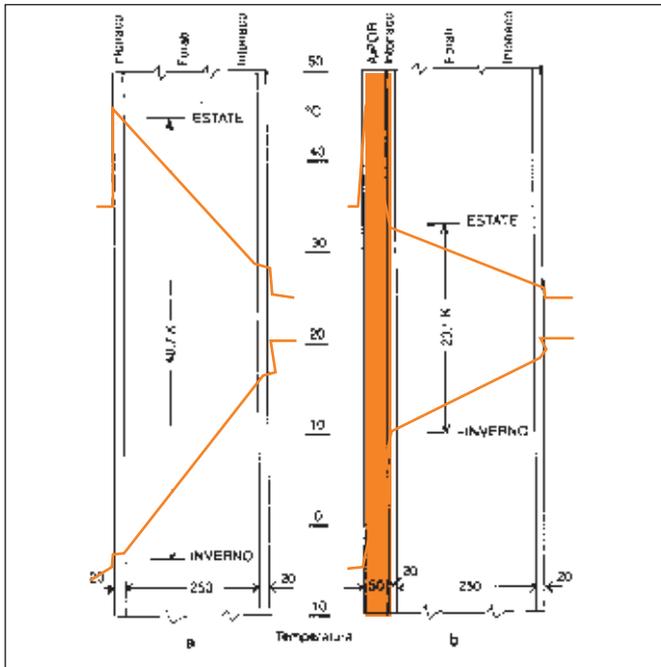


Fig. 5 - Escursioni termiche annuali di una parete non isolata e con isolamento esterno.

mente consiste nell'aggiungere uno strato isolante, eventualmente congiunto ad uno strato di barriera al vapore.

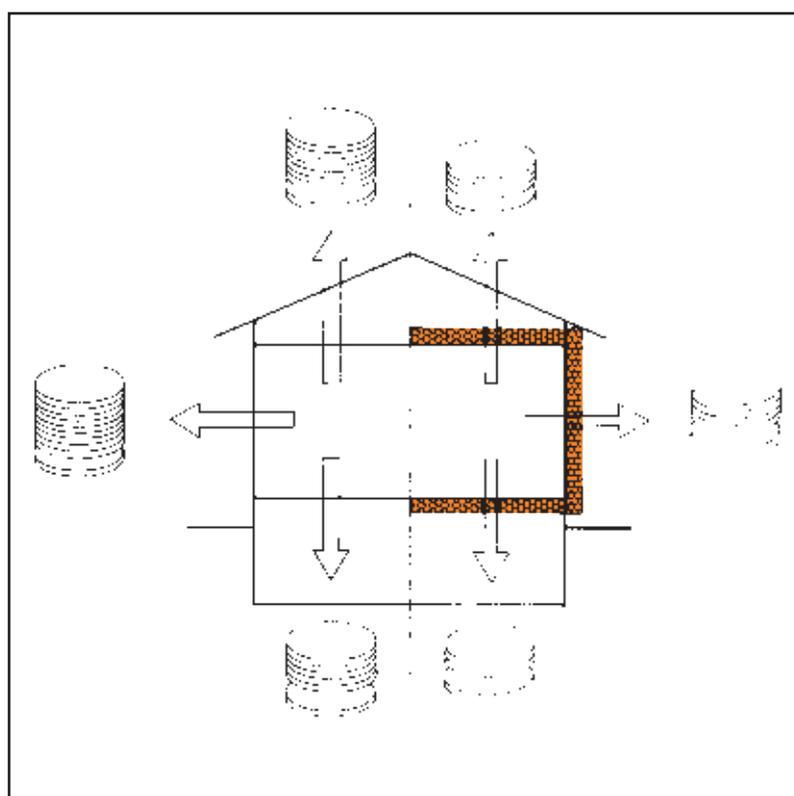
- pareti e coperture di costituzione eterogenea e/o con giunti di dilatazione insufficienti o inefficaci,

sono soggetti, negli strati esterni, ad escursioni termiche molto forti, con conseguenti movimenti differenziali non controllati; in pratica si originano fessurazioni che, a loro volta consentono infiltrazioni d'acqua e talvolta compromettono la stabilità stessa del componente; un esempio tipico è costituito dalle odierne costruzioni a scheletro in cemento armato e mattoni forati. In questi casi l'applicazione di un isolamento nella faccia esterna, riducendo drasticamente le escursioni termiche (Fig. 5), costituisce il rimedio più efficace e risolutivo.

- pareti e coperture con superfici esterne che di natura o per degrado presentano una insufficiente tenuta rispetto alle infiltrazioni della pioggia battente. In questi casi l'intervento principale consiste evidentemente nel rifacimento dello strato di tenuta (intonaco o impermeabilizzazione), ma, come si è fatto rilevare, l'occasione è da non perdere per inserire fra supporto e strato di tenuta uno strato coibente; con questa inserzione, a parte il beneficio derivato, ma non secondario, del risparmio energetico, l'isolante se è non igrofilo, può contribuire alla tenuta all'acqua e permette talvolta di fare a meno di asportare il vecchio strato di tenuta, che può essere lasciato sotto lo strato isolante; inoltre il supporto, che ha subito la conseguenza dell'infiltrazione d'acqua, trovandosi ora mediamente ad una temperatura più elevata, più facilmente e rapidamente si libera dell'eccesso di umidità trattenuta.

3.

DIMENSIONAMENTO ECONOMICO DELL'ISOLAMENTO TERMICO CON EPS



INTRODUZIONE

La limitazione delle dispersioni di calore degli edifici è un'esigenza ormai costante, sia nelle nuove costruzioni, che in quelle esistenti; le ragioni possono essere ridotte a tre fondamentali, peraltro generalmente interdipendenti e coesistenti;

- benessere abitativo;
- obblighi di legge;
- risparmio energetico.

Il benessere abitativo è un'esigenza il cui livello è andato crescendo negli ultimi decenni; questa esigenza, col tempo, influenza le regole dell'arte e si trasferisce nella normativa tecnica.

Gli obblighi di legge sono emersi a seguito della crisi energetica del 1973, con lo scopo preciso di ridurre i consumi e quindi l'importazione di fonti energetiche, ma essi sembrano destinati ad essere ancora rafforzati, a seguito dell'esigenza di controllare l'inquinamento atmosferico conseguente all'impiego dei combustibili.

Infine il risparmio nella gestione, sostanzialmente risparmio nell'energia necessaria per conseguire il benessere abitativo, è un'esigenza che tocca direttamente gli interessi di ciascun utente degli edifici.

La limitazione delle dispersioni termiche degli edifici, che è il mezzo principale per soddisfare le esigenze sopra ricordate, può essere ottenuta, nelle stesse situazioni, in modi diversi. È lecito allora, e in molti casi doveroso, porsi il problema di quale sia il modo più economico per raggiungere lo scopo prefissato; anzi, visto che, a fronte di un investimento, si otterrà nel tempo, oltre al soddisfacimento degli obblighi e il conseguimento del benessere abitativo, anche un vantaggio economico, ci si può domandare a quale livello di isolamento superiore a quello minimo imposto dalla legge, si trova, se esiste, il massimo di beneficio economico in rapporto all'investimento.

Questi problemi vengono trattati dalla scienza economica in via generale, con relazioni valide anche nel caso dell'isolamento termico degli edifici; esse pertanto verranno qui richiamate e considerate. Tuttavia non soltanto la scelta fra le diverse relazioni proposte, ma anche e sopra tutto i fattori da prendere in conto richiedono varie considerazioni, in relazione alle situazioni e ai punti di vista diversi che si possono presentare. Lo scopo del presente quaderno è appunto quello di esaminare questi aspetti e di esemplificarli in relazione all'impiego del Polistireno Espanso Sinterizzato di qualità controllata.

Ma anche sotto l'aspetto economico l'EPS è uno dei materiali preferiti, in quanto, oltre ad essere durevole e non idrofilo, accoppia un basso coefficiente di

conducibilità termica ad un costo, sia di materiale che di posa, fra i più bassi. Ciò fa sì che, per una data resistenza termica richiesta, fra i coibenti tecnicamente idonei per una certa applicazione, l'EPS risulti quasi sempre quello economicamente più conveniente. Questa considerazione relativa alla scelta fra diversi materiali, costituisce quindi già un criterio economico, semplice da enunciare e da verificare, come si vedrà chiaramente più avanti nel testo. I problemi relativi al dimensionamento economico dell'isolante scelto sono più complessi e ad essi fondamentalmente è dedicato il presente Quaderno.

LE MOTIVAZIONI

Diverse motivazioni sono alla base dell'interesse per gli aspetti economici dell'isolamento termico degli edifici; come conseguenza diversi sono i criteri per valutare tali aspetti.

Obblighi e necessità

In molti casi esistono dei minimi di isolamento termico, che possono essere stabiliti dalla Legge o anche quelli dettati dalle minime esigenze di benessere abitativo, quali possono essere definite dallo stato dell'arte o dalla richiesta dell'utenza.

Può darsi, anzi troppo spesso avviene, che la committenza non intenda scostarsi da questi valori minimi, per esempio perché ritiene di non poter superare certi limiti di investimento. In questo caso l'effetto ricercato è quello globale di contenere le dispersioni termiche dell'edificio entro certi limiti e, poiché l'isolamento ha un costo diverso per le diverse parti dell'edificio, ne consegue che il costo globale minimo si otterrà con una particolare strategia di isolamento delle diverse parti.

Ciò sarà in generale il risultato dell'analisi di costo di soluzioni diverse e porterà a definire un ordine di priorità fra i diversi interventi; in particolare, se il limite imposto è espresso in termini di dispersione termica, come prevede l'attuale legislazione italiana, le soluzioni saranno essenzialmente costruttive e riguarderanno, quando è possibile intervenire sulla impostazione generale, la forma dell'edificio (rapporto superficie/volume), il rapporto fra superficie trasparente e superficie totale, i volumi interrati, la posizione e l'orientamento dell'edificio, ecc.; se non si può influire su questi aspetti del progetto, la strategia si limiterà a considerare diverse entità di isolamento per le diverse parti in cui può essere scomposto l'involucro dell'edificio: in generale sarà più facile ed economico isolare le strutture orizzontali

rispetto alle pareti verticali e in queste le parti opache rispetto a quelle trasparenti. L'esempio 1, più avanti, mostra un'applicazione, molto semplificata, di queste considerazioni.

Se le limitazioni venissero invece espresse in termini di consumi energetici, come già fa qualche legislazione estera e si intende promuovere anche in Italia, poiché i consumi dipendono, oltre che dalle caratteristiche di isolamento dell'edificio, anche dal rendimento dell'impianto di produzione e distribuzione del calore, nella ricerca della strategia ottimale dovranno entrare anche le variabili impiantistiche; nel caso più semplice il rendimento del generatore di calore e dei sistemi di regolazione e distribuzione dello stesso, ma eventualmente anche i recuperi di calore del rinnovo d'aria e gli apporti gratuiti (solare e altri, attivi e passivi). Non è possibile entrare qui in tale più complessa problematica.

Interesse privato

Le considerazioni di strategia costruttivo-impiantistica valgono anche per chi voglia considerare le iniziative di risparmio energetico essenzialmente come un investimento; in questo caso però il termine di riferimento non è più un limite nelle dispersioni o nei consumi, bensì la redditività del capitale impiegato, che si dovrà cercare di massimizzare; soccorrono in questa valutazione alcuni indici ben noti nel campo finanziario (v. Quadro 1), dei quali si vedrà più avanti l'applicazione.

In generale con questi indici si dovranno mettere a confronto varie soluzioni, per trovare quella che si avvicina di più alla convenienza massima; come in generale ogni volta che si vuole confrontare una molteplicità di soluzioni, l'uso di uno specifico programma su calcolatore è un aiuto potente, se non indispensabile.

Nei casi più semplici, quando si tratti soltanto di trovare lo spessore ottimale di un isolante definito, da applicare ad una certa parete, è tuttavia possibile, e verrà mostrata, una soluzione analitica, che dà direttamente lo spessore più conveniente; è questo un indice che può indurre sia il privato a considerare la convenienza di andare oltre i limiti imposti dalla legge, sia l'autorità pubblica a rivedere tali limiti.

Le motivazioni dell'investitore possono essere diverse e quindi diversi anche i parametri di valutazione. Sostanzialmente si deve distinguere fra chi ha disponibilità di denaro da investire e chi lo deve prendere a prestito. Il primo in particolare dovrà confrontare la redditività dell'investimento in risparmio energetico con quella di altri tipi di investimento; per il privato l'alternativa sarà generalmente l'acquisto di titoli del debito pubblico o del mercato mobiliare, per

le società potrà consistere anche in investimenti connessi con le proprie attività.

L'investitore dovrà anche considerare quali possibilità ha di godere effettivamente dei benefici derivanti dall'investimento effettuato; ciò è abbastanza ovvio per il privato (singolo, condominio, società), che si troverà ad avere spese di gestione energetica ridotte; non così per l'imprenditore che pensa di vendere gli alloggi che costruisce o per il proprietario che li affitta; nell'attuale situazione di mercato e legislativa italiana questi operatori hanno purtroppo scarse possibilità di far valere il maggior valore dell'immobile caratterizzato da bassi consumi energetici; la "pagella energetica" di cui si parla in ambito europeo, dovrebbe essere il mezzo per qualificare e valorizzare gli edifici da questo punto di vista.

Interesse collettivo

Anche lo Stato, direttamente o tramite gli Enti Locali, è motivato ad interessarsi di risparmio energetico, mosso da considerazioni che, più o meno direttamente, possono essere ricondotte a ragioni economiche. In primo luogo, almeno storicamente, stanno le esigenze della bilancia dei pagamenti, sulla quale per l'Italia pesa fortemente la spesa energetica; la sua riduzione significherebbe la disponibilità sul mercato interno di una massa cospicua di risorse, con conseguenze evidenti sull'occupazione e sul tenore di vita. Ma stanno prendendo sempre più piede i motivi derivanti da considerazioni di protezione ambientale, a seguito della sempre maggior presa di coscienza delle conseguenze negative dei consumi energetici sulla qualità dell'ambiente. Tutto questo è difficilmente qualificabile in termini economici, tuttavia se ne possono indicare qualitativamente le componenti economiche: danni alla salute (spese mediche, giornate lavorative perdute, ecc.), danni all'ecosistema e al patrimonio edilizio e artistico.

Lo stato può intervenire per modificare questa situazione con vari mezzi con i quali influenzare il comportamento dei singoli decisori, sia ponendo limiti, come già detto, sia con incentivi (contributi a fondo perduto, tassi agevolati, sgravi fiscali), sia con disincentivi ai consumi energetici (tasse). Questa situazione deve essere tenuta presente in ogni valutazione economica dei singoli operatori motivati al risparmio energetico.

LE TECNICHE DI OTTIMIZZAZIONE

L'ottimizzazione degli interventi di risparmio energetico è basata sulle formule generali dell'analisi degli investimenti, di cui il Quadro 1 riporta quelle più usate per queste applicazioni.

DIMENSIONAMENTO ECONOMICO DELL'ISOLAMENTO TERMICO CON EPS

L'ottimizzazione si riduce in sostanza alla determinazione di alcuni indici, che permettono il confronto fra diverse soluzioni; quelli fondamentali sono:

- tempo di ritorno dell'investimento;
- valore netto attuale.

Il secondo indice considera, più correttamente, i benefici che si ricavano dall'intervento durante tutta la sua vita utile; il primo si presta maggiormente a rapidi confronti.

Il calcolo di questi indici e di quelli da essi derivati non presenta difficoltà.

La determinazione delle grandezze che compaiono nelle formule può peraltro presentarle e soltanto l'esperienza e la disponibilità di informazioni da parte dell'analista aiutano a superarle. Quanto segue serve sopra tutto a richiamare l'attenzione sugli aspetti di queste grandezze, che è utile o necessario considerare.

Quadro 1 - RELAZIONI DI MATEMATICA FINANZIARIA

Notazioni: I (Lit) capitale investito all'inizio dell'operazione

R (Lit/anno) risparmio nel 1° anno di esercizio

n (anni) vita utile dell'intervento

i (adim.) tasso di interesse reale = $(i' - y) / (1 + y)$, costante

i' (adim.) tasso di interesse nominale, costante

y (adim.) tasso di inflazione costante, valevole anche per il costo dell'energia

E (Lit/Kg) costo dell'energia nel 1° anno di esercizio

- 1 - Periodo per il ritorno del capitale e degli interessi passivi (Pay Back Period PBP)
- Anni n_r necessari perché i risparmi annuali eguagliano l'investimento. Se n_r è inferiore alla vita utile dell'isolamento, l'investimento è conveniente.

$$n_r = \frac{\ln \left(1 - \frac{I}{R} i \right)}{\ln \frac{1}{1 + i}}$$

- 2 - Periodo per il ritorno del solo capitale (Pay Back Period PBP). Formula semplificata per n_r , che non tiene conto del costo del denaro e dell'inflazione; utile per una prima valutazione, sopra tutto se i parametri trascurati sono incerti.

$$n_r = \frac{I}{R}$$

- 3 - Tasso di redditività immediato (Rate of Return ROR). Formula semplificata come la (2); l'investimento è conveniente se il tasso di redditività r è superiore al tasso reale di interesse.

$$r = 100 \frac{R}{I}$$

- 4 - Valore attuale netto (VAN) (Net Present Value NPV) - Valore attuale F dei flussi di cassa annuali nel periodo di vita utile. Se $F > 0$, l'isolamento conviene e F rappresenta il valore attuale del guadagno che si ottiene effettuando l'intervento. Indice sensibile alla stima del tasso di interesse reale.

$$f = R \frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} - I - fR - I$$

(Per i valori del fattore di attualizzazione f, v. tab. 1)

- 5 - Rapporto benefici/costi (Benefits/Cost Ratio BCR); è una elaborazione della (4); l'investimento è conveniente se il rapporto è maggiore di 1

$$\frac{fR}{I}$$

- 6 - Tasso interno di ritorno (Internal Rate of Return IRR); è quel tasso di interesse i per il quale i risparmi sono uguali ai costi; l'investimento migliore sarà quello che comporta il maggior tasso di ritorno.

Tasso i tale che
 $f = 0$ oppure
 $fR/I = 1$

- 7 - Costo del risparmio energetico (Costo of Energy Reduction CER); è il rapporto C fra l'investimento e la quantità di energia nR/E risparmiata nella vita utile dell'isolamento; se $C < E$, l'investimento è conveniente.

$$C = \frac{IE}{nR}$$



Investimento

È la somma I che si deve spendere per realizzare il risparmio energetico desiderato. Si suppone, nelle formule del Quadro 1, che l'investimento avvenga per intero all'inizio dell'operazione e che il valore residuo al termine della vita utile sia nullo; questo è il caso più comune quando si tratta di opere di isolamento termico.

Nel calcolare il costo dell'intervento effettuato ai fini del risparmio energetico, oltre alle normali difficoltà e incertezze comuni a tutti i lavori di preventivazione in edilizia, vi sono spesso difficoltà, sia a preventivo che a consuntivo, a delimitare quanto, dalle opere eseguite, è effettivamente pertinente soltanto al fine del risparmio energetico.

Si dovrebbe infatti definire un "intervento di riferimento", rispetto al quale calcolare il maggior investimento per risparmio energetico; tale intervento di riferimento potrebbe essere:

- una soluzione costruttiva che verrebbe altrimenti adottata, perché corrispondente, p. es., alla pratica corrente, o comunque considerata dall'operatore;
- un intervento che soddisfi le prestazioni minime obbligatorie (p. es. legge 10);
- nessun intervento, nel caso si voglia operare sull'esistente soltanto al fine del risparmio energetico.

Sempre a proposito di delimitazione dei costi, difficoltà possono sorgere a proposito dell'attribuzione o ripartizione di spese per lavori fatti in concomitanza con quelli finalizzati al risparmio energetico; può trattarsi di spese generali di cantiere, oppure di opere effettuate con lo scopo principale di un risanamento o ripristino di parti dell'edificio, in occasione delle quali è possibile aumentare la resistenza termica dell'involucro; è classico il caso del rifacimento dell'intonaco di facciata: quando ciò è ritenuto necessario per motivi estetici, di sicurezza o di risanamento della muratura, tutto l'impianto di cantiere, impalcati, pulitura del vecchio e applicazione del nuovo intonaco possono essere attribuiti allo scopo primario, addebitando al risparmio energetico soltanto il costo dell'isolante e accessori e della sua applicazione.

Sono infine da considerare in detrazione dell'investimento gli incentivi di cui è possibile usufruire in occasione di lavori finalizzati al risparmio energetico.

Risparmio di energia

La determinazione del risparmio annuo R sui costi di energia, dovuto all'intervento considerato richiede il calcolo della differenza fra le dispersioni termi-

che dell'edificio nel caso che è stato chiamato "intervento di riferimento" e quelle conseguenti all'intervento.

Ciò può essere fatto con metodi più o meno sofisticati, che saranno in generale quelli ritenuti necessari e usati per il dimensionamento, dal punto di vista energetico, delle varie parti dell'edificio e dell'impianto. Si può andare infatti da metodi di simulazione in regime variabile (p. es. il metodo MORE di simulazione oraria, sviluppato dal Progetto Finalizzato Energetico del CNR, basato su dati climatici orari locali di mesi tipo), necessari nei casi più complessi di edifici con condizionamento estivo e invernale, ai metodi più semplici, basati sui dati climatici minimi annuali e regime stazionario, come il metodo basato su norme che riguardano essenzialmente il consumo per il riscaldamento invernale.

In quest'ultimo caso il consumo di energia per il riscaldamento invernale dell'edificio può essere espresso con una relazione riportata nel Quadro 2 (formula 1). Questa relazione, espressa in termini di coefficienti volumici, permette confronti globali con le prestazioni dell'edificio caratterizzato da differenti coefficienti volumici.

La relazione (3) mette invece in evidenza il contributo al risparmio energetico dei singoli provvedimenti attuati sulle varie componenti dell'edificio.

Costo del denaro e costo dell'energia

Le relazioni del Quadro 1 richiedono la definizione del tasso di interesse i . I tassi effettivi sono variabili in dipendenza dell'andamento dell'economia e in particolare del tasso di inflazione y . Le formule riportate sono valide per tassi di inflazione nulli, ma, se si può ipotizzare y costante nel tempo, sono ancora valide se, al posto del tasso nominale, bancario, i' , si pone il tasso equivalente reale.

$$i = \frac{i' - y}{1 + y}$$

Il valore attuale di y è ampiamente pubblicizzato e così pure quelli di i' . È quindi facile introdurre nelle relazioni il valore del tasso reale i , che gode di maggior stabilità, anche in condizioni di inflazione variabile.

Esso deve peraltro essere considerato in modo appropriato dai diversi operatori, secondo la loro posizione economica, come si è già fatto rilevare. Le formule del Quadro 1 presuppongono anche un costo costante dell'energia, ovvero un suo andamento parallelo a quello dell'inflazione. Ciò può essere ritenuto sufficientemente aderente al vero al momento attuale, anche se non è stato così negli anni che sono

Quadro 2 - STIMA DEI CONSUMI DI COMBUSTIBILE DEGLI IMPIANTI DI EDIFICI DI CIVILE ABITAZIONE

Per gli edifici di civile abitazione il consumo medio annuo per dispersione termica G è valutabile con la relazione:

$$(1) \quad G = \frac{24 C_d V D^* i}{H_i \eta} \quad (\text{kg/anno o Nm}^3/\text{anno})$$

dove i simboli hanno i significati seguenti:

$C_d = Q/V$ (W/m³ K) coefficiente volumico di dispersione

Q (W/K) Potenza termica dispersa per trasmissione per 1 K di differenza di temperatura fra interno ed esterno

V (m³) Volume lordo delle parti dell'edificio riscaldate

$D^* = D + nd$ (gradi giorno/anno) Gradi giorno corretti per l'esposizione

D (gradi giorno/anno) Gradi giorno

d (giorni) Durata convenzionale del periodo di riscaldamento

n = 2 per edifici fuori del complesso urbano

= 1 per edifici in piccoli agglomerati

(n può essere negativo per apporti gratuiti notevoli)

i Coefficiente di intermittenza come da tabella seguente

	Corpi scaldanti	Pannelli radianti
Riscaldamento continuo	1	0,8
Rallentamento notturno	0,8	0,75
Interruzione notturna	0,75	0,70

H_i (Wh/kg o Wh/Nm³) Potere calorifico inferiore del combustibile utilizzato (v. tabella più avanti)

$\eta = \eta_c \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$ (adim.) Rendimento globale dell'impianto

η_c Rendimento di norma della caldaia a regime

η_1 Rendimento di distribuzione (-0,9-0,95)

η_2 Rendimento di distribuzione (- 0,95 per reti interne isolate 0,8-0,95 per reti mediamente isolate; 0,6-0,8 per reti parzialmente esterne, non coibentate)

η_3 Rendimento di regolazione (= 0,85-0,98)

La potenza termica dispersa per trasmissione Q è espressa,

$$(2) \quad Q = \sum (K S) + \sum (k L) \quad (\text{W/K})$$

dove è:

K (W/m²K) Trasmittanza unitaria di ogni elemento di parete

S (m²) Area dei singoli elementi di parete

k (W/mK) Trasmittanza lineare di ogni elemento di giunto o comunque singolare

L (m) lunghezza dei singoli elementi di giunto o singolari

La (1) può quindi essere scritta:

$$(1) \quad G = \frac{24 [\sum (KS) + \sum (kL)] D^* i}{H_i \eta} \quad (\text{kg/anno o Nm}^3/\text{anno})$$

Se un singolo valore K o k viene modificato con un intervento di risparmio energetico, che porti una variazione di trasmittanza, p. es. da K_0 a K_1 di un certo elemento di parete, si otterrà il risparmio annuo conseguente ΔG facendo la differenza fra le corrispondenti relazioni (1):

$$(3) \quad \Delta G = \frac{24 S (K_0 - K_1) D^* i}{H_i \eta} \quad (\text{kg/anno o Nm}^3/\text{anno})$$

CARATTERISTICHE DEI PRINCIPALI COMBUSTIBILI

Combustibile	Unità di misura	Potere calorifico inferiore H _i , Wh/u.m.	Rendimento η medio	Densità kg/m ³
Antracite	kg	8840	0,7	
Litantrace	"	8140	0,7	
Coke metallurgico	"	8140	0,7	
Kerosene	"	11970	0,75	770-800
Gasolio	"	11860	0,75	810-850
Olio combust. fluido	"	11280	0,75	910-930
GPL	"	13200	0,8	535
Gas naturale	m ³	9600	0,8	0,717
Energia elettrica	Wh	1	1	—

Fattori di conversione: 1 TEP (tonn. di petrolio equivalente) ~ 1,16 · 10⁸ Wh

seguiti alla crisi energetica; se ciò dovesse ancora accadere, nelle formule l'attualizzazione dei costi energetici dovrà essere fatta separatamente da quelli finanziari, con un tasso appropriato.

Vita utile dell'intervento

È un dato generalmente mal definibile in edilizia. L'impiego di materiali isolanti durevoli, come EPS, che ha ormai più di 30 anni di esperienza, pone la vita utile dell'isolamento nello stesso ordine di grandezza di quella delle altre strutture edilizie. Tuttavia, poiché l'aumentare oltre un certo limite il numero di anni considerato nelle formule economiche porta a variazioni minime degli indici, sembra corretto adottare un valore convenzionale sufficientemente provato di 20 anni. Il fattore di attualizzazione f che compare in alcune formule del Quadro 1 è funzione della vita utile n dell'intervento e del tasso di interesse i ed è tabellato qui di seguito.

FATTORI DI ATTUALIZZAZIONE

Anni Tasso %	5	10	20	30	50
2	4,71	8,98	16,35	22,40	31,42
3	4,58	8,53	14,88	19,60	25,73
4	4,45	8,11	13,59	17,29	21,48
5	4,33	7,72	12,46	15,37	18,26
6	4,21	7,36	11,47	13,76	15,76
7	4,10	7,02	10,59	12,41	13,80
8	3,99	6,71	9,82	11,26	12,23
9	3,89	6,42	9,13	10,27	10,96
10	3,79	6,14	8,51	9,43	9,91
11	3,70	5,89	7,96	8,69	9,04
12	3,60	5,65	7,47	8,06	8,30

Valore della scelta

Un aspetto che non appare nelle formule economiche è l'aleatorietà dei dati che devono essere introdotti nelle stesse; l'esperienza degli ultimi decenni ha dimostrato quale influenza abbiano avuto sull'economia le vicende politiche mondiali. Gli indici di valutazione riportati nel Quadro 1 serviranno quindi nel modo migliore per confrontare fra loro soluzioni diverse, meno per essere assicurati che la scelta fatta è assolutamente conveniente. A fronte di questa aleatorietà le varie soluzioni che si possono prospettare avranno però possibilità di essere modificate dopo la loro esecuzione, quando si presentassero condizioni nuove che lo consigliano. In generale elementi applicati in superficie, esterna od interna, potranno essere rinforzati, se necessario, più facilmente che non altri introdotti in intercapedine, specialmente se non hanno finiture costose (p es. isolamento di solai non praticabili o scantinati). Questa analisi, basata essenzialmente sul buon senso, dovrebbe accompagnare sempre le valutazioni analitiche all'atto della scelta.

Strategia ottimale

I diversi provvedimenti di isolamento attuati sulle varie parti dell'edificio hanno un costo diverso per unità di energia risparmiata e si applicano a estensioni diverse dell'involucro; essi avranno quindi una convenienza diversa; la loro evidenziazione permetterà quella analisi strategica delle diverse combinazioni di investimento, cui si è già accennato. Un metodo per trovare la combinazione di interventi più conveniente senza ricorrere a tentativi a caso è quello di considerare, per ciascun intervento, i gra-



dini possibili di spessore e di altre varianti e di calcolare per ciascuno la variazione AC^*d del coefficiente volumico dell'edificio e quella di costo AI riferito al volume e quindi il rapporto AC^*d/AI . Si ordinano quindi i rapporti di tutti i gradini di tutti gli interventi in ordine decrescente; sottraendo dal C^*d iniziale progressivamente i A^*d appena inferiore a quello prefissato, p. es. quello di legge.

L'Esempio 1, più avanti, mostra un'applicazione di questo metodo.

Esso può apparire piuttosto laborioso e per questo motivo l'esempio considera un'applicazione volutamente semplificata. In pratica l'elaboratore elettronico agevererà di molto il lavoro.

Per contro il metodo è ampiamente giustificato dal fatto che esso indica la soluzione di minimo costo e permette anche di arrestare gli interventi ad un livello inferiore, ma mantenendo quelli più convenienti, se p. es. limiti di investimento dovessero obbligare ad una scelta fra i vari investimenti.

Spessore ottimale

Nel caso in cui interessi soltanto il singolo intervento sul singolo componente, la (3) del Quadro 2 in unione alla (4) del Quadro 1 permette di ricavare analiticamente lo spessore ottimale dell'isolante, come mostra il Quadro 3.

La (8) del Quadro (3) indica che la resistenza ottimale di una parete è inversamente proporzionale a $\sqrt{m\lambda}$; a parità di ogni altra condizione si otterrà dunque il miglior risultato con il materiale per il quale il prodotto $\sqrt{m\lambda}$ del costo per la conduttività è minimo. Il confronto da questo punto di vista fra i vari materiali isolanti presenti sul mercato evidenzia la convenienza di EPS.

La resistenza ottimale è anche direttamente proporzionale a $\sqrt{D^*}$ e a \sqrt{f} : si troverà quindi una resistenza ottimale tanto più elevata, quanto più severe sono le condizioni climatiche, come è ovvio, e quanto più elevato è il fattore di attualizzazione f , cioè, a parità di vita utile, quanto più è basso il tasso di inte-

resse *reale* i (v. tabella); quest'ultima considerazione deve essere tenuta presente in modo particolare da chi considera l'isolamento un investimento dei propri risparmi in alternativa ad altri investimenti, come i titoli mobiliari, il cui interesse reale è generalmente modesto.

Il grafico di Fig. 1 visualizza la relazione fra spessore ottimale e i vari parametri della (6) del Quadro 3.

Gli spessori sono riportati in ascissa e devono essere letti sulla scala corrispondente alla trasmittanza iniziale K_0 ; in ordinata sono riportati i gradi giorno D e un'indicazione delle località più importanti che vi corrispondono, mentre le varie curve sono caratterizzate da diversi valori del parametro $\sqrt{fA\lambda/m}$; per $f = 12,46$ (20 anni e 5% di interesse reale e i valori usuali di A e λ , questo parametro è compreso fra 0,03 e 0,04, passando dai valori più alti a quelli più bassi del costo m dell'EPS delle varie masse volumiche. Il grafico fornisce quindi un'indicazione rapida, per ciascuna località e trasmittanza iniziale di una parete, del campo entro cui si colloca lo spessore ottimale di EPS da aggiungere.

L'esempio 2 mostra l'applicazione delle relazioni del Quadro 3 al caso di un edificio di nuova costruzione. Il valore del coefficiente volumico C_v^* ottenuto con gli spessori di isolante ottimizzati risulta molto inferiore a quello di legge. Ciò conferma l'opinione degli esperti che i coefficienti volumici di legge sono ancora lontani da quelli economicamente ottimali.

La situazione di riferimento può essere diversa nel caso di interventi sull'esistente; in questo caso l'investimento dovrà comprendere anche i costi di eventuali lavori collaterali (demolizioni, modifiche, ripristini) necessari per attuare l'isolamento previsto; per contro potranno essere scorporate quelle spese che comunque si preveda di fare per esigenze di manutenzione (p. es. ripristino dell'intonaco di facciata) e anche, eventualmente, il contributo a fondo perduto che può essere ottenuto per lavori di coibentazione dell'esistente. L'esempio 3 riprende uno dei casi degli esempi precedenti per confrontare l'intervento sull'esistente con quello sulla nuova costruzione.

Quadro 3 - SPESSORE E RESISTENZA TERMICA OTTIMALE DELL'ISOLANTE

Se E (€/kg) è il costo dell'unità di energia, comprensivo della quota di spese per il funzionamento dell'impianto, il risparmio annuo R (€/m² anno) che si può ottenere riducendo da K_0 a K_1 , la trasmittanza di 1 m² di parete, ricordando la (3) del Quadro 2, è:

$$(1) \quad R = E \Delta G = \frac{24 (K_0 - K_1) D^* E i}{H_i \eta} = AD^* (K_0 - K_1) \quad (\text{€/m}^2 \text{ anno})$$

Nel fattore $A = 24Ei/H_i \eta$ sono raggruppati i fattori che si suppongono costanti nella situazione considerata. La trasmittanza K_1 è ottenuta con l'aggiunta di uno spessore s (m) di materiale di conduttività λ (W/mK):

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{K_0} + \frac{s}{\lambda}} = \frac{K_0 \lambda}{\lambda + K_0 s} \quad (\text{W/m}^2 \text{ K})$$

Sostituendo nella (1) si ha:

$$(2) \quad R = K_0 \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda + K_0 s} \right) D^* A \quad (\text{€/m}^2 \text{ anno})$$

Se il costo del materiale isolante è m (€/m³) e p (€/m²) è il costo della sua posa in opera, supposto invariabile al variare dello spessore, l'investimento sarà

$$(3) \quad I = p + ms \quad (\text{€/m}^2)$$

Il valore attuale netto F (€/m²) dell'investimento sarà quindi, per la (4) del Quadro 1:

$$(4) \quad F = fR - I = fD^*AK_0 \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda + K_0 s} \right) - p - mx \quad (\text{€/m}^2)$$

Il valore massimo di F al variare dello spessore s si otterrà uguagliando a 0 la derivata di F rispetto a s :

$$(5) \quad \frac{dF}{ds} = \frac{fK_0^2 D^* A \lambda}{(\lambda + K_0 s)^2} - m = 0$$

da cui si ricava lo spessore ottimale di isolante s_{opt} (m):

$$(6) \quad s_{opt} = \sqrt{\frac{fD^* A \lambda}{m}} - \frac{\lambda}{K_0} \quad (\text{m})$$

Nella (6) il termine λ/K_0 può essere visto come lo spessore fittizio di materiale di conduttività λ , che avrebbe la stessa trasmittanza K_0 della parete iniziale. Il valore ottimale di spessore da aggiungere sarà tanto minore, quanto più elevato è il termine λ/K_0 , cioè quanto più isolata è già la parete iniziale; al limite può aversi:

$$(7) \quad \sqrt{\frac{fD^* A \lambda}{m}} - \frac{\lambda}{K_0}$$

cioè $s_{opt} = 0$: in questo caso non sussiste alcuna convenienza a rinforzare l'isolamento. Dividendo la (6) per λ , si ottiene infine anche la resistenza termica ottimale della parete

$$(8) \quad \frac{s_{opt}}{\lambda} + \frac{1}{K_0} = \sqrt{\frac{fD^* A}{m\lambda}} = R_{opt} \quad (\text{m}^2 \text{ K/W})$$

R_{opt} è la resistenza termica più conveniente che si può ottenere, partendo da una parete di resistenza $1/K_0$, aggiungendo coibente di conduttività λ .

DIMENSIONAMENTO ECONOMICO DELL'ISOLAMENTO TERMICO CON EPS

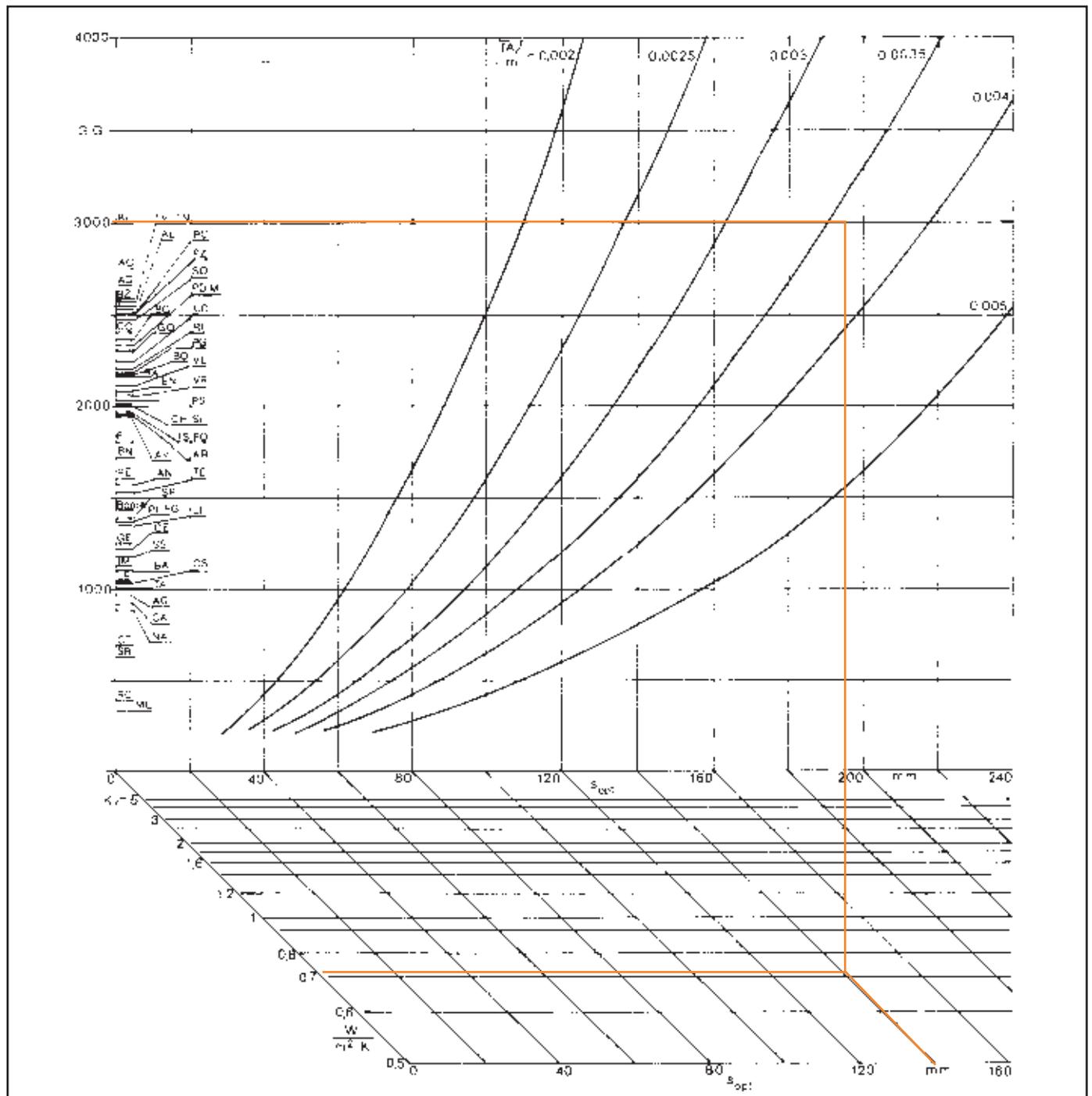


FIG. 1

Spessore ottimale s_{opt} (mm) dell'isolante in funzione della trasmittanza originaria K_0 (W/m² K), dei gradi giorno GG e del parametro

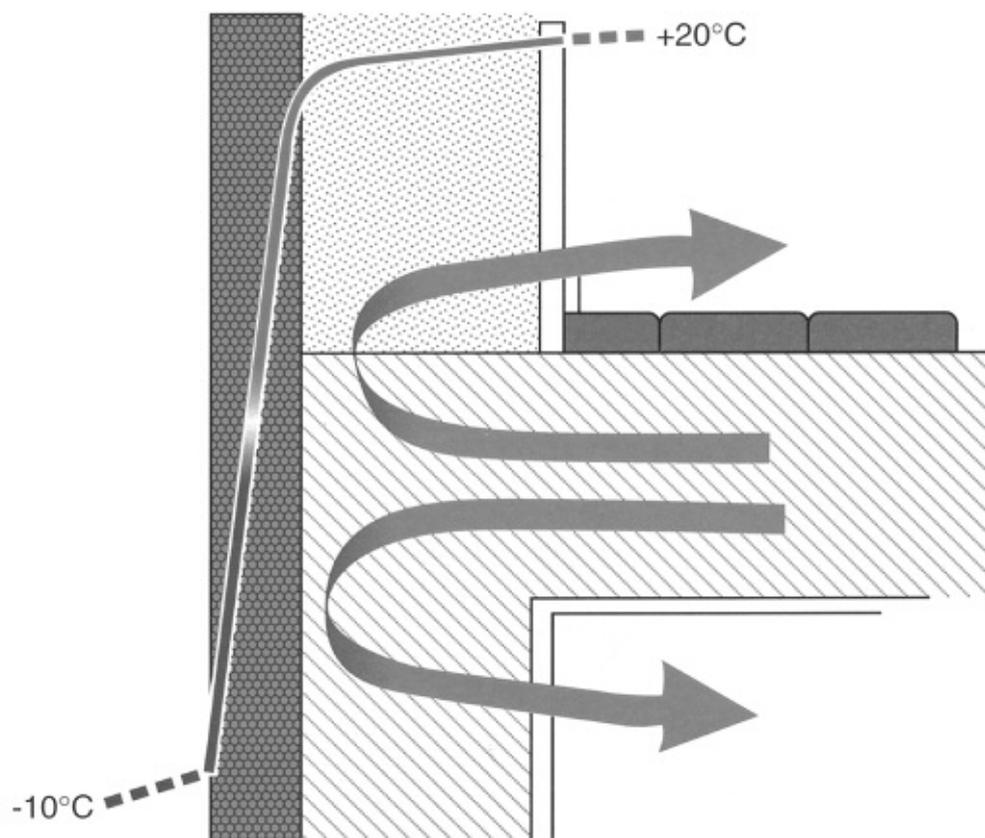
$\sqrt{\frac{fA\lambda}{m}}$ - P.es., nelle condizioni dell'Es. 2 (Parete esterna, con 3000 GG e $K_0 = 0,715$ W/m² K è

$$\sqrt{\frac{fA\lambda}{m}} = \sqrt{\frac{12,46 \cdot 2,22 \cdot 0,041}{88.000}} = 0,0036 \text{ e } s_{opt} = 140 \text{ mm.}$$

In ordinata sono riportate le sigle delle principali località italiane in corrispondenza dei rispettivi gradi giorno.

4.

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI A “CAPPOTTO” CON EPS



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

1. CHE COSA È IL "CAPPOTTO"

Denominazione e identificazione

Il "cappotto", più precisamente denominato "isolamento termico dall'esterno, per pareti verticali, con intonaco sottile su isolante" è il sistema oggi e da oltre 30 anni più utilizzato in Europa per la coibentazione degli edifici civili, industriali, di servizio, nuovi o preesistenti.

Il sistema a "cappotto" è un insieme inscindibile costituito da elementi diversi, ma tra loro compatibili e sinergici:

- **lastre isolanti** in polistirene (noto anche come polistirolo) sinterizzato, a ritardata propagazione alla fiamma, dimensioni 1000x500 mm, con spessori tra 30 e 120 mm, squadrate a spigolo vivo, con massa volumica di 15 o 20 (o 25) Kg/m³, di qualità controllata e certificata **dall'Istituto Italiano dei Plastici**;
- **collante-rasante** per l'incollaggio delle lastre isolanti al supporto e per la formazione del primo strato di intonaco (armato) sopra le lastre stesse;
- **rete di armatura**, tessuta in fibra di vetro, per il rinforzo del primo strato di intonaco;
- **eventuale primer**, quale prima protezione dell'intonaco rinforzato;
- **finitura con rivestimento continuo sottile**, di protezione dell'intero sistema agli agenti atmosferici;
- **sagome** in lega leggera per i profili verticali e orizzontali;
- ove necessari, **tasselli** di fissaggio profondo delle lastre isolanti.

Dopo l'installazione del sistema sono necessarie **sigillature** di tenuta ai contorni con le altre strutture. L'installazione del sistema è semplice, richiede però attenzione alle chiare istruzioni della sequenza di montaggio, con il rispetto di grammature, tempi e metodi.

Le attrezzature necessarie sono quelle usualmente richieste per l'applicazione degli intonaci tradizionali.

2. FUNZIONI E CAMPI DI IMPIEGO DEL SISTEMA A "CAPPOTTO"

Le funzioni tipiche e insostituibili del "cappotto" sono:

- **isolare senza discontinuità** dal freddo e dal caldo;
- **utilizzare il volano termico** costituito dalle pareti isolate;
- **proteggere** le facciate dagli agenti atmosferici;

- **fornire** interessanti e sensibili **risparmi**;
- **porre in condizioni stazionarie termoigrometriche** l'involucro e la struttura degli edifici;
- **rendere ottimali, confortevoli e igieniche le condizioni degli spazi abitativi, di attività, servizio, ecc.;**
- **contribuire sensibilmente alla riduzione delle immissioni inquinanti nell'atmosfera.**

Campi di impiego

- Qualunque parete esterna edile, di fabbricati per ogni tipo di destinazione, civili, sanitari, tecnici, industriali, ecc. sia nuovi, sia da ripristinare, aumentandone il valore.

Il sistema a "cappotto" serve per isolare in modo sicuro e continuo pareti costituite anche da materiali diversi. La diversità può riguardare il comportamento alle sollecitazioni termiche, le caratteristiche meccaniche, la conformazione superficiale. Queste diversità sono molto frequenti nelle costruzioni edili (tipico esempio: cemento armato e laterizio) e sono causa di diverse deformazioni alle sollecitazioni termiche, con possibile formazione di crepe, distacchi, infiltrazioni; formano ponti termici attraverso i quali parte del calore viene disperso; provocano deturpamento e disgregazione dei materiali.

Con l'installazione del sistema a "cappotto" tutti questi fenomeni vengono annullati o comunque fortemente attenuati: tutta l'apparecchiatura muraria viene posta in condizioni termiche e igrometriche stazionarie, nonostante grandi differenze di temperatura e/o umidità tra l'esterno e l'interno abitativo. Il sistema a "cappotto" è utilizzato con **successo in tutta Europa da oltre 30 anni e risponde pienamente alle attese.**

Infatti con la sua installazione si ottengono immediatamente formidabili vantaggi di risparmio energetico, quindi economico ed ecologico, di rivalutazione dell'edificio e di prolungamento della sua funzionalità e vita.

In progettazione, per costruzioni nuove, l'installazione del sistema a "cappotto" procura i seguenti vantaggi:

- **riduzione dello spessore delle pareti perimetrali**, quindi genera maggiori aree abitative, con indiscutibile aumento della remunerazione di tutto il fabbricato;
- **semplificazione progettuale**, in particolare per rispondere razionalmente e semplicemente alle prescrizioni sul risparmio energetico attinente il riscaldamento degli edifici, senza dover ricorrere a soluzioni complesse;



- **possibilità d'impiego di materiali tradizionali ed economici per la costruzione della struttura e dei tamponamenti**, senza artifici per eliminare i ponti termici;
- **conseguente maggior facilità operativa in cantiere**, con riduzione sensibile dei tempi e quindi dei costi;
- **snellimento della tipologia dei capitolati** per i materiali e l'esecuzione, quindi maggiori possibilità di controllo;
- **il sistema a "cappotto" fornisce con il suo inscindibile pacchetto l'isolamento e la finitura.**

Per il ricupero e la manutenzione straordinaria di edifici esistenti, l'installazione del sistema a "cappotto" genera i seguenti vantaggi:

- **immediato ottenimento di forte risparmio energetico, quindi di costi;**
- **immediato raggiungimento di condizioni interne confortevoli;**
- **eliminazione della causa dei difetti generati dai ponti termici, quali crepe, infiltrazioni, muffe, fastidiosi moti convettivi interni ai locali;**
- **sostituzione, con tutti gli altri vantaggi citati, di interventi manutentivi pesanti, quali abbattimenti e rifacimenti di intonaci, interventi su spacchi, crepe e muffe, infiltrazioni, ecc.**

Dopo l'installazione del sistema a "cappotto" le pareti esterne degli edifici, nuovi o recuperati, vengono poste in condizioni di inerzia: le sollecitazioni provocate dagli sbalzi termici e igrometrici non le possono più raggiungere.

Le stesse murature, non dissipando più il calore all'esterno, svolgono la importante funzione di volano termico.

Ciò corrisponde a disporre di una massa calda, che attraverso le sue superfici interne, scambia calore con i locali, negli intervalli e interruzioni di riscaldamento. Anche in pieno inverno il sano ricambio d'aria può essere svolto senza poi dover intensificare il riscaldamento: il calore accumulato dalla massa muraria rigenera rapidamente e omogeneamente le condizioni più confortevoli. Gli involucri e le strutture sottostanti il "cappotto", non ricevendo più sollecitazioni termomeccaniche intense e subitane, si conservano inalterati. Anche in presenza pregressa di crepe non si verificano più le continue dilatazioni (caldo) e contrazioni (freddo), evitando il peggioramento statico degli intonaci e nel caso del calcestruzzo anche parzialmente dinamico.

Vantaggio non ultimo: il forte risparmio di combustibile destinato al riscaldamento, liquido, solido o gassoso corrisponde a una altrettanto cospicua diminuzione delle immissioni nell'atmosfera di CO₂, SO₂ e ossidi di Azoto.

Il sistema a "cappotto" contribuisce validamente alla soluzione dei problemi di inquinamento e smog.

Per tutte queste caratteristiche vantaggiose il sistema a "cappotto" trova applicazione nelle diverse tipologie d'uso degli edifici: residenziali, commerciali, ospedalieri, scolastici, militari, produttivi, di stoccaggio; nel settore industriale è utilizzato per l'isolamento di serbatoi, silos, generatori di biogas; poiché l'isolamento termico vale anche verso il caldo trova impiego anche nel settore del freddo e conserviero.

3. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA A "CAPPOTTO"

Seguendo l'elenco delle funzioni fondamentali del sistema, vengono a seguito descritte le caratteristiche tecnologiche e qualitative dei materiali costituenti, come **inscindibile pacchetto**, il sistema a "cappotto".

3.1 Isola senza discontinuità

L'installazione delle lastre isolanti **EPS** avviene all'esterno dell'involucro dell'edificio, formando superfici continue.

Sono annullati i ponti termici, tipici degli edifici non isolati, dovuti alla differente conducibilità termica dei diversi materiali da costruzione: valga per tutti la differenza tra una struttura in cemento armato e le chiusure vicinali in laterizio.

L'isolamento è generato dalle lastre in polistirene espanso sinterizzato, a ritardata propagazione di fiamma, **EPS**.

Vengono qui richiamati solo i concetti essenziali per la comprensione qualitativa del sistema a "cappotto".

- Conduttività termica λ** (lambda), espressa in **W/m °K**, è il parametro che identifica il comportamento dei vari materiali nella trasmissione del calore.
- Conduttanza termica unitaria **C**** espressa in **W/m² °K** si ottiene dividendo lambda per lo spessore (in metri) del materiale oggetto della trasmissione di calore.
- L'inverso della conduttanza termica unitaria **1/C**** si indica come **resistenza termica unitaria interna** del materiale **R** espressa in **m² K/W**.

Attraverso le resistenze termiche dei vari materiali costituenti la parete, essendo valida la relazione:

$$R_{\text{totale}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

si possono facilmente individuare sia la R totale, sia le temperature a ogni interfaccia dei vari materiali costituenti la parete.

A questa sommatoria vengono aggiunte le resistenze termiche liminari, interna ed esterna, della parete.

d) **La trasmittanza totale U** si ottiene infine calcolando l'inverso della resistenza termica totale: $U = 1/R$ ed è espressa in $W/m^2 \cdot K$.

Le lastre in **EPS** presentano una conduttività termica molto bassa, che è poco influenzata dalla temperatura e dalla massa volumica:

	conduttività a +10 °C	in W/m °K a +23 °C
massa vol. 15 Kg/m ³	0,037	0,040
massa vol. 20 Kg/m ³	0,035	0,037

la conduttanza e quindi la resistenza termica dipendono invece fortemente dallo spessore delle lastre isolanti:

resistenza termica R m ² °K/W a +10 °C		
massa volumica	15 Kg/m ³	0 Kg/m ³
spessore lastra 4 cm	1,082	1,143
spessore lastra 5 cm	1,351	1,429
spessore lastra 6 cm	1,622	1,714

da cui la trasmittanza **U** espressa in $W/m^2 \cdot K$ risulta:

spessore lastra 4 cm	0,924	0,875
spessore lastra 5 cm	0,740	0,700
spessore lastra 6 cm	0,616	0,583

Questi valori si riferiscono all'isolamento fornito dalle **sole lastre**. Considerando una parete cieca, costituita da: 2 cm d'intonaco interno, 12 cm di laterizio forato per i tamponamenti e 13 cm di calcestruzzo per la struttura e attribuendo una resistenza liminare (valori d'uso) di 0,123 m²°K/W per l'interno e di 0,043 m²°K/W per l'esterno si ottengono i seguenti valori di trasmittanza U:

spess. lastre	15 Kg/m ³		20 Kg/m ³	
	laterizio	calcestr.	laterizio	calcestr.
4 cm	0,560	0,718	0,542	0,688
5 cm	0,487	0,602	0,469	0,575
6 cm	0,430	0,517	0,414	0,494
senza cappotto:	1,422	3,215	1,422	3,215

3.2 Utilizza il volano termico delle pareti isolate

È noto che i vari materiali rilasciano il calore acquisito più o meno rapidamente secondo la loro **inerzia termica**. La quantità di calore trasmessa è inoltre funzione della superficie di scambio (nel caso di pareti a "cappotto" è quella tra la faccia interna della parete verso il locale abitativo) e della differenza di temperatura tra i due mezzi oggetto della trasmissione di calore.

La capacità di accumulo di calore "S" espressa in $W/m^2 \cdot K$ dipende dalla massa volumica, dal calore specifico e dalla conduttività termica del materiale.

Il prodotto tra la "S" e la resistenza "R" è l'inerzia termica "D" (adimensionale).

Quando le pareti perimetrali sono termicamente isolate dall'esterno, il valore "R" è alto, a parità di materiale costitutivo della struttura murale e quindi di "S" aumenta l'inerzia termica "D".

Quando la temperatura interna del locale si abbassa (interruzione, temporizzazione del riscaldamento, apertura di finestre, ...) è la parete a fornire calore al locale. Si può inoltre sviluppare l'interessante calcolo che dimostra come il volano termico delle pareti isolate con il **"cappotto" agisce attenuando proprio la tipica fluttuazione di temperatura notte giorno della temperatura esterna**. In pratica l'inerzia della parete sviluppa il massimo apporto di calore ai minimi della temperatura esterna. Assimilando le oscillazioni di temperatura a sinusoidi, l'onda di ritorno di calore, per inerzia termica della parete isolata, risulta sfasata (ritardata) rispetto a quella della temperatura esterna: **all'interno la temperatura rimane omogenea**.

3.3 Protegge le facciate dagli agenti atmosferici

Il rivestimento plastico continuo di finitura del sistema a "cappotto" costituisce una valida difesa verso gli eventi atmosferici. Sono caratteristiche essenziali e vincolanti la sua qualità la **contemporanea idrorepellenza**, identificata come basso assorbimento capillare di acqua ("**A**") e la **diffusività**, identificata come bassa resistenza alla diffusione del vapor d'acqua (**Sd**).

Secondo raccomandazione di qualità, in fase di recepimento anche come norme europee CEN, il valore di "A" deve essere inferiore a 0,5 Kg/m² h^{0,5}; il valore "Sd" inferiore a 2 m e, entro questi limiti, il prodotto A · Sd deve essere uguale o inferiore a 0,1 Kg/m h^{0,5}.

I **pigmenti** utilizzati per le coloriture del rivestimento

continuo **sono resistenti alla luce e all'irraggiamento solare**. Essendo lo spessore del rivestimento sottile e, verso la parete, isolato dalle lastre **EPS**, è soggetto a rapido e intenso surriscaldamento dall'irraggiamento solare e ad altrettanto rapidi e intensi raffreddamenti in mancanza di sole o per precipitazioni. La sua qualità deve quindi essere tale da rispondere a grandi e rapide sollecitazioni di variazione termica, senza manifestare difetti.

Proprio il fenomeno del **surriscaldamento** per azione solare impone un **limite ai toni scuri** delle coloriture: è ben noto che i colori chiari riflettono meglio luce e calore, mentre i più scuri li assorbono.

Per evitare il raggiungimento di temperature superficiali pericolose (oltre + 60 °C) sia per contatto, sia per la stabilità del materiale isolante stesso, vengono applicate **tinte con un grado di riflessione della luce (albedo) superiore al 20%**, in pratica questa limitazione esclude l'utilizzo solo di coloriture particolarmente scure o intense e lascia quindi una vastissima scelta di tinte.

Il rivestimento continuo di finitura risponde inoltre a precise e severe norme di **resistenza** a cicli misti di **surriscaldamento-bagnatura-gelo, di resistenze meccaniche e allo strappo**.

3.4 Corrisponde ad interessanti e immediati risparmi

Da quanto già indicato in 3.1 e 3.2 si evince che la quantità di **calore dissipata all'esterno** nei periodi di riscaldamento **viene, con l'installazione del sistema a "cappotto" drasticamente ridotta**.

Dati pratici consuntivi su una formidabile casistica di anni e di tipologia edile, permettono di indicare con certezza che il **"cappotto" comporta una riduzione tra il 25% e il 35% del consumo di combustibili necessari per il riscaldamento**.

Dal dimensionamento economico dell'isolamento termico, si riporta qui solo la formula generale di calcolo, che esplicita la quantità di combustibile risparmiata in funzione della trasmittanza al calore "K" oppure "U" prima e dopo l'installazione dell'isolamento termico.

$$G = \frac{24 S (U_0 - U) D i}{Hn} \quad \text{essendo:}$$

G la quantità di combustibile risparmiata, in Kg/anno o, per combustibili gassosi, in Nm³/anno S l'area delle pareti in m² U₀ e U le trasmittanze della parete prima e dopo l'isolamento, espresse in W/m²°K

D i gradigiorno corretti per l'esposizione della parete il coefficiente di intermittenza del riscaldamento H il potere calorifico inferiore del combustibile espresso in W h/Kg o in W h/Nm³ n il rendimento globale dell'impianto.

Se poniamo costanti i vari parametri relativi all'area, ai gradi, all'impianto, la formula si riduce a:

$$G = \text{cost} (U_0 - U)$$

Come indicato nel calcolo schematico in 3.1 la differenza **U₀ - U** è ben significativa, essendo compresa tra **1,2 e 1,4** per le pareti di tamponamento in laterizio e compresa tra **2,6 e 2,8** su cemento armato.

È pertanto evidente il forte risparmio ottenuto da subito e permanentemente con il sistema a "cappotto".

3.5 Pone in condizioni stazionarie termoigrometriche l'involucro esterno e la struttura dell'edificio

Questa stabilizzazione è molto importante ai fini del mantenimento nel tempo dei materiali costruttivi, al di sotto del sistema a "cappotto".

Particolarmente significativi sono i risultati ottenuti nel ripristino e nel recupero di edifici esistenti.

Gli effetti dinamici causati dagli sbalzi termici su materiali diversi, sono spesso dirompenti. Si formano crepe e spacchi profondi, che interessano spessori anche molto alti dei materiali. In pratica queste fenditure e lesioni lavorano come giunti di dilatazione aperti e convogliano le acque meteoriche nel tessuto profondo delle pareti. Poiché con l'abbassamento della temperatura i materiali edili si contraggono, **le crepe risultano più aperte proprio in occasione delle più avverse condizioni meteorologiche**.

Le infiltrazioni comportano i ben noti (e ampiamente visibili) fenomeni di disgregazione, di macchie, di muffe e l'impregnazione della massa muraria: questa per poter asciugare ha bisogno, per tempi lunghi, di forti quantità di calore, che vengono sottratte (ma pagate) al riscaldamento dei locali.

A volte non si pone la necessaria attenzione su questa fonte di spesa infruttifera: **per ogni aumento del 10% di umidità contenuta nelle pareti, il loro potere isolante intrinseco (leggasi la loro "R") diminuisce del 50% circa**.

Come esempio schematico viene qui considerato un apparato murario senza e con isolamento a "cappotto": si determinano le temperature alle interfacce dei vari strati, in diverse condizioni climatiche.

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI A "CAPPOTTO" CON EPS

Costituzione della parete tipo	Spessore m	λ W/m ² K	R m ² K/W	res.dif.vap. m
strato liminare i.			0,123	
intonaco interno	0,025	0,35	0,071	0,75
laterizio doppio	0,160	0,25	0,640	2,40
intonaco esterno	0,035	0,35	0,100	1,40
strato liminare e.			0,043	
totale non isolato	0,220	-	0,977	4,55
+ il "cappotto"	0,05	0,04	1,250	1,75
totale a "cappotto"	0,270	-	2,227	6,30

da cui: U_0 senza isolamento = 1,204
 U con "cappotto" = 0,449

1° CASO: giornata invernale di bel tempo condizioni interne: + 20 °C con 80% U.R. condizioni esterne: -10 °C con 30% U.R.

le temperature alle varie interfacce degli elementi costitutivi la parete sono:

superfici e interfacce della parete	senza isolam. °C	con "cappotto" °C
aria interna del locale	+20	+20
superficie intonaco interno	+16,2	+18,4
interfaccia intonacolateriz.	+14,0	+17,4
interfaccia lateriz.inton.est.	-5,7	+8,8
interfaccia inton. est. EPS	-	+7,5
superficie intonaco esterno	-8,7	-
superficie del "cappotto"	-	-9,4
aria esterna	-10	-10

Si evidenziano due fatti notevoli ai fini della conservazione dei materiali: **senza isolamento** il laterizio subisce uno **sbalzo termico tra le sue facce di quasi 20 °C**, subisce quindi notevoli tensioni di deformazione; inoltre tra la metà, verso l'esterno, del laterizio e nell'intonaco esterno vi è una **larga fascia di condensa**. Poiché in questa fascia le temperature sono ben al di sotto dello zero, si ha formazione di ghiaccio all'interno del corpo di parete. L'aumento di volume provoca danni dirompenti, quali fessurazioni e distacchi per sfaldamento.

Con l'isolamento a "cappotto" non esistono differenze termiche preoccupanti tra le facce dei vari materiali, quindi non vi sono tensioni anomale; inoltre non esiste alcuna condizione di condensa nel corpo della parete, isolamento termico a "cappotto" compreso.

2° CASO: giornata autunnale con nebbia condizioni interne: +20 °C con 90% U.R. condizioni esterne: + 5 °C con 100% U.R.

le temperature alle varie superfici e interfacce sono:

superfici e interfacce della parete	senza isolam. °C	con "cappotto" °C
aria interna del locale	+20	+20
superficie intonaco interno	+18,1	+19,2
interfaccia intonaco-lateriz.	+17,0	+18,7
interfaccia lateriz.-inton.est.	+7,2	+14,4
interfaccia inton. est. EPS	-	+13,7
superficie intonaco esterno	+5,7	-
superficie del "cappotto"	-	+5,3
aria esterna	+5	+5

Anche in queste condizioni climatiche, **con minor escursione termica**, si nota come **l'assenza disolamento causi comunque significative differenze di temperature sulle facce dei vari costituenti la parete; sono inoltre ancora presenti le condense** tra la metà più esterna del laterizio e l'intonaco esterno. **Con il "cappotto" non si verificano né tensioni, né condense.**

Gli sforzi provocati dalle escursioni termo-igrometriche sul pacchetto del sistema a "cappotto" sono da questo assorbiti grazie alle sue caratteristiche di qualità isolante e meccanica.

In particolare sia il potere di adesione del collante, che vincola le lastre EPS al supporto, sia lo strato d'intonaco armato con la rete in fibra di vetro, soprastante le lastre isolanti, svolgono le funzioni specifiche di resistenza meccanica.



RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE QUALITATIVE TECNICHE E COMPORTAMENTALI DEL SISTEMA A "CAPPOTTO"

Costituenti	Caratteristiche di resistenza
lastre isolanti EPS	massa volumica Kg/m ³ 15 20 (25) conduc. termica W/m °K 0,039 0,036 0,035 stabilità dimensionale alla temperatura: a -25 °C: deformazione max 0,2% a+70 °C: deformazione max 0,5% reazione al fuoco: classe 1
rete di armatura in fibra di vetro	massa areica: oltre 150g/m ² resistenza alla trazione, su strisce di 50 mm secondo trama e ordito: oltre 140 daN allungamento alla rottura: 2,0 - 2,5 % min
massa di incollaggio delle lastre isolanti	resistenze allo strappo: su calcestruzzo: oltre 1,3 MPa con rottura nell'adesivo - su laterizio: oltre 1,0 MPa con rottura del supporto - su isolante: oltre 1,0 MPa con rottura dell'isolante
intonaco plastico continuo di finitura	assorbimento capillare di acqua (immersione) "A": inferiore a 0,5 Kg/m ² h ^{0,5} (valori usuali 0, 2-0,3 Kg/m ² h ^{0,5}) resistenza alla diffusione di vapore "S": inferiore a 2 m (equivalenti di aria) (valori usuali 0,25-0,35 m) prodotto "A"x"S": <0,1 Kg/m h ^{0,5}
sistema completo	resistenza all'urto 3J: nessun effetto resistenza all'urto 10J: debole crepa shock termico: 8 ore a +30 °C, 16 ore a -20 °C per 20 cicli e stabilizzazione a + 80 °C poi irrorazione d'acqua: nessun effetto shock termo-igrometrico: 3 ore a +70 °C poi 3 ore di ruscigliamento dopo 140 cicli: nessun effetto

Le caratteristiche di adesione del collante sono normalmente tali da provocare la rottura coesiva del supporto (se laterizio) o dell'isolante (su cemento armato) con carichi di rottura sempre superiori a 1 MPa.

La rete di armatura in fibra di vetro presenta maglie regolari (~4x4 mm), una massa areica superiore a 150 g/m² e una resistenza allo strappo, sia per trazione secondo trama, che secondo ordito, superiore a 140 daN. Ciò vale sia in condizione di prove a secco, che dopo invecchiamento in soluzioni alcaline. La deformazione della rete, come allungamento 2% alla rottura è attorno al 2%2, 5% (minimo).

Lo strato completo dell'intonaco armato presenta normalmente resistenze alla trazione superiori a 170 daN, con allungamento alla rottura attorno al 2,5%-3% (medio). Anche dopo prolungate immersioni in acqua, le caratteristiche di resistenza rimangono congrue. Alla rottura non si verificano comunque fenomeni di distacco tra l'intonaco e la rete di armatura.

Pertanto, su edifici già progettati con il sistema a "cappotto" o per i recuperi funzionali di edifici esistenti, il sistema fornisce oltre agli indubbi vantaggi economici diretti sul risparmio di combustibile e di condizioni estremamente confortevoli, anche quelli della conservazione durevole dell'involucro e della struttura stessa degli edifici, che risultano quindi ben rivalutati.

3.6 Realizza condizioni ottimali, confortevoli igieniche nei locali interni

Secondo noti studi sulle condizioni del microclima ambientale più confortevole, si dimostra che un gradiente termico, tra l'aria interna di un locale e la superficie del suo intonaco, superiore a 2 °C genera già disagio. Questa pur piccola differenza di temperatura innesca già moti convettivi fastidiosi, nell'aria interna del locale. In condizioni di elevata umidità dell'aria interna (es. 90%) tipiche di bagni e cucine, dove inoltre la temperatura dell'aria è più alta (es +25 °C) una differenza di temperatura di 2 °C tra l'aria e la superficie delle pare-



ti provoca già condensa. Gli intonaci interni risultano impregnati d'acqua e ciò favorisce l'attecchimento e l'infestazione di muffe, microfunghi e batteri.

È tipico di edifici non isolati il fenomeno dell'annerimento da muffe delle fasce sotto le solette superiori, in particolare dei locali d'angolo: il ponte termico, oltre alla grande dissipazione di calore, si manifesta con la bruttura delle muffe.

3.7 Contribuisce fortemente alle riduzioni delle immissioni inquinanti nell'atmosfera

È stata dimostrata in 3.4 in merito ai risparmi di combustibili per il riscaldamento, apportati dal sistema a "cappotto", una contrazione, comprovata da dati reali, tra il 25% e il 35%.

Considerando un condominio con un fabbisogno di 50t/anno di gasolio, lo stesso, dopo l'installazione del sistema a "cappotto", richiede solo 35 vanno.

Le 15 t in meno bruciate rappresentano non solo un evidente risparmio, ma corrispondono anche a immissioni non attuate nell'atmosfera pari a oltre 46 t di CO₂ (ca 24000 m³), a oltre 1 t di SO₂ (ca 350 m³) e 20 t di vapor d'acqua.

Analogo discorso vale anche per caldaie a metano: l'immissione è certamente meno inquinante essendo molto basso il tenore di composti dello Zolfo, ma l'immissione di CO₂ è praticamente pari. È immediato calcolare che relativamente pochi edifici isolati con il sistema a "cappotto" comportino riduzioni dell'inquinamento atmosferico dell'ordine di centinaia di migliaia-milioni di m³/anno.

4. COMPOSIZIONE E APPLICAZIONE DEL SISTEMA A "CAPPOTTO"

Premessa non inutile: **come già evidenziato i vari componenti del sistema a "cappotto", pur essendo diversi, costituiscono un pacchetto inscindibile:** le caratteristiche qualitative e comportamentali del sistema derivano infatti dalla assoluta compatibilità e dal sinergismo tra i vari suoi elementi, appositamente studiati e collaudati.

4.1 Supporti

Il sistema a "cappotto" può essere installato su tutti i supporti edili che presentano continuità e portanza: devono essere resi puliti e asciutti, secondo normale buona tecnica.

Sono quindi necessarie le stesse operazioni di preparazione richieste per lavori tradizionali, come la rimozione di denti, coronature e sbavature di malta

non coesive, tipiche di supporti nuovi o, per il restauro, la verifica di adesione e portanza di intonaci, pitture, rivestimenti preesistenti, allontanando comunque ogni parte non perfettamente solidale con il supporto strutturale e tutti i corpi/sostanze estranee.

Quando il sistema a "cappotto" rientra in progettazione, sono già predisposti i davanzali in larghezza tale da contenerlo, risultando alla fine comunque sporgenti di almeno 3 cm e muniti di gocciolatoio. Analogamente sono già predisposti in idonea lunghezza i cardini dei serramenti, i tiranti per pluviali, cablaggi, tubazioni, ecc.

Negli interventi di ristrutturazione e ricupero queste operazioni devono essere svolte ex novo prima dell'inizio dell'installazione del sistema. Il prolungamento degli elementi di sostegno e dei prigionieri deve essere pari allo spessore delle lastre EPS aumentato di 10 mm.

Se l'isolamento non termina sotto un cornicione o un sottotetto è necessario predisporre le scossaline di contenimento, munite di spluvio, in larghezza come sopra ricordata. Secondo la natura e lo stato del supporto, la pulizia preliminare richiede metodi che vanno dalla spazzolatura al lavaggio o (idro) sabbatura controllati. Supporti nuovi in calcestruzzo o in pannelli richiedono, come di consueto, l'eliminazione di eventuali residui di prodotti disarmanti.

In presenza di cavità, vespai, disegualianze di filo e planarità, superiori a 10 mm di spessore, eseguire i necessari riporti con malte addittivate con idonee resine in dispersione, per garantirne il perfetto ancoraggio, scegliendo l'inerte in granulometria adatta allo spessore da risarcire. Per spessori elevati è necessario inserire nelle malte una rete di armatura.

4.2 Profili di partenza

Sono costituiti da specifiche sagome in lega leggera perforata, da posizionare in bolla mediante tasselli a espansione in acciaio. Eventuali vuoti di planarità vengono risarciti con malta di cemento a presa rapida. I profili di partenza sono muniti di gocciolatoio e vengono posizionati sotto la prima soletta interessata dall'isolamento.

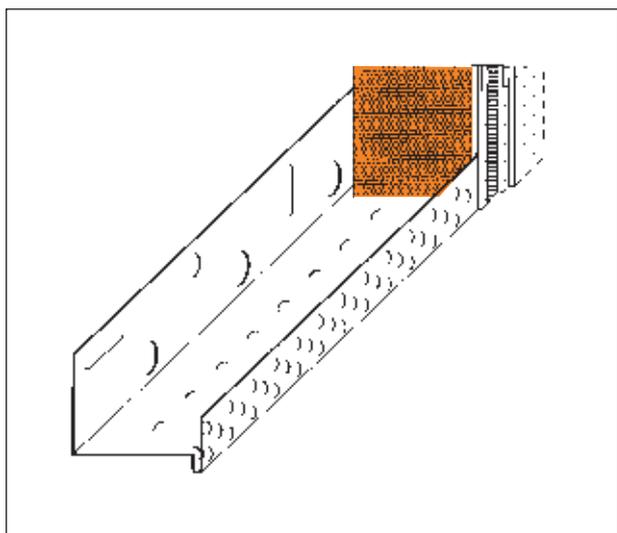
Nel caso di partenza da terra (marciapiede) il posizionamento è tale da lasciare ca 1 cm dal piano di calpestio.

4.3 Massa di incollaggio (e di rasatura armata)

4.3.1 Preparazione

Aggiungere a ogni confezione di collante il quantitativo indicato dal produttore del sistema, di cemento in polvere tipo Portland 325/425, senza alcuna aggiunta di acqua.





Profilo di partenza

Miscelare meccanicamente in modo da ottenere una massa omogenea, senza formare grumi, né inglobare aria. Lasciare la massa preparata in riposo, secondo le indicazioni.

L'utilizzo della miscela deve avvenire entro il tempo indicato (comunque congruo) dal produttore.

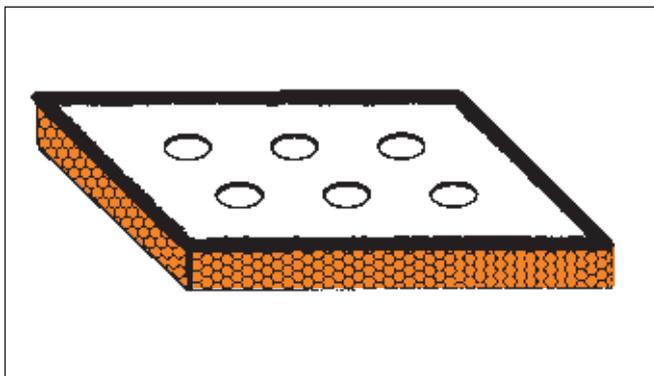
4.3.2 Incollaggio delle lastre EPS

Spalmare in prossimità dei 4 bordi delle lastre un cordolo di massa collante largo almeno 35 cm e apporre alcune pastiglie (46) al centro delle lastre, larghe 78 cm.

Il consumo di massa collante è specificato nella documentazione pubblicata dai produttori del sistema ed è ben esplicitato anche nelle certificazioni ufficiali.

Il rispetto del consumo è vincolante per la funzionalità e resistenza di tutto il sistema.

Per l'incollaggio delle lastre isolanti EPS su superfici non minerali, quali lamiera (serbatoi), plastiche dure o rinforzate, legno, i produttori indicano il tipo di collante idoneo e le relative tecniche e metodi di fissaggio.

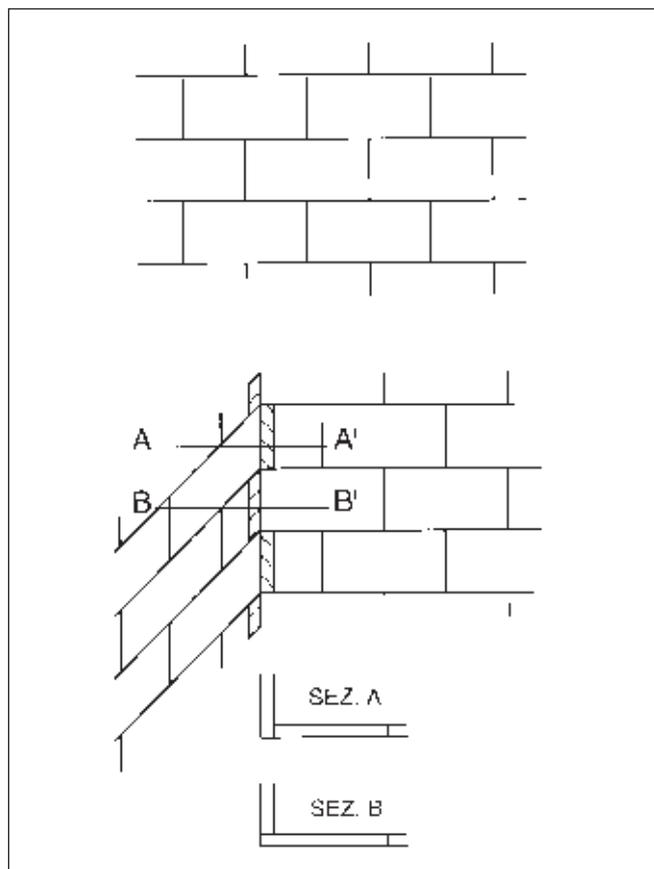


4.4 Posa delle lastre isolanti EPS

Applicare le lastre partendo dal basso verso l'alto, posizionando il lato più lungo in orizzontale, a giunti verticali sfalsati (come un normale muro in mattoni), lo sfalsamento viene eseguito anche in corrispondenza di spigoli e angoli. Comprimerne con cura mediante frattazzo per far entrare in contatto continuo e completo il collante con il supporto. Tra lastra e lastra, sia in orizzontale, che in verticale, non devono esistere né vuoti, né rifluizioni di massa collante. Controllare assiduamente, mediante staggia, la planarità. In corrispondenza dei contorni di porte e finestre evitare di far corrispondere i fili dell'architrave e dei contorni verticali con quelli delle file delle lastre; attorno a questi contorni occorre inoltre lasciare una fuga di ca 1 cm da sigillare successivamente con mastice idoneo.

I giunti di dilatazione strutturali devono essere rispettati e non possono essere ricoperti con il sistema. Questo viene fermato al bordo del giunto con appositi profilati, sui quali innestare, a fine lavoro, apposito coprigiunto.

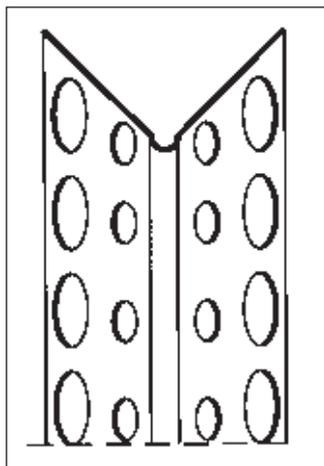
L'incollaggio delle lastre richiede una essiccazione di almeno 12 ore e comunque, secondo le condizioni climatiche e atmosferiche, tale da renderlo perfettamente esercibile.



4.5 Posa dei paraspigoli

Posizionare i profilati in lega perforata sugli spigoli verticali e orizzontali liberi, incollandoli su piccoli riporti di massa collante, preparata come già descritto in 4.3.1.

Operando una piccola pressione far defluire dai fori il collante e livellarlo con cazzuola. Non impiegare fissaggi meccanici, che non sono compatibili di con il sistema.



Paraspigolo

4.6 Eventuale fissaggio meccanico (tassellatura)

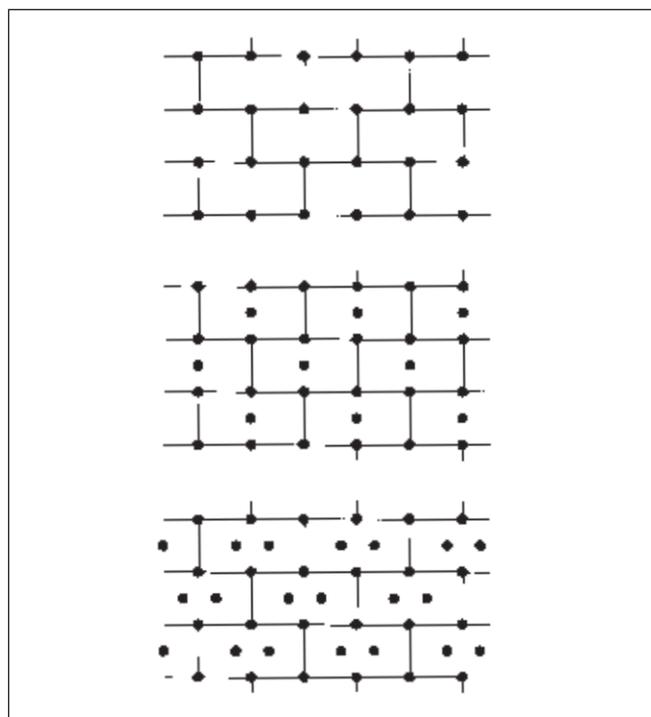
Questa operazione è necessaria quando il supporto presenta una superficie o strati sottostanti con scarsa resistenza meccanica.

La tassellatura non serve a migliorare il potere adesivo del collante, ma evita eventuali sfaldamenti tra il supporto strutturale e gli strati sovrapposti pregressi (intonaci, rivestimenti, pitture), sfaldamenti provocati dal peso e dalle sollecitazioni del sistema isolante.

Dopo almeno 24 ore dalla posa dello strato isolante, si procede con forature, in dima di profondità, con idoneo trapano.

I tasselli devono essere almeno 5 cm più lunghi dello spessore delle lastre EPS e comunque devono inserirsi nella muratura portante per un minimo di 3 cm. Inserire i tasselli ed espanderli con l'apposita anima.

Secondo la tipologia e il grado di coesione degli strati preesistenti sopra il portante strutturale, il numero di tasselli varia tra 4 e 8 per m². I tasselli vengono inseriti a ogni intersezione di lastra (4/m²) e inoltre +1 (6/m²) oppure +2 (8/m²) tasselli centrali a ogni lastra isolante.



4.7 Applicazione dell'intonaco armato

Si prepara come descritto in 4.3.1 la massa rasante e la si applica con talosce in acciaio inox stendendo sulle lastre isolanti uno strato continuo e omogeneo, ottenendo uno spessore minimo di 1,5 mm. Su questa rasatura fresca viene stesa la rete di armatura, in fibra di vetro, allettandola completamente, eliminando sacche di aria ed evitando pieghe e rigonfiamenti. Durante la stesura non viene asportato materiale di rasatura, ma questo viene immediatamente ridistribuito sulla rete.

Le estremità verticali e orizzontali della rete vengono sovrapposte con i teli vicini, in modo da non formare discontinuità della armatura.

La sovrapposizione è di almeno 10 cm. Riportare massa di rasatura in modo uniforme, fino a scomparsa completa della rete ove prescritto, in corrispondenza degli angoli delle aperture applicare, in diagonale, una fascia di rete di rinforzo, con dimensioni ca. 10x30 cm, allettandola completamente nella rasatura. Sugli spigoli verticali e orizzontali la rete deve rivestire non solo completamente il paraspigolo, ma deve essere estesa per almeno 30 cm oltre lo spigolo stesso.

Sui bordi terminali del sistema (ad esempio imbotti di finestre non interessate dall'isolamento) la rete deve essere ben risvoltata e incollata al supporto minerale. Sul profilo di partenza inferiore la rete viene invece

tagliata, senza farle formare risvolti. Accertarsi che ogni traccia di rete non sia più né visibile, né intuibile: risarcire con la massa di rasatura eventuali zone di scopertura anche parziale, applicando sempre sulla precedente rasatura fresca. Il consumo globale di massa rasante e lo spessore secco della rasatura armata ottenuta devono corrispondere ai dati ufficiali pubblicati e certificati dal produttore del sistema. Consumi o spessori inferiori compromettono le caratteristiche di resistenza dell'intero sistema.

In zone con particolare sollecitazione meccanica (logge, atri, corridoi, ecc.) è consigliato l'utilizzo di una specifica rete rinforzata o l'applicazione di un doppio strato di rete normale, ognuno ben allietato nella massa rasante. La rasatura armata richiede l'essiccazione (in condizioni meteo normali) di almeno 24 ore.

4.8 Eventuale applicazione del Primer

Questa operazione, qualora prescritta, viene eseguita con i normali attrezzi (pennelli, rulli, spruzzo) e secondo le indicazioni di grammature e tempi fornite dal produttore del sistema. L'essiccazione minima di questo strato, sempre in condizioni climatiche normali, è di 8 ore.

4.9 Finitura con lo specifico rivestimento plastico continuo

Questo rivestimento costituisce lo strato più esterno del sistema a "cappotto" e ne conforma l'estetica finale. Viene applicato con gli usuali attrezzi, curandone la continuità e uniformità di spessore e di struttura. Le grammature, i tempi e i metodi indicati dal produttore del sistema, secondo dati ufficiali e certificati, sono vincolanti sia per la resistenza agli agenti atmosferici, sia per l'estetica.

Abbiamo già ricordato, al capitolo 3.3 la necessità di evitare colori scuri, che provocherebbero pericolosi surriscaldamenti e deformazioni. La vastissima gamma di tinte utilizzabili e la facilità applicativa consentono di rispondere validamente alle varie esigenze architettoniche.

4.10 Sigillature

Per impedire infiltrazioni d'acqua, attraverso i giunti di interconnessione con altre strutture, si devono eseguire sigillature. Si possono utilizzare guaine autoespandibili, o idonei sigillanti: i prodotti devono essere compatibili con il sistema a "cappotto" e in particolare non devono contenere composti che danneggiano il polistirene.

5. LIMITI APPLICATIVI

5.1 In cantiere

Conservare le lastre **EPS** e gli altri componenti del sistema al riparo dall'azione diretta del sole, pioggia e nebbia; collanti, primer e finiture devono essere riparate anche dal gelo.

5.2 Durante la posa

Non applicare con temperature dell'aria, del supporto e dei prodotti inferiori a +5 °C o superiori a +30 °C, né con vento forte, né sotto l'azione diretta di sole o pioggia, né su superfici surriscaldate, anche se già in ombra.

Predisporre idonea protezione provvisoria per riparare da infiltrazioni di pioggia il bordo superiore del "cappotto" in fase ancora esecutiva.

Rispettare i giunti di dilatazione dei fabbricati: preposizionare le apposite guide di contenimento verticale delle lastre isolanti, inserire nel giunto il cordolo espanso, al termine della posa del sistema inserire il coprigiunto.

Il sistema a "cappotto non presenta altri limiti applicativi oltre questi pochi e comuni alle tradizionali operazioni in facciata degli edifici.

È dunque un sistema semplice e logico: richiede il rispetto scrupoloso delle indicazioni relative alle varie fasi. Queste indicazioni riguardano metodi, grammature, tempi e derivano dall'esperienza e dalla ricerca applicata.

In particolare viene richiesta attenzione per:

5.2.1 Posa delle lastre isolanti

- incollaggio con i metodi e le grammature indicate; il non rispetto può essere causa di distacchi e crepe;
- incollaggio su supporti stabili, puliti e asciutti, ma non surriscaldati o troppo assorbenti: il collante potrebbe "bruciare" disidratandosi e perdere coesione e tenacia;
- posizionare le lastre isolanti senza formare vuoti di discontinuità, né rifluizione di massa collante dai bordi: in caso contrario si potrebbero verificare ponti termici piccoli, ma capaci di formare crepe;
- verificare durante la posa la planarità e sistemarla con leggere pressioni mediante frattazzo largo: le aplanarità corrispondono a effetti estetici insoddisfacenti, né è possibile sistemarle successivamente con abnormi riporti di massa rasante o di finitura, che sfaserebbero il comportamento omogeneo alle sollecitazioni meteoriche e la uniformità di trasparenza al vapor d'acqua;

- sfalsare i giunti verticali delle lastre, sia sulle superfici piane, sia sugli spigoli e angoli; sfalsare i giunti orizzontali e verticali delle lastre rispetto ai corrispondenti fili di finestre e aperture: il non rispetto comporta la possibile formazione di crepe;
- formare la massa collante e rasante con il tipo e quantità di cemento indicato, senza aggiungere acqua e utilizzarla entro i tempi massimi (comunque congrui) indicati; attendere la presa completa, in conformità con le condizioni meteo, prima di proseguire con le operazioni successive: in caso contrario verrebbero compromesse le caratteristiche di adesione dell'incollaggio e le resistenze dello strato intermedio armato.

Come si può osservare, queste raccomandazioni di attenzione sono esattamente quelle richieste per l'elevazione di una normale muratura in mattone.

5.2.2 Nell'eventuale fissaggio meccanico (tassellatura)

- Eseguire i fori con buone punte, alla profondità prestabilita e regolata con dima montata sul trapano; eseguire la tassellatura nelle posizioni e con il numero/m² indicati: forature slabbrate sbreccite o con dimensioni improprie, posizioni e numero di tasselli non conformi possono vanificare questa operazione importante per la stabilità degli strati tra il "cappotto" e la struttura.

5.2.3 Stesura dell'intonaco armato

- Si rimanda a 5.2.1 per quanto riguarda il rispetto della composizione, tempi e metodi di preparazione della massa.
- stendere lo strato in spessore conforme alle indicazioni, in modo omogeneo e pieno, allettare immediatamente i teli di rete, sovrapponendone i bordi, rivestire subito e completamente la rete di armatura: in caso contrario questo strato destinato a sopportare la massime sollecitazioni termomeccaniche risulterebbe indebolito e compromesso, con pericolo di sfaldamenti e crepe;
- applicare in condizioni meteo e di superficie idonee, per evitare bruciature, dilavamenti, gelo.

Anche queste raccomandazioni sono tradizionali per la stesura di intonaci normali.

5.2.4 Finitura

- applicare secondo grammature, tempi, metodi e condizioni indicate, sia l'eventuale mano di fondo, sia il rivestimento, come normalmente richiesto dalla buona tecnica per i sistemi tradizionali.

6. CONSIGLI DI SICUREZZA E DI ECOLOGIA

I componenti del sistema a "cappotto" sono materiali sicuri e non inquinanti.

Secondo la corretta destinazione d'uso, criteri di trasporto, stoccaggio, manipolazione, applicazione, non sono noti pericoli relativi a possibilità di demolizioni termiche, di reazioni e di prodotti di reazione pericolosi.

I vari componenti non possono contenere sostanze tossiche o nocive oltre le soglie precisate dalle vigenti normative CEE, che impongono per queste sostanze specifiche etichettature e simboli-frasi di rischio e di prudenza.

Normalmente le masse collanti e rasanti, il primer e le finiture sono formulati in dispersione acquosa e come tali risultano alcalini. Questa alcalinità, per eventuali spruzzi negli occhi o sulla pelle, ove non prontamente risciacquati, possono generare deboli fenomeni irritativi.

I costituenti del sistema a "cappotto" allo stato di fornitura, durante lo stoccaggio in cantiere, durante la posa e al loro definitivo stato secco, non costituiscono carico di fuoco: il "cappotto" non brucia e non propaga la fiamma.

Per il rispetto dell'ambiente viene raccomandato di non disperdere le confezioni vuote, né versare i residui in acque superficiali o scarichi convogliati: occorre lasciar essiccare bene queste tracce e quindi deporre nei portarifiuti di cantiere.

Anche agli effetti dell'igiene applicativo e ambientale il "cappotto" è un sistema di massima sicurezza.

7. LA MANUTENZIONE

Come ampiamente escusso, l'installazione del sistema a "cappotto" pone in condizioni stazionarie l'involucro esterno dell'edificio, cioè tutto quanto viene posto sotto al "cappotto".

Vengono pertanto a decadere le necessità di manutenzione tipiche di intonaci e rivestimenti applicati su pareti non isolate, quindi sollecitate dalle escursioni termiche. La manutenzione del sistema riguarda, dopo molti anni, la pulizia o la rinfrescatura del rivestimento plastico di finitura.

La pulizia è normalmente eseguibile con acqua nebulizzata o in pressione controllata.

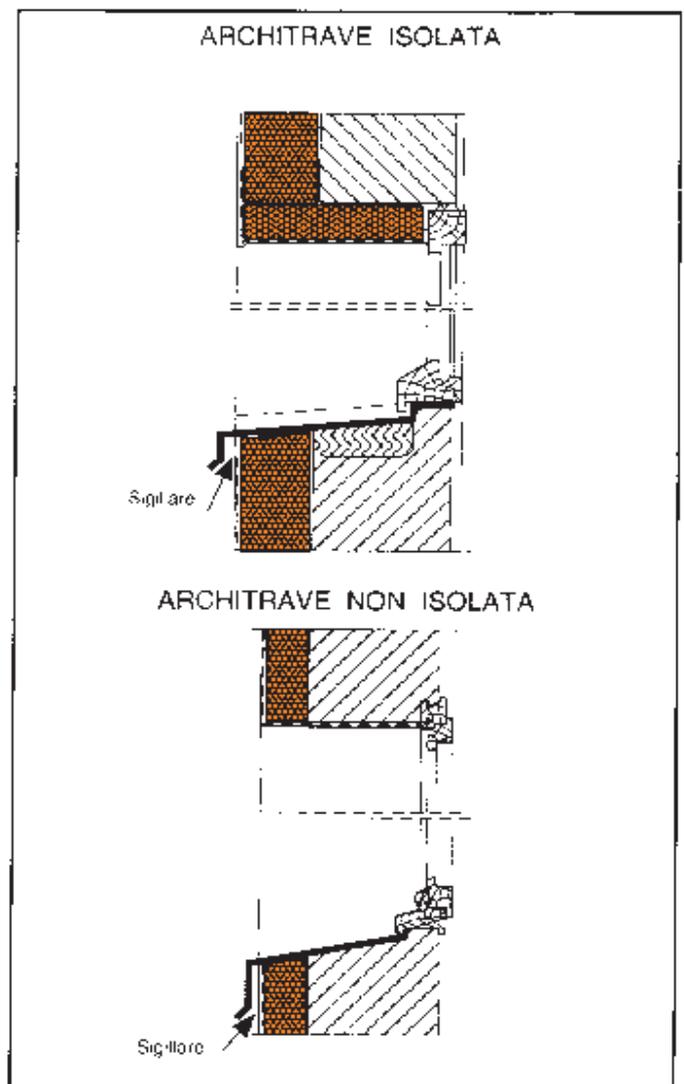
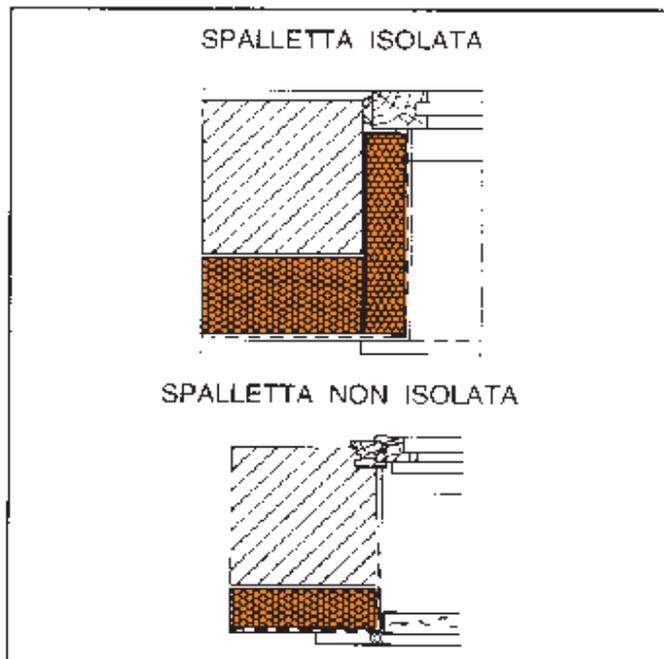
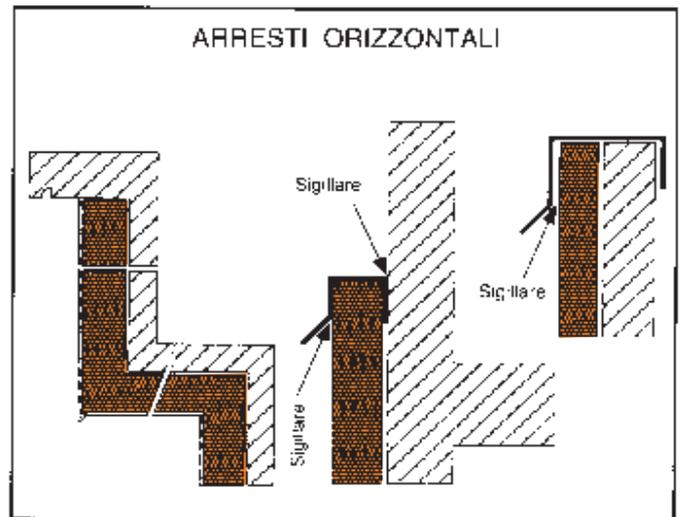
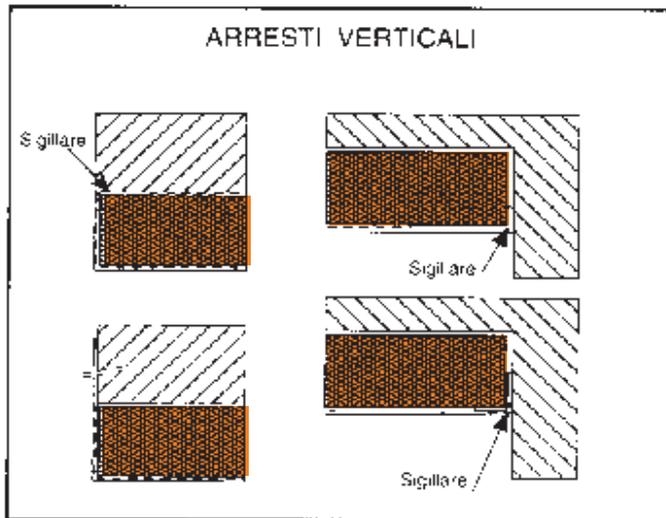
L'eventuale ripittura viene svolta con prodotti all'acqua e di qualità tale da non generare barriera vapore e da sviluppare forte idrorepellenza.

Sono particolarmente idonee le idropitture, non pelli-colanti a base metilsiliconica.

Nel raro caso di fratture del sistema, dovute a impropri fatti meccanici o vandalici, sono possibili ripara-



SCHEMI DI MONTAGGIO



zioni integrali, mediante il rifacimento parziale partendo dalle lastre isolanti. Non viene compromessa la continuità, né la congruità dell'isolamento.

Pareti isolate con il sistema a "cappotto" vicinali a violente fonti di calore o incendi non bruciano e non propagano la fiamma: l'isolante fonde. Anche in questi casi la manutenzione avviene con il rifacimento integrale della zona interessata dalla lesione.

In pratica, al di fuori di fatti veramente anomali, che interessano anche l'isolante, le operazioni di manutenzione sono semplici, facilmente eseguibili e rigenerano in pieno le funzionalità e le caratteristiche del sistema originale.

8. AFFIDABILITÀ DEL SISTEMA

Per consuetudine si definisce affidabile quel sistema tecnologico che:

- onora all'atto pratico del suo esercizio le funzioni progettate e dichiarate di comportamento e di resistenza;
- richiede solo operazioni compatibili con le condizioni e i metodi necessari alla sua realizzazione in opera e con il contorno;
- in ogni sua fase di attuazione e durante il suo esercizio funzionale nel tempo rispetta l'igiene di lavoro, di utilizzo e dell'ambiente;
- produce condizioni favorevoli alla vita dell'uomo e della natura;
- dura nel tempo;

Il sistema a "cappotto" non solo onora tutte queste clausole ed è pertanto affidabile, ma in più produce risparmio.

Le prime applicazioni del sistema risalgono alla metà degli anni 50 e sono tutt'oggi in esercizio.

Dai climi più freddi e umidi, tipici dell'Europa settentrionale e centrale, a quelli con escursioni termoi-

gometriche frequenti ed intense, tipiche dei climi alpino e marino, il sistema a "cappotto" ha mano dimostrato la sua validità e affidabilità, conquistando la fiducia degli utenti.

E questa fiducia, per l'assieme delle eccezionali proprietà del sistema, ne ha esteso l'utilizzo e i benefici non solo nel settore degli edifici ad uso abitativo, ma anche per fabbricati con destinazioni diverse:

- per la sanità: ospedali, cliniche, sanatori, laboratori;
- per l'educazione: asili, scuole e loro dipendenze; per lo sport: palestre, spogliatoi, locali annessi a stadi, piscine;
- per l'industria: uffici, magazzini, locali termostatati, sili, serbatoi caldi e freddi, ecc.;
- per il militare: caserme e costruzioni annesse;
- per le capacità specifiche di rendere stazionarie.

Le condizioni della struttura degli edifici (nei recuperi dei preesistenti gusci originariamente esterni) il sistema a "cappotto" si rende insostituibile per la conservazione e rivalutazione dei fabbricati.

Il sistema a "cappotto" è stato ed è oggetto di certificazioni di conformità da parte di competenti istituti, collegati e parificati a livello europeo, e di normative di qualità, in fase di unificazione per tutta Europa.

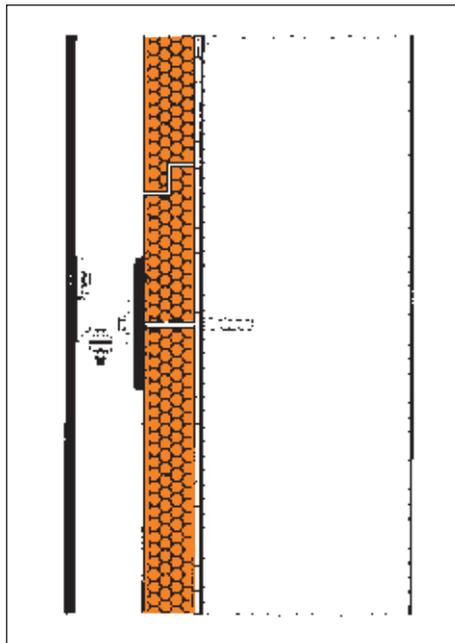
9. CONCLUSIONI

Il sistema a "cappotto" prodotto secondo strette norme di qualità e applicato secondo conformità dettate dalle esigenze e dalle conoscenze tecniche, si può definire un **sistema maturo perché esperto** e contemporaneamente un **sistema affidabile, quindi in sviluppo, perché maturo.**

L'esperienza e le testimonianze europee pluri-decennali indicano la scelta obbligata verso sistemi a "cappotto" intesi come pacchetti inscindibili, controllati e certificati.

5.

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

CONSIDERAZIONI GENERALI

Nel quadro delle differenti tecniche di isolamento dall'esterno delle pareti verticali d'ambito a tutt'oggi in uso e sufficientemente esperite, rientra il sistema di tipo piuristrato con ventilazione interposta comunemente conosciuto col nome di "facciata ventilata". Esso risulta costituito da una successione di strati funzionali che soddisfano a prestazioni specifiche atte a garantire il rispetto dei requisiti richiesti. In Fig. 1 è schematizzata la seguente stratificazione tipo:

- 1 - strato di supporto murario;
- 2 - strato di termocoibentazione direttamente applicato al supporto murario;
- 3 - strato di ventilazione;
- 4 - elemento di collegamento;
- 5 - strato di finitura esterno.

Al di là delle caratteristiche proprie dei singoli strati, più avanti analizzate, la facciata ventilata, intesa come sistema complesso di elementi che partecipano alla qualità dell'insieme, presenta aspetti particolari che ne rendono interessante l'applicazione. Infatti, la realizzazione di un siffatto sistema di facciata comporta:

- il miglioramento del requisito di tenuta all'acqua della chiusura verticale, ottenuto grazie all'impermeabilità dello strato di rivestimento e al drenaggio dell'acqua meteorica, eventualmente infiltrata, attraverso lo strato di ventilazione;
- il controllo dei disperdimenti termici in corrispondenza delle discontinuità dei materiali costituenti le chiusure d'ambito, attraverso l'eliminazione dei ponti termici (isolamento continuo);
- l'incremento dell'inerzia termica dell'edificio, dovuto alla localizzazione dello strato isolante all'esterno del supporto murario;
- il recupero di superficie abitabile a parità di volume rispetto ad una chiusura d'ambito tradizionale del tipo "a cassa vuota", grazie alla possibilità di realizzare il supporto di ridotto spessore senza che ciò pregiudichi il comportamento della chiusura;
- la realizzazione di un efficace rivestimento delle parti strutturali dell'edificio (pilastri, travi, setti portanti, ecc.) con conseguente protezione dagli agenti atmosferici aggressivi e riduzione delle mobilità termiche;
- la possibilità di applicazione in situazioni di recupero del patrimonio edilizio, con la riqualificazione del comfort ambientale interno (invernale ed estivo);
- il controllo della condensazione interna operato mediante una più razionale localizzazione degli strati costituenti il sistema;

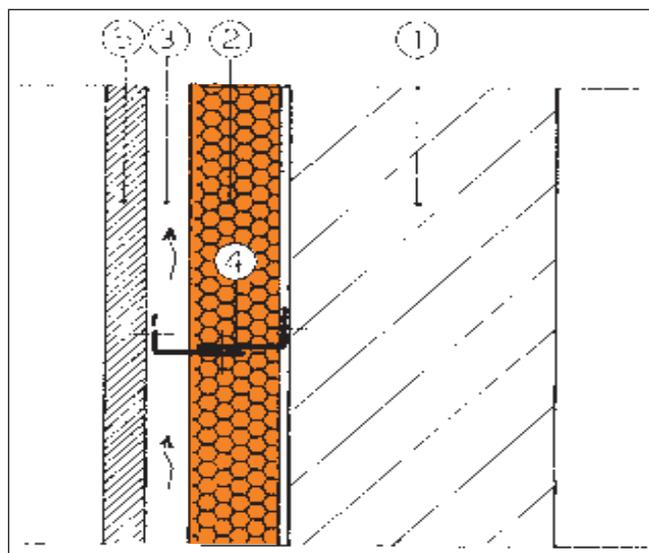


Fig. 1

- il miglioramento del comfort estivo con specifici criteri di ventilazione;
- nei sistemi discontinui, una maggiore facilità ad intervenire sul sistema per manutenzione, sostituzione di parti e/o modifiche prestazionali con l'incremento dello spessore degli strati.

L'EPS, come strato di coibentazione, si è dimostrato particolarmente idoneo all'impiego in sistemi di facciata ventilata.

DESCRIZIONE DEGLI STRATI

1. SUPPORTO

Il supporto rappresenta lo strato portante del sistema, cui questo è vincolato con differenti tecniche di ancoraggio. In conseguenza del fatto che la facciata ventilata può essere impiegata sia in situazioni di nuova costruzione che nel recupero del patrimonio edilizio esistente, il supporto si presenta con caratteristiche chimico-fisiche, aspetto e tipo di finitura superficiale esterna diversi.

Si può pertanto distinguere:

A. Supporto nuovo

- muratura in laterizio semplice o armata, con paramento semplice o doppio;
- muratura in blocchi di calcestruzzo normale o alleggerito;
- pannelli o blocchi in legno magnesiaco (casella a predere con riempimento in calcestruzzo);
- setti in calcestruzzo semplice, armato o alleggerito gettato in opera;
- elementi prefabbricati in calcestruzzo armato.

Anche in presenza di supporto nuovo può rendersi necessario realizzare uno strato di regolarizzazione in malta dello spessore di 1-2 cm preventivamente alla posa dello strato di collegamento; ciò al fine di ottenere una perfetta aderenza dello strato isolante al supporto e di impedire infiltrazioni di aria esterna che si possono eventualmente verificare in relazione ad un riempimento imperfetto dei giunti degli elementi costituenti la muratura.

B. Supporto vecchio

- supporto faccia a vista;
 - muratura in laterizio;
 - muratura in blocchi di calcestruzzo;
 - muratura in pietra;
 - setti in calcestruzzo armato gettato in opera;
 - elementi prefabbricati in calcestruzzo armato;
- supporto con strato di finitura continuo;
 - intonaco minerale;
 - intonaco plastico;
 - verniciatura e pitturazione;
- supporto con strato di finitura discontinuo;
 - piastrelle o tessere di grès, ceramica, pasta di vetro, klinker, ecc.

Lo strato portante deve essere in grado di resistere alle sollecitazioni meccaniche (carichi verticali e spinta orizzontale del vento) ad esso trasmesse dal sistema; deve assicurare la resistenza meccanica, la resistenza al fuoco, la sicurezza alle intrusioni, la tenuta all'aria, l'isolamento dai rumori aerei esterni, l'isolamento dai rumori interni e l'attrezzabilità.

Il posizionamento dello strato termoisolante esterno al supporto comporta una notevole riduzione delle possibili mobilità di tipo termico dello stesso, con conseguente limitazione delle deformazioni indotte; ciò assicura la riduzione delle tensioni interne della parete anche in situazioni di particolari sollecitazioni termiche dello strato esterno di rivestimento.

2. STRATO TERMOISOLANTE

Lo strato termoisolante determina l'ottenimento del comfort ambientale richiesto all'interno dell'edificio per quanto dipende dal comportamento igrotermico della chiusura d'ambito esterno.

Per un buon funzionamento della stratificazione, è necessario che l'isolante sia applicato direttamente al supporto; questo deve essere perfettamente piano per consentire una buona continuità di appoggio e la corretta giunzione dei pannelli. Materiale particolarmente idoneo è l'EPS sinterizzato, di tipo a ritardata propagazione di fiamma, con massa volumica generalmente di 15-20 kg/m³.

A queste caratteristiche il materiale EPS, corrispondendo ad una precisa normativa e ad un marchio di qualità.

Il materiale viene prodotto generalmente in lastre di dimensioni usuali di m. 0,5 x m 1, particolarmente stabili e tali da essere impiegate con facilità d'uso; per l'applicazione in facciata ventilata, che richiede spesso misure particolari, le lastre possono essere ottenute senza difficoltà dal fornitore nei formati più idonei alle esigenze progettuali e, per pezzi singoli o molto limitati, esse possono essere ricavate per taglio direttamente in cantiere partendo dai formati standard.

Per la realizzazione dello strato termoisolante, i produttori di EPS possono fornire lastre ricavate da blocchi stagionati almeno sei settimane prima del taglio, a loro volta ancora stagionate almeno due settimane e quindi fresate sul contorno, quando vi siano particolari esigenze di stabilità dimensionale; in relazione al tipo di posa previsto in sede progettuale, le lastre EPS sono fornite con bordi lisci o battentati o ad incastro. Nonostante lo strato isolante non partecipi alla tenuta all'acqua del sistema, è necessario che il coibente impiegato sia di tipo non idrofilo, affinché sia esente da rischi di alterazione per effetto dell'umidità ambientale esterna e del vapore acqueo effluente dall'interno; a queste condizioni l'EPS soddisfa incondizionatamente grazie alla caratteristica di scarsissimo assorbimento idrico.

Il dimensionamento dello spessore delle lastre deve avvenire in conformità alle prescrizioni di cui alla legge 10 del 9.1.91 per il risparmio dei consumi energetici, come illustrato più avanti.

I valori di conduttività utile di calcolo dell'EPS sono quelli riportati nella norma:

	EPS 15 RF	EPS 20 RF
Conduttività indicativa di riferimento λ_m (mW/m·K)	41	37
Maggiorazione m (%)	10	10
Conduttività utile di calcolo λ (mW/m·K)	45	41

In relazione alle caratteristiche morfologiche dello strato di collegamento del rivestimento al supporto, la realizzazione dello strato termoisolante può avvenire sia interponendo sia sottoponendo le lastre di EPS fra gli elementi dell'ossatura di collegamento (Fig. 2); adottando la prima soluzione occorre eseguire un accurato controllo dei ponti termici lineari che insorgono nelle discontinuità delle lastre.

L'applicazione dei pannelli può avvenire mediante incollaggio oppure ancoraggio meccanico, in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche del supporto e morfologiche dello strato di collegamento.

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)

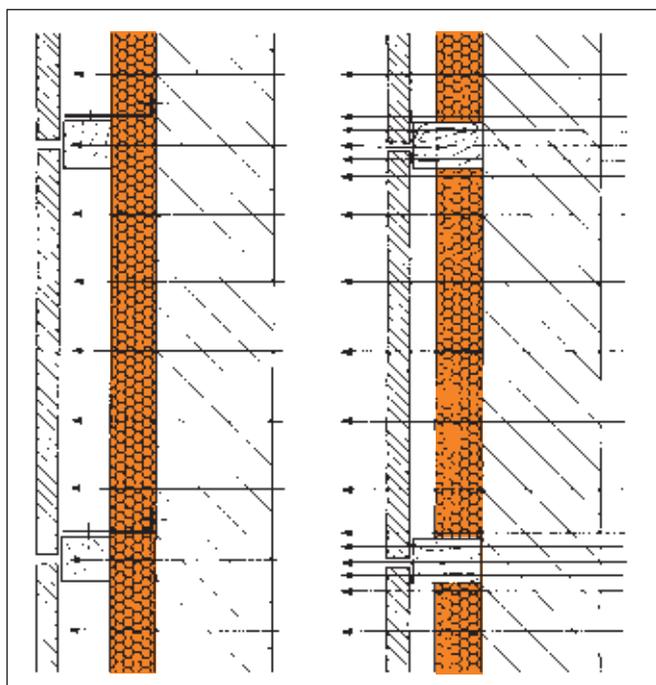


Fig. 2
La soluzione a sinistra, con le lastre di EPS poste sotto l'ossatura, evita la concentrazione del flusso termico in corrispondenza della stessa.

È possibile ottenere livelli di isolamento differenziati, in funzione delle situazioni locali di disperdimento, semplicemente grazie all'uso di pannelli EPS di diverso spessore.

3. STRATO DI VENTILAZIONE

Lo strato di ventilazione assolve alla funzione, in estate, di rinviare verso l'esterno parte del calore dovuto all'energia radiante solare che altrimenti tenderebbe a diffondersi verso l'interno e, in inverno, di favorire lo smaltimento del vapore proveniente dai locali, riducendo sensibilmente la possibilità che si verifichino fenomeni di condensazione sia superficiale del supporto sia interna allo strato isolante.

Lo strato di ventilazione è costituito da una lama d'aria interposta fra lo strato di termocoibentazione e quello di rivestimento esterno, determinandone la separazione fisica; ciò consente, oltretutto, di eliminare tensionamenti coattivi tra rivestimento e supporto, tipici di sistemi aderenti, in rapporto alle sollecitazioni termiche dovute all'irraggiamento.

Al fine di assicurare l'effetto di ventilazione (generalmente a carattere debole) lo spessore dell'intercapedine deve essere costante lungo tutta la parete e compreso tra i 2 e i 5 cm, sia per garantire l'innescarsi dell'effetto camino che induce il moto ascen-

sionale dell'aria, sia per evitare il verificarsi di moti convettivi locali in grado di perturbare le caratteristiche di moto uniforme del fluido.

Occorre inoltre che siano realizzate opportune aperture nello strato di rivestimento per l'immissione e l'estrazione dell'aria di ventilazione, creando giunti aperti orizzontali od orifizi localizzati discontinui per il cui dimensionamento di massima v. il cap. "Controllo della condensazione interstiziale". Per un buon funzionamento del sistema, occorre che lo strato di ventilazione non presenti discontinuità causate da interferenze con elementi in aggetto dal supporto.

4. STRATO DI COLLEGAMENTO

L'ancoraggio del rivestimento al supporto avviene attraverso un sistema integrato di elementi che costituiscono un'ossatura a geometria definita, con notevole influenza sull'attuazione del sistema di ventilazione.

Si può distinguere in:

- A) strato di collegamento continuo
 - A1. orditura semplice a tessitura verticale. Fig. 3
 - A2. orditura doppia a tessitura verticale e orizzontale incrociata. Fig. 4
- B) strato di collegamento discontinuo
 - B1. orditura a tessitura verticale vincolata al supporto mediante elementi discreti con funzione di distanziatori. Fig. 5
 - B2. collegamento per punti. Fig. 6

L'orditura può essere costituita da listelli di legno, da profilati metallici in lega d'alluminio o acciaio galvanizzato o da profili in cemento amianto, questi ultimi principalmente in presenza di rivestimento realizzato con lo stesso materiale.

Le dimensioni trasversali degli elementi sono da



Fig. 3

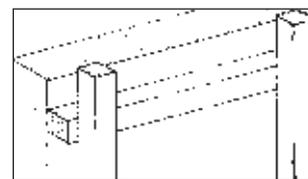


Fig. 4

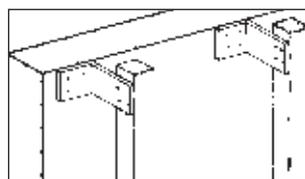


Fig. 5

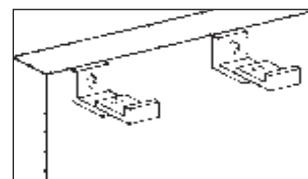


Fig. 6

QUADRO 1 - VERIFICA STATICA DEI TASSELLI AD ESPANSIONE

La scelta del tipo e del numero di tasselli da impiegare per il fissaggio dello strato di collegamento al supporto è subordinata alla verifica di resistenza della vite ai carichi permanenti ed accidentali in esercizio, da effettuarsi con la seguente procedura di calcolo.

1. Si presceglie il tipo di tassello da impiegare in relazione alla natura del supporto e alle caratteristiche morfologiche e dimensionali dell'orditura.

Per tale elemento si individuano i seguenti valori di sollecitazione:

M – momento flettente ammissibile (Nm)

R – forza ammissibile (N) di trazione o compressione, con direzione qualunque.

Questi valori sono forniti dalle ditte produttrici sulla scorta di prove sperimentali di resistenza, i cui certificati è consigliabile consultare preventivamente all'uso. In caso di incertezze sul comportamento del supporto, si può procedere ad una verifica sperimentale, seguendo le indicazioni delle Direttive UEAtc per l'Agreement dei tasselli.

2. Si valutano i carichi gravanti per m² di superficie verticale:

P = peso dello strato di collegamento (orditura) + peso dello strato di rivestimento (N/m²)

W = carico di vento (N/m²)

3. Si determina l'eccentricità "e" (m) del carico P come segue:

- per orditura continua direttamente applicata al supporto

e = Ø vite + 1/2 spessore ossatura

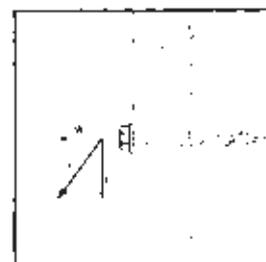
- per orditura distanziata dal supporto

e = Ø vite + spessore ossatura + distanza dell'ossatura dal supporto

4. Il numero dei tasselli da utilizzare per m² di facciata ventilata è il maggiore dei valori ottenuti con le relazioni:

$$n_1 = \frac{P \times e}{M} \qquad n_2 = \frac{\sqrt{W^2 + P^2}}{R}$$

approssimando per eccesso le quantità risultanti.



La tabella seguente riporta i valori caratteristici di alcuni tasselli per facciata ventilata.

Ø vite mm.	7	10		
Ø foratura mm.	10	14		
Momento flettente ammiss. M - Nm	3,1	12,8		
Forza ammiss. R traz. o compress. (perpendic. o incl., taglio) kN				
- Muratura piena pesante	0,8	0,8		
- Calcestruzzo	0,8	1,2		
- Laterizi forati pesanti	0,25	0,4		
- Laterizi forati leggeri	0,15	0,25		
- Blocchi forati cls leggero	0,25	0,25		
Lunghezze in mm	Min. di ancoraggio	Min. di ancoraggio		
	utile	utile		
Fissaggio diretto ossatura su	pieno 50	30 ÷ 110	70	65 ÷ 160
	forato 90	10 : 70	90	45 ÷ 95
Fissaggio distanz. di ossatura sottile (sp. < 15 mm.) su	pieno 50	50 : 85	70	65
	forato 90	45	—	—
Fissaggio distanz. di ossatura spessa (< 40 mm.) su	pieno —	—	70	90 ÷ 115
	forato —	—	90	70 ÷ 140

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)

determinare in relazione agli spessori dello strato coibente e dell'intercapedine ventilata.

Nel caso di impiego di orditura di tipo A2 o B1 occorre procedere al calcolo statico delle sezioni da impiegare in funzione delle condizioni di carico agente (peso del rivestimento e spinta del vento).

L'orditura può essere del tipo a vista o non a vista in rapporto alle tecniche costruttive dei fissaggi del rivestimento. L'orditura non a vista è realizzata utilizzando profili metallici opportunamente sagomati (supporti con sezione a T, a L, ecc.) o listelli in legno ed elementi di rivestimento di spessore generalmente superiore a quelli destinati ad una soluzione del tipo a vista; l'orditura a vista è ottenuta impiegando preferibilmente profili metallici trattati.

Il fissaggio dell'ossatura al supporto è ottenuto mediante tasselli ad espansione in nylon o in metallo, appositamente predisposti in funzione del tipo di supporto. Detti elementi di ancoraggio possono applicare l'orditura a contatto del supporto (collegamento tipo A) oppure a distanza voluta (collegamento tipo B1).

La scelta del tipo di tassello opportuno (lunghezza, sezione resistente, materiale) dipende dalla natura e dalle condizioni del supporto.

occorre procedere al calcolo statico di resistenza del

singolo elemento in funzione degli sforzi di taglio e del momento flettente in esso indotti dalle condizioni di carico, come mostra il Quadro 1.

La scelta del tipo di strato di collegamento da impiegare è essenzialmente correlata al sistema di rivestimento adottato.

È comunque necessario procedere al controllo accurato, sia in sede progettuale che in fase esecutiva, di alcuni aspetti specifici determinati proprio dalla tipologia dell'orditura. In particolare, occorre considerare soprattutto nel caso di ossatura incrociata, l'eventuale interferenza con lo strato di ventilazione (variazione di sezione trasversale del flusso d'aria ascensionale) e la conseguente compromissione del funzionamento.

Inoltre è da tener presente, ai fini della previsione di un eventuale strato di impermeabilizzazione, la possibilità che gli ancoraggi degli elementi distanziatori diano luogo a permeazioni idriche dal rivestimento al supporto, con imbibizione localizzata di quest'ultimo. È anche necessario prendere in dovuta considerazione l'insorgenza di ponti termici lineari in corrispondenza di orditure continue verticali od orizzontali direttamente applicate al supporto.

La facilità di collocazione in opera dello strato di collegamento, in relazione sia agli elementi dell'os-

Segue QUADRO 1

Esempio:

Caratteristiche morfologiche della facciata ventilata: rivestimento in lastre di fibrocemento su strato di collegamento realizzato con doppia orditura incrociata in listelli di legno direttamente applicata al supporto.

Dati di verifica:

Peso dello strato di collegamento e del rivestimento $P = 240 \text{ N/m}^2$

Carico del vento secondo la normativa vigente $W = 800 \text{ N/m}^2$

Tassello con \varnothing vite = 7 mm (vedi tabella)

$M = 3,1 \text{ N.m}$

$R = 250 \text{ N}$ (supporto costituito da laterizi forati pesanti)

Spessore ossatura = 8 cm

Calcolo eccentricità: $e = 0,007 + \frac{0,08}{2} = 0,047 \text{ m}$

Valutazione del numero di tasselli

$$n_1 = \frac{240 \times 0,047}{3,1} = 3,64 \quad (1)$$

$$n_2 = \frac{\sqrt{800^2 \times 240^2}}{250} = 3,34 \quad (2)$$

Dalla (1) si ottiene, approssimando per eccesso, il numero dei tasselli per m^2 di rivestimento: 4.



satura che agli accessori di fissaggio, è senz'altro un requisito di prioritaria importanza, tale da condizionarne la scelta; infatti meccanismi di ancoraggio al supporto molto complessi implicano difficoltà esecutive a volte in grado di compromettere il comportamento dello strato.

5. STRATO DI RIVESTIMENTO ESTERNO

Lo strato di rivestimento ha la funzione di proteggere gli strati sottostanti dagli agenti esterni (precipitazioni, vento, urti, carichi accidentali) e di conferire all'edificio la sua qualificazione formale. A seconda delle caratteristiche fisiche, geometriche e morfologiche dello strato di finitura, si può operare la seguente classificazione tipologica:

1. rivestimento discontinuo in manufatti. Fig. 7
2. rivestimento discontinuo in lastre di pietra. Fig. 8
3. rivestimento continuo in intonaco. Fig. 9

Per assicurare il buon funzionamento della facciata ventilata nel suo insieme, allo strato di rivestimento è demandato il soddisfacimento dei seguenti requisiti: ininfiammabilità, resistenza meccanica, impermeabilità all'acqua, aspetto, resistenza agli agenti ambientali, facilità di messa in opera, attitudine alla manutenzione.

Circa i materiali comunemente impiegati per la realizzazione del rivestimento in elementi, sia di piccole che di grandi dimensioni, è oggi disponibile una vasta gamma di prodotti, alcuni di tipo tradizionale, altri di più recente produzione: legno, ardesia, pietra naturale, laterizio, calcestruzzo, calcestruzzo fibrorinforzato, fibrocemento, lamiera d'acciaio e d'alluminio, lamiera metallica accoppiata a poliuretano espanso, poliestere rinforzato (vetro resina) o caricato (pietra artificiale), PVC, ABS, PMMA.

Ciascuno dei suddetti materiali presenta una problematica specifica, in relazione sia agli agenti che alle

meccaniche di interazione fra gli elementi di rivestimento e fra questi e il contesto.

In particolare, a seconda del materiale impiegato, occorre effettuare tutti i trattamenti occorrenti a garantire l'inalterabilità nel tempo delle caratteristiche di aspetto e tenuta.

Al fine di permettere il funzionamento dello strato di ventilazione, occorre che nel rivestimento siano predisposte aperture sia di immissione che di estrazione dell'aria, le quali devono essere protette rispetto alla pioggia e all'ingresso di animali ed insetti e dissimulate nel contesto della facciata. Gli elementi di fissaggio del rivestimento all'orditura devono essere protetti mediante cuffie o dischi impermeabili dagli effetti dell'innesco di possibili permeazioni idriche, dovute al trasporto per tensione superficiale o gravità dell'acqua di dilavamento del rivestimento.

1. Il rivestimento discontinuo in manufatti, come schematizzato in Fig. 7, può essere costituito da:
 - a) Piccoli elementi di dimensione massima inferiore a m 1, superiormente sovrapposti, in ardesia, legno, fibrocemento, manufatti sottili a base bituminosa, lastre di graniglia.In tal caso, la tenuta all'acqua è assicurata dalla parziale sovrapposizione degli elementi lungo i bordi, secondo vari schemi geometrici. L'impiego di questi elementi risulta vantaggioso in edifici di modeste dimensioni, per i quali il maggior onere derivante dalla posa di moduli di piccolo taglio è compensato dalla loro flessibilità di relazione con lo schema compositivo d'insieme.
- b) Doghe di larghezza massima inferiore a cm 30 con giunti sagomati (battentati o ad incastro) in legno, lamiera di acciaio (galvanizzato o prelacato), alluminio, poliestere, profilati alveolari in PVC.

Il collegamento fra gli elementi è in genere ottenuto mediante giunto particolare che deve presentare opportune tolleranze, al fine di non impe-

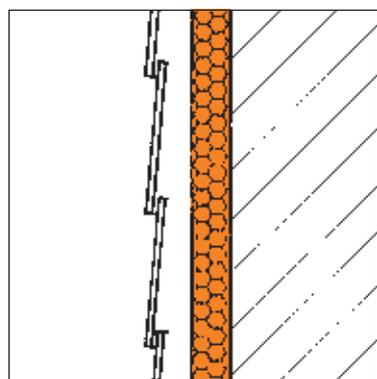


Fig. 7

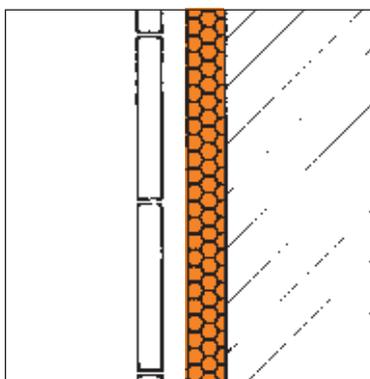


Fig. 8

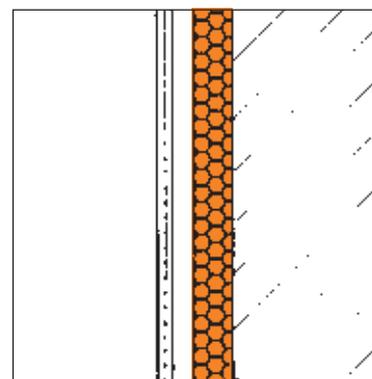


Fig. 9

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)

dire le dilatazioni termiche lineari che possono essere anche rilevanti nel caso di doghe di notevoli dimensioni. I manufatti in PVC sono di tipo rigido (estrusi aventi caratteristiche analoghe ai profilati per avvolgibile) o semiespanso, eventualmente migliorati con trattamenti superficiali.

La tabella sotto riportata esplicita il confronto tra le caratteristiche delle materie plastiche generalmente impiegate nel rivestimento delle facciate.

c) Pannelli aventi dimensione minima superiore a m 1 in fibrocemento, GRC, PVC, poliestere rinforzato, lamiera metallica (alluminio) accoppiata a poliuretano.

I pannelli sono di spessore generalmente molto ridotto, hanno forma rettangolare, morfologia sia piana che in rilievo e vengono posati giustapposti con giunti d'accoppiamento aperti o chiusi da elementi specifici, in grado comunque di garantire la tenuta idrica senza impedire le dilatazioni termiche superficiali. I pannelli in PVC sono realizzati mediante tecniche di stampaggio o termoformatura al fine di ottenere varie finiture superficiali.

2. La realizzazione del rivestimento in lastre sottili di pietra naturale prevede l'impiego di elementi di dimensioni ridotte, dell'ordine di 2-3 cm di spessore e di cm 60 x 30 di superficie. Fig. 8. L'ancoraggio al supporto deve essere particolarmente studiato a causa del peso della stratificazione.

Inoltre gli elementi di fissaggio devono prevedere la possibilità di aggiustaggi in opera delle lastre per ottenere il rispetto della qualità formale dell'insieme in termini di planarità superficiale, verticalità e orizzontalità.

Particolare attenzione va posta al controllo dei

giunti di accoppiamento delle lastre, al fine di garantire la tenuta all'acqua; anche la realizzazione di opportuni giunti di dilatazione delle campiture murarie sia orizzontali che verticali deve essere scrupolosamente studiata.

Generalmente le lastre di pietra vengono semplicemente accostate creando un giunto con ampiezza di circa mm 2, che impedisce l'ingresso dell'acqua di dilavamento superficiale e la permeazione per capillarità.

Comunque, eventuali modeste infiltrazioni idriche non interessano lo strato isolante potendo scorrere lungo la superficie interna dei pannelli di rivestimento.

3. Il rivestimento continuo delle facciate ventilata è ottenuto con la posa di un intonaco idraulico di spessore sostenuto (2,5-3,5 cm), applicato su di una rete metallica stirata con funzione di portaintonaco Fig. 9.

Per le sue caratteristiche formali questo tipo di rivestimento è assimilabile ad un rivestimento tradizionale a base di legante cementizio e pertanto può essere ben impiegato in interventi per i quali sono necessarie particolari attenzioni architettoniche per l'inserimento ambientale.

È necessario realizzare il rivestimento a regola d'arte onde attuare un controllo accurato delle proprietà impermeabili dello strato, in relazione alle caratteristiche specifiche chimico-fisiche dei materiali e ai quadri fessurativi o microfessurativi eventualmente insorgenti. A tal proposito, particolare attenzione va posta ai sistemi di giunzione della rete portaintonaco e ai giunti di dilatazione sia orizzontali che verticali.

Materiale Caratteristica	P V C rigido	P V C semiespanso	A B S	P M M A	P R F V 30% mat	POLIESTERE CARICATO
Massa volumica (Kg/m ³)	1400	700	1200	1200	1500	2200
Resistenza a trazione (KPa)	5	2	5	7	10	12 (*)
Modulo elastico a trazione (KPa)	300	150	200	330	1200	2000 (*)
Coeff. di dilatazione (K ⁻¹ · 10 ⁻⁶)	70	70	70	70	20	20
Tecnologie di trasformazione	Estrusione Termoformatura	Estrusione Iniezione	Estrusione Termoform. Iniezione	Estrusione Termoform. Iniezione	Compress. Formatura manuale	Colata

(*) A compressione

6. ACCESSORI

In corrispondenza di punti singolari (partenza alla base, raccordo con davanzale, balcone, serramento, copertura, ecc.) sono da prevedersi elementi di protezione e/o collegamento, quali profili, griglie, scossaline, elementi di giunto in materiale plastico o metallico di tipo estruso o lamiera piegata, opportunamente sagomati in relazione all'impiego.

Alcuni accessori ricorrenti sono rappresentati più avanti nei disegni di dettagli tipici.

REQUISITI E PRESTAZIONI DEL SISTEMA

Il sistema facciata ventilata concorre al soddisfacimento di alcuni dei requisiti relativi alle chiusure d'ambito verticali.

Tali requisiti, cui corrispondono prestazioni specifiche che caratterizzano la facciata ventilata nei confronti di altri sistemi di isolamento esterno delle pareti, sono relativi al funzionamento e all'attitudine all'impiego, alla durabilità e alla manutenzione.

Qualunque sia il procedimento esecutivo e la scelta dei materiali da adottare nell'ambito della soluzione adottata in sede progettuale, occorre che venga garantita la qualità d'insieme del sistema attraverso il soddisfacimento di detti requisiti mediante il rispetto delle relative specifiche di prestazione.

STABILITÀ E RESISTENZA MECCANICA

La facciata ventilata deve essere in grado di sopportare le sollecitazioni derivanti dai carichi ad essa applicati (peso proprio, vento, urti, carichi accidentali) e trasmetterli al supporto attraverso lo strato di collegamento, senza che si verifichino deformazioni plastiche e/o cedimenti e/o rotture tali da compromettere il funzionamento del sistema.

Circa le sollecitazioni dovute al peso proprio, occorre di volta in volta esaminare le condizioni di carico specifiche in relazione ai materiali e alla morfologia dello strato di rivestimento, alle caratteristiche meccaniche e geometriche dello strato di collegamento. L'azione del vento andrà valutata con riferimento all'ubicazione (regione e altitudine) dell'edificio, alla sua altezza e all'esposizione della parete ai venti dominanti; il tutto facendo riferimento alle prescrizioni normative vigenti in materia.

L'azione combinata di vento e peso proprio origina una forza risultante in base alla quale occorre procedere a verifica statica sia del rivestimento ester-

no, sia degli elementi di ancoraggio di questo all'orditura e dell'orditura al supporto, in relazione a situazioni di pressione, depressione o assenza di vento e alle condizioni di vincolo di progetto.

Tali verifiche devono trovare conferma in prove di laboratorio su un campione al vero del sistema, con procedimenti analoghi a quelli impiegati per i serramenti esterni e in prove di resistenza allo strappo, da effettuarsi in cantiere, relative agli elementi di fissaggio, secondo anche quanto riportato dalle guide EOTA.

Particolare attenzione va posta all'incremento di sollecitazione che si riscontra in corrispondenza di spigoli o aggetti sottoposti ad azioni dinamiche del vento localizzate.

La presenza di aperture di ventilazione della lama d'aria può comportare una diminuzione delle differenze di pressione effettivamente applicate al sistema; tale fattore di riduzione può essere messo in conto purché effettivamente quantificato in relazione alle condizioni progettuali.

Circa il comportamento ai carichi accidentali, il sistema deve essere in grado di resistere, senza deformazioni plastiche e/o danneggiamenti, ad una prova di carico statico costituita dall'appoggio, su un campione al vero, di una scala del peso di kg 14, inclinata di 14°, portante un uomo di kg 70. Per rivestimenti sensibili al calore (es. termoplastici) occorre eseguire la suddetta verifica in condizioni di massima temperatura di esercizio, in relazione all'energia radiativa incidente.

Circa il comportamento agli urti, alla facciata ventilata è affidato il compito di assolvere essenzialmente al requisito di aspetto, legato all'indeformabilità del rivestimento, essendo demandata al supporto la funzione di resistere allo sfondamento della parete verticale d'ambito. A tal proposito si nota che:

- a) in presenza di strato di rivestimento in intonaco, generalmente lo spessore dell'intonaco e l'armatura di aggrappaggio sono di per sé condizioni sufficienti a garantire una soddisfacente resistenza agli urti in situazioni d'uso correnti;
- b) in presenza di strato di rivestimento in pietra sottile, occorre verificare la resistenza agli urti in relazione agli spessori, alle dimensioni e alla natura chimico-fisica degli elementi costituenti, per l'esposizione più sollecitata;
- c) in presenza di strato di rivestimento in manufatti non devono insorgere fenomeni di deformazione permanente da urto.

Lo schema seguente riporta i valori di energia d'urto (E) ammissibile espressa in joule in funzione dell'agente incidente.

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)

	A	B
Corpo molle (50 kg)	<400	—
Corpo molle (3 kg)	<60	<10
Corpo duro (1 kg)	<10	<3

A = facciata direttamente accessibile (piano terreno, terrazza aperta al pubblico, ecc.)

B = facciata non accessibile (piano terreno protetto, terrazze chiuse al pubblico, piani superiori, ecc.)

I valori di energia d'urto ammissibile possono essere ridotti fino ad 1/3 qualora gli elementi del rivestimento siano facilmente sostituibili.

Con riferimento ai sistemi di rivestimento di tipo discontinuo più in uso, la tabella sotto riportata sintetizza la problematica del comportamento all'urto dei materiali in relazione alle caratteristiche morfologiche e chimico-fisiche.

	Corpo molle (50 kg)	Corpo duro (1 kg)
Piccoli elementi (eccetto scaglie di ardesia)	resistenza soddisfacente in funzione del dimensionamento dello strato di collegamento	
Doghe di alluminio	possibile deformazione plastica	
Doghe di lamiera	possibile deformazione plastica	Per E= 10J: marcatura evidente Per E>3J: marcatura accennata
Profilati in PVC	possibile deformazione plastica	Te = 20°C 4,5 <E <10J Te = 0°C E<2,5J Te = -15°C E <1J
Piastre di fibrocemento	possibile rottura	
Piastre di graniglia	rottura per urto dell'ordine di 150 joule	
Piccoli elementi di ardesia		Per E = 10 j: rottura per spess. = 3 mm

COMPORTEMENTO AL FUOCO

I sistemi di isolamento dall'esterno delle pareti d'ambito devono essere tali da non contribuire alla propagazione da un piano all'altro di un incendio eventualmente sviluppatosi all'interno dell'edificio.

Particolarmente critico, da questo punto di vista, è il sistema facciata ventilata a causa della possibilità di diffusione del fuoco incontrollato favorita dall'effetto camino che si innesca nello strato di ventilazione. Anche in ragione di questo occorre che lo spessore dell'intercapedine sia inferiore a cm 4, o comunque che siano previsti eventuali compartimentazioni delle diverse campiture di facciata o barriere da realizzarsi piano per piano.

La valutazione del comportamento globale va effettuata in funzione delle caratteristiche di reazione e del carico di incendio dei prodotti che compongono il sistema.

La verifica deve essere condotta tenendo presenti le prescrizioni della normativa vigente in materia "Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi", secondo la quale lo strato isolante impiegato nella facciata ventilata appartiene alla categoria definita: "Materiale isolante in vista: il materiale isolante suscettibile una volta in opera, di essere direttamente investito dalla fiamma".

Lo strato isolante può essere definito di classe 1 secondo le prove CSE RF2 e CSE RF3. Il Polistirene con caratteristiche di ritardata propagazione alla fiamma, contrassegnato dalla sigla RF dopo la designazione del tipo, soddisfa normalmente alla suddette prove.

Non esiste ancora alcuna normativa italiana specifica contenente prescrizioni sulle caratteristiche di reazione al fuoco dei rivestimenti esterni di facciata. Mentre non si impongono limitazioni all'impiego di componenti incombustibili, precauzioni sono da osservare per gli altri materiali in relazione alle caratteristiche dimensionali dell'edificio, ed è necessario tenere in considerazione le proprietà chimico-fisiche dell'orditura, in rapporto alla sua possibilità di collassamento indipendentemente o comunque prima di quello degli strati adiacenti.

ISOLAMENTO TERMICO

La facciata ventilata, per le caratteristiche correlate alla particolare soluzione di isolamento esterno delle pareti d'ambito, è in grado di rispondere in maniera ottimale al requisito di benessere termico globale:

1. limitando le dispersioni di energia termica dall'interno all'esterno dell'edificio e riducendo i dis-



perdimenti energetici dovuti ai ponti termici grazie alla continuità dello strato di isolamento termico; situazione, questa, che viene ottimizzata con l'impiego di pannelli in EPS a giunti battentati e di strato di collegamento applicato al supporto per punti; vedi Fig. 5 e 6.

- limitando l'immissione di energia radiativa dovuta all'irraggiamento solare, grazie all'effetto ventilazione che si realizza con la lama d'aria.

COMPORAMENTO IN SITUAZIONE INVERNALE

La ventilazione dell'intercapedine influenza la trasmittanza termica globale in rapporto alla superficie degli orifizi di immissione.

Nelle situazioni più usuali, con trasmittanza compresa fra 0,5 e 2 W/m²°C, la presenza dello strato di ventilazione comporta una riduzione di valore compresa fra il 5% e il 15% del valore ottenibile con un modello di funzionamento senza lama d'aria.

Occorre tuttavia tenere in considerazione che il suddetto incremento di resistenza termica può subire una riduzione in relazione all'esistenza di discontinuità dello strato di ventilazione o alla presenza di moti convettivi che si instaurano nell'intercapedine per effetto del flusso d'aria determinato dall'immissione del vento attraverso gli orifizi superiori della parete.

Le situazioni estreme sono:

- ventilazione nulla (intercapedine chiusa: rapporto fra sezione delle aperture di ventilazione e larghezza di facciata, in cm²/mσ = 0): la trasmittanza U_o della parete vale

$$(1) \quad \frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_i} + R + R_v + R_r + \frac{1}{h_e} = R_i + R_e + 0,33 \left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right)$$

dove R_v ed R_e sono rispettivamente la resistenza della lama d'aria non ventilata e del rivestimento, R_i è la resistenza della parete senza considerare gli strati di ventilazione e di rivestimento e $\frac{1}{h} - \frac{1}{h_e}$ sono i coefficienti liminari interno ed esterno.

- ventilazione abbondante (σ > 200 cm²/m): la resistenza termica del rivestimento e quella della lama d'aria non contribuiscono alla resistenza globale della parete. In tal caso la trasmittanza K₁ della parete vale:

$$(2) \quad \frac{1}{U_1} = \frac{1}{h_e} + R_i + \frac{1}{h} = R_i + 0,17 \left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right)$$

ove i simboli hanno il significato sopradetto.

- Nelle situazioni intermedie (intercapedine debolmente ventilata) il valore della trasmittanza K è fornito dalla relazione:

$$3) \quad U = U_o + \alpha(U_1 - U_o) \quad (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

Il coefficiente α è funzione di σ e del rapporto R_e/R_i, come risulta dalla tabella seguente.

σ (cm ² /m) R _e /R _i	0÷10	10÷100	100÷200	200÷400
<0,05	0	0÷0,10	0,20	*
0,05 < $\frac{R_e}{R_i}$ < 0,2	0	0,15	0,25	*
0,2 < $\frac{R_e}{R_i}$ < 0,5	0	0,20	0,40	0,60

*in questi casi $\frac{1}{U} = \frac{1}{U_1}$

In presenza di strato di collegamento continuo direttamente applicato al supporto insorgono ponti termici lineari che, in relazione al tipo di materiale costituente l'orditura, possono essere anche molto significativi dal punto di vista dei disperdimenti energetici e delle patologie dovute a fenomeni di trasmissione del calore non uniforme.

Nel caso di strato di collegamento discontinuo, gli elementi di ancoraggio costituiscono ponte termico puntiforme.

Nel Quadro 2 è riportato un esempio di calcolo della trasmittanza di parete ventilata.

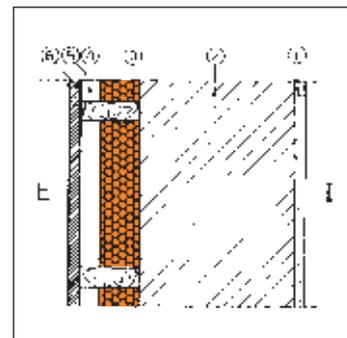
COMPORAMENTO IN SITUAZIONE ESTIVA

Il carico termico estivo in entrata all'interno dell'edificio, causato dall'irraggiamento solare, si trasmette essenzialmente per conduzione attraverso le stratificazioni costituenti la chiusura d'ambito esterna. Il sistema di isolamento a facciata ventilata comporta una notevole riduzione dell'energia radioattiva suddetta, creando condizioni di comfort ambientale maggiori rispetto a quelle determinate da una differente disposizione della stratificazione funzionale. Ciò è dovuto essenzialmente al concorso dei seguenti fattori:

- maggiore smorzamento dell'onda termica, dovuto alla posizione esterna dello stratoisolante;
- possibile attenuazione del coefficiente di assorbimento

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)

QUADRO 2 - Esempio di calcolo della trasmittanza



1. Intonaco interno	$s_1 = 0,02 \text{ m}$	$\lambda_1 = 0,87 \text{ W/mK}$	$R_1 = 0,023 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
2. Supporto in calcestruzzo	$s_2 = 0,20 \text{ m}$	$\lambda_2 = 2,10 \text{ W/mK}$	$R_2 = 0,095 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
3. Strato isolante lastre EPS	$s_3 = 0,04 \text{ m}$	$\lambda_3 = 0,041 \text{ W/mK}$	$R_3 = 0,976 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
4. Strato di ventilazione	$s_4 = 0,02 \text{ m}$		$R_v = 0,16 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
5. Strato di collegamento larghezza = 0,04 m passo $i = 0,50 \text{ m}$	$s_5 = 0,06 \text{ m}$	$\lambda_5 = 0,15 \text{ W/mK}$	$R_5 = 0,4 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
6. Strato di rivestimento	$s_6 = 0,015 \text{ m}$	$\lambda_6 = 0,58 \text{ W/mK}$	$R_6 = 0,026 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Per effetto del ponte termico dovuto alla discontinuità dello strato isolante, la resistenza termica di detto strato vale:

$$\bar{R} = \frac{1}{U_3} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_3} \times 0,04\right) + \left(\frac{1}{R_3} \times 0,46\right)} = \frac{1}{\frac{0,04}{0,4} + \frac{0,46}{0,976}} = 0,875 \frac{\text{m}^2 \text{ K}}{\text{W}}$$

Tale calcolo è stato condotto considerando una eterogeneità semplice (assenza di effetti di ponte termico dovuti a flusso non unidirezionale) per il fatto che l'orditura in legno non è un buon conduttore. (In presenza di strato di collegamento metallico occorrerebbe valutare il ponte termico con gli appositi coefficienti lineari o puntiformi).

- Ventilazione nulla (intercapedine chiusa) - Formula (1) con

$$R = \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \bar{R}_3 = \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,20}{2,10} + 0,875 = 0,99 \frac{\text{m}^2 \text{ K}}{\text{W}}$$

Si ottiene:

$$\frac{1}{U_0} = 0,33 + 0,026 + 0,99 = 1,35 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

e quindi

$$U_0 = 0,741 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

- Ventilazione abbondante (intercapedine in condizioni d'ambiente esterno) - Formula (2)

$$\frac{1}{U_1} = 0,17 + 0,99 = 1,16 \frac{\text{m}^2 \text{ K}}{\text{W}}$$

e quindi

$$U_1 = 0,862 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

- Ventilazione debole - Formula (3)

Nell'ipotesi progettuale di realizzare aperture di ventilazione con superficie pari a 100 cm² per ogni m di rivestimento, si ha per α il valore di 0,25. Pertanto la trasmittanza vale:

$$U = 0,741 + 0,25(0,862 - 0,741) = 0,771 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Confrontando i risultati, si ottiene la riduzione percentuale della trasmittanza qualora si consideri l'apporto dello strato di ventilazione all'isolamento della parete. Tale riduzione vale:

$$\frac{U_1 - U}{U_1} \times 100 = \frac{0,862 - 0,771}{0,862} \times 100 \approx 10,5\%$$

- mento, prevedendo l'impiego di uno strato di rivestimento di tipo riflettente (parzialmente o totalmente);
- c) riduzione del flusso in entrata, per effetto del lavaggio termico operato dalla lama d'aria.

CONTROLLO DELLA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE

Il sistema delle chiusure d'ambito esterno deve garantire il controllo dei fenomeni di diffusione del vapore acqueo attraverso gli strati componenti, onde evitare, in condizioni igrotermiche ambientali sfavorevoli, la formazione di condensa sia superficiale che interna agli strati.

Da questo punto di vista, il modello di funzionamento dei sistemi di facciata con isolamento dall'esterno risulta particolarmente soddisfacente, in quanto la pressione di vapore all'interno della stratificazione difficilmente raggiunge il valore di saturazione. Ciò è dovuto essenzialmente alla permeabilità degli strati, crescente verso l'esterno, e dall'assenza di un rivestimento a ridosso della superficie esterna dell'isolante; non è dunque necessario prevedere dispositivi di barriera al vapore. Il confronto dei diagrammi di Glaser relativi a tipologie di chiusure rispettivamente con isolamento interno senza barriera al vapore (Fig. 10), con isolamento interno con barriera al vapore (Fig. 11) e con isolamento esterno e ventilazione (facciata ventilata) (Fig. 12) dimostra come in quest'ultima situazione l'andamento delle curve di pressione del vapore in uscita dall'ambiente e di pressione di saturazione risulti tale da non presentare intersezioni in alcun punto interno alla parete.

La presenza della ventilazione inoltre accelera l'asportazione del vapore proveniente dallo strato isolante. I valori minimi consigliati della superficie degli orifici tali da assicurare una ventilazione sufficiente all'asportazione dell'umidità sono:

- per altezze H di parete fino a 3 m
 $\sigma = 50 \text{ cm}^2/\text{m}$.
- per altezze H di parete superiori a 3 m
 $\sigma = (H/3)^{0.4} \cdot 50 = 32 H^{0.4}$

L'evacuazione dell'umidità in uscita mediante la lama d'aria è favorevole anche al fine di ridurre il fenomeno di condensazione che può verificarsi sulla superficie interna dello strato di rivestimento in situazione di irraggiamento notturno.

TENUTA ALL'ACQUA

Lo strato di rivestimento esterno assolve al compito di proteggere il sistema dalle precipitazioni atmosferiche (pioggia, neve, grandine), evitando l'alterazione del comportamento degli strati sottoposti.

Tale requisito è essenzialmente affidato alle caratteristiche chimico-fisiche e morfologiche degli elementi di finitura, nonché alla tipologia dei giunti.

Un rivestimento di tipo continuo in intonaco, se ben realizzato, garantisce di per sé la perfetta tenuta. Un rivestimento discontinuo a piccoli elementi sovrapposti oppure a pannelli o doghe con giunti battentati è ugualmente affidabile, senza dover adottare particolari precauzioni per lo strato di collegamento e di isolamento; l'eventuale infiltrazione di acqua battente, per effetto di una notevole sovrappressione del vento, è sempre di piuttosto modesta entità e si smaltisce facilmente per scorrimento lungo la superficie interna dello strato di rivestimento ed evacuazione attraverso i giunti orizzontali, che devono essere particolarmente conformati. A tal proposito occorre prestare particolare attenzione ai sistemi di fissaggio in relazione alla possibilità che questi trasferiscano acqua di dilavamento. Nel caso di rivestimento discontinuo a pannelli giustapposti, al pericolo di permeazione del battente idrico è possibile ovviare con la realizzazione di giunti verticali muniti di guarnizioni di tenuta di tipo elastomerico, oppure di apposita sagomatura atta a raccogliere l'acqua di stravento e convogliarla al piede.

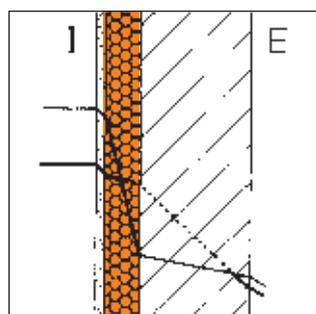


Fig. 10

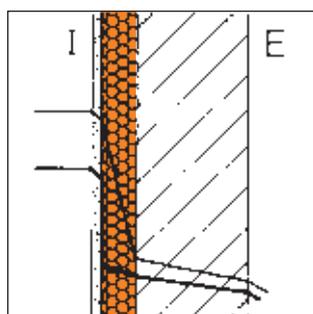


Fig. 11

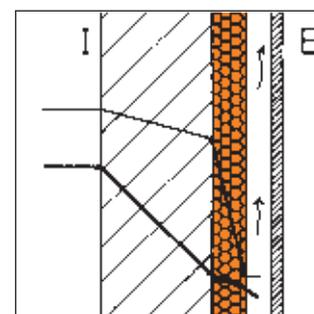


Fig. 12

DURABILITÀ

La facciata ventilata deve essere in grado di sopportare le sollecitazioni che possono prodursi sotto l'effetto della temperatura, dell'irraggiamento solare, del gelo e disgelo, delle azioni sia chimiche in relazione alle atmosfere anche aggressive, sia fisiche in relazione alla persistenza di venti trasportanti particelle solide, senza che intervengano perdite delle prestazioni dal punto di vista della planarità, dell'aspetto delle superfici, della tenuta all'acqua, della resistenza meccanica e del comportamento igrotermico del sistema e degli strati componenti.

In ogni caso, un sistema a facciata ventilata deve avere la stessa durabilità di un sistema di chiusura verticale d'ambito di tipo tradizionale e, comunque, non inferiore a quella del supporto.

L'energia radiativa e gli shocks termici inducono deformazioni nei materiali costituenti lo strato di rivestimento, che sono proporzionali ai coefficienti di dilatazione termica e di assorbimento della radiazione; anche l'esposizione e i tipi di vincolo influenzano lo stato tensionale degli elementi e le conseguenti variazioni morfologiche e dimensionali di tipo plastico. L'adozione di sistemi a dilatazione non impedita consente di ovviare alle problematiche suddette.

Elementi in pietra naturale, ardesia, calcestruzzo, cemento fibrorinforzato e materiali lapidei in genere, nonché materiali plastici come il poliestere caricato (pietra artificiale) presentano dilatazioni trascurabili in relazione alle dimensioni impiegate e pertanto non necessitano in generale di particolari attenzioni progettuali. Rivestimenti in lastre di pietra sottili giustapposte, qualora queste siano collegate in modo rigido, devono essere dotati di opportuni giunti di dilatazione orizzontali, ogni 3 m circa, e verticali ogni 6-8 m circa.

Parimenti occorre prevedere giunti di dilatazione e di frazionamento in presenza di rivestimenti in intonaco continuo, realizzando regolari campiture di facciata (orientativamente delle dimensioni di un'altezza di piano, anche in senso orizzontale).

Elementi di rivestimento metallici e plastici in genere, viceversa, subiscono movimenti differenziali anche rilevanti a causa delle escursioni termiche o del surriscaldamento da irraggiamento; quindi è necessario considerarne gli effetti mediante un controllo accurato del comportamento, con prove di laboratorio sia al vero che con tecniche di simulazione (invecchiamento naturale o artificiale, irraggiamento intensivo, stress termico).

Al fine di permettere le mobilità inerenti, i meccanismi di ancoraggio degli elementi di rivestimento allo strato di collegamento devono prevedere fori

asolati o applicazioni a scatto; le doghe, inoltre, devono avere lunghezza non superiore a 3 m, mentre i pannelli è bene abbiano superficie non piana, sia per assorbire le variazioni dimensionali sia per mascherare eventuali deformazioni permanenti.

Fenomeni di degrado accelerato (sfarinamento, infragilimento, cambiamento di colore, ecc.) possono riscontrarsi nei materiali di sintesi: gli elementi in PVC sono particolarmente sensibili ai raggi ultravioletti, a meno di non impiegare stabilizzanti idonei, i quali peraltro presentano l'inconveniente di ridurre il loro effetto nel tempo; i prodotti in poliestere risultano affidabili se protetti con filmogeni adatti.

Sotto il profilo di comportamento nel tempo all'umidità (aria umida, condensazioni, penetrazioni d'acqua) è necessario prevedere trattamenti protettivi a base di prodotti idrorepellenti o anticorrosivi per i materiali di rivestimento particolarmente sensibili (legno, metalli, resine poliestere, ecc.), per gli elementi di fissaggio e gli accessori (viti, profili, ancoraggi, ecc.), per lo strato di collegamento (listellatura in legno, orditura metallica, ecc.).

Inoltre, tutti i materiali organici costituenti il sistema devono essere protetti dagli agenti biologici quali muffe, funghi, termiti, ecc.

PRESCRIZIONI PER LA COSTRUZIONE

In presenza di supporto nuovo - quindi appositamente predisposto secondo specifiche scelte progettuali - non occorre alcuna particolare operazione di verifica di compatibilità col sistema da realizzare.

È necessario, comunque, prevedere interventi atti a regolarizzare la superficie di ancoraggio dello strato di isolamento termico (asportazione di irregolarità superiori a cm 1, ripristino di porzioni non perfettamente aderenti, ecc.) e a rimuovere eventuali depositi di polveri o grassi che comprometterebbero l'aderenza dell'EPS; è inoltre opportuno rispettare i seguenti tempi di stagionatura del supporto prima di procedere all'applicazione del sistema, al fine di assicurare la perfetta essiccazione dell'umidità di costruzione:

- supporto in calcestruzzo gettato in opera: minimo 45 giorni;
- supporto in muratura: minimo 30 giorni.

Qualora la facciata ventilata debba essere applicata su un supporto preesistente, possono essere necessarie operazioni idonee al consolidamento strutturale, risanamento dall'umidità di risalita capillare eventualmente presente, trattamento degli eventuali strati di finitura o di rivestimento (pulitura,

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)

decapaggio, ripristino, integrazioni, ecc.) al fine di ottenere una superficie di applicazione del sistema meccanicamente stabile, perfettamente asciutta e complanare.

Una volta predisposto il supporto, la posa in opera del sistema facciata ventilata, per quanto riguarda le modalità, i meccanismi di ancoraggio, i dispositivi di accoppiamento (sia fra elementi del sistema sia fra sistema ed altre unità tecniche che compongono l'edificio), è strettamente connessa con il sistema specifico delle ditte produttrici in relazione ai materiali e alle tecnologie appositamente predisposti.

Tuttavia alcune prescrizioni di validità generale sono da osservare.

Se l'orditura di collegamento deve essere vincolata al supporto mediante elementi discreti con funzione di distanziatori, occorre far precedere l'applicazione delle lastre di EPS, che, in questo caso, è preferibile siano incollate al paramento verticale con specifici prodotti a base di resine in dispersione acquosa, curando che la posa avvenga a giunti verticali sfalsati.

Se l'orditura è vincolata direttamente al supporto (strato di collegamento continuo), la posa dei pannelli di EPS è successiva e può avvenire sia per incollaggio che mediante chiodatura, sempre incastrando i pannelli EPS nell'interspazio degli elementi dell'ossatura.

Nel caso di ancoraggio meccanico, è consigliabile l'impiego di tasselli in materiale plastico a testa allargata (Fig. 13), in numero di 4 per m² di isolante (n. 2 per lastra da m 1x0,5), curando che non si produca schiacciamento o perforazione delle lastre in fase di serraggio.

Qualora l'applicazione avvenisse per incollaggio, il collante deve essere posato sulle lastre di PSE per punti, in ragione di almeno 12 per m² di superficie e in quantità tale da garantire l'adesione anche allo stato umido. La posa deve avvenire con temperatura, sia del supporto che dell'aria, compresa tra 8°C e 30°C.

Il collante inoltre deve avere caratteristiche comprovate di compatibilità chimica sia col supporto che con i pannelli di EPS.

La messa in opera deve procedere dal basso verso l'alto con regolarità, dopo aver fissato preliminarmente al supporto un adeguato profilo di arresto all'orlo inferiore. Se si utilizzano pannelli con giunti non battentati, occorre curarne il perfetto accostamento; la tolleranza massima di apertura dei giunti deve essere di mm 2.

In presenza di aperture superiori, queste devono essere riempite con strisce sottili di EPS incollate e mai impiegando prodotti a base cementizia o collanti. È indispensabile controllare la planarità, la verticalità

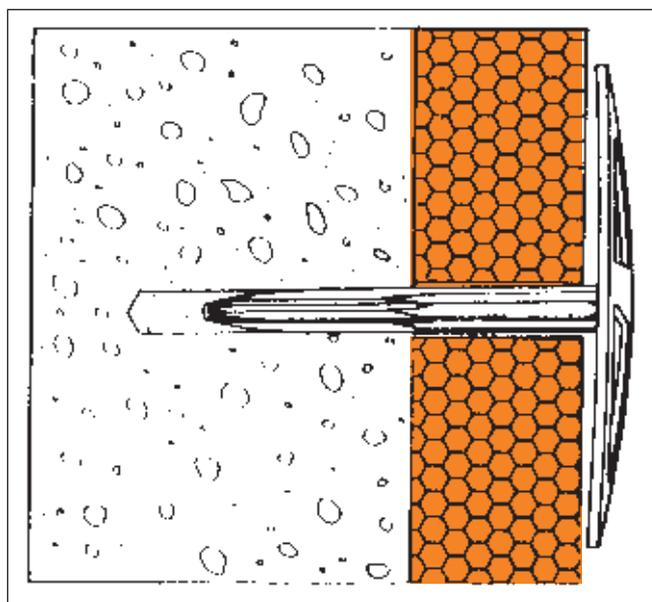


Fig. 13

e l'allineamento dei pannelli, utilizzando una stadia e una livella, ammettendo una tolleranza inferiore a + mm 3.

Per la realizzazione degli strati di collegamento e di rivestimento si deve necessariamente fare riferimento alle svariate tipologie proposte dalle ditte produttrici del sistema.

In ogni caso occorre curare che:

- in caso di orditura direttamente applicata al supporto, interasse sia costante e regolare in conformità al passo degli elementi di rivestimento e la luce libera sia inferiore di circa mm 5 rispetto alla dimensione trasversale dei pannelli di EPS, per permetterne l'inserimento ad attrito;
- sia conservata la planarità e la verticalità della superficie onde garantire il risultato formale finale;
- lo strato di ventilazione si mantenga costante per tutta la lunghezza della sezione verticale e sia fornito degli opportuni orifizi di ventilazione protetti con griglie da possibili intrusioni di agenti biologici;
- i giunti di dilatazione, frazionamento e accoppiamento, in relazione alle proprietà chimico-fisiche specifiche dei materiali e alle caratteristiche morfologiche del supporto, vengano eseguiti con particolare cura per assicurare il soddisfacimento delle prestazioni ad essi demandate.

Le figure seguenti sono esemplificative dei più ricorrenti sistemi di posa in opera.

STRATO DI RIVESTIMENTO IN FIBROCEMENTO

A. Strato di collegamento in listelli di legno incrociati - 1. supporto - 2. EPS - 3. listellatura orizzontale - 4. listellatura verticale/strato di ventilazione - 5. lastra di fibrocemento - 6. vite a testa bombata - 7. profilo di tenuta di alluminio o PVC - 8. vite a testa svasata - 9. elemento di tenuta in PVC - 10. tassello di ancoraggio dell'EPS al supporto - 11. tassello ad espansione - 12. profilo d'angolo in PVC - 13. griglia metallica

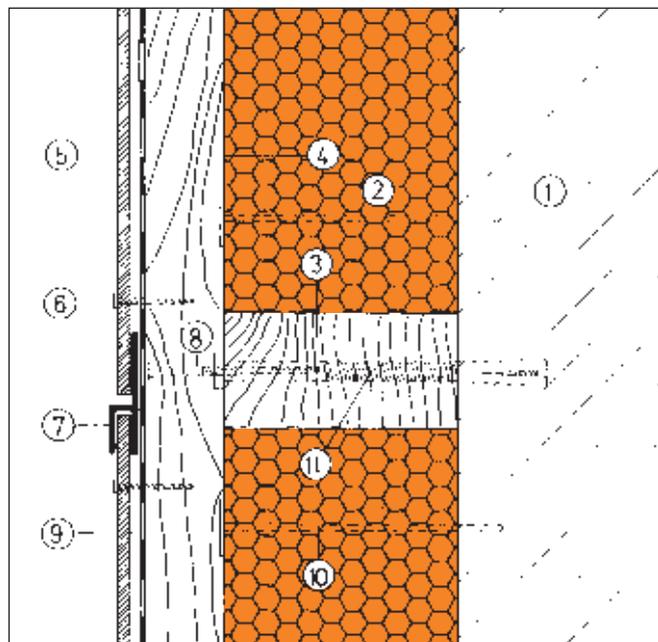


Fig. 14 Sez. corrente verticale - giunto orizzontale

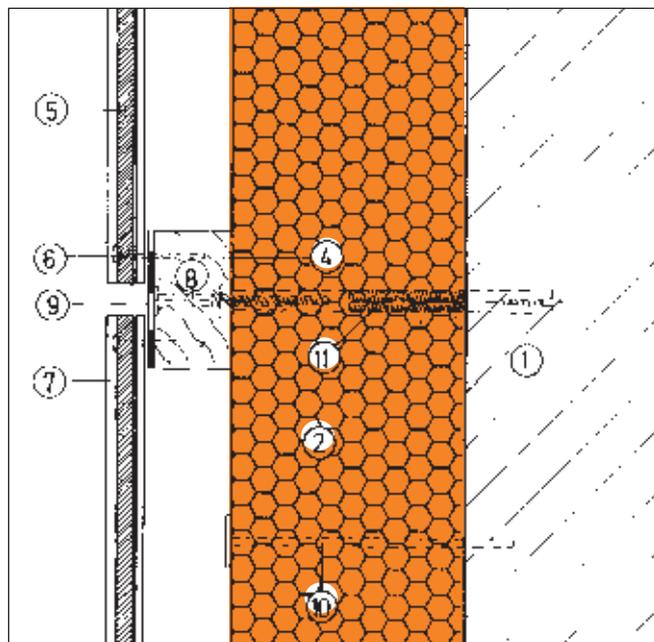


Fig. 15 Sez. corrente orizzontale - giunto verticale

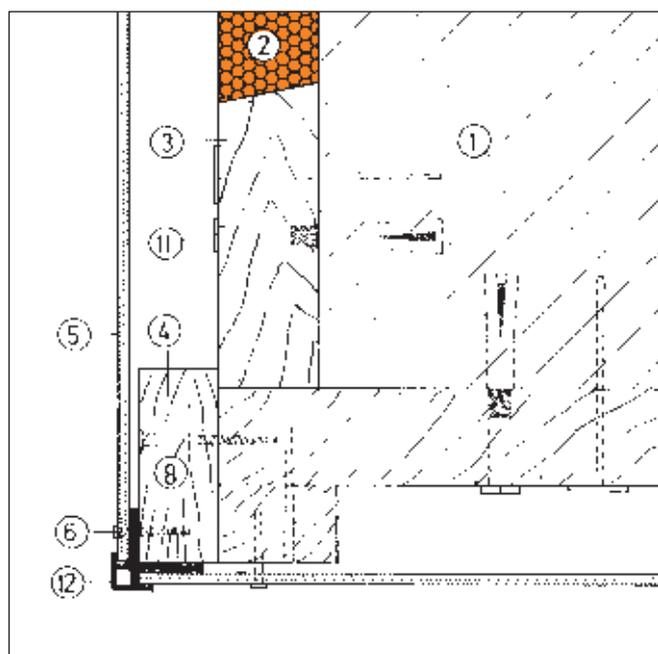


Fig. 16 Angolo esterno - sez. orizzontale

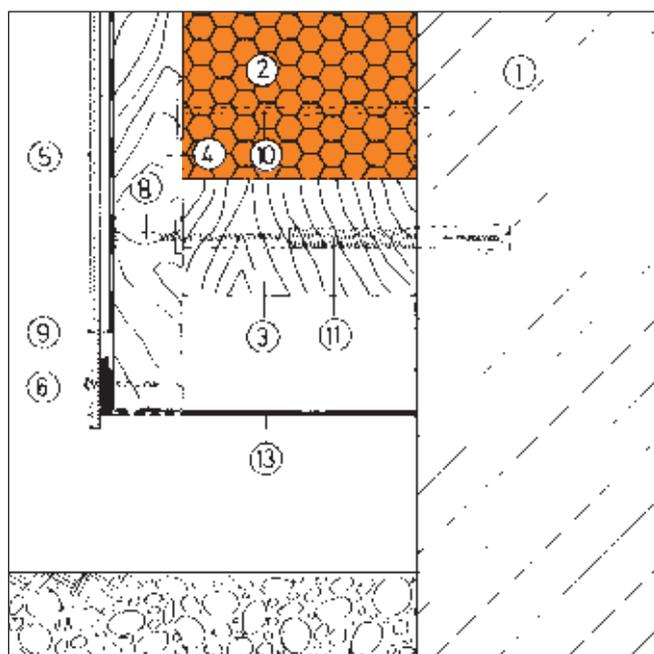


Fig. 17 Partenza alla base - sez. verticale

STRATO DI RIVESTIMENTO IN FIBROCEMENTO

B. Strato di collegamento in strisce di fibrocemento - 1. supporto - 2. EPS - 3. strato di ventilazione - 4. striscia di fibrocemento - 5. vite di fissaggio con tassello - 6. lastra di fibrocemento - 7. elemento di tenuta in PVC - 8. tassello di espansione con distanziatore - 9. profilo di tenuta in alluminio o PVC

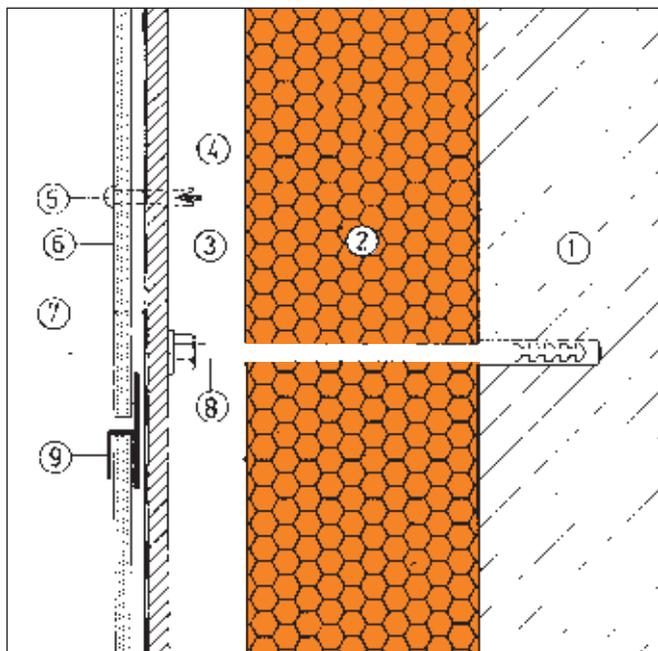


Fig. 18 Sez. corrente verticale - giunto orizzontale

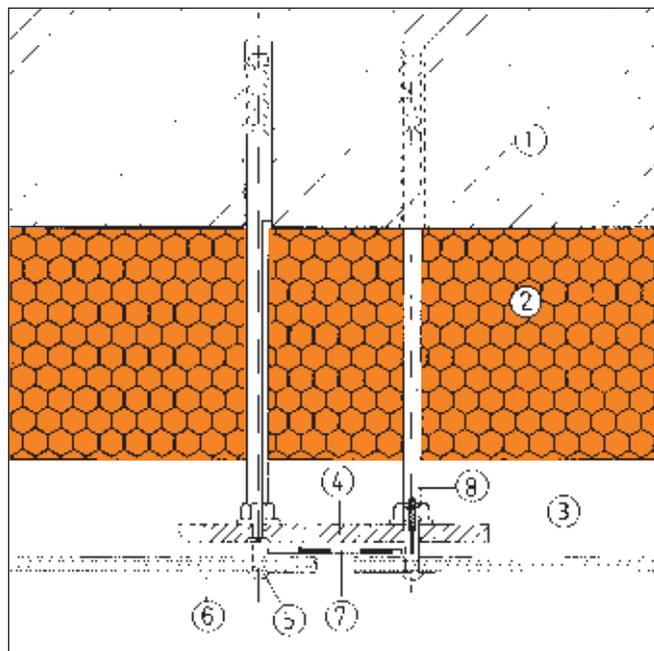


Fig. 19 Sez. corrente orizzontale - giunto verticale

C. Strato di collegamento metallico discontinuo - 1. supporto - 2. EPS - 3. strato di ventilazione - 4. lastra di fibrocemento - 5. bullone di ancoraggio con espansore - 6. piastra metallica - 7. struttura metallica - 8. tassello ad espansione

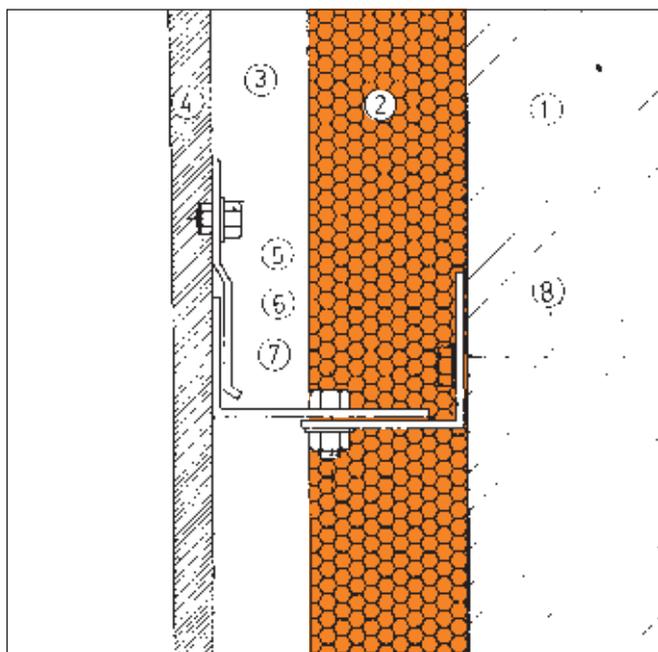


Fig. 20 Sez. corrente verticale

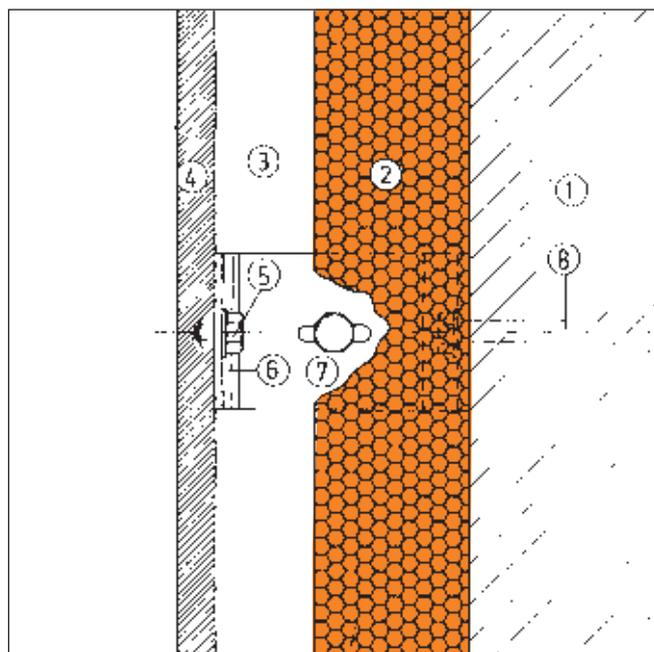


Fig. 21 Sez. corrente orizzontale

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)

D. Strato di collegamento metallico continuo - 1. supporto - 2. EPS - 3. strato di ventilazione - 4. lastra di fibrocemento - 5. collegamento con rivetto o vite autofilettante - 6. profilo metallico ad Ω - 7. tassello ad espansione con distanziatore - 8. angolare metallico - 9. profilo metallico di chiusura

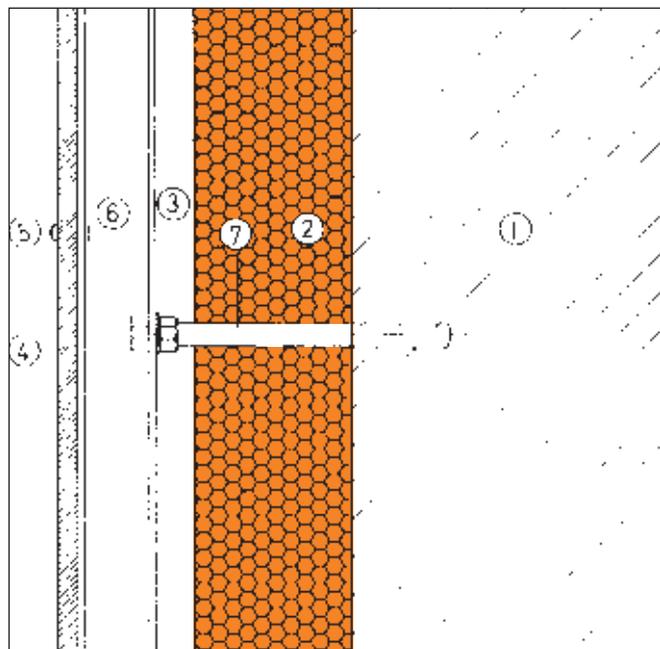


Fig. 22 Sez. corrente verticale

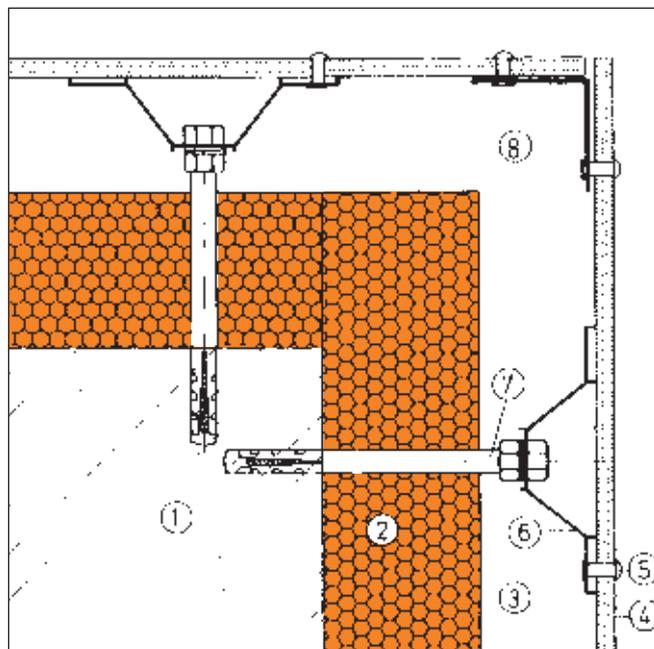


Fig. 23 Angolo esterno sez. orizzontale

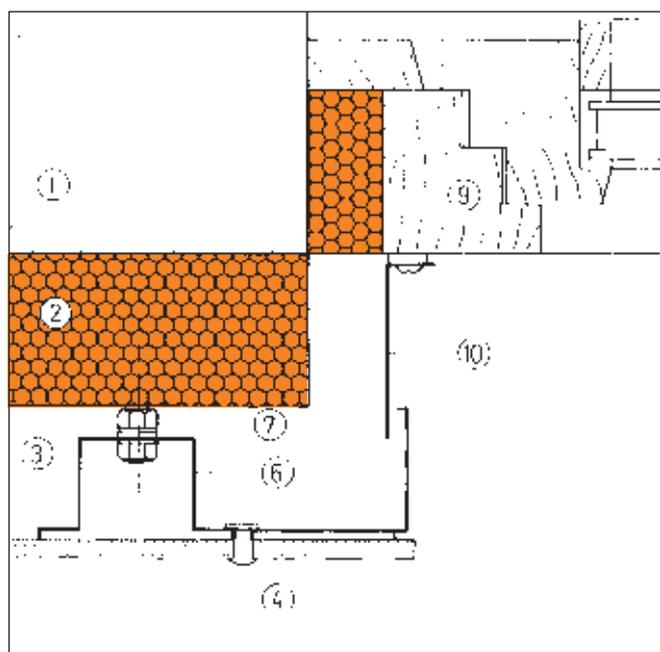


Fig. 24 Raccordo con serramento - sez. orizzontale

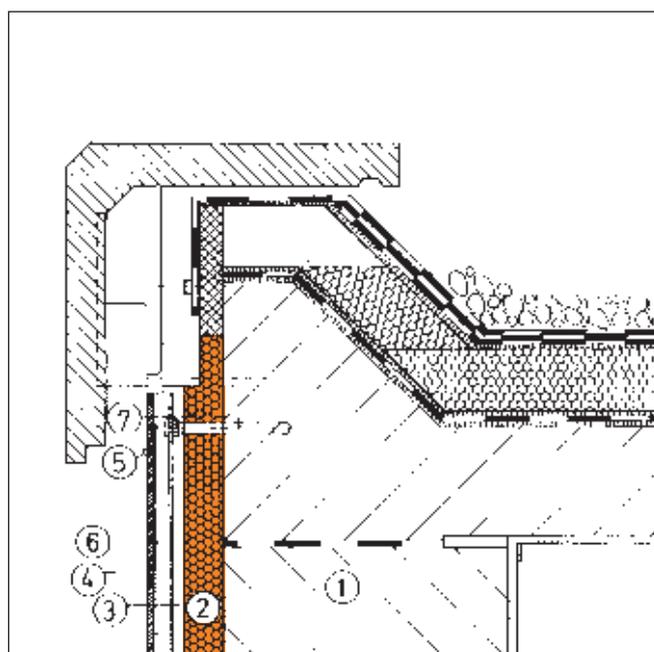


Fig. 25 Raccordo con copertura - sez. verticale



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

STRATO DI RIVESTIMENTO IN DOGHE DI CALCESTRUZZO

1. supporto - 2. EPS - 3. profilo metallico continuo - 4. listello di legno orizzontale - 5. vite di ancoraggio - 6. tassello di ancoraggio - 7. doghe di calcestruzzo - 8. davanzale - 9. serramento

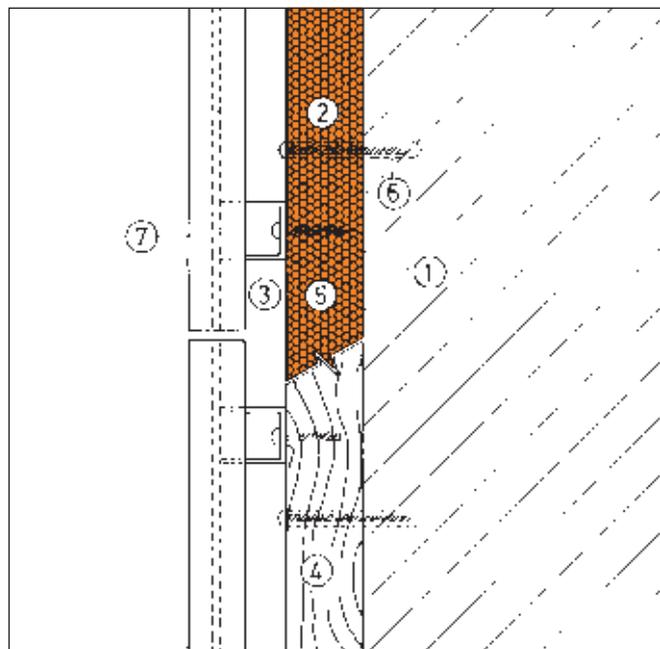


Fig. 26 Sez. corrente orizzontale - giunto verticale

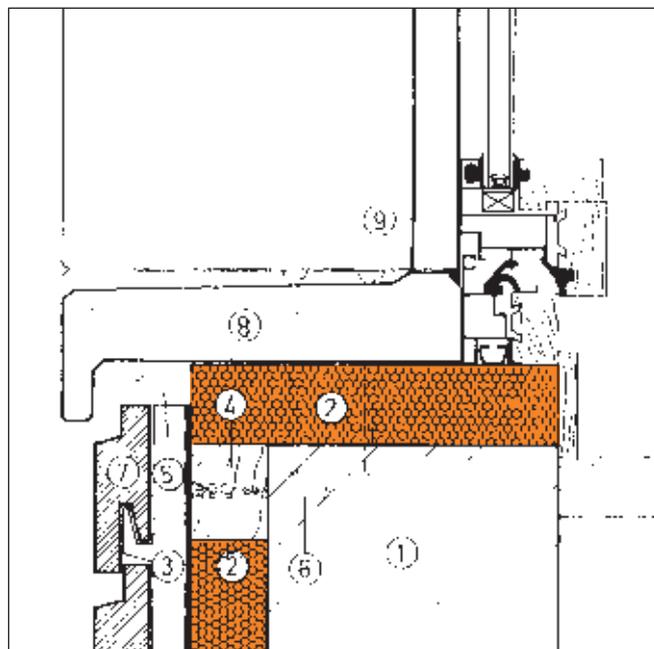


Fig. 27 Raccordo con davanzale - sez. verticale

STRATO DI RIVESTIMENTO IN PIETRA

1. supporto - 2. EPS - 3. struttura metallica discontinua - 4. bulloni di fissaggio a regolazione - 5. strato di ventilazione - 6. lastra di pietra

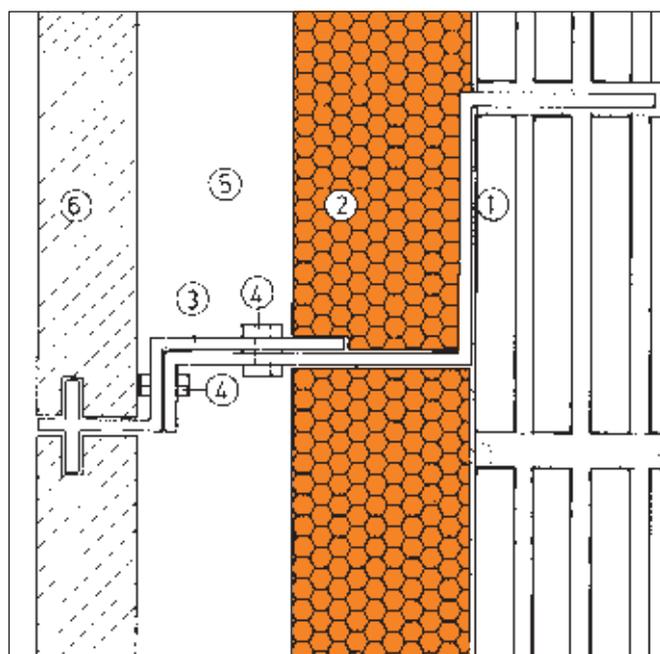


Fig. 28 Sez. corrente verticale

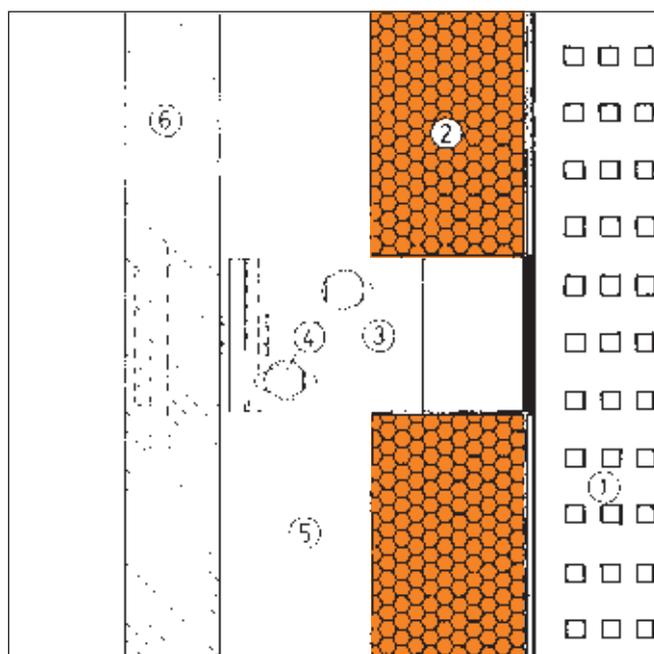


Fig. 29 Sez. corrente orizzontale

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)

STRATO DI RIVESTIMENTO IN ALLUMINIO

1. supporto - 2. EPS - 3. profilo metallico verticale continuo - 4. elemento metallico discontinuo - 5. strato di ventilazione - 6. pannello in alluminio - 7. profilo metallico ad L - 8. tassello ad espansione - 9. coprigiunto - 10. bullone di fissaggio ed ancoraggio - 11. cordolo di fondo giunto - 12. sigillante - 13. serramento - 14. davanzale - 15. guida avvolgibile - 16. copri-giunto in metallo o PVC - 17. distanziatore metallico - 18. guarnizione in neoprene

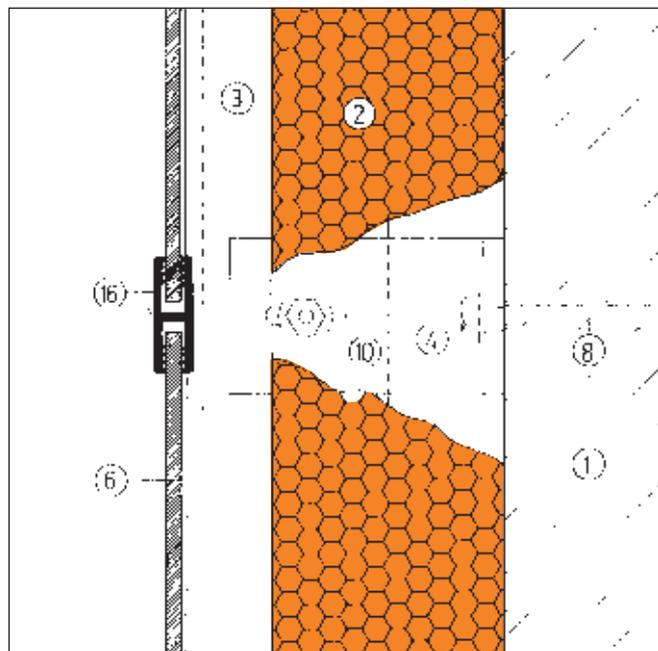


Fig. 30 Sez. corrente verticale - giunto orizzontale

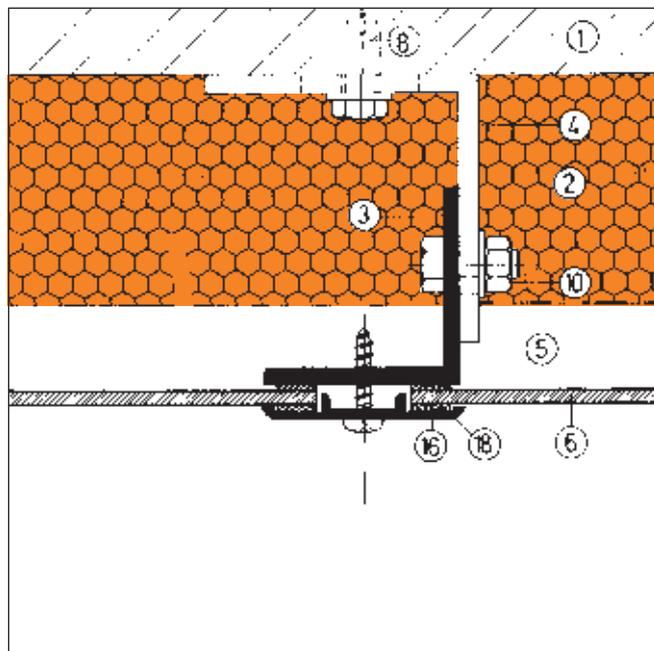


Fig. 31 Sez. corrente orizzontale - giunto verticale

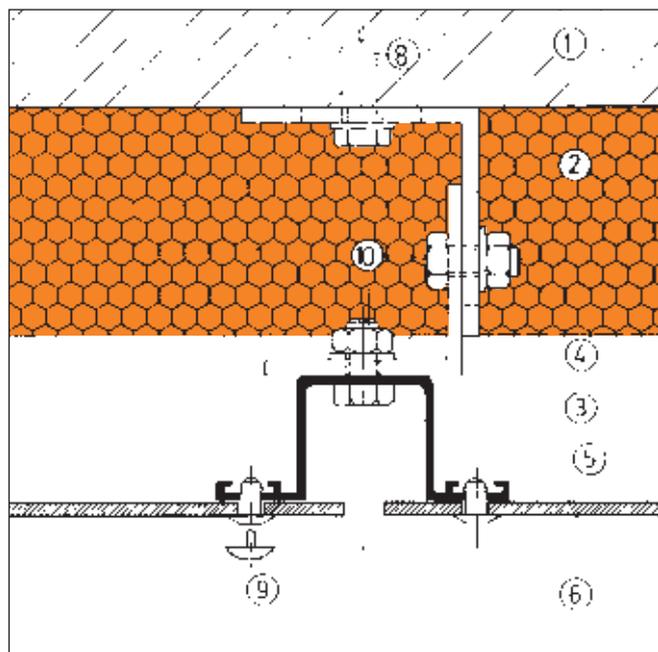


Fig. 32 Sez. corrente orizzontale - giunto verticale

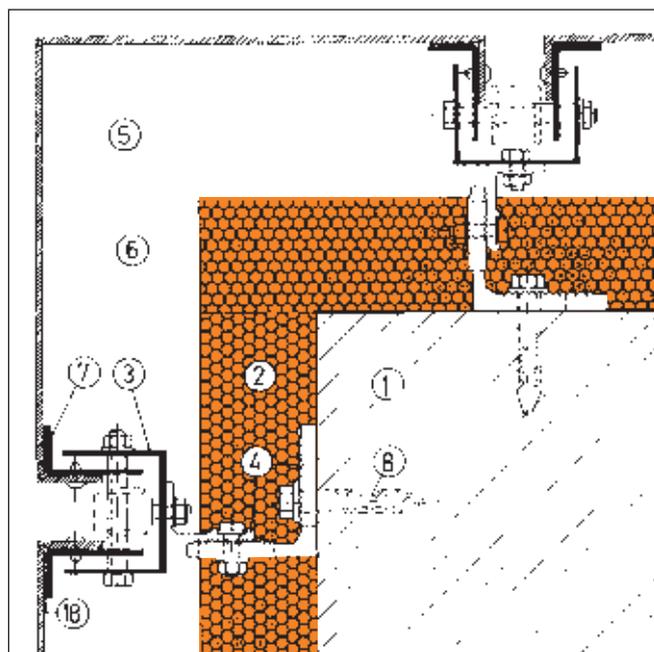


Fig. 33 Angolo esterno - sez. orizzontale



ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS
(FACCIATA VENTILATA)

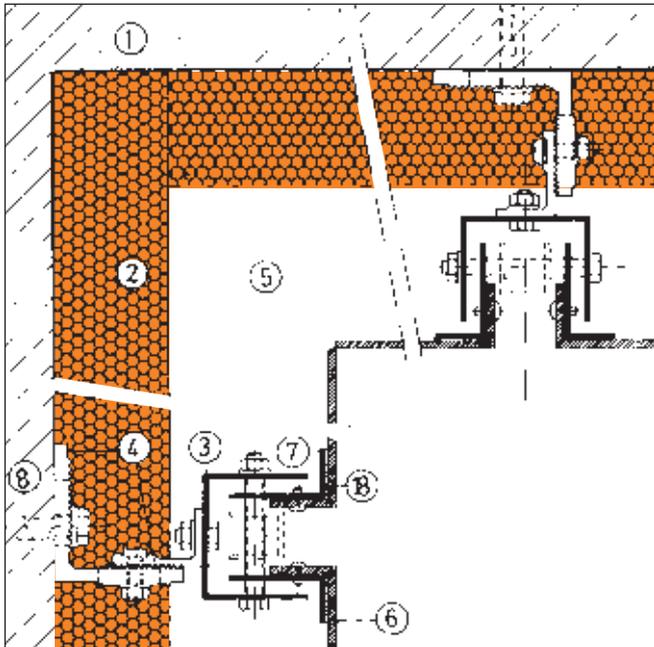


Fig. 34 Angolo interno - sez. orizzontale

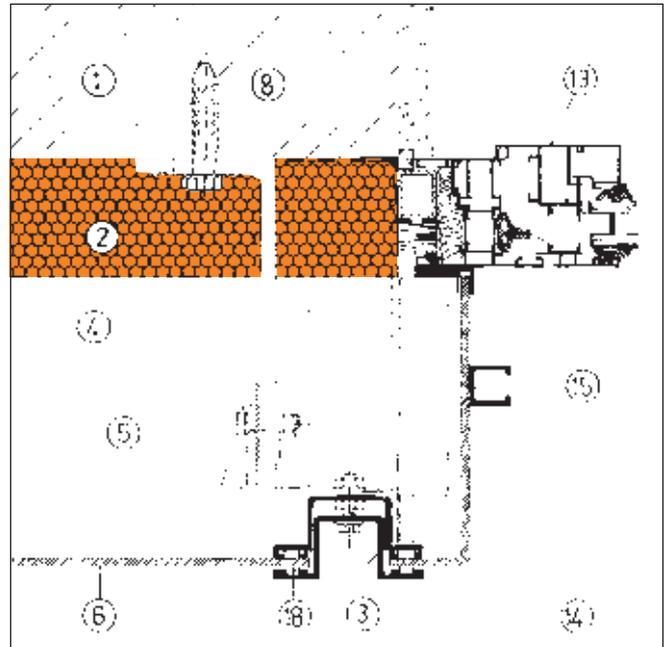


Fig. 35 Raccordo con serramento - sez. orizzontale

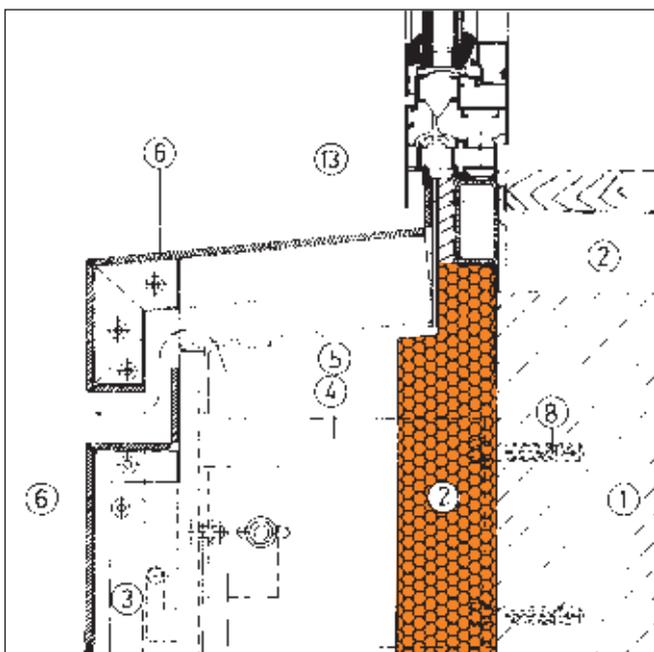


Fig. 36 Raccordo con davanzale - sez. verticale

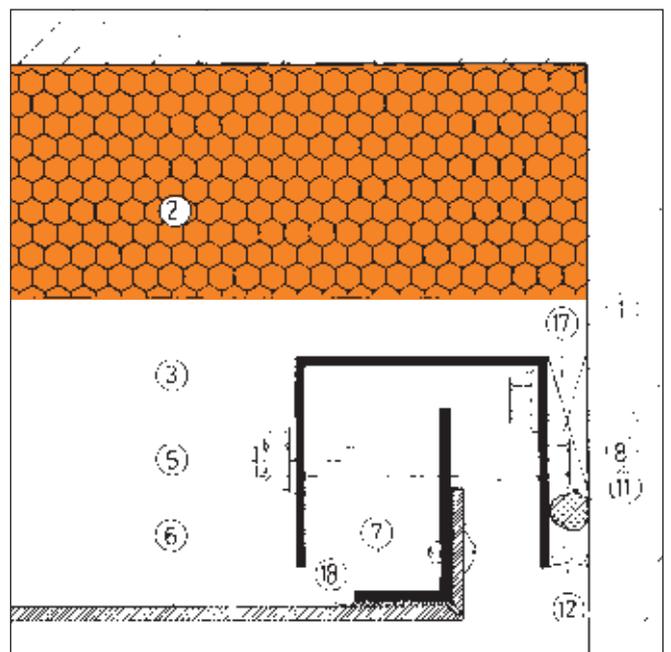


Fig. 37 Giunto di dilatazione - sez. orizzontale

STRATO DI RIVESTIMENTO METALLICO

1. supporto - 2. EPS - 3. elemento verticale di collegamento - 4. elemento orizzontale di collegamento - 5. rivestimento metallico - 6. elemento metallico discontinuo - 7. profili metallici

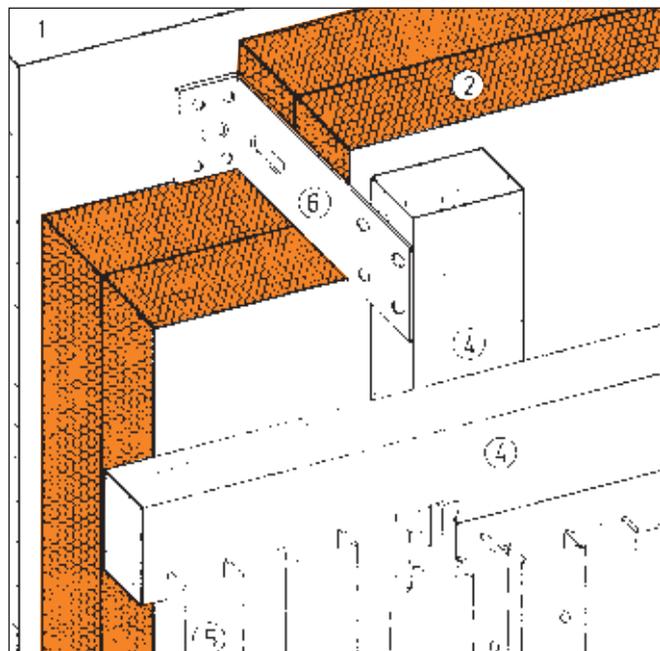


Fig. 38 Sez. corrente

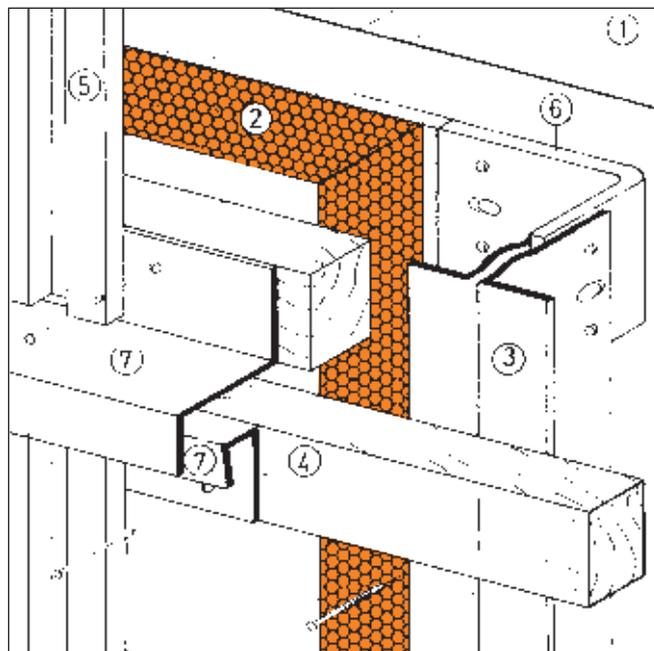


Fig. 39 Giunto di dilatazione

STRATO DI RIVESTIMENTO IN PVC

1. supporto - 2. EPS - 3. listellatura verticale - 4. doghe di PVC - 5. griglia metallica o di PVC - 6. profilo metallico o di PVC - 7. elemento d'angolo di PVC - 8. coprigiunto di PVC

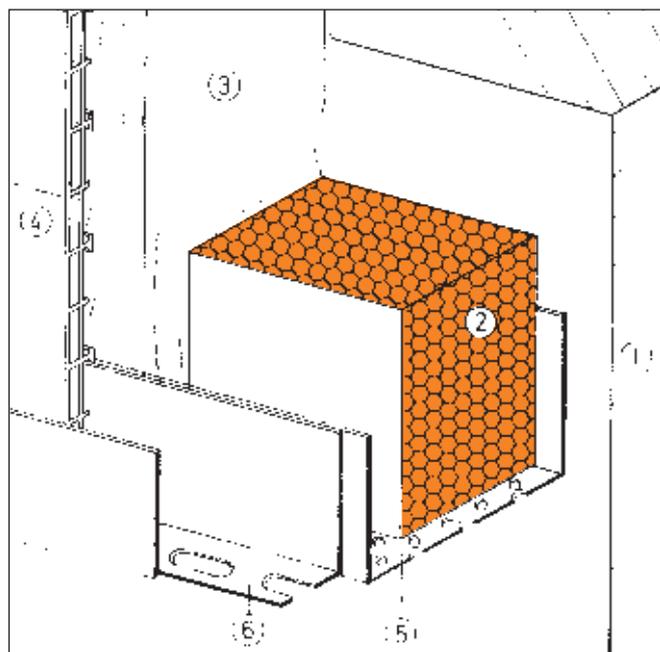


Fig. 40 Partenza alla base

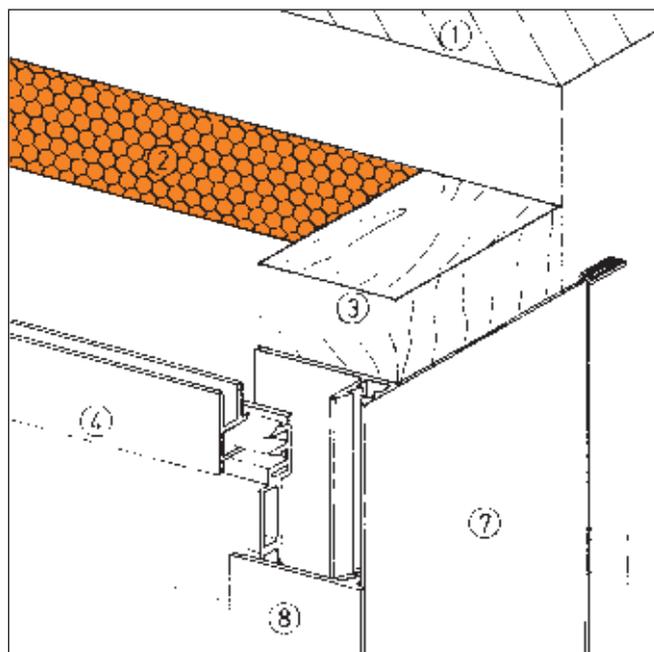


Fig. 41 Arresto laterale

PATOLOGIE ED ERRORI

La facciata ventilata, come gli altri sistemi di chiusure d'ambito a stratificazione complessa, risulta particolarmente sollecitata dagli agenti esterni senz'altro più che nel caso di altri componenti dell'edificio.

Queste sollecitazioni producono a volte l'insorgenza di fenomeni di degrado anche gravi a danno di uno o più strati funzionali o dell'intero sistema, capaci di influenzare negativamente la risposta prestazionale di una facciata ventilata. Ciò si determina, di solito, non tanto nell'eventualità che un agente assuma livelli eccezionali di intensità, legati a fenomeni con tempi di ritorno assai lunghi o comunque con caratteristiche anomale, quanto in situazioni di esercizio usuali, il che induce a ricercare le cause sia nelle scelte progettuali adottate per la realizzazione del sistema, circa i materiali impiegati, i meccanismi di

vincolo, la risoluzione dei punti singolari, sia nelle modalità di posa e loro rispondenza alle prescrizioni di progetto, sia nella gestione nel tempo dei sistemi in opera.

L'affidabilità della facciata ventilata dipende dunque anche dall'analisi attenta dei fattori conseguenti a situazioni progettuali, esecutive e gestionali non completamente controllate.

Distacchi completi o parziali delle stratificazioni, deformazioni e cedimenti, fessurizzazioni, difetti di planarità, alterazioni dell'aspetto, permeazioni idriche all'interno degli ambienti, ecc., sono degradi funzionali che, una volta verificatisi, sono difficilmente ripristinabili completamente anche con interventi radicali piuttosto complessi e molto onerosi.

Di seguito si riporta un quadro di patologie ed errori più comunemente ricorrenti nella realizzazione di un sistema di rivestimento esterno ventilato delle pareti verticali.

AGENTE: ACQUA

REQUISITO DISATTIVATO
Stabilità meccanica

CAUSE

- imbibizione degli elementi in legno dello strato di collegamento

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- distacco localizzato dello strato di rivestimento

REQUISITO DISATTIVATO
Tenuta idrica

CAUSE

- permeazione attraverso i giunti di accoppiamento degli elementi del rivestimento

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- imbibizione dello strato isolante e perdita delle caratteristiche
- infiltrazioni idriche attraverso il supporto

ERRORI

- Progettazione: - mancata prescrizione di trattamenti idrorepellenti o di accessori di tenuta

- Esecuzione: - errati trattamenti protettivi

ERRORI

- Progettazione: - errato controllo dei giunti di accoppiamento

- Esecuzione: - errata realizzazione dei giunti di accoppiamento

AGENTE: CARICHI E SOVRACCARICHI

REQUISITO DISATTIVATO
Stabilità meccanica

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

- aspetto
- tenuta idrica

CAUSE

- deformazioni del supporto
- deformazioni dello strato di collegamento
- instabilità cicliche (dilatazioni termiche, etc.) o permanenti (dilatazioni per imbibizione, ritiri, etc.) dimensionali delle strutture di contorno
- supporto decoesionato o con insufficiente resistenza meccanica
- cedimenti localizzati nei punti di fissaggio di una stratificazione
- eccessivo peso del rivestimento in rapporto al dimensionamento degli elementi di fissaggio

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- distacco del sistema o di una stratificazione dal supporto
- marcata fessurazione del rivestimento in intonaco
- difetto di planarità degli strati
- permeazione idrica

REQUISITO DISATTIVATO
Isolamento termico

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

- controllo della condensazione

CAUSE

- mobilità dello strato isolante

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- distacco dell'isolante
- possibile disattivazione dello strato di ventilazione
- discontinuità dello strato isolante

ERRORI

- Progettazione:**
- errata indagine preliminare sul supporto
 - errata prescrizione delle operazioni di preparazione del supporto
 - errata valutazione del peso del sistema e conseguente sottodimensionamento degli elementi di ancoraggio
 - mancata valutazione dei movimenti delle strutture di contorno
 - analisi statica impropria in rapporto alle condizioni di carico effettive

- Esecuzione:**
- errata preparazione del supporto
 - errata realizzazione dello strato di collegamento e di rivestimento
 - impiego di accessori non conformi a quanto prescritto nel progetto

- Gestione:**
- in caso di sostituzione degli elementi del rivestimento, errato impiego di materiali e accessori ed errata sequenza delle fasi operative

ERRORI

- Progettazione:**
- errata prescrizione del sistema di ancoraggio: collante non chimicamente compatibile, tasselli non idonei o insufficienti
- Esecuzione:**
- errate operazioni di ancoraggio

AGENTE: VENTO

REQUISITO DISATTIVATO
Stabilità meccanica

CAUSE

- pressione o depressione cinetica

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- strappamento di uno o più elementi dello strato di rivestimento discontinuo

ERRORI

- Progettazione:
- sottostima del carico dinamico del vento
 - mancata previsione di accessori di rinforzo in corrispondenza di spigoli
- Esecuzione:
- errata posa degli accessori di rinforzo

AGENTI: CHIMICI

REQUISITO DISATTIVATO
Stabilità meccanica

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

- aspetto
- tenuta idrica

CAUSE

- ossidazione degli elementi metallici dello strato di collegamento

ERRORI

- Progettazione:
- prescrizione di materiali ossidabili non opportunamente trattati
- Esecuzione:
- mancato trattamento dello strato di collegamento

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

CAUSE

- ossidazione degli elementi di ancoraggio del rivestimento allo strato di collegamento
- ossidazione degli elementi di rivestimento in metallo
- degrado degli accessori metallici
- termoossidazione degli elementi di rivestimento in materiali plastici
- degrado degli elementi in cemento-amianto

ERRORI

- Progettazione:
- errata scelta dei materiali in relazione all'aggressività dell'atmosfera
- Esecuzione:
- mancato trattamento dello strato di rivestimento e/o degli accessori di collegamento
- Gestione:
- impiego di prodotti di pulizia chimicamente non compatibili

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- colature di ruggine e/o macchiature a danno del rivestimento
- corrosione degli elementi di rivestimento in metallo

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)

AGENTI: BIOLOGICI

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

CAUSE

- attacco di microrganismi allo strato di rivestimento

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- degrado superficiale con alterazioni di aspetto e colore

ERRORI

- Progettazione: - mancata prescrizione di trattamenti anticrittogamici degli elementi di rivestimento in legno

- Esecuzione: - trattamenti inadeguati degli elementi di rivestimento in legno

AGENTE: RADIAZIONE SOLARE

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

CAUSE

- meccanismo fotochimico di degrado degli elementi di rivestimento in materiali plastici
- essiccazione degli elementi di rivestimento in legno
- degrado della pigmentazione di finitura in presenza di rivestimento continuo in intonaco

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- macchiature
- screpolature
- alterazioni del colore

ERRORI

- Progettazione: - scelta di colori scuri su un rivestimento in intonaco con esposizione diretta sud e ovest
- scelta di materiali plastici non stabili

- Esecuzione: - mancato trattamento degli elementi in legno dello strato di rivestimento

AGENTE: TEMPERATURA

REQUISITO DISATTIVATO
Isolamento termico

CAUSE

- degrado delle proprietà isolanti dei pannelli
- deformazioni dello strato isolante
- discontinuità dello strato isolante

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- eterogeneità di comportamento termico
- insorgenza di ponti termici non controllati

ERRORI

- Progettazione: - prescrizione di impiego di isolante non stabile nel tempo o idrofilo

- Esecuzione: - impiego di pannelli di isolante con bordi non rettificati
- messa in opera dei pannelli non a giunti sfalsati
- mancato riempimento degli eventuali giunti aperti tra i pannelli
- orditura verticale dello strato di collegamento di spessore inferiore a quello dell'isolante



AGENTE: URTI

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

- stabilità meccanica
- durabilità
- tenuta all'acqua

CAUSE

- deformazioni plastiche dello strato di rivestimento

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- sfondamento, imbozzamento, screpolature del rivestimento in relazione al materiale costituente

ERRORI

- Progettazione: - scelta di materiali non idonei alla destinazione d'uso in rapporto all'esposizione agli urti della parete

MANUTENZIONE

Qualunque sia la tecnologia specifica di realizzazione della facciata ventilata, deve essere assicurata la possibilità e la facilità di eseguire in opera interventi di manutenzione onde garantire una durata di insieme superiore a 50 anni anche in caso di insorgenza, in fase di esercizio, di patologie localizzate o comunque non compromettenti le prestazioni dell'intero sistema.

Detti interventi risultano sostanzialmente limitati allo strato di rivestimento o, al più, ad accessori di completamento, in quanto le altre stratificazioni, non sottoposte all'azione diretta degli agenti atmosferici, chimici e biologici, devono assolutamente avere durabilità controllata non inferiore alla vita stimata del sistema, senza richiedere operazioni di manutenzione che comporterebbero interventi distruttivi assai costosi o di difficile attuazione. Questa durabilità è assicurata per lo strato termoisolante, con l'impiego di EPS. L'impiego di sistemi di facciata ventilata, il cui strato di rivestimento esterno non può essere sostituito parzialmente o completamente, va valutato attentamente in fase progettuale in relazione a condizioni di esercizio particolarmente gravose ai fini della durabilità.

MANUTENZIONE ORDINARIA

Si tratta di semplici operazioni di pulitura mediante spazzolatura e/o lavaggio con acqua a bassa pressione eventualmente additivata con prodotti anticrittogamici in situazioni con proliferazione di muffe, funghi, colonie batteriche, ecc. Periodiche ispezioni con rilevazione dello stato di

conservazione del sistema, sia in sezione corrente che nei punti singolari, determinano i tempi e i modi di intervento più opportuni.

MANUTENZIONE STRAORDINARIA

Prevede operazioni di rimozione e successivo ripristino di porzioni dello strato di rivestimento onde assicurare il soddisfacimento dei requisiti di aspetto, stabilità meccanica e tenuta all'acqua. E comunque opportuno effettuare detti interventi con tempestività non appena individuate la necessità, affinché il degrado rilevato non abbia a diffondersi compromettendo sia porzioni più estese del rivestimento sia gli strati sottoposti.

1. Rivestimento discontinuo in manufatti

Essendo costituito da piccoli elementi discreti, è possibile prevederne la sostituzione in caso di alterazione dell'integrità chimico-fisica e/o morfologica, sempre che gli elementi di collegamento lo consentano; ciò che è comunque indispensabile per l'accettabilità funzionale del sistema.

L'impiego di elementi con caratteristiche appropriate all'uso, in termini di durabilità ed esposizione agli agenti, può notevolmente ridurre la necessità di interventi manutentivi.

2. Rivestimento discontinuo in lastre di pietra

In funzione della posa a regola d'arte dello strato di rivestimento può non essere necessaria alcuna operazione di ripristino, limitando gli interventi di manutenzione alla pulitura superficiale in rapporto al grado di inquinamento presente nell'aria.

ISOLAMENTO ESTERNO VENTILATO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS (FACCIATA VENTILATA)

3. Rivestimento continuo in intonaco

Le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria sono del tutto analoghe a quelle previste per i rivestimenti in intonaco tradizionali.

Rispetto agli elementi discontinui, il ripristino deve essere particolarmente curato sia come materiale da impiegare che come modalità di posa in opera al fine di non evidenziarne l'esecuzione. Inoltre sono da prevedersi periodiche operazioni di trattamento superficiale in relazione al degrado dell'aspetto.

ASPETTI INNOVATIVI DELLA FACCIATA VENTILATA

In un quadro evolutivo dell'impiego del sistema di isolamento a facciata ventilata, finalizzato all'ottimizzazione energetica del comportamento delle chiusure d'ambito in rapporto agli scambi termodinamici fra interno ed esterno e al miglioramento del comfort ambientale, si inseriscono i sistemi cosiddetti parietodinamici, cioè chiusure innovative ad isolamento dinamico. In tale ottica la facciata ventilata può essere opportunamente impiegata sia come sistema di immissione diretta negli ambienti dell'aria esterna di ricambio, sia come sistema di estrazione dagli ambienti dell'aria viziata: la chiusura d'ambito diventa un elemento di trasformazione e non solo di delimitazione spaziale, in grado di contribuire alle condizioni ambientali interne. Un sistema parietodinamico prevede la circolazione all'interno delle pareti (o delle stratificazioni funzionali costituenti) di un flusso ascensionale di aria che attiva trasferimenti termici di

massa generando un comportamento diverso e originale rispetto a quanto avviene in presenza di isolamento tradizionale. Così il sistema parietodinamico, potendosi tra l'altro integrare con dispositivi impiantistici appositi, è in grado di controllare, rispondendo più adeguatamente, i requisiti di isolamento termico, comfort igrotermico ed aerazione ambientale, conseguendo anche un risparmio energetico.

Nello schema di Fig. 42 si attua un preriscaldamento dell'aria di ricambio all'interno dello strato di ventilazione grazie al surriscaldamento dello strato di rivestimento per effetto della radiazione solare incidente; tale flusso d'aria viene immessa all'interno dell'ambiente attraverso orifizi posizionati all'intradosso degli orizzontamenti. Questa configurazione presenta una utilità prevalentemente invernale.

L'energia in transito può essere ulteriormente recuperata mediante apparecchi specifici di ricircolo dell'aria (pompe di calore, scambiatori locali o centralizzati, ecc.). Con riferimento al modello di funzionamento schematizzato in Fig. 43, l'aria viziata viene immessa nell'intercapedine interna dal basso e convogliata ad uno scambiatore aria-aria che, recuperando parte del calore in transito che viene restituito all'ambiente, preriscalda l'aria di rinnovo entrante dall'esterno; questa aria di rinnovo può essere a sua volta preriscaldata nell'intercapedine esterna grazie agli apporti di energia solare, particolarmente sensibili in funzione del tipo di rivestimento adottato.

È possibile attivare il movimento dell'aria nello strato di ventilazione e all'interno dell'ambiente sia naturalmente (effetto camino) sia forzatamente con dispositivi meccanici.

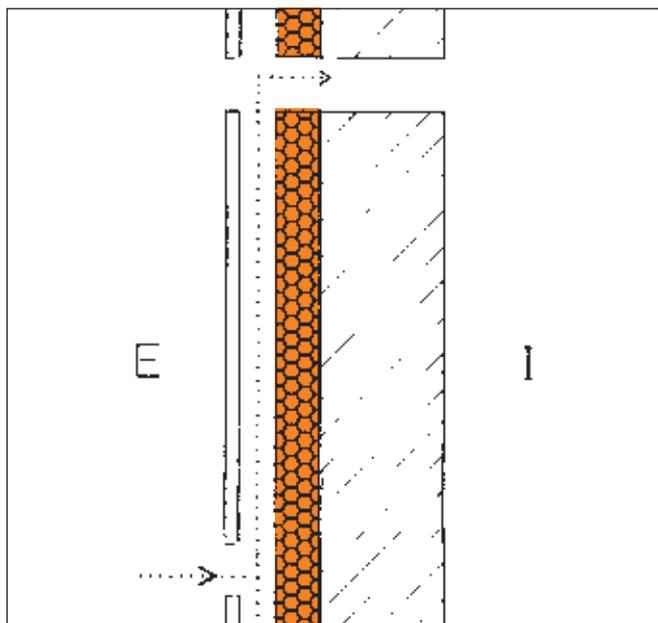


Fig. 42

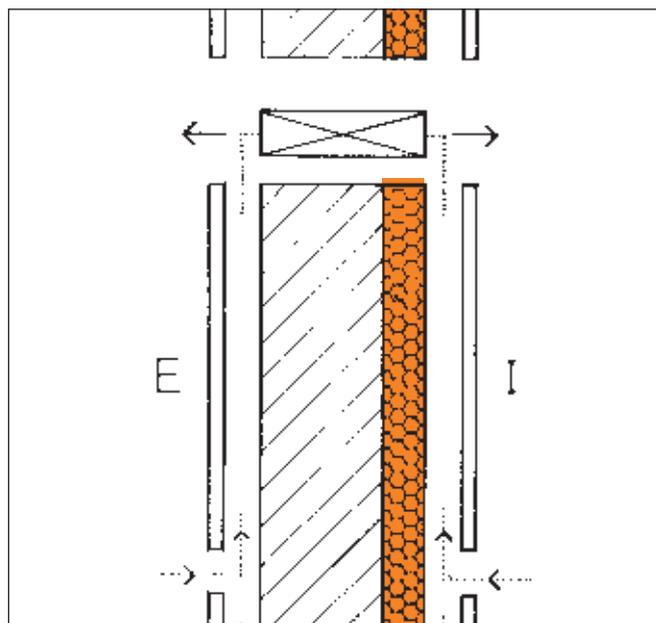
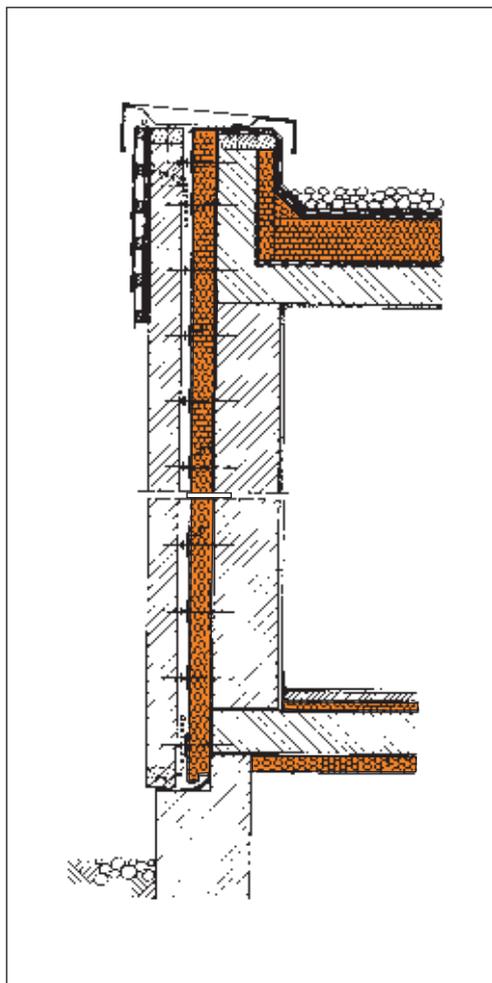


Fig. 43

6.

**ISOLAMENTO
DELLE PARETI VERTICALI
IN INTERCAPEDINE
CON EPS**



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

CONSIDERAZIONI GENERALI

Il sistema murario composto con isolamento termico in intercapedine è, a tutt'oggi, in particolare in Italia, la tipologia più diffusa di realizzazione delle chiusure d'ambito esterno.

Esso ha rappresentato la prima e più significativa evoluzione della parete perimetrale da elemento monolitico a unità tecnologica pluristrato, costituita da una sequenza ordinata e funzionale di stratificazioni in grado di garantire un corretto comportamento della chiusura sotto l'effetto degli agenti esterni ed interni.

L'impiego di strati con differenti caratteristiche fisico-chimiche e morfologiche comporta l'ottimizzazione del funzionamento complessivo della parete, del quale è possibile attuare un controllo attraverso l'analisi delle prestazioni specifiche del singolo strato rispetto a fenomeni sollecitanti diversi, al fine di ottenere sia condizioni di microclima interno ottimali in rapporto all'uso, sia un'efficace protezione dagli agenti atmosferici.

SISTEMA STRUTTURALE	POSIZIONE ISOLANTE	FIG.
Travi e pilastri o setti (panelli, tunnel) ortogonali alla chiusura	- a ridosso del paramento interno - a ridosso del paramento esterno	1
Paramento interno portante (blocchi, setti)	- a ridosso del paramento interno	2
Paramento esterno portante (blocchi, setti)	- a ridosso del paramento esterno	3

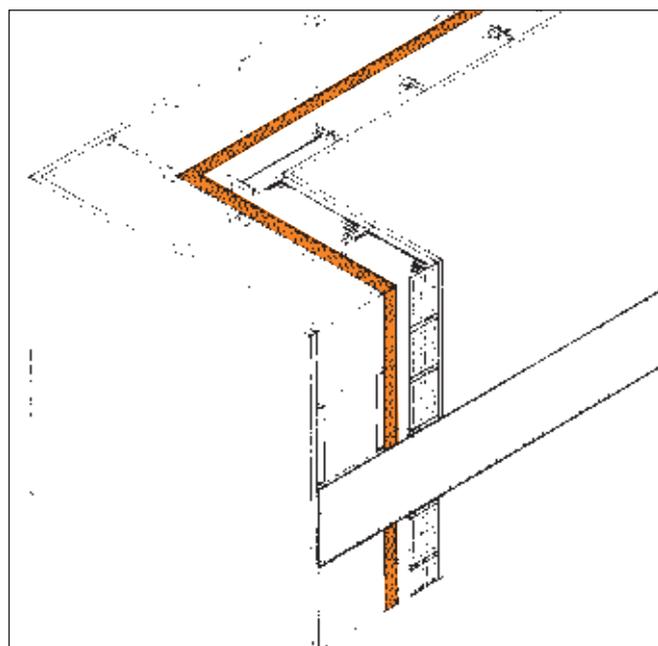


Fig. 1

Nel caso dei sistemi murari con isolamento in intercapedine, gli strati principali risultano essere i due paramenti esterno ed interno e lo strato isolante inserito fra questi. Secondo la relazione che intercorre tra i paramenti e la struttura portante, distinta o affidata ad uno di essi, si individuano i seguenti schemi funzionali, ai quali è possibile ricondurre la casistica delle soluzioni tecnologiche attualmente adottate.

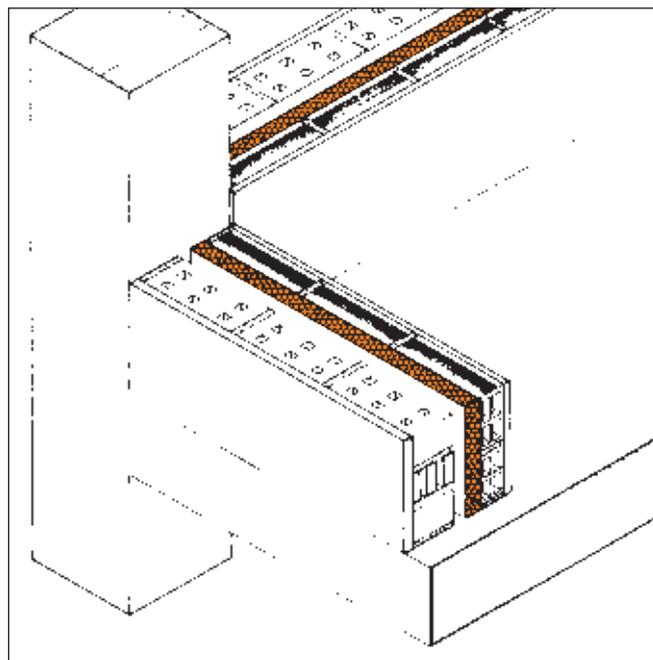


Fig. 2

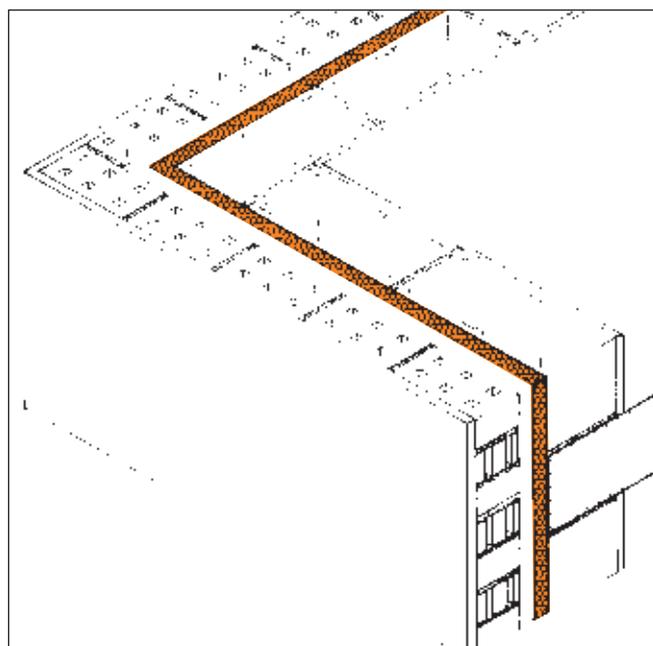


Fig. 3

Le chiusure d'ambito esterno con intercapedine isolata, proprio perché così diffusamente adottate, e possono dare l'impressione di essere una tecnologia che non presenta difficoltà; ciò può essere in parte vero per quanto riguarda la loro messa in opera, ma in realtà esse implicano una serie di problemi fisici ed anche statici che, se non tenuti nel debito conto, sono all'origine dei numerosi dissesti e patologie che questi componenti manifestano. L'analisi che segue cerca di mettere in evidenza i fenomeni principali al riguardo.

In tutti i casi l'impiego dell'EPS come strato isolante si è da tempo affermato ed è oggi la soluzione preferita, a causa delle sue caratteristiche intrinseche della facilità di posa in opera e della sua convenienza economica, anche se talvolta gli viene addebitata la colpa delle patologie e dei dissesti sopra accennati. In realtà qualche volta ciò può accadere in relazione con la scelta di materiale scadente, purtroppo in commercio, male applicato e/o in spessore insufficiente (o inesistente, profittando della difficile verifica ad opera finita), ma più spesso con la cattiva concezione e/o esecuzione di tutta l'opera.

Il presente Quaderno vuole contribuire a contrastare entrambe queste distorsioni, sia segnalando l'esistenza di Polistirene Espanso di qualità garantita e precisando tipo e modalità applicative idonee, sia mettendo in evidenza i principi che devono essere tenuti presenti per una corretta esecuzione di tutto il sistema di chiusura d'ambito esterno.

L'impiego di EPS conforme alle norme esclude nel modo più assoluto il verificarsi di problemi di decadimento nel tempo del coibente e delle sue caratteristiche.

DESCRIZIONE DEGLI STRATI

Le chiusure d'ambito esterno con intercapedine sono caratterizzate dalla successione di strati funzionali (Fig. 4) ciascuno dei quali, di per sé o in correlazioni con altri, deve fornire specifiche prestazioni, che risultano determinanti ai fini del comportamento globale dell'unità tecnologica nei confronti dei requisiti ad essa richiesti per l'ottenimento di un livello ottimale di comfort ambientale interno, in relazione alle attività svolte. Ciò deve essere garantito indipendentemente dal fatto che ogni stratificazione possa essere costituita da materiali diversi e presentare modalità esecutive differenti in rapporto a scelte progettuali particolari.

A tal proposito, va sottolineato il fatto che gli strati funzionali possono non essere sempre presenti o presenti in modo distinto, essendo tali circostanze connesse alla valutazione di fattori fisici, ambientali,

economici e all'analisi degli agenti che condizionano il singolo intervento edilizio.

1. STRATO PORTANTE

Lo strato portante svolge la funzione di resistere alle sollecitazioni meccaniche dovute ai carichi verticali (peso proprio, peso degli strati ad esso vincolati), alla spinta orizzontale del vento (pressione o depressione) e agli urti trasmessi alla parete dall'esterno o dall'interno.

In caso di sistema strutturale verticale di tipo continuo (muratura portante, pannelli prefabbricati, setti in calcestruzzo) lo strato portante ha anche la funzione di trasmettere alle strutture di fondazione i carichi e sovraccarichi indotti dagli orizzontamenti.

In relazione ai materiali costituenti, lo strato portante può essere realizzato con:

- blocchi a base di cemento (tipo normale, alleggerito, faccia a vista);
- laterizi pieni e semipieni (tipo normale o faccia a vista);
- blocchi laterizi di tipo alveolare;
- pannelli in legno magnesiacco (cassaforma a perdere con riempimento in calcestruzzo);
- setti in calcestruzzo semplice, armato o alleggerito gettati in opera;
- elementi prefabbricati in calcestruzzo armato.

È necessario attuare un accurato controllo delle deformazioni eventualmente imposte allo strato portante dalle sollecitazioni esterne, in ragione del fatto che possibili stati tensionali anomali, potendo determinare quadri fessurativi anche notevoli, influenzano negativamente il comportamento delle stratificazioni compromettendo le prestazioni della chiusura d'ambito.

Lo strato portante, se è costituito dal paramento interno, contribuisce in maniera più importante all'inerzia termica della parete d'ambito esterno. Questa soluzione è da considerare la migliore anche per altri aspetti, in particolare perché riduce al minimo la mobilità di origine termica dell'elemento costruttivo, il che risulta fondamentale dal punto di vista statico.

È per questo che essa viene raccomandata, o imposta (per esempio DIN 1053 p. 2) da varie normative. Nel caso in cui il sistema strutturale non è costituito da uno strato della chiusura d'ambito ma da elementi costruttivi distinti (ad esempio pilastri e travi), secondo la pratica oggi più conosciuta in Italia, sorgono particolari problemi connessi all'esistenza di ponti termici e all'interazione tra struttura e tamponamento esterno, per la qual cosa tale procedura è

ISOLAMENTO DELLE PARETI VERTICALI IN INTERCAPEDINE CON EPS

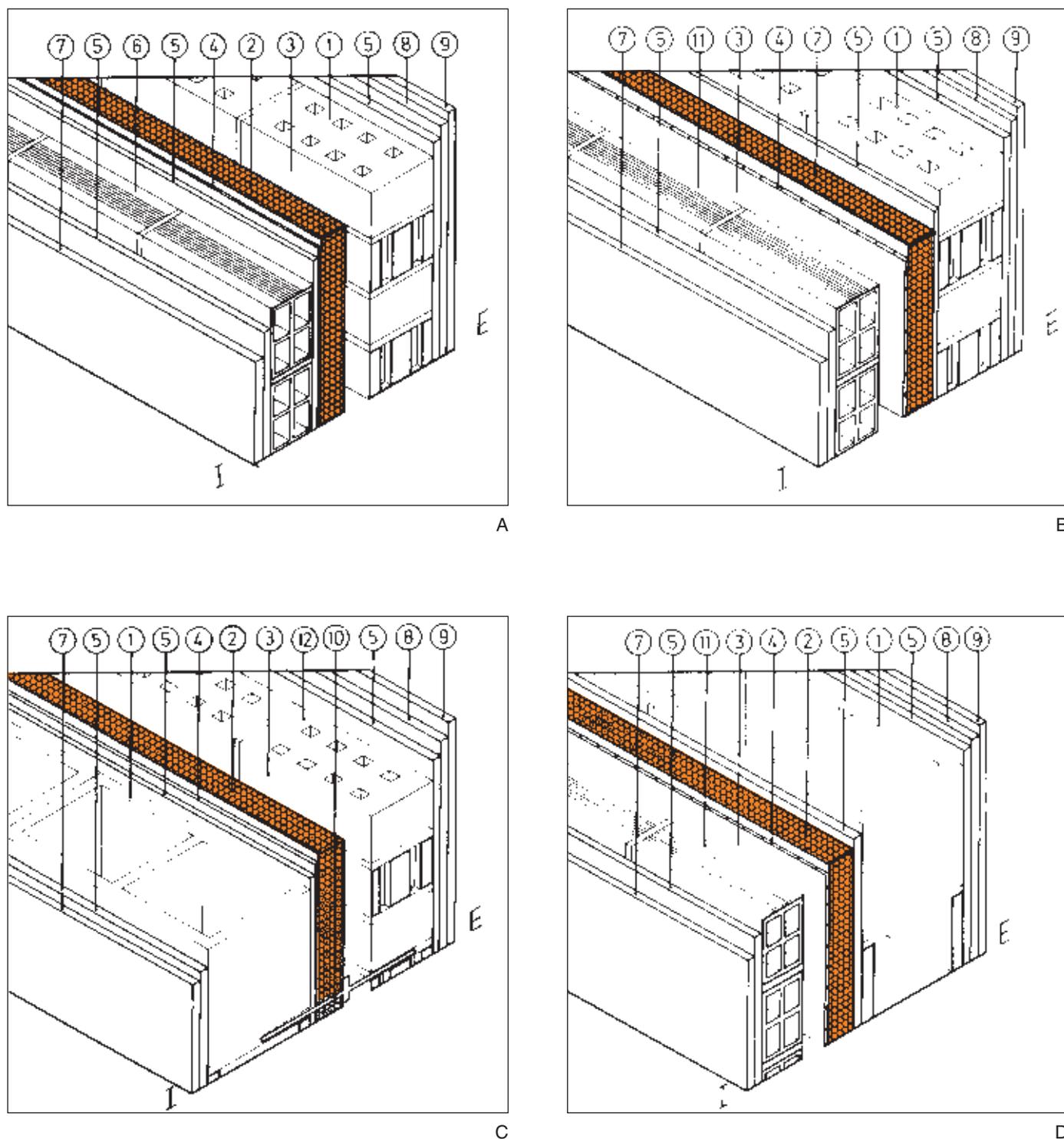


Fig. 4

LEGENDA

1. Strato portante
2. Strato termoisolante
3. Strato d'aria
4. Strato di barriera al vapore
5. Strato di regolarizzazione
6. Strato con funzione di supporto allo strato termoisolante

7. Strato di finitura interna
8. Strato di collegamento
9. Strato di protezione e rivestimento esterno
10. Elemento di collegamento tra i parametri
11. Paramento interno
12. Paramento esterno



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

consigliabile solo laddove lo impongano particolari esigenze statiche o distributive.

Alcuni dei particolari costruttivi riportati nel presente Quaderno illustrano possibili soluzioni progettuali per attenuare i ponti termici e risolvere i giunti di questi sistemi, evidenziando quanto sia impegnativo superare in maniera corretta le deficienze intrinseche dei sistemi con struttura portante indipendente.

2. STRATO TERMOISOLANTE

Lo strato termoisolante determina l'ottenimento del comfort ambientale richiesto all'interno dell'edificio dal punto di vista igrotermico.

Esso ha la funzione di:

- portare al valore richiesto dalla normativa la resistenza termica della parete d'ambito;
- ridurre la mobilità termica dello strato portante e del sistema strutturale, nel caso in cui questo sia interno allo strato termoisolante;
- eliminare i fenomeni di condensazione superficiale.

Per questo, lo strato termoisolante dovrebbe essere applicato con continuità per tutto lo sviluppo della chiusura perimetrale, attuando un accurato controllo dei ponti termici eventualmente insorgenti in corrispondenza di punti singolari. Nel caso di isolamento termico in intercapedine, lo strato coibente può essere realizzato a ridosso o del paramento esterno o di quello interno, in rapporto alla tecnica di costruzione della parete.

Per la scelta del tipo di isolante si devono tener presente in primo luogo le caratteristiche del paramento esterno per quanto riguarda la permeazione all'acqua.

Si noterà come l'impiego di isolante non idrofilo, quale è il Polistirene Espanso Sinterizzato EPS, escluda comunque il sistema dalla classe a più elevata sensibilità all'azione della pioggia battente e del vento. La collocazione del sistema nelle altre classi dipende soprattutto dai particolari esecutivi; il Quadro 2, riportato più avanti, dà un'indicazione riguardo alle scelte del sistema in funzione delle diverse condizioni di esposizione. L'isolante deve essere anche scarsamente permeabile all'aria onde potersi opporre ad eventuali filtrazioni di aria fredda attraverso gli strati esterni; anche a questa esigenza EPS risponde pienamente.

Il tipo più utilizzato è quello a ritardata propagazione di fiamma, con massa volumica di 15 kg/m³.

Per impiego in intercapedine, generalmente si utilizzano lastre di dimensioni usuali di m 1x0,50 o con altezza di piano, in questo caso con notevole accelerazione dei tempi di posa; i pannelli sono forniti con

bordi diritti o battentati per realizzare il giunto di accoppiamento degli elementi senza soluzione di continuità dello strato termoisolante; la battentatura deve avere altezza di almeno i mm 20.

Le lastre EPS sono facilmente adattabili alle diverse situazioni specifiche di applicazione, in quanto possono essere sagomate in cantiere partendo dai formati standard mediante taglio con filo caldo o sega.

Il dimensionamento dello spessore delle lastre deve avvenire in conformità alle prescrizioni di cui alla Legge 10 del 9/1/91 per il risparmio dei consumi energetici.

La conduttività utile di calcolo del PSE 15 è quindi 0,045 W/m² K.

L'ancoraggio dei pannelli può avvenire:

- mediante tasselli a testa allargata in ragione di 4 per m² di isolante;
- impiegando collante cementizio da predisporre in piccole quantità distribuite per punti sulla superficie delle lastre. In questo caso si viene a realizzare uno strato di microventilazione fra strato termoisolante e supporto, che può favorire lo smaltimento della condensazione superficiale eventualmente formatasi.

È opportuno interporre fra isolante e muratura uno strato di malta di regolarizzazione, al fine di eliminare irregolarità superficiali che impediscono la continuità di posa e la complanarità dell'isolante. In particolare, tale strato di regolarizzazione è necessario in situazioni con coibente applicato sul paramento esterno, onde ridurre le eventuali permeazioni di acqua meteorica in presenza di strato di finitura superficiale esterno non impermeabile.

3. STRATO D'ARIA

Fra i due paramenti costituenti la chiusura d'ambito può essere presente uno strato d'aria con due configurazioni di intercapedine aventi diverso comportamento specifico:

a) *intercapedine non ventilata*

L'aria è racchiusa all'interno della doppia stratificazione degli elementi murari senza possibilità di scambi di massa con l'esterno o l'interno degli ambienti. Questo schema funzionale viene adottato in generale in presenza di soluzioni progettuali con muratura inserita fra elementi strutturali astiformi, quando è necessario che i pilastri risultino complanari alle superfici esterne dei due paramenti.

Qualora l'intercapedine abbia spessore compreso tra 2 e 10 cm, la lama d'aria immobile contribuisce alla resistenza termica globale della chiusura d'ambito

QUADRO 1

Classificazione dei sistemi di chiusura verticali in rapporto alla sensibilità all'azione della pioggia battente e del vento.

Classe di sensibilità	Caratteristiche compresenti	Esempi	Motivazioni
1 Sistemi ad elevata sensibilità	<p>1) Il rivestimento esterno non è impermeabile o pur essendo impermeabile, tale caratteristica può essere disattivata da fessurazioni della muratura.</p> <p>2) Non esiste interruzione di capillarità nel suo spessore.</p>	<p>Classe 1 - Muratura monostrato, in blocchi o laterizi con intonaco tradizionale interno ed esterno.</p> <p>Muratura intonacata esternamente ed internamente pluristrato ad intercapedine riempita con isolante idrofilo.</p>	<p>La conservazione della funzione impermeabile dipende dal mantenimento in buono stato della parete.</p> <p>Non esiste alcun dispositivo che possa bloccare infiltrazioni accidentali d'acqua verso la finitura interna.</p> <p>La prestazione termoisolante può ridursi considerevolmente.</p>
2 Sistemi a media sensibilità	<p>1) Il rivestimento esterno non è impermeabile o pur essendo impermeabile, tale caratteristica può essere disattivata da fessurazioni della muratura.</p> <p>2) Esiste un dispositivo d'interruzione di capillarità: 2a) a sensibilità medio-alta: il dispositivo è costituito da strati isolanti non idrofili. 2b) a sensibilità medio-bassa: il dispositivo è costituito da un'intercapedine.</p>	<p>Classe 2a - Muratura pluristrato intonacata esternamente ed internamente ed intercapedine riempita completamente con isolante non idrofilo.</p> <p>Muratura pluristrato con intercapedine posta sul lato interno dello strato isolante non idrofilo.</p> <p>Classe 2b - Muratura pluristrato con intercapedine esterna allo strato isolante non idrofilo. Le infiltrazioni interessano solo lo strato murario esterno.</p>	<p>La conservazione della funzione impermeabile della parete dipende dal suo mantenimento in buono stato, ma il dispositivo anticapillare è in grado di bloccare infiltrazioni accidentali verso l'interno, a patto che non alteri sensibilmente le prestazioni termiche della parete.</p>
3 Sistemi a bassa sensibilità	<p>1) Il rivestimento esterno non è impermeabile o pur essendo impermeabile tale caratteristica può essere disattivata da fessurazioni della muratura.</p> <p>2) Esiste un'intercapedine direttamente alle spalle del paramento esterno.</p> <p>3) Alla base dell'intercapedine esiste un dispositivo di raccolta ed evacuazione dell'acqua eventualmente infiltrata.</p>	<p>Classe 3 - Come quelli della classe di sensibilità 2b, ma con scossalina di base dotata di scarico esterno.</p>	<p>In presenza d'esposizione severa l'acqua d'infiltrazione accidentale giunge a scorrere sulla superficie interna del paramento esterno; essa deve quindi essere evacuata ad evitare infiltrazioni all'interno o assorbimenti capillari nell'isolante della base dell'intercapedine.</p> <p>Lo strato termoisolante non è interessato da imbibizione di acqua piovana.</p>
4 Sistemi non sensibili	<p>La funzione di tenuta è affidata esclusivamente ad uno strato impermeabile.</p> <p>Nei casi precedenti l'acqua più o meno penetra all'interno del sistema di chiusura.</p> <p>Nel presente caso l'acqua non penetra.</p>	<p>Classe 4 - Rivestimenti a facciata ventilata in cemento amianto, plastica, alluminio, tessere cementizie, ecc.</p>	<p>La soluzione è organizzata in modo che eventuali fessurazioni della muratura retrostante non portino automaticamente ad un difetto di tenuta del rivestimento.</p>

con valore di R pari a 0,16 m²K/W; tale contributo scende a 0,13 m²K/W per spessori di 1 cm, mentre per spessori inferiori si consiglia di non tenerne conto, a causa dell'incertezza sulla sua effettiva consistenza.

Se lo strato di EPS è posto sulla faccia esterna del paramento interno, la presenza dell'intercapedine evita che un'eventuale permeazione idrica meteorica possa raggiungere l'isolante e, attraverso i giunti tra i pannelli, interessare le stratificazioni interne della chiusura. In questo caso occorre dimensionare l'intercapedine in modo che eventuali eccessi di materiale di sigillatura dei giunti fra i blocchi della muratura esterna non possano costituire collegamento fra paramento esterno e strato termoisolante attraverso cui si attivi la migrazione dell'umidità.

Se la muratura è del tipo con sistema di evacuazione al piede, l'intercapedine deve essere messa in comunicazione con l'esterno mediante la creazione di aperture in misura di cm² 50 per 20 m² di superficie di chiusura, compresi gli eventuali serramenti.

b) *intercapedine ventilata*

Lo strato di ventilazione che si realizza nei casi di muratura appesa, riveste la stessa funzione dell'analogo strato presente nei sistemi di isolamento esterno ventilato (Facciata Ventilata), contribuendo anche sensibilmente al controllo delle proprietà igrotermiche della chiusura d'ambito.

4. STRATO DI BARRIERA AL VAPORE

Ha la funzione di intercettare il flusso di vapore acqueo in uscita dall'ambiente per impedire fenomeni di condensazione all'interno della stratificazione. L'impiego di barriera al vapore va considerato in relazione ai risultati dell'analisi termoigrometrica della parete in situazioni di elevata produzione di vapore interno e/o di una scarsa o nulla permeabilità degli strati funzionali costituenti la muratura, circostanze che favoriscono la formazione di condensa.

Tra i materiali di impiego corrente si ricordano i fogli di cartone catramato, le pellicole di polietilene e i fogli di alluminio; questi fogli possono essere forniti direttamente accoppiati alle lastre di EPS.

La barriera vapore va posizionata senza discontinuità sulla superficie interna del coibente e richiede la realizzazione di dispositivi di evacuazione al piede della muratura, per allontanare dall'interno dell'intercapedine l'acqua di condensa (v. particolari costruttivi).

È tuttavia da osservare che in confronto ad altri coibenti di resistenza al passaggio del vapore trascurabile, quella offerta dal solo EPS è in molti casi

sufficiente e, al limite, può convenire adottare una massa volumica superiore per evitare di dovere applicare uno strato specifico di barriera; nel caso di intercapedine ventilata la barriera vapore è comunque superflua.

5. STRATI DI REGOLARIZZAZIONE

Al fine di ottenere una superficie piana a supporto dello strato isolante, di barriera al vapore o di finitura interna ed esterna, occorre realizzare strati di regolarizzazione con spessore di circa cm 1 in composti a base cementizia o di calce, dati in due strati successivi, qualora il paramento murario presenti discontinuità o un cattivo controllo della verticalità degli elementi componenti. Per garantire perfetta adesione delle stratificazioni sovrapposte, lo strato in oggetto deve presentare superficie ruvida.

In presenza di strato isolante applicato alla muratura esterna, lo strato di regolarizzazione costituisce un ulteriore schermo all'eventuale permeazione idrica attraverso i giunti fra i blocchi; se il paramento esterno è di materiale particolarmente poroso o con elevato indice di foratura, è opportuno realizzare lo strato di regolarizzazione su entrambi le sue superfici, anche per ottenere una maggiore tenuta all'aria e all'acqua.

6. STRATO CON FUNZIONE DI SUPPORTO DEL COIBENTE

Se il sistema è a muratura portante (interna o esterna), è lo strato portante che funge da supporto del coibente e vale per esso quanto detto al punto 1.

Nei sistemi a struttura portante indipendente, se il coibente è applicato al paramento interno, questo è realizzato per lo più con mattoni a fori orizzontali, con spessore di circa cm 8, qualora particolari prescrizioni progettuali non richiedano dimensioni diverse specifiche; generalmente vi trovano alloggiamento i cavi elettrici, telefonici, ecc. e le tubazioni dell'acqua.

Nel caso di isolante applicato al paramento esterno occorre prevedere l'impiego di elementi di maggiore massa e con foratura verticale al fine di assicurare un migliore comportamento alle dilatazioni termiche indotte e una maggiore tenuta all'acqua.

7. STRATO DI FINITURA INTERNA

Ha la funzione di conferire la qualificazione formale all'interno degli ambienti e, in rapporto alla destina-

zione d'uso del locale, anche quella di proteggere le stratificazioni sottoposte dalle imbibizioni causate da acqua o vapore acqueo in eccesso, nonché da agenti di degrado biologici o chimici. Lo strato di finitura può essere costituito da:

- rasatura a base cementizia o di gesso e successivo trattamento (pittura, tappezzeria, ecc.);
- rivestimento murale plastico;
- rivestimento ceramico, ligneo, vinilico, ecc. In relazione alla possibilità che tale strato sia interessato da fenomeni di deterioramento anche accelerato in esercizio, occorre che esso garantisca facilità di manutenzione e ripristino.

8. STRATO DI COLLEGAMENTO

Ha la funzione di ancorare al paramento esterno lo strato di rivestimento per assicurarne la stabilità meccanica sotto l'effetto degli agenti atmosferici e della gravità; esso trasmette al supporto le tensioni indotte dagli agenti esterni, la cui entità è influenzata dalle condizioni di vincolo e dall'estensione delle superfici. Lo strato di collegamento può essere realizzato mediante applicazione continua di prodotti adesivi a base cementizia oppure con elementi discontinui metallici qualora lo strato di rivestimento sia costituito da elementi appesi.

Se lo strato è continuo, esso deve essere realizzato con costanza di spessore ed uniformità di posa, evitando la formazione di cavità sotto lo strato di rivestimento che ne comprometterebbero l'adesione.

9. STRATO DI PROTEZIONE E RIVESTIMENTO ESTERNO

Allo strato esterno è affidato il compito sia di proteggere gli strati sottoposti dagli agenti atmosferici, biologici, chimici e da urti e carichi accidentali, sia di conferire all'edificio la qualificazione formale.

Tale strato può essere costituito da:

- a) rivestimento continuo:
 - intonaco minerale a base idraulica con pittura, verniciatura o pigmentazione superficiale esterna;
 - intonaco plastico pigmentato
- b) rivestimento discontinuo:
 - piastrelle o tessere di grès, ceramica, pasta di vetro, klinker, mattonelle di cotto, ecc., con applicazione in aderenza al supporto e strato di collegamento continuo;
 - lastre di pietra naturale o rigenerata, doghe metalliche o plastiche, con applicazione per punti mediante ancoraggio meccanico.

Le funzioni svolte dallo strato di rivestimento possono essere demandate direttamente al paramento esterno qualora questo sia costituito da elementi con finitura di tipo faccia a vista. In tal caso è comunque consigliabile adottare opportune precauzioni per assicurare la durabilità nel tempo, anche in considerazione della difficoltà di attuare in opera interventi di manutenzione straordinaria o ripristino. In particolare si raccomandano trattamenti a base di prodotti idrorepellenti in dispersione.

10. ELEMENTI DI COLLEGAMENTO FRA I PARAMENTI

Paramento interno ed esterno devono essere collegati fra loro con dispositivi metallici al fine di assicurarne la stabilità meccanica sotto l'effetto del vento e ridurre i movimenti termici reciproci.

Tali dispositivi devono essere inseriti nel paramento esterno fra i corsi dei blocchi e applicati a quello interno o con analogo inserimento nel giunto fra gli elementi o mediante fissaggio meccanico. Sul dimensionamento e la distribuzione degli ancoraggi, la normativa tedesca (DIN 1053) è molto precisa; essa prescrive che, impiegando elementi di acciaio inox, siano predisposti almeno 5 ancoraggi per m² di superficie, con diametro minimo pari a mm 3. In presenza di intercapedine maggiore di 7 cm e per altezze dal suolo superiori a m 12, il diametro deve essere di almeno mm 4.

In ogni caso occorre osservare le seguenti distanze minime fra ancoraggi: (v. Fig. 5)

- in verticale cm 25;
- in orizzontale cm 75.

Tali ancoraggi devono essere incrementati almeno in misura di 3 ogni metro in corrispondenza di punti singoli.

Gli elementi devono essere conformati in modo da non trasferire acqua meteorica dall'esterno alle stratificazioni interne (v. Fig. 6).

11. ACCESSORI

Oltre alle stratificazioni ed elementi precedentemente esaminati, è necessario prevedere l'impiego di accessori atti a garantire il buon funzionamento della parete.

In particolare si individuano:

- elementi di evacuazione al piede, realizzati con scossaline metalliche o guaine a base bituminosa, da impiegarsi in caso di paramento esterno non impermeabile, al fine di riportare all'esterno le eventuali permeazioni idriche;

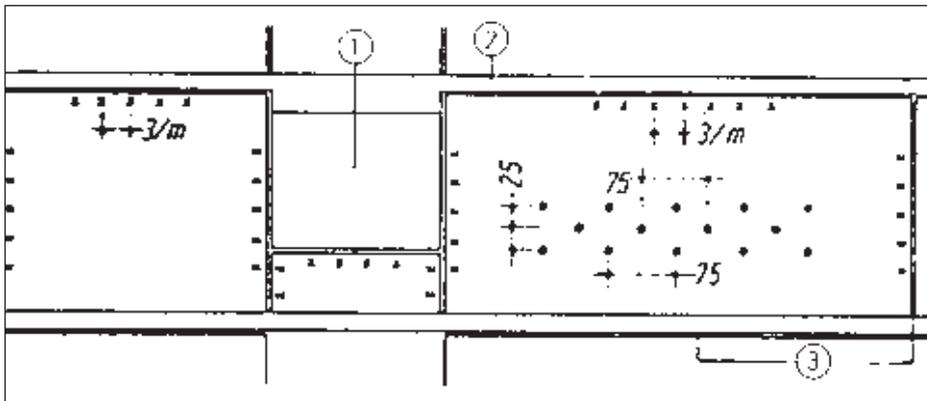


Fig. 5 Disposizione dei giunti di dilatazione e degli ancoraggi del paramento esterno.

1. Finestra - 2. Orizzontamento strutturale - 3. Giunto di dilatazione

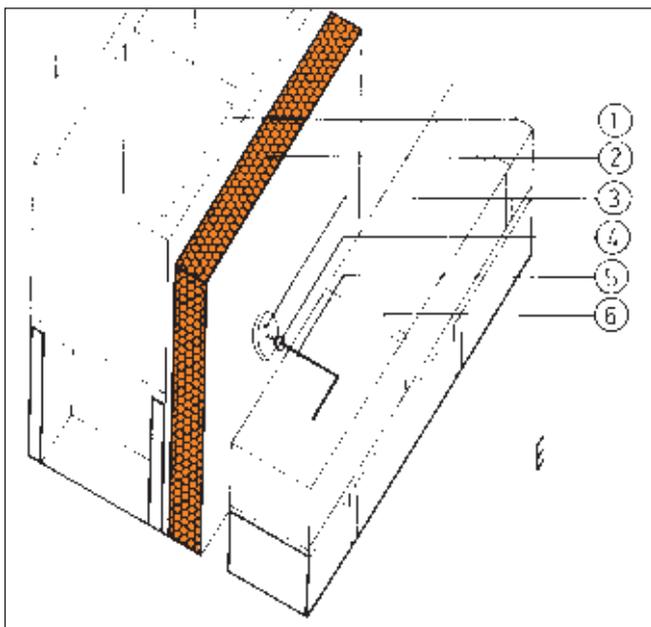


Fig. 6 Esempio di dispositivo meccanico di ancoraggio.

1. Strato portante interno - 2. EPS - 3. Piastra di bloccaggio \varnothing cm 9 - 4. Gocciolato - 5. Barra di ancoraggio in acciaio - 6. Paramento esterno

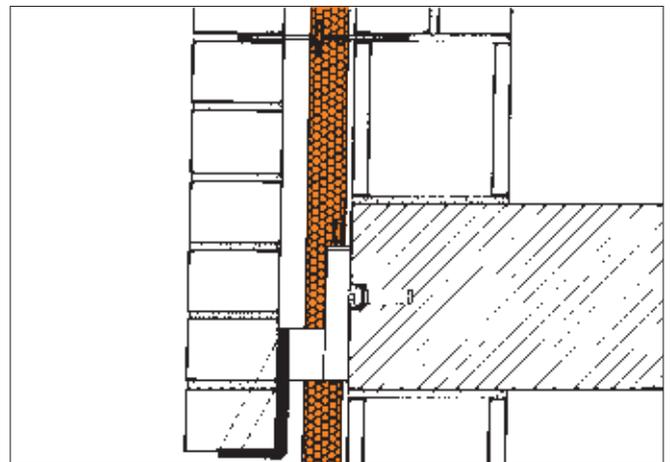


Fig. 7 Elementi metallici di supporto e di ancoraggio del paramento esterno di un sistema con intercapedine ventilata

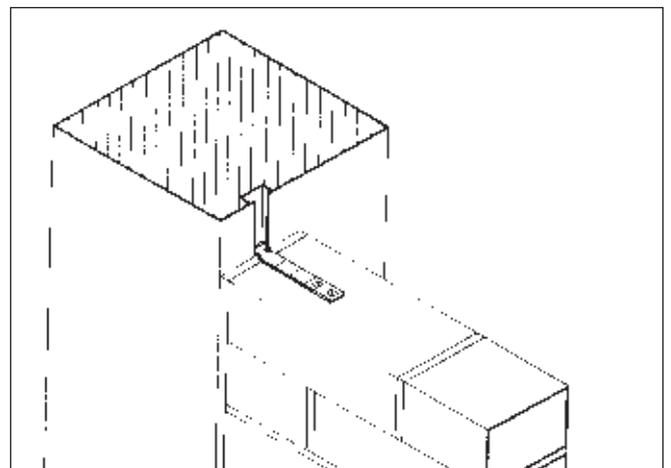


Fig. 8 Elementi metallici di ancoraggio del paramento esterno al pilastro

- rete metallica elettrosaldada a maglia stretta o in fibre di vetro anti alcali, di armatura dello strato di collegamento o di rivestimento, da impiegarsi in corrispondenza degli orizzontamenti strutturali e altre discontinuità;
- elementi laterizi a spacco in corrispondenza degli orizzontamenti strutturali onde ottenere un supporto omogeneo alle stratificazioni esterne;
- elementi prefabbricati di marcapiano con funzione di protezione dello strato isolante posto a risvoltare le travi di bordo dei solai, al fine di correggere il ponte termico strutturale;
- profilati metallici continui con funzione portante al piede del paramento esterno, in presenza di muratura con intercapedine ventilata (v. Fig. 7);
- elementi di protezione in corrispondenza di punti singolari, nel caso di intercapedine ventilata;
- elementi metallici di ancoraggio al contorno nei sistemi a struttura portante indipendente (per esempio pilastri e travi), con funzione di attuare un collegamento rigido tra chiusura e struttura verticale onde assorbire i movimenti relativi di origine termica (v. Fig. 8).

REQUISITI E PRESTAZIONI DEL SISTEMA

Il sistema murario con isolamento in intercapedine deve essere in grado di assolvere ai requisiti propri di una chiusura d'ambito esterno; ciò in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali costituenti gli strati e al comportamento globale del sistema.

STABILITÀ E RESISTENZA MECCANICA

Il sistema di chiusura con isolamento in intercapedine deve poter sopportare le sollecitazioni dei carichi ad esso applicati (peso proprio, vento, urti, carichi accidentali) senza che si verifichino deformazioni e/o rotture tali da compromettere il funzionamento d'insieme.

In ogni tipo di muratura la stabilità è affidata allo spessore e alla massa del paramento, nonché al meccanismo di interconnessione fra i blocchi (nel caso di strato in elementi discontinui), fra paramento e struttura portante (nel caso di muratura inserita) e al numero e tipo di elementi di ancoraggio. Problemi di instabilità e conseguenti fenomeni fessurativi localizzati possono verificarsi in presenza di orizzontamenti strutturali non sufficientemente rigidi e in corrispondenza di giunti del sistema strutturale. In tali

casi occorre prevedere rispettivamente opportuni sistemi di collegamento elastico fra muratura e solaio e un giunto di mobilità relativa nel paramento murario in corrispondenza del giunto strutturale.

Anche variazioni dello spessore della muratura, determinando diversità di rigidità meccanica, possono compromettere la stabilità del sistema. L'azione del vento andrà valutata con riferimento all'ubicazione (regione e altitudine) dell'edificio, alla sua altezza e all'esposizione della parete ai venti dominanti; il tutto facendo riferimento alle prescrizioni normative vigenti.

COMPORAMENTO AL FUOCO

La chiusura d'ambito esterno deve essere in grado di impedire la propagazione di un incendio sia interno che esterno. La recente normativa promulgata in materia di sicurezza antincendi non impone particolari prescrizioni specifiche relative alle chiusure d'ambito esterno né ai materiali costituenti, tuttavia in presenza di muratura con strato d'aria ventilato occorre prestare attenzione all'eventualità che si possa attuare una propagazione incontrollata del fuoco favorita dall'effetto camino che si innesca nello strato di ventilazione. Anche in ragione di questo occorre che lo strato dell'intercapedine sia inferiore a cm 4, o comunque che siano previsti eventuali compartimentazioni delle diverse campiture di facciata o barriere da realizzarsi piano per piano.

Negli altri tipi di muratura considerati, nei quali lo strato isolante è applicato nell'intercapedine non ventilata, la combustione del materiale coibente è generalmente impedita dall'assenza di ossigeno necessario, quindi il materiale isolante può essere considerato di tipo "non in vista" secondo la classificazione di cui alla normativa.

È tuttavia sempre consigliabile impiegare EPS con caratteristiche di ritardata propagazione di fiamma, contrassegnato dalla sigla RF dopo la designazione del tipo.

ISOLAMENTO TERMICO

La chiusura verticale d'ambito deve garantire il raggiungimento del comfort ambientale interno dal punto di vista della trasmissione del calore, controllando il flusso termico in entrata e in uscita.

A tal fine concorrono tutte le stratificazioni funzionali costituenti il sistema; la presenza di lama d'aria ventilata contribuisce alla resistenza termica globale della parete con un aumento compreso fra il 5% e il 15% del valore ottenibile con un modello di funzio-

namento senza ventilazione della lama d'aria. Peraltro l'ottenimento di valori di resistenza termica globale accettabili è affidato essenzialmente allo strato isolante, il cui spessore minimo è da determinarsi secondo la Legge n. 10.

L'impiego di EPS, che presenta valori di conducibilità termica molto bassi e stabili nel tempo, risulta particolarmente indicato per il soddisfacimento di questo requisito.

Particolare attenzione deve porsi in sede progettuale al fine di evitare discontinuità dello strato isolante, che possono determinare ponti termici in grado di procurare drastiche perdite di prestazioni: è il caso in particolare dei sistemi inseriti in strutture portanti in calcestruzzo; nelle prescrizioni per la progettazione date più avanti sono riportati vari esempi di isolamento di queste strutture. Anche la posa in opera delle lastre EPS deve essere curata per assicurare la continuità dell'isolamento termico.

CONTROLLO DELLA CONDENSAZIONE

Il sistema deve garantire il controllo dei fenomeni di diffusione del vapore acqueo attraverso gli strati componenti, onde evitare, in condizioni igrotermiche ambientali sfavorevoli, la formazione di condensa sia superficiale che interna agli strati.

A seconda della localizzazione dell'isolante termico e della presenza o meno della barriera al vapore, una muratura d'ambito con intercapedine presenta un dif-

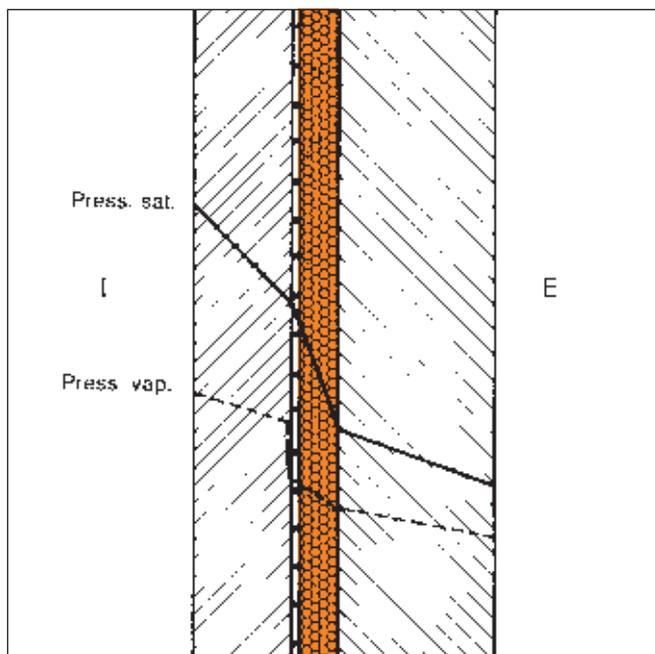


Fig. 10

Fig. 9, 10, 11 Andamento delle curve di pressione di vapore in muratura con isolante interposto fra i parametri, rispettivamente senza barriera al vapore, con barriera al vapore, con intercapedine ventilata

ferente comportamento al passaggio di vapore, come schematizzato nelle Figg. 9, 10, 11.

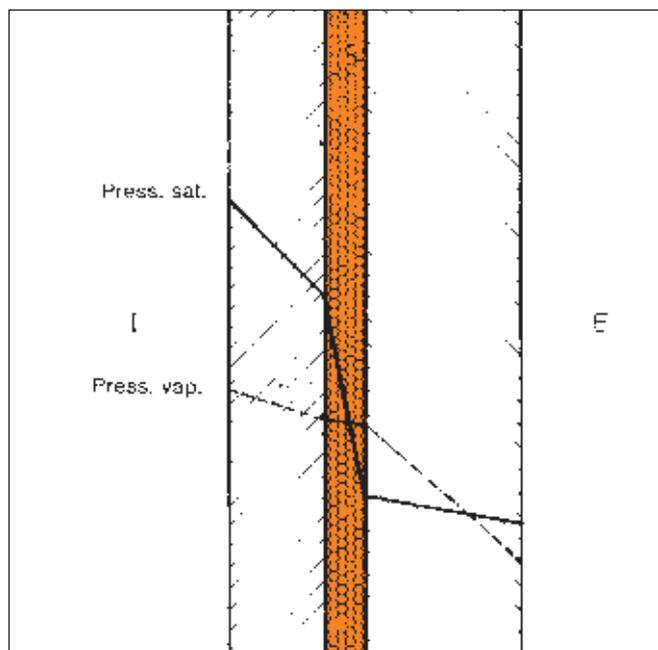


Fig. 9

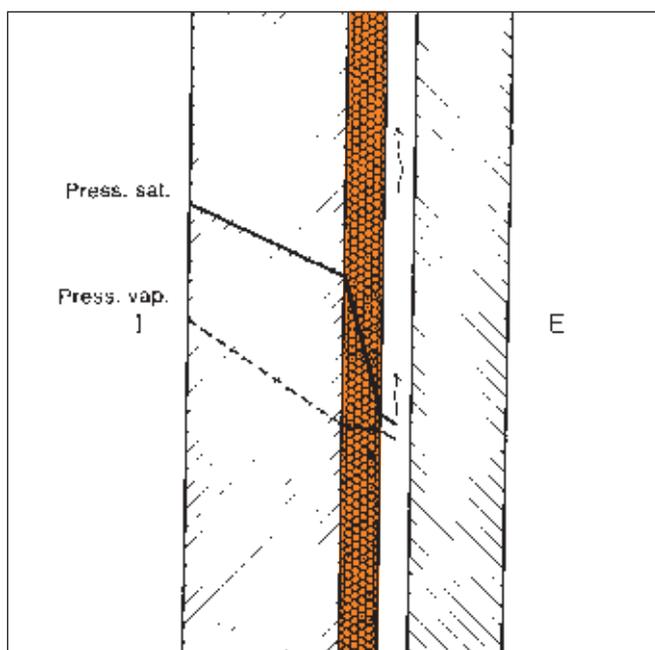


Fig. 11

ISOLAMENTO DELLE PARETI VERTICALI IN INTERCAPEDINE CON EPS

È necessario prendere in considerazione l'applicazione della barriera al vapore in corrispondenza di locali con alto tasso di produzione di umidità interna (ad esempio cucina, bagno, ecc.) e in situazioni geometriche di esposizione della parete d'ambito particolarmente critiche (spigolo del triedro, intersezione tra chiusura verticale e orizzontamento strutturale esposti a fronti freddi). L'impiego di barriera al vapore richiede che questa sia continua per tutto lo sviluppo superficiale della parete, affinché non si determinino fenomeni localizzati di condensazione. Qui di seguito si riportano alcune regole pratiche utili per la progettazione.

a) Condensazione superficiale interna

Il fenomeno si manifesta sulla superficie interna dello strato di finitura qualora la temperatura superficiale sia inferiore a quella di rugiada.

Lo strato isolante può contribuire alla limitazione del fenomeno se lo spessore impiegato è pari per lo meno al valore:

$$s = \left(\frac{t - t_s}{h (t - t_i)} R_o \right) \cdot \lambda \cdot C$$

dove:

t_i e t_e sono rispettivamente le temperature dell'aria interna ed esterna

t_s è la temperatura di rugiada dell'aria interna

h_i è il coefficiente di adduzione interna

R_o è la resistenza termica della struttura senza isolamento

λ è la conduttività termica utile dell'isolante

C è un opportuno fattore di maggiorazione (1,15-1,2)

Qualora detto spessore risulti inferiore a quello ottenuto in adempimento alla Legge 10, occorre impiegare quest'ultimo.

b) Condensa interstiziale

La Fig. 9 evidenzia come in una chiusura a doppio paramento con intercapedine non ventilata ed interposto strato di isolamento termico è possibile che si verifichi formazione di acqua allo stato liquido all'interno delle stratificazioni e, in particolar modo, dell'isolante.

Tale condensazione riduce la resistenza termica dei materiali costituenti la muratura e può compromettere le prestazioni isolanti. È pertanto necessario eseguire un accurato controllo della permeabilità al vapore dei materiali e della successione degli strati con permeabilità crescente verso l'esterno della chiusura. Inoltre va preso in dovuta considerazione l'impiego di barriera al vapore da posizionare sulla superficie interna dello strato isolante.

Al fine di operare un controllo qualitativo del fenomeno in oggetto, può essere utile fare riferimento

alle seguenti prescrizioni progettuali, riferite alla tipologia di chiusura riportata in Fig. 12.

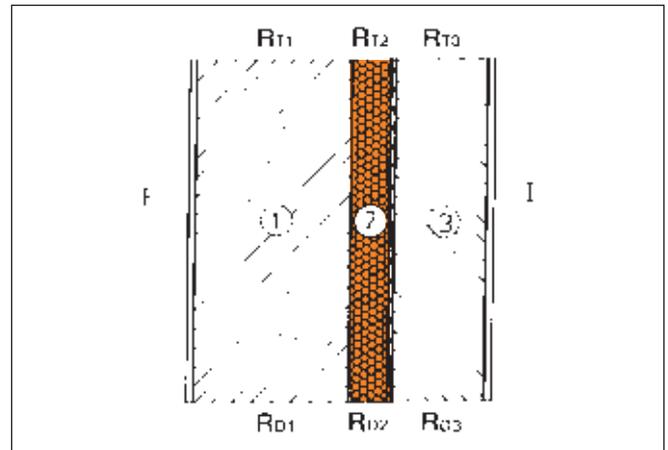


Fig. 12

R_D = resistenza al passaggio del vapor acqueo
= (m^2 hPa/g)

R_T = resistenza termica (m^2 °C/W)

1 = paramento esterno

2 = strato termoisolante

3 = paramento interno

1ª Regola per evitare la formazione di condensa sulla faccia interna dell'isolante:

$$R_{T2} > 3 R_{T3}$$

2ª Regola per limitare la formazione di condensa all'interno dello strato termoisolante, per locali a forte igrometria:

$$1/R_{D3} > 8 \text{ g/m}^2 \text{ hPa}$$

c) Condensazione superficiale esterna

Al fine di limitare gli effetti della condensazione sul muro esterno nel caso si verifichi la condizione:

$$R_{T2} + R_{T3} < 3 R_{T1}$$

si possono operare le seguenti procedure:

1) limitare il flusso di vapore

- se: $R_{T1} > 0,086 \text{ m}^2 \text{ °C/W}$

$$\frac{4}{R_{D3} + R_{D2}} < 34 \text{ g/m}^2 \text{ hPa}$$

- se: $R_{T1} < 0,086 \text{ m}^2 \text{ °C/W}$

$$\frac{1}{R_{D3} + R_{D2}} < 8 \text{ g/m}^2 \text{ hPa}$$

- per zone molto fredde:

$$\frac{1}{RD3 + RD2} < 2 \text{ g/m}^2 \text{ hPa}$$

2) intercettare al piede l'acqua e drenare le pareti;
3) utilizzare un isolante non idrofilo (come EPS).
Per applicare le regole suddette in funzione delle disposizioni costruttive si veda la seguente tabella.

DISPOSIZIONE COSTRUTTIVA	REGOLE APPLICABILI
Strato d'aria tra EPS e parete esterna	b_1 C_1 o C_2
Nessuno strato d'aria tra EPS e parete esterna	parete esterna portante b_1 b_2 C_1 o C_2 o C_3
	parete esterna non portante b_1 b_2 C_1

TENUTA ALL'ACQUA

La tenuta all'acqua deve essere garantita dalle stratificazioni esterne allo strato isolante.

In presenza di strato di protezione e rivestimento esterno impermeabile, occorrono particolari precauzioni in sede progettuale ed esecutiva in corrispondenza dei punti singolari dell'edificio, i quali potrebbero essere veicolo preferenziale di infiltrazioni di acqua meteorica.

In presenza di strato di protezione e rivestimento non impermeabile o di muratura esterna tipo faccia a vista, è necessario prevedere uno strato d'aria interposto fra paramento esterno ed interno con sistema di evacuazione al piede.

Nel caso di intercapedine ventilata, questa assicura un corretto smaltimento dell'acqua eventualmente infiltratasi.

In presenza di azione combinata di acqua e vento, il fenomeno della permeazione idrica può notevolmente aggravarsi, soprattutto in particolari situazioni di esposizione, altezza dell'edificio e località climatica.

DURABILITÀ

Il sistema di chiusura verticale deve essere in grado di sopportare le sollecitazioni che possono prodursi sotto l'effetto della temperatura, dell'irraggiamento solare, del gelo e disgelo, delle azioni sia chimiche, in relazione alle atmosfere anche aggressive, sia fisiche, in relazione alla persistenza di venti tra-

sportanti particelle solide, senza che intervengano perdite delle prestazioni dal punto di vista della planarità, dell'aspetto delle superfici, della tenuta all'acqua, della resistenza meccanica e del comportamento igrotermico del sistema e degli strati componenti.

ASPETTO

Le stratificazioni esterne della chiusura d'ambito (strato di protezione e rivestimento o paramento esterno in caso di muratura a vista) devono presentare assenza di difetti superficiali visibili (macchiature, fessurazioni, imbozzamenti, ecc.), omogeneità di colore e di brillantezza in rapporto alla riflessione della luce.

A seconda della finitura adottata, occorre in sede progettuale valutarne le proprietà specifiche in funzione dell'uso, dell'ubicazione dell'edificio, dell'esposizione, dell'aggressività atmosferica anche in rapporto agli strati sottoposti.

PRESCRIZIONI PER LA PROGETTAZIONE

Un'attenta analisi igrotermica della chiusura nel suo insieme in rapporto alla permeabilità dei materiali impiegati e alle condizioni di esercizio più sfavorevoli è sempre necessaria. Ciò porterà alla definizione degli spessori isolanti e degli eventuali strati di barriera al vapore e a verificare la continuità dello strato coibente.

Questa è condizione indispensabile per realizzare un efficace controllo dei fenomeni legati sia alla trasmissione del calore sia alla trasmigrazione del vapore acqueo all'esterno degli ambienti.

Numerose situazioni patologiche con degradi anche gravi sono da attribuire a mobilità di origine termica e umidità nonché a condensazione superficiale e interstiziale.

È pertanto assolutamente necessario che in sede progettuale venga operato un controllo di tutte quelle soluzioni di dettaglio che, se correttamente analizzate e risolte, possono evitare all'insorgere di detti fenomeni con garanzia di un buon funzionamento nel tempo dell'organismo edilizio. In presenza di rivestimento in intonaco (idraulico o plastico ad applicazione continua) è necessario prescrivere il controllo della composizione e della stratificazione dell'impasto e la sua compatibilità con le caratteristiche del supporto come condizione essenziale per la durabilità della finitura esterna.

In presenza di paramento esterno di tipo faccia a

Quadro 2**Scelta del tipo di chiusura in rapporto alla classe di sensibilità, alla classe d'esposizione, alla presenza di schermatura**

Le tabelle indicano la classe di sensibilità (v. Quadro 1) minima consigliabile in rapporto alle condizioni d'esposizione alla pioggia e al vento ed alle condizioni specifiche di schermatura.

Si tratta di condizioni di massima sicurezza che la tecnologia specifica adottata, anche in rapporto al grado d'esperienza e alle certificazioni disponibili, può superare.

**Murature rivestite esternamente
(classi minime di sensibilità adottabili)**

altezza (in metri)	classe di esposizione		classe di esposizione		classe d'esposizione
	a, b		c		
	schermati	non schermati	schermati	non schermati	d (1)
< 8	1	1 - 2a	2a	2a - 2b	2b - 3
8 ÷ 18	1	1 - 2a	2a	2a - 2b	2b - 3
18 ÷ 28	1	1 - 2a	2a	2a - 2b	2b - 3
28 ÷ 50	2a - 2b	2a - 2b	2b - 3	2b - 3	3 - 4
50 ÷ 100	2a - 2b	2a - 2b	2b - 3	2b - 3	3 - 4

**Murature in mattoni e blocchi paramano (faccia a vista)
(classi minime di sensibilità adottabili)**

altezza (in metri)	classe di esposizione		classe di esposizione		classe d'esposizione
	a, b		c		
	schermati	non schermati	schermati	non schermati	d (2)
< 8	2a	2a	2b	2b - 3	3
8 ÷ 18	2a	2a	2b	2b - 3	3
18 ÷ 28	2a	2b	2b	3	3

(1) adottare la classe a più ridotta sensibilità per facciate fronte mare.

(2) da evitare l'uso di questa tipologia muraria per facciate fronte mare.

Continua

Criteri di valutazione dell'esposizione delle chiusure verticali all'azione della pioggia battente e del vento

1) Premessa

a) Per una valutazione della climatologia orientata a valutazioni d'esposizione alla pioggia ed al vento non è sufficiente riferirsi ai valori di piovosità o di ventosità generici, è necessario prendere in considerazione i dati relativi a periodi di contemporaneità degli eventi, cioè quando la pioggia non scende verticalmente e quando il vento esercita una pressione sul velo laminare dell'acqua di scorrimento in facciata.

b) **Materiali componenti e comportamenti all'azione pioggia/vento**

2.1 Materiali capillari:

- la permeazione è poco influenzata dall'azione del vento;
- la profondità di permeazione è influenzata dall'intensità, dalla durata, dalla frequenza della pioggia/vento, dalla U.R. ambientale tra i periodi di pioggia (velocità di evaporazione);

2.2 Materiali a porosità elevata, permeabili o componenti affetti da vuoti e discontinuità.

- la penetrazione d'acqua piovana è influenzata dall'intensità della pioggia e della pressione dinamica del vento.

2) Valutazioni del sito nei riguardi della climatologia

1) Non essendo disponibili dati specifici del fenomeno pioggia/vento è possibile distinguere le seguenti classi d'esposizione:

- classe A costruzioni situate all'interno di grandi centri urbani (generalmente caratterizzate dal fatto che la metà degli edifici hanno più di 4 piani);
- classe B costruzioni situate in piccoli centri o alla periferia di grandi centri urbani;
- classe C costruzioni isolate o di periferia ma esposte ai venti che portano la pioggia;
- classe D zone costiere o zone dove l'orografia agisce sull'intensificazione degli eventi ventosi (es. valli parallele alla direzione dei venti che portano pioggia).

2) Valutazioni integrative possono essere eseguite attraverso l'indice pioggia/vento (I.P.V.).

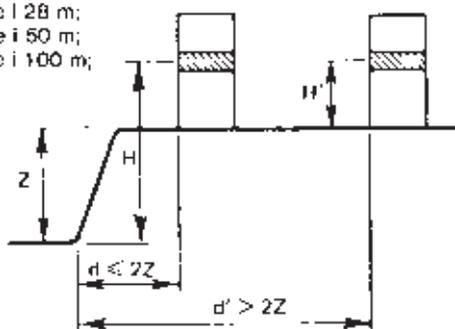
[(indice pioggia/vento = velocità media annuale del vento (m/s) moltiplicata per il totale del valore medio annuale delle precipitazioni (mm)),
 esposizione severa I.P.V. > 7 m²/s
 esposizione moderata 7 m²/s ≥ I.P.V. ≥ 3 m²/s
 esposizione riparata I.P.V. < 3 m²/s

3) Valutazione dell'esposizione della chiusura alla climatologia del sito.

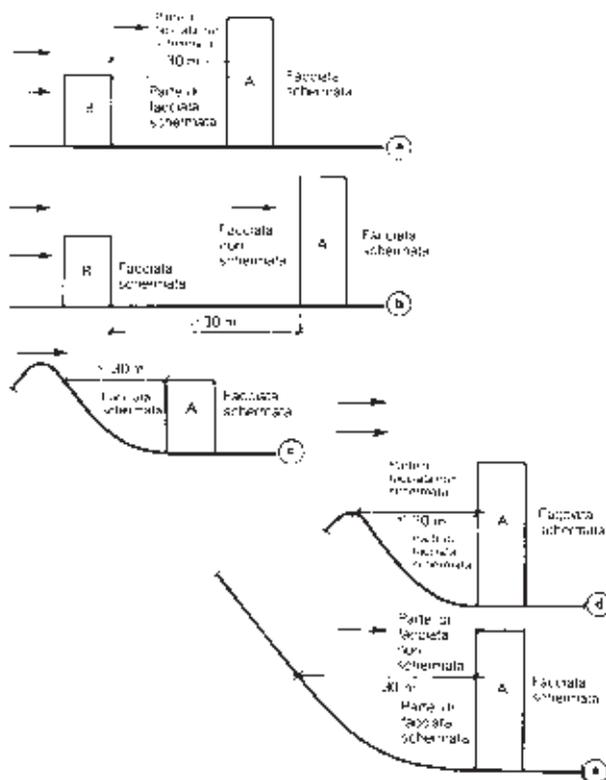
3.1 Altezza dell'edificio: le zone alle varie quote di una chiusura sono esposte a velocità del vento che crescono con la quota stessa.

Si possono distinguere le seguenti classi:

- a) meno di 6 m di altezza dal suolo;
- b) tra i 6 e i 18 m;
- c) tra i 18 e i 28 m;
- d) tra i 28 e i 50 m;
- e) tra i 50 e i 100 m;

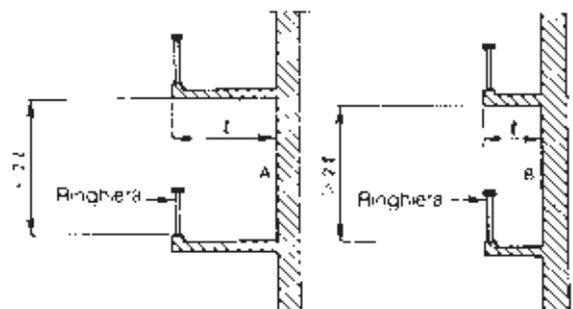
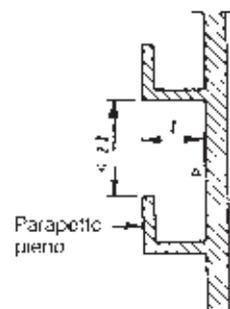


3.2 Presenza di edifici o rilievi che schermano i venti che portano la pioggia.



3.3 Presenza di schermature proprie della chiusura: sporti, cornicioni, balconi, logge possono schermare la facciata e ridurre quindi il grado d'esposizione della chiusura e di sue parti, cioè a condizione che non ci si trovi in riva al mare o in zone particolarmente ventose e per zone di facciata a quota superiore a 18 m.

Possono essere considerate schermate zone di facciata caratterizzate dalle seguenti configurazioni geometriche.



4) Queste valutazioni vanno integrate progettualmente in funzione della conoscenza delle analogie ricavabili dall'esperienza in loco.

vista, è sempre opportuno prevedere uno strato di regolarizzazione sulla faccia interna onde costituire uno schermo alla eventuale permeazione idrica dovuta alla porosità del materiale e alle cavillature della malta dei giunti.

In presenza di paramento esterno portato dagli orizzontamenti strutturali, occorre controllare gli effetti derivanti dall'interruzione del paramento esterno, che si configurano in:

- discontinuità dello strato isolante interposto e insorgenza di ponti termici lineari;
- eterogeneità dei materiali e conseguenti mobilità termiche.

A questi si può ovviare con l'impiego di elementi di marcapiano e isolamento termico sottoposto oppure utilizzando tavole a spacco o rete portaintonaco che, se non elimina il ponte termico, tuttavia riduce i rischi di fessurazione del rivestimento.

I giunti di dilatazione e frazionamento delle murature possono essere realizzati mediante interposizione di profili in PVC rigido, acciaio galvanizzato, alluminio, lamiera preverniciata, ai quali è associato un cordolo di tenuta in mastice plastico.

Oltre a queste considerazioni di carattere generale, a seconda del sistema murario che si intende adottare, è necessario tener presente alcune prescrizioni specifiche al fine di prevenire l'insorgenza di patologie e degradi.

CHIUSURA INDIPENDENTE DAL SISTEMA STRUTTURALE

In sezione corrente è conveniente adottare un doppio paramento costituito da muratura esterna con blocchi in laterizio di spessore cm 12 a fori verticali e muratura interna con blocchi in laterizio di spessore minimo cm 8 a fori orizzontali; per la muratura faccia a vista, lo strato esterno deve essere realizzato con mattoni pieni con finitura idonea; in corrispondenza di locali per i quali è prevedibile l'installazione a parete di arredi o accessori pesanti (cucina, bagno, hobby, ecc.) è consigliabile aumentare a cm 12 lo spessore del paramento interno.

In presenza di variazioni dello spessore murario (ad es. rientranze in corrispondenza dei parapetti delle finestre) occorre evitare l'impiego di materiali disomogenei rispetto ai blocchi del paramento esterno e prevedere l'incremento degli spessori isolanti, in considerazione delle variazioni delle caratteristiche di conducibilità termica, anche in rapporto alle sollecitazioni termiche dovute all'eventuale presenza degli elementi dell'impianto di riscaldamento; a tal

proposito può essere utile l'impiego di strato riflettente disposto fra strato di finitura interno e corpo scaldante. Nel caso in cui la chiusura esterna sia realizzata con materiali diversi giustapposti, occorre considerare i pericoli di fessurazione del rivestimento esterno derivanti dai differenti coefficienti di dilatazione; anche i giunti fra i blocchi determinano una discontinuità di trasmissione degli stati tensionali causati dai movimenti termici, dei quali bisogna tener conto in sede di dimensionamento degli spessori del giunto.

La presenza di un'ossatura strutturale ad elementi prefabbricati, quali architravi, sottodavanzali, parapetti, marcapiani, ecc. generalmente di materiale eterogeneo a quello del paramento esterno, determina situazioni locali preferenziali di mobilità di origine termica, agevolando la formazione di stati fessurativi degli strati esterni. In tali circostanze è consigliabile prevedere l'impiego di elementi di rivestimento speciali (es. tavole a spacco) in modo da creare un supporto omogeneo e continuo alla finitura esterna o, in alternativa, l'applicazione di rete di armatura con funzione di portaintonaco.

È anche opportuno l'impiego di elementi metallici di collegamento in corrispondenza dell'unione pilastri - setti murari, sia per aumentare la stabilità della chiusura all'eccentricità dei carichi sia per ridurre gli effetti delle mobilità differenziate. In relazione alla possibilità di permeazioni idriche nell'intercapedine attraverso strati esterni caratterizzati da elevata porosità, è necessario prevedere sistemi di evacuazione al piede della muratura ad ogni piano, debitamente protetti dall'intrusione di agenti biologici e mascherati nel contesto.

L'inserimento dei pluviali all'interno dell'intercapedine, determinando la foratura delle travi di bordo, richiede il controllo statico delle strutture orizzontali; inoltre, qualora i pluviali siano posti tra lo strato coibente e il paramento interno, occorre che essi siano opportunamente rivestiti con coppelle isolanti.

CHIUSURA CON PARAMENTO INTERNO PORTANTE

In sezione corrente, il paramento esterno deve avere spessore minimo di cm 12 e deve essere del tipo a fori verticali se è prevista l'applicazione di strati di rivestimento, oppure pieno se trattasi di muratura faccia a vista.

Tale paramento può essere completamente autoportante per tutto lo sviluppo verticale dell'edificio, oppure essere supportato dagli orizzontamenti strutturali opportunamente sagomati.

Nel primo caso è necessario operare verifiche stati-

che di stabilità ai carichi verticali (peso proprio) e alle spinte del vento e prevedere l'impiego di ancoraggi metallici inseriti fra i corsi della muratura e vincolati allo strato portante interno.

Al fine di assorbire le mobilità termiche è necessario realizzare giunti di dilatazione strutturale ogni 20-30 m di sviluppo lineare della chiusura d'ambito, in corrispondenza dei quali il paramento esterno dovrà essere anch'esso frazionato con giunti opportunamente sagomati, battentati o protetti per impedire infiltrazioni di acqua meteorica e vento.

Qualora il paramento esterno sia di tipo faccia a vista, occorre studiare le dimensioni delle diverse campiture murarie in rapporto alla modularità dei blocchi utilizzati.

Come nel sistema di chiusura precedentemente considerato, va tenuta in conto l'adozione di meccanismi di evacuazione al piede dell'acqua eventualmente infiltratasi nell'intercapedine dall'esterno.

CHIUSURA CON PARAMENTO ESTERNO PORTANTE

Il paramento esterno, con funzione strutturale portante dovrà essere frazionato da giunti di dilatazione ogni 20-30 m di sviluppo lineare, al fine di assorbire le mobilità di origine termica.

Qualora esso sia costituito da materiali eterogenei agli orizzontamenti strutturali, è opportuno rivestire le travi di bordo con elementi speciali (tavole a spacco) o rete portaintonaco per migliorare il comportamento meccanico del rivestimento sotto l'effetto dei tensionamenti indotti dal supporto. Setti strutturali in calcestruzzo armato, con finitura non faccia a vista, devono essere opportunamente trattati (picozzatura superficiale, aggrappanti, ecc.) onde assicurare la perfetta adesione degli strati di rivestimento.

La muratura interna dovrà avere spessore minimo di cm 8 ed essere costituita da blocchi a fori orizzontali; è opportuno incrementare tale spessore in corrispondenza di locali per i quali è prevedibile l'installazione a parete di arredi o accessori pesanti appesi.

CHIUSURA CON INTERCAPEDINE VENTILATA

Questo sistema di chiusura è generalmente da adottare con soluzione tipo faccia a vista; in tal caso il paramento esterno deve essere realizzato con laterizi pieni con finitura opportuna e spessore cm 12. Questa muratura deve essere supportata da profili di ancoraggio metallici vincolati agli elementi strutturali e trattati con prodotti resistenti all'attacco degli agen-

ti atmosferici. Il dimensionamento di detti 3 profili e dei meccanismi di vincolo deve tener conto dei carichi permanenti e accidentali e della natura del supporto.

Per migliorare la stabilità meccanica della muratura è altresì necessario prevedere apparecchi metallici di connessione; al parametro interno distribuiti ordinatamente per tutta la superficie.

Anche in questa soluzione è fondamentale prevedere giunti di dilatazione del paramento esterno in funzione delle sollecitazioni climatiche, dell'esposizione superficiale, delle caratteristiche del materiale e della colorazione esterna; indicativamente il frazionamento verticale deve essere predisposto ogni 5-7 m di sviluppo orizzontale e localizzato di preferenza in corrispondenza degli angoli, dove vengono a confluire mobilità termiche con diverso andamento.

I frazionamenti orizzontali, da prevedere ogni 1-2 piani, dovranno realizzarsi in corrispondenza di oggetti della facciata e comunque in posizione tale da rispettare il risultato formale del prospetto. Essi conterranno le aperture di ventilazione e saranno provvisti di dispositivi di protezione contro l'intrusione di insetti.

PRESCRIZIONI PER LA COSTRUZIONE

1. Nel caso di muratura portata (struttura a travi e pilastri oppure a setti) è bene iniziare la costruzione della chiusura d'ambito procedendo dall'ultimo piano verso il basso, affinché l'assestamento delle strutture orizzontali non induca sollecitazioni di compressione al sottostante paramento.

2. Blocchi in laterizio costituenti i paramenti murari devono essere legati con malta cementizia mediante realizzazione di giunti uniformi di spessore medio compreso tra 5 e 13 mm. Il riempimento dei giunti deve essere completo e particolarmente curato.

Per mattoni pieni e semipieni a fori verticali con spessore di cm 12 il letto di malta deve essere continuo per tutto lo spessore del mattone; per blocchi con spessore superiore è utile non applicare il collante cementizio nella parte centrale onde ridurre gli effetti di eterogeneità termica.

La posa in opera dei mattoni deve essere preceduta dall'imbibizione degli stessi in funzione del tipo di malta impiegato.

3. Per i blocchi in calcestruzzo, i giunti devono essere uniformi, di spessore medio compreso fra 10 e 15

ISOLAMENTO DELLE PARETI VERTICALI IN INTERCAPEDINE CON EPS

mm e realizzati con malta di cemento o bastarda o di calce idraulica a seconda della resistenza richiesta. L'impiego con collante filmogeno è subordinato alle prescrizioni specifiche del componente. Analogamente a quanto indicato per i blocchi in laterizio, quando lo spessore del paramento è superiore a cm 20 la malta del giunto orizzontale va ripartita solo sui bordi degli elementi.

4. Particolare cura deve essere riposta nel rispetto dell'orizzontalità e verticalità del paramento; la regolarità dei corsi, così come quella della morfologia dei giunti, è d'obbligo in presenza di muratura faccia a vista. In questo caso, inoltre, il giunto deve essere sigillato mediante applicazione di malta i grassa di sabbia e cemento nella porzione più esterna e successiva costipazione della malta di allettamento.

5. Le superfici del paramento devono risultare continue, complanari e prive di irregolarità onde assicurare un supporto idoneo alle stratificazioni ad essa applicate.

6. Pannelli EPS devono venire applicati con collante cementizio steso per punti (6 punti per lastra da m 1x0,5) o mediante chiodatura con l'impiego di tasselli a testa allargata (2 tasselli per lastra da m 1x0,5), previa asportazione di irregolarità del supporto superiori a cm 1 (sbavature di malta, mattoni non complanari, ecc.) e sigillatura di cavità eventualmente presenti nella muratura.

Sono da utilizzare esclusivamente pannelli i quali vanno posati integri, dal basso verso l'alto, a giunti sfalsati e con accostamento in leggera pressione onde assicurare la massima continuità dello strato isolante; in caso di giunto aperto o di asportazione accidentale di parte dei pannelli occorre intervenire con porzioni di EPS applicate con collante idoneo; modesti danneggiamenti delle lastre (sbriciolature, punzonature, ecc.) vanno ripristinati con sigillante privo di solventi. In corrispondenza degli spigoli, occorre che i pannelli sporgano dello spessore degli stessi onde non interrompere la continuità dello strato isolante.

Nel caso in cui il paramento esterno è collegato a quello interno mediante ancoraggi discreti inseriti fra i corsi dei mattoni, i pannelli di EPS devono essere premuti sopra gli ancoraggi e posati sulla superficie esterna del paramento interno; il fissaggio può avvenire con dischi di plastica applicati a pressione sugli ancoraggi, che, oltre a mantenere i pannelli in posizione corretta, impediscono infiltrazioni di acqua meteorica attraverso gli elementi di collegamento.

7. Gli ancoraggi del paramento esterno devono essere inseriti tra i corsi della muratura portante interna per almeno 5 cm se rettilinei o almeno 2,5 cm se ripiegati ad angolo retto e vanno applicati durante l'esecuzione del giunto di malta orizzontale.

8. Gli elementi di rivestimento esterno (piastrelle, lastre di pietra, ecc.) devono essere applicati mediante opportuno strato di regolarizzazione, collegamento e tenuta all'acqua in malta cementizia dello spessore medio di circa mm 15, steso con continuità. Il supporto deve essere preventivamente bagnato onde evitare fenomeni di disidratazione della malta; deve inoltre presentare planarità superficiale entro limiti accettabili.

Per analogo scopo è generalmente opportuno imbibire anche i manufatti di rivestimento. A posa ultimata, la finitura esterna dovrà risultare a geometria regolare, con giunti di dimensione costante e planarità controllata.

9. Se il rivestimento esterno è in intonaco, questo può essere di tipo monostrato, oppure a 2 o 3 strati. In ogni caso l'applicazione deve avvenire su supporto preventivamente bagnato, evitando condizioni atmosferiche di gelo o di eccessivo caldo e dopo che la muratura abbia subito l'eventuale assetamento statico.

Nel caso di intonaco monostrato, è consigliabile un'applicazione a macchina in due passaggi successivi ad intervallo di circa 3-5 ore, osservando scrupolosamente le prescrizioni specifiche del produttore.

Nel caso di intonaco a due strati occorre eseguire un primo strato (rinzafo) dello spessore di circa mm 10 a superficie scabra ed attenderne l'indurimento per un tempo sufficiente e comunque superiore a 3 giorni; indi va applicato lo strato di finitura (stabilitura) dello spessore di circa mm 5 onde ottenere uno spessore medio complessivo non inferiore a mm 15.

Nel caso di intonaco a tre strati, le operazioni suddette devono essere precedute dalla stesura ed essiccazione di un rinzafo che ricopra appena la superficie del muro, con finitura scabra.

Occorre che ciascuno strato venga ben pressato sul supporto mediante proiezione meccanica a pressione o frattazzatura manuale onde ottenere perfetta adesione. Il primo strato deve essere sempre piuttosto ricco di acqua onde contenere la disidratazione dell'impasto per suzione della muratura.

Oltre a quanto specificato, è necessario controllare il tipo di legante, l'uniformità dell'impasto senza eccessi di cemento ed attuare procedure atte ad umidificare l'intonaco dopo la sua applicazione.



DETTAGLI COSTRUTTIVI

Di seguito vengono riportati alcuni dettagli costruttivi di murature d'ambito esterno, per la corretta esecuzione delle sezioni correnti e dei punti singolari più tipici di un organismo edilizio.

Particolare attenzione è stata riposta nella correzione delle situazioni di ponte termico che, nella pratica edificatoria, di solito sono trascurate o non sufficientemente approfondite, con il rischio di innescare fenomeni di degrado che compromettono il livello prestazionale.

SEZIONE CORRENTE

LEGENDA

1. orizzontamento strutturale
2. pilastro
3. muratura portante
4. paramento esterno
5. paramento interno
6. strato di rivestimento e finitura
7. strato di collegamento
8. strato di regolarizzazione
9. strato d'aria
10. EPS
11. barriera
12. rete portaintonaco
13. tavella a spacco
14. marcapiano
15. elemento di evacuazione al piede
16. elemento metallico di ancoraggio
17. elemento prefabbricato di rivestimento

CHIUSURA INDIPENDENTE DAL SISTEMA STRUTTURALE

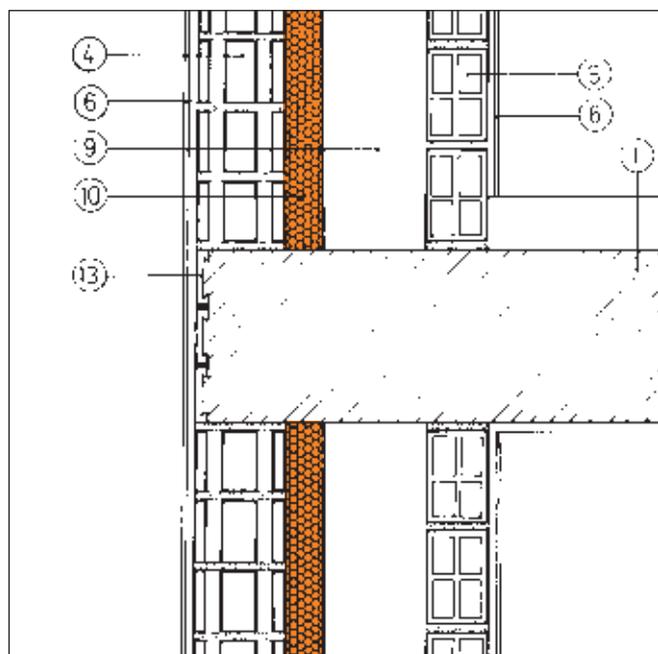


Fig. 13 Sezione verticale

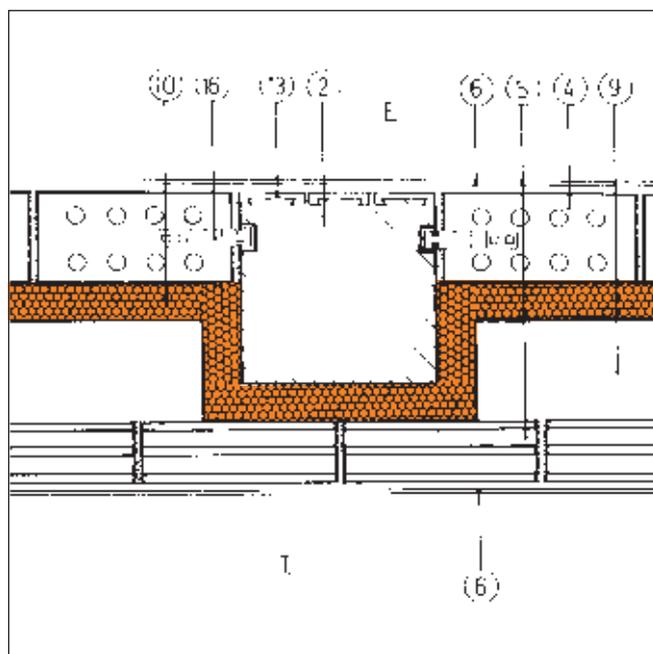


Fig. 14 Sezione orizzontale

Il ponte termico a livello di orizzontamento strutturale non è controllato, mentre lo è quello in corrispondenza del pilastro. Le tavelle a spacco garantiscono omogeneità di supporto agli strati di rivestimento. Gli elementi di ancoraggio del paramento esterno al pilastro prevengono stati fessurativi per mobilità di origine termica.

ISOLAMENTO DELLE PARETI VERTICALI IN INTERCAPEDINE CON EPS

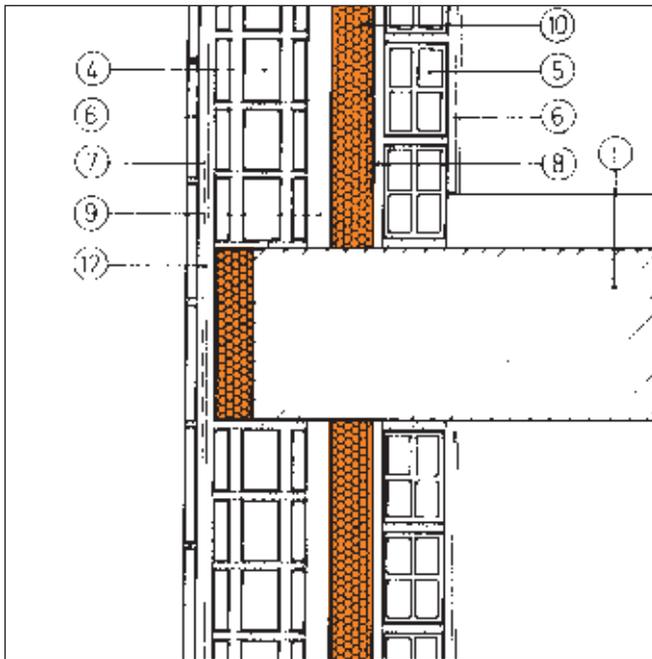


Fig. 15 Sezione verticale

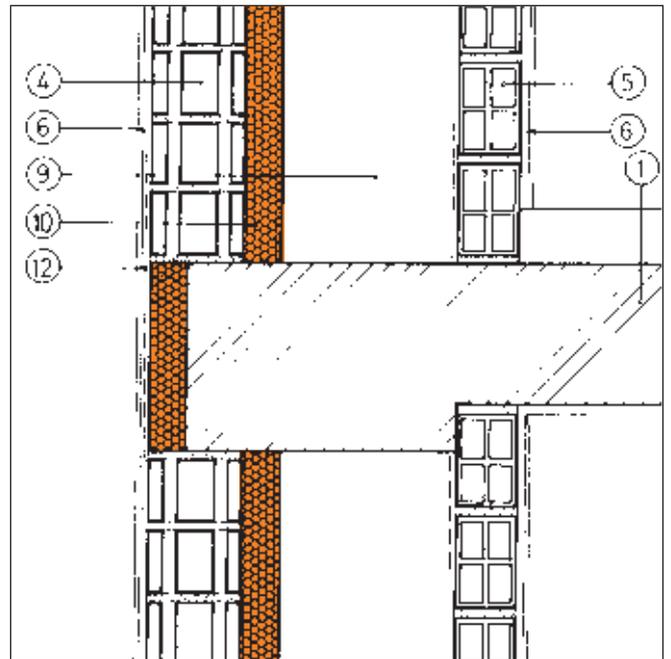


Fig. 16 Sezione verticale

Il ponte termico a livello di orizzontamento strutturale è controllato mediante applicazione di uno strato di EPS. L'applicazione della rete portaintonaco assicura la perfetta continuità dell'intonaco esterno prevenendone fessurazioni per disomogeneità di supporto

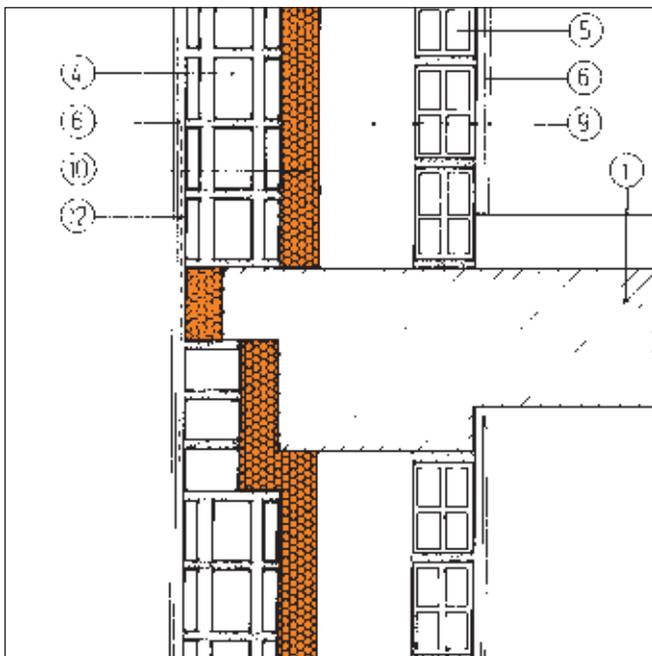


Fig. 17 Sezione verticale

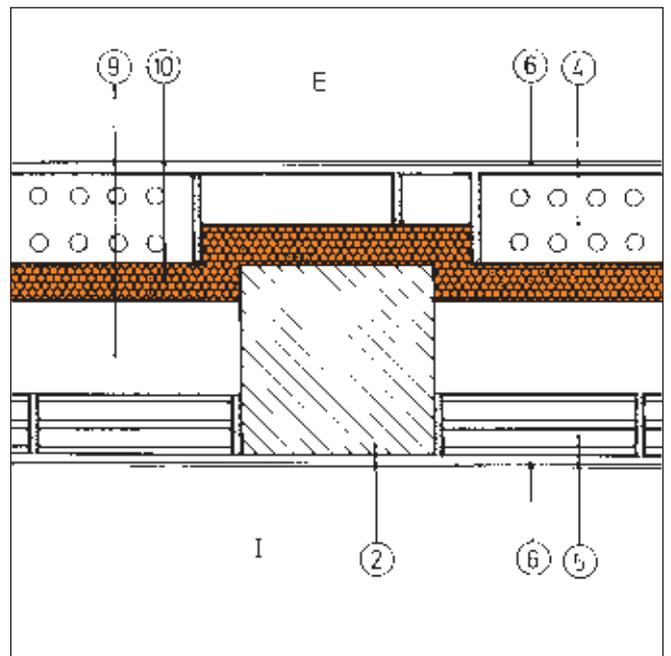


Fig. 18 Sezione orizzontale

La sagomatura della trave di bordo permette di ridurre al minimo il ponte termico orizzontale e di evitare quello a livello di pilastro. La rete portaintonaco assicura la perfetta continuità dello strato di rivestimento esterno

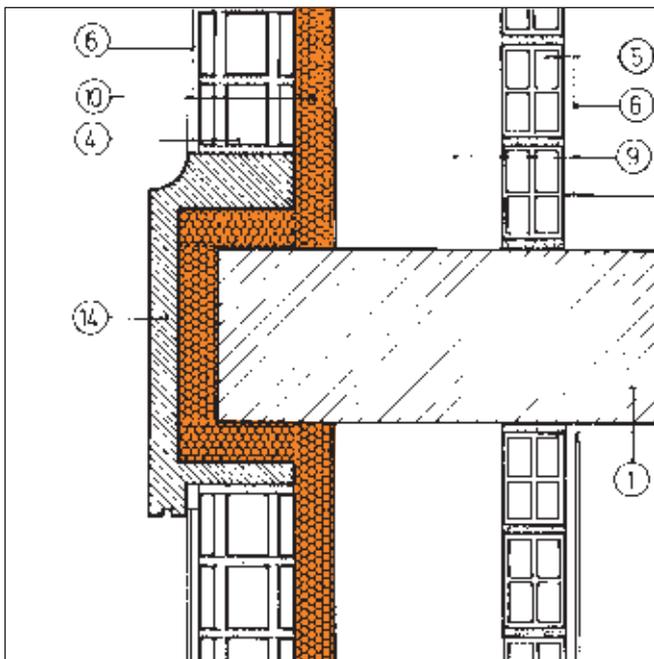


Fig. 19 Sezione verticale

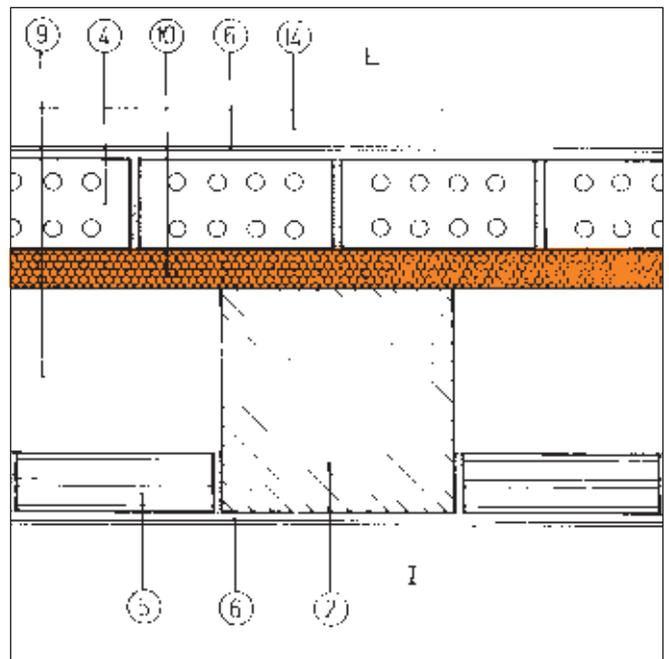


Fig. 20 Sezione orizzontale

La messa in opera di un elemento prefabbricato di marcapiano permette di isolare completamente dall'esterno la struttura portante orizzontale e verticale

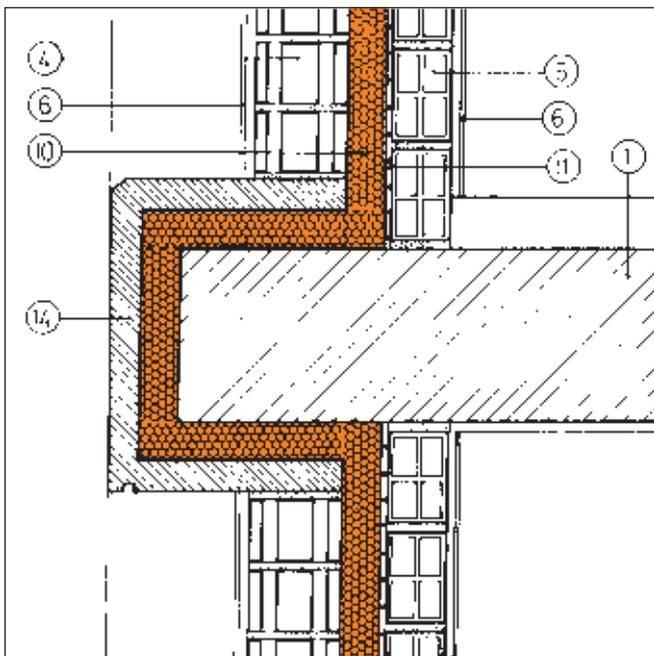


Fig. 21 Sezione verticale

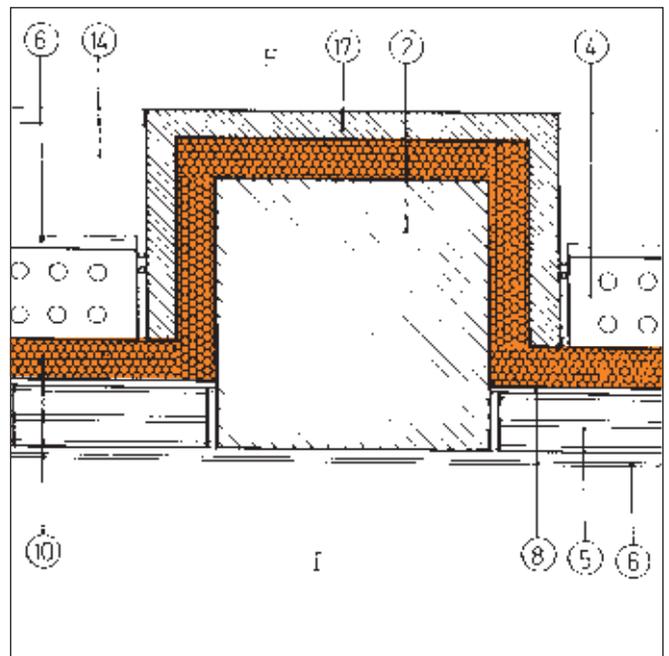


Fig. 22 Sezione orizzontale

L'elemento di marcapiano orizzontale permette di eliminare il ponte termico a livello di trave di bordo. L'elemento prefabbricato verticale dà la possibilità di rivestire con EPS esternamente il pilastro, consentendo uno spessore contenuto della chiusura d'ambito

CHIUSURA CON PARAMETRO ESTERNO PORTANTE

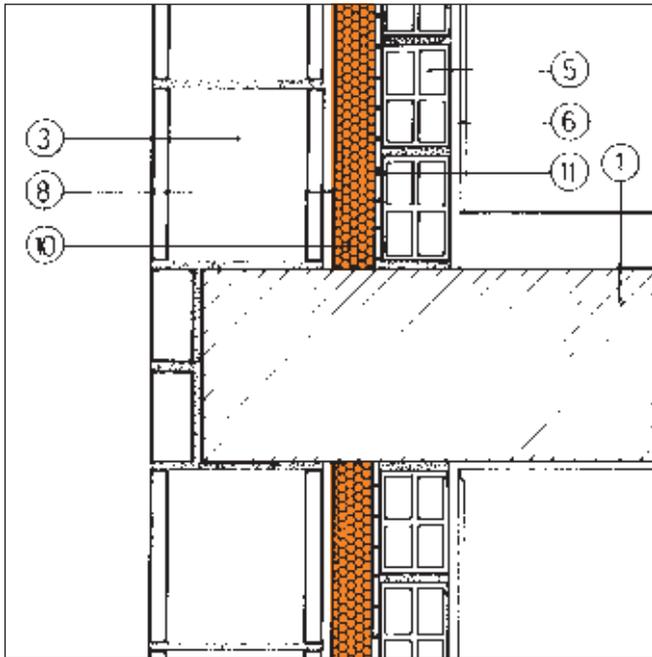


Fig. 23 Sezione verticale
La necessità di ottenere un parametro esterno faccia a vista comporta l'impossibilità di eliminare il ponte termico orizzontale

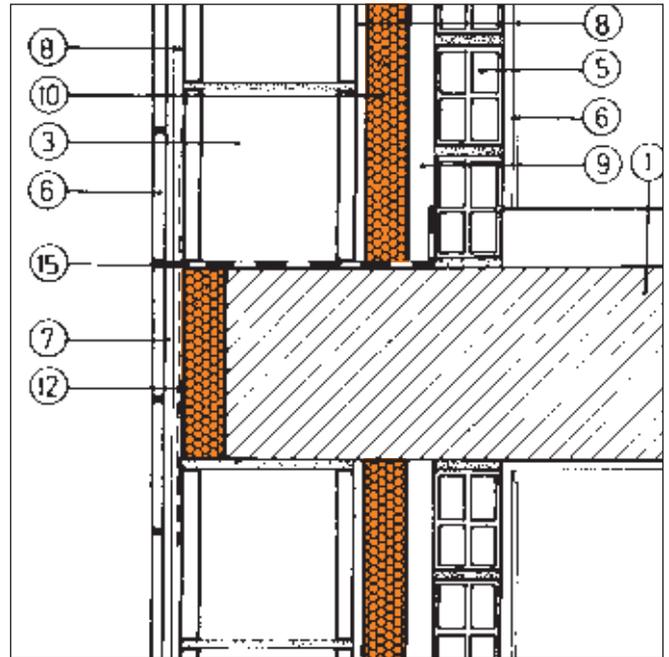


Fig. 24 Sezione verticale
Il ponte termico orizzontale è notevolmente ridotto mediante l'applicazione di uno strato EPS all'esterno della trave di bordo. L'elemento di evacuazione al piede raccoglie eventuali permeazioni idriche

CHIUSURA CON PARAMETRO INTERNO PORTANTE

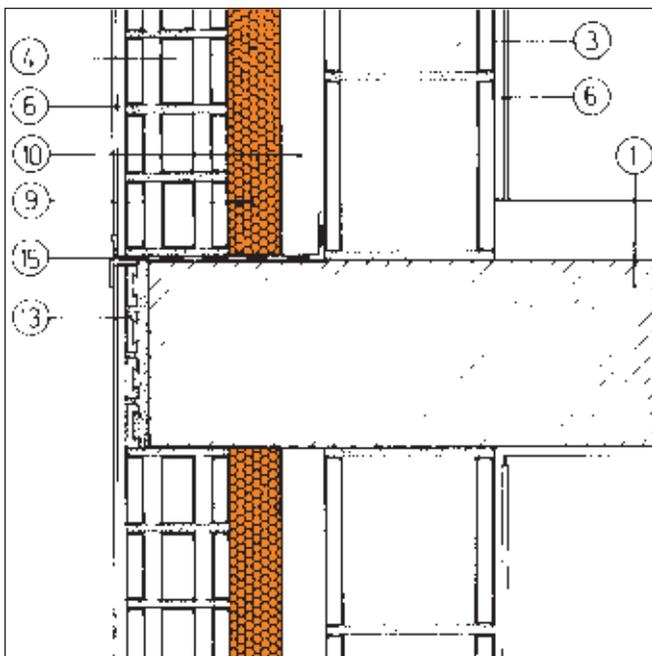


Fig. 25 Sezione verticale
Le tavole a spacco garantiscono omogeneità di supporto agli strati di rivestimento. L'elemento di evacuazione al piede raccoglie le eventuali permeazioni idriche convogliandole verso l'esterno

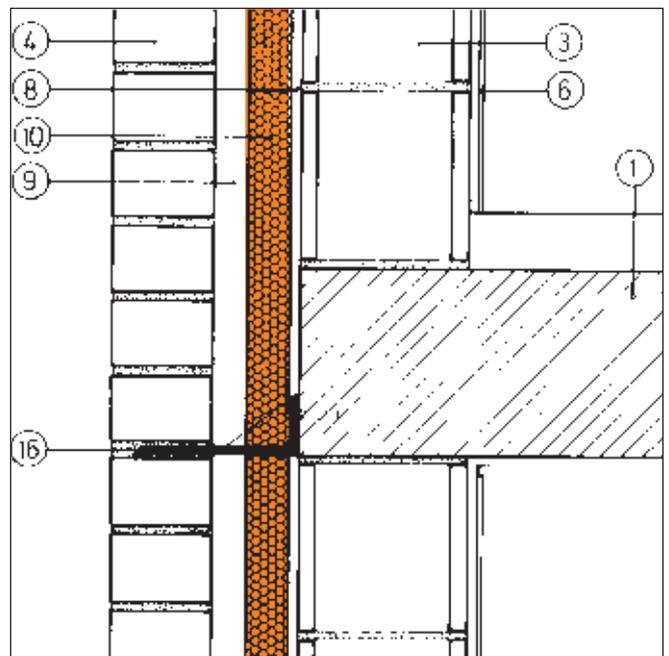


Fig. 26 Sezione verticale
Il parametro è supportato al piede da elementi metallici continui vincolati alla trave di bordo. La presenza di intercapedine ventilata garantisce un comportamento della chiusura di tipo a "facciata ventilata"

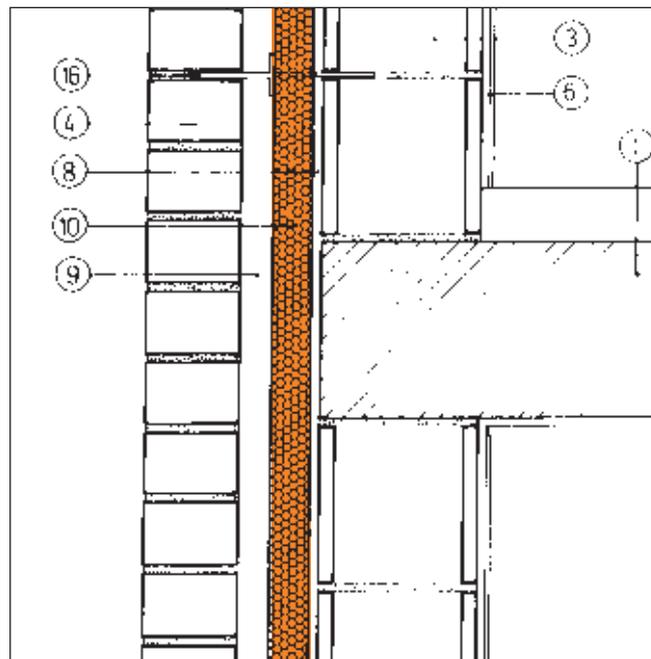


Fig. 27 Sezione verticale
Gli elementi di ancoraggio, inseriti fra i corsi dei paramenti, garantiscono stabilità alla muratura esterna

PUNTI SINGOLARI

A - ANGOLO

1. EPS - 2. Elemento metallico di ancoraggio - 3. Guida continua metallica inserita nel getto - 4. Elemento prefabbricato - 5. Tavella a spacco

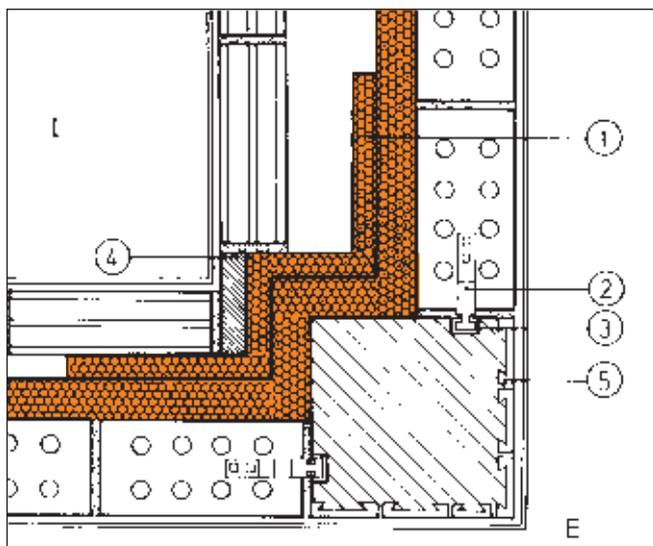


Fig. 28 Sezione orizzontale

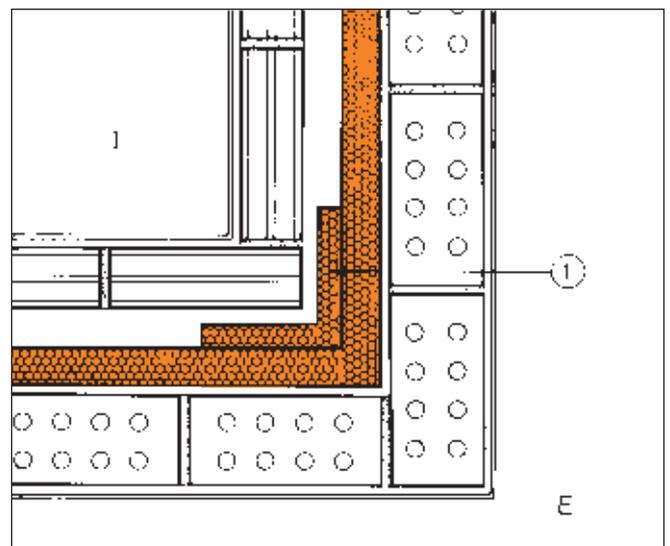


Fig. 29 Sezione orizzontale

L'incremento di spessore di EPS annulla il maggior disperdimento termico dovuto all'effetto angolo. Gli elementi di ancoraggio impediscono i movimenti relativi di origine termica fra pilastro e paramento esterno

B - RACCORDO CON COPERTURA

1. EPS - 2. Barriera al vapore - 3. Massetto di pendenza - 4. Supporto in neoprene - 5. Pavimentazione - 6. Strato di tenuta - 7. Scossalina perimetrale - 8. Elemento prefabbricato - 9. Rivestimento in perline di legno

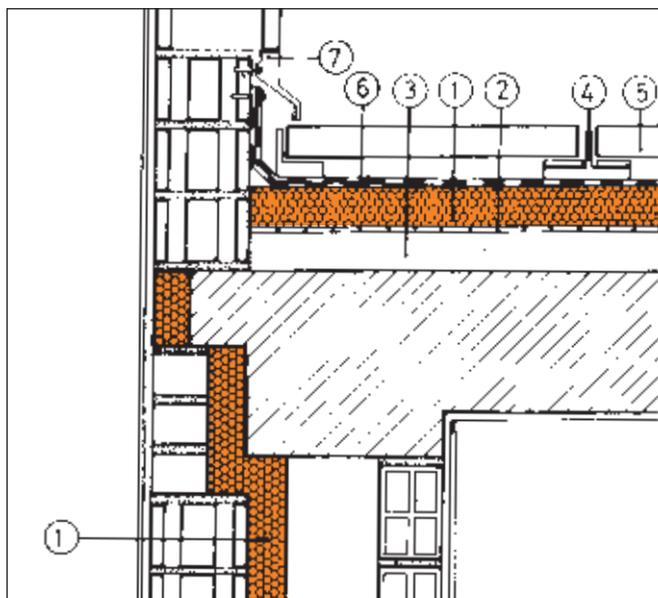


Fig. 30 Sezione verticale

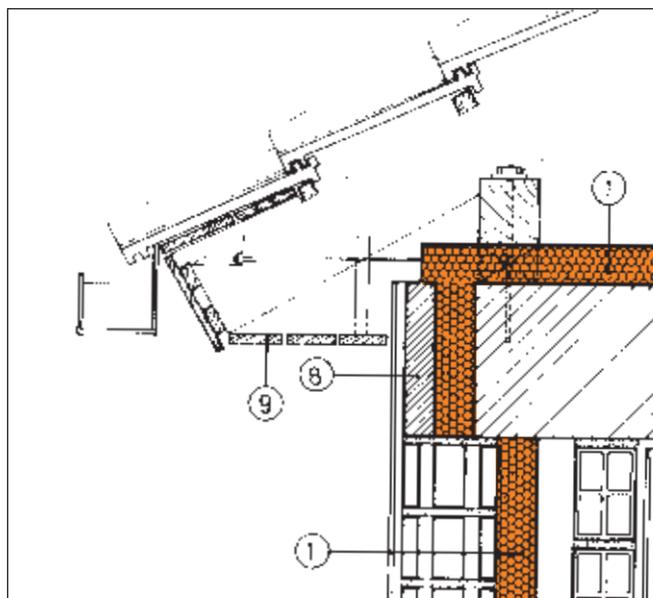


Fig. 31 Sezione verticale

L'applicazione di EPS sulla faccia esterna della trave di bordo e all'estradosso del solaio di copertura, permette di ridurre pressoché completamente il ponte termico a livello di orizzontamento strutturale

C - PARTENZA ALLA BASE

1. EPS - 2. Strato di tenuta - 3. Elemento di evacuazione al piede - 4. Elemento di protezione prefabbricato - 5. Elemento metallico di ancoraggio

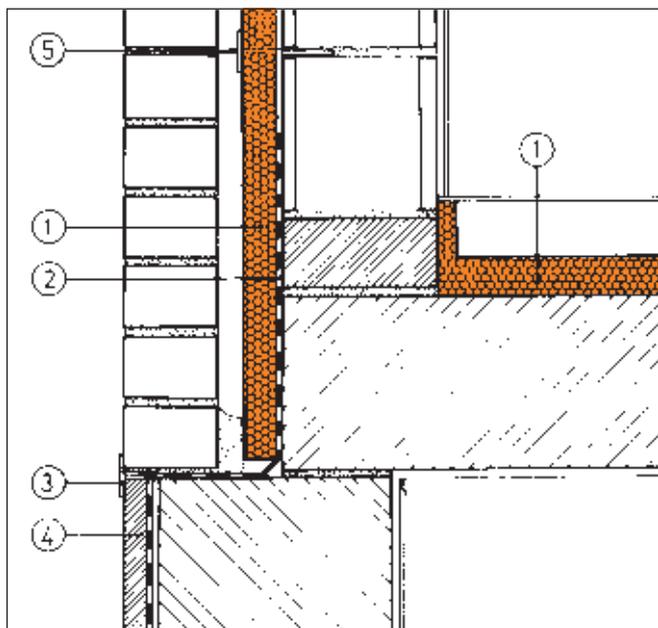


Fig. 32 Sezione verticale

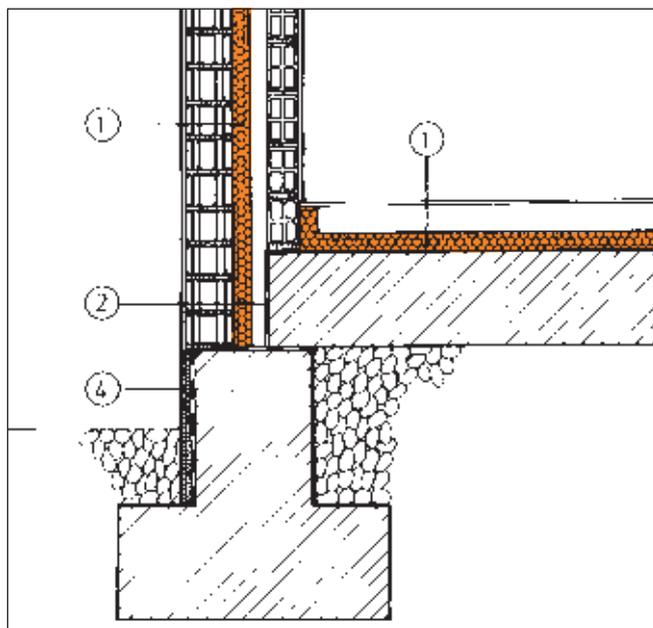


Fig. 33 Sezione verticale

L'elemento di tenuta protegge le murature dall'umidità di risalita attraverso le fondazioni. Il ponte termico a livello di orizzontamento strutturale risulta evitato pressoché totalmente

D - RACCORDO CON BALCONE

1. EPS - 2. Strato di tenuta - 3. Massetto di pendenza - 4. Pavimentazione - 5. Canale di raccolta acque meteoriche - 6. Parapetto - 7. Barriera al vapore - 8. Serramento

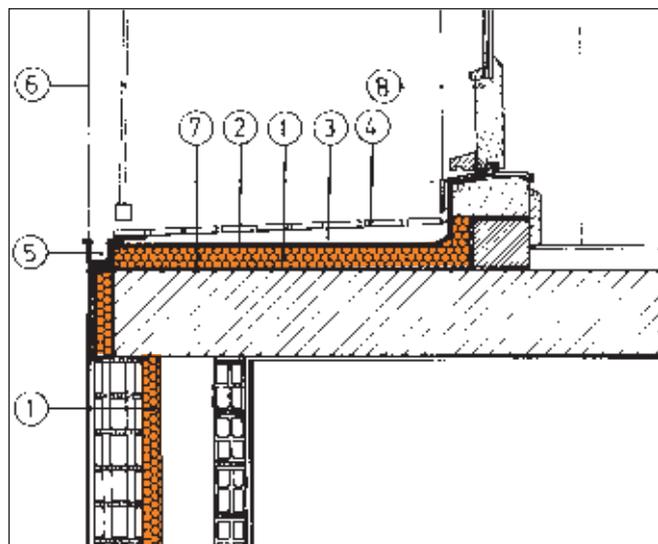


Fig. 34 Sezione verticale
La presenza di EPS sotto lo strato di tenuta isola termicamente il sottostante locale abitato

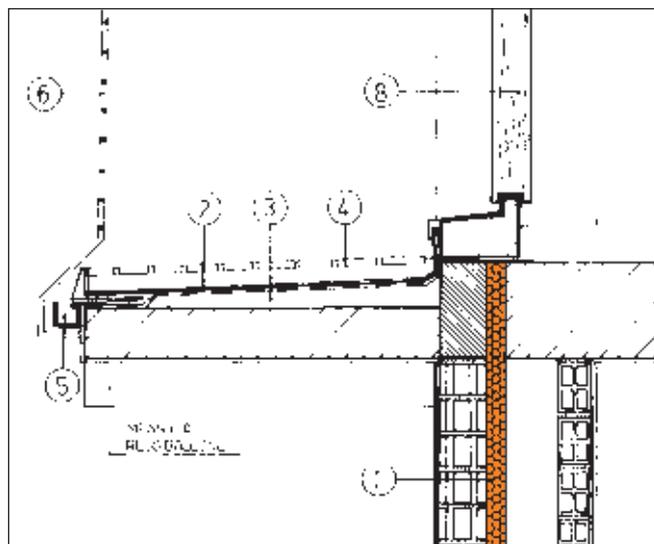


Fig. 35 Sezione verticale
La presenza di EPS all'esterno della trave di bordo annulla il ponte termico orizzontale

E - RACCORDO CON SERRAMENTO

1. EPS - 2. Corpo scaldante - 3. Serramento - 4. Architrave prefabbricato - 5. Davanzale esterno - 6. Davanzale interno - 7. Elemento di tenuta - 8. Elemento metallico di ancoraggio - 9. Strato di regolarizzazione - 10. Pannello riflettente - 11. Cassonetto coibentato

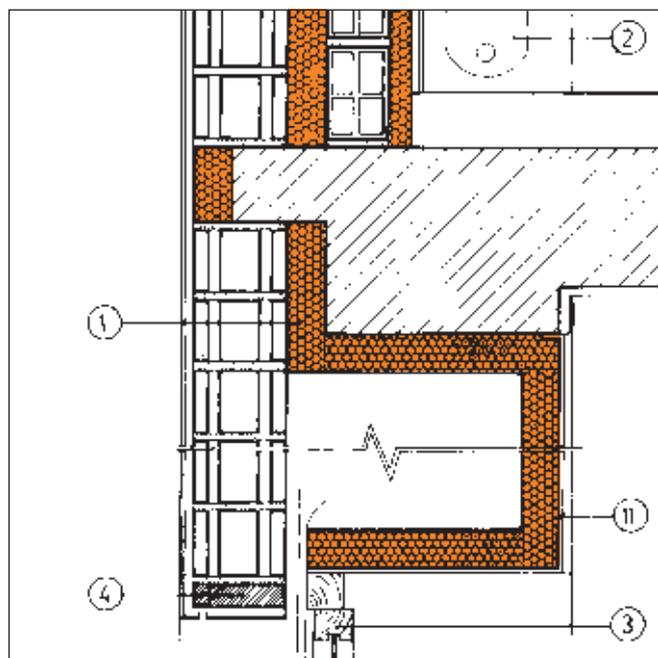


Fig. 36 Sezione verticale
La presenza di EPS all'interno del cassonetto e sulla faccia esterna della trave di bordo annulla i disperdimenti termici

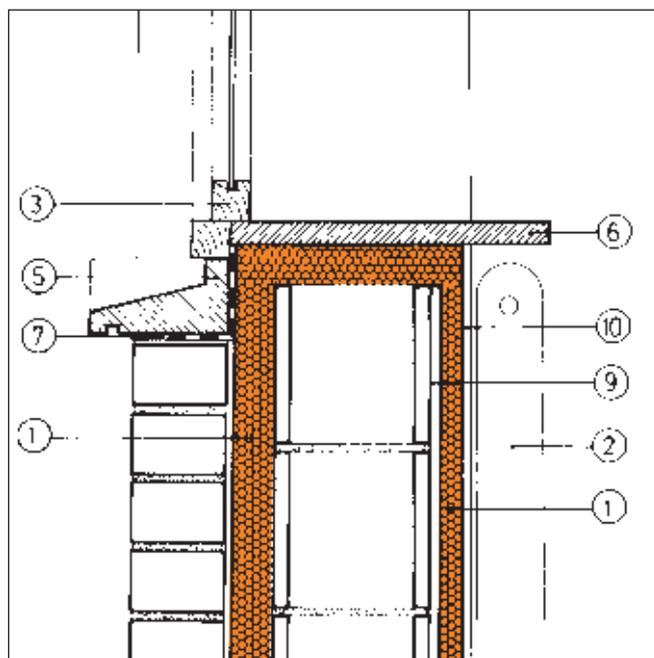


Fig. 37 Sezione verticale
La presenza di EPS e di un pannello di finitura riflettente riduce notevolmente i disperdimenti termici in corrispondenza del corpo scaldante

F - GIUNTO DI DILATAZIONE

1. EPS - 2. Fondo giunto - 3. Sigillante

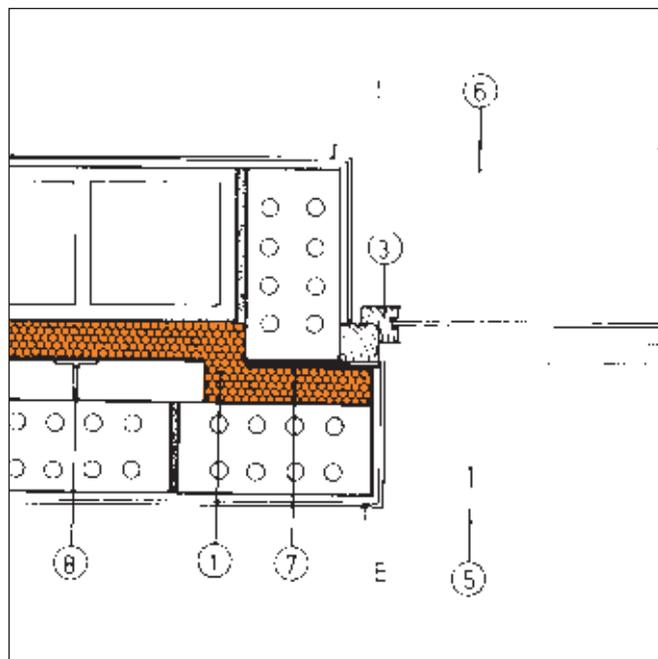


Fig. 38 Sezione orizzontale
La continuità di EPS evita un ponte termico a livello di maz-zetta esterna

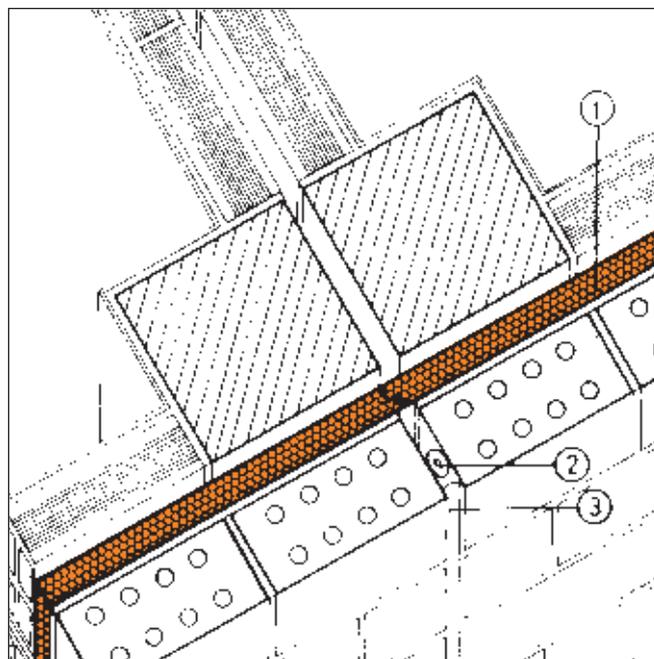


Fig. 39 Assonometria
Il giunto elastico del paramento esterno evita fenomeni fessu-rativi in presenza di mobilità strutturale

PATOLOGIE ED ERRORI

La tecnologia costruttiva delle chiusure d'ambito con doppio paramento murario e strato isolante interposto, pur essendo la più consolidata e comunemente impiegata, non sempre è in grado di rispondere compiutamente nel tempo alle sollecitazioni degli agenti esterni che determinano, a volte, l'insorgenza di fenomeni di degrado anche gravi a danno di uno o più strati funzionali o dell'intero sistema. Ciò innesca situazioni patologiche che possono compromettere il comportamento prestazionale della parete perimetrale alterandone l'affidabilità e riducendo il comfort ambientale interno.

Anzi, la consuetudine di applicazione di questa tecnologia può portare a sottovalutare o trascurare l'analisi di condizioni ambientali e soluzioni di dettaglio che risultano essere poi, in fase di esercizio, le cause di dette alterazioni di comportamento.

Diventa pertanto necessario sia il controllo in fase progettuale di tutte le situazioni a rischio e la valutazione della configurazione dei punti singolari, sia una esecuzione fedele alle prescrizioni progettuali e attenta alle varie fasi di posa in opera, sia la tempestività e appropriatezza dei sistemi di intervento manutentivo. Buona parte delle patologie che si riscontrano in edifici in muratura sono da attribuire alla presenza di ponti termici, sia strutturali che geometrici, in corrispondenza soprattutto di discontinuità dell'isolante. Un'indagine sull'esistenza e rilevanza di dette eterogeneità termiche, al fine di effettuarne un controllo, può essere effettuata mediante termografie, che forniscono il quadro della distribuzione della temperatura superficiale in funzione della densità delle radiazioni infrarosse. (Norma ISO 6781 - 1983).

Dai dati raccolti è possibile risalire alla resistenza termica della parete d'ambito ed individuare le zone a diverso isolamento termico diagnosticandone i difetti.

AGENTE: VAPORE ACQUEO

REQUISITO DISATTIVATO
Controllo della condensazione

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

Isolamento termico

Aspetto

CAUSE

- difetti di localizzazione e dimensionamento dello strato isolante
- presenza di ponti termici
- diminuzione della temperatura superficiale interna per permeazioni idriche
- permanenza di acqua di costruzione
- intermittenza dell'impianto di riscaldamento
- assenza o discontinuità dell'eventuale strato di barriera al vapore
- permeabilità al vapore e resistenza termica dalle stratificazioni

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- formazione di muffe e macchiature superficiali interne
- sfarinamento e stollazione del rivestimento interno
- maggiore consumo di combustibile
- riduzione delle caratteristiche dello strato isolante
- fenomeno di gelività, delaminazione, efflorescenze del paramento esterno e dello strato di rivestimento
- variazioni dimensionali degli elementi e fenomeni tensionali relativi
- distacco degli intonaci esterni plastici non traspiranti

ERRORI

Progettazione:

- mancata correzione dei ponti termici
- erroneo dimensionamento e posizionamento dello strato isolante
- errata stima della conduttività e della permeabilità dei materiali impiegati
- errato controllo delle possibilità di permeazioni idriche e ristagni
- errata prescrizione di impiego di barriera a vapore
- mancato controllo del carico igrotermico e del fenomeno della ventilazione interna degli ambienti

Esecuzione:

- errata posa dello strato isolante e di barriera al vapore
- spessori isolanti diversi da quelli prescritti
- impiego di isolanti idrofili o comunque con caratteristiche variabili nel tempo

Gestione:

- ripristino dello strato di rivestimento con prodotti impermeabili al vapore
- mutamento incontrollato della destinazione d'uso dell'ambiente e conseguente alterazione dell'equilibrio igrotermico
- diminuzione dei ricambi d'aria interni (ad es. sostituzione o integrazione dei serramenti con elementi a perfetta tenuta)
- cessato funzionamento di aspiratori meccanici nei locali umidi
- abbassamento della temperatura superficiale interna (ad es. con l'accostamento alle pareti di elementi di arredo di notevole sviluppo)

AGENTE: TEMPERATURA

REQUISITO DISATTIVATO
Isolamento termico

CAUSE

- degrado delle proprietà isolanti dei pannelli
- deformazioni dello strato isolante
- discontinuità dello strato isolante

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- eterogeneità di comportamento termico
- insorgenza di ponti termici non controllati.

REQUISITO DISATTIVATO
Tenuta all'acqua

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

- stabilità
- isolamento termico
- aspetto
- controllo della condensazione

CAUSE

- mobilità termiche
- assenza di giunti di dilatazione
- variazioni di spessore della struttura muraria
- eccessive disomogeneità delle mobilità inerenti e dei moduli elastici dei vari strati accoppiati
- elementi di fissaggio impropri
- vincoli insufficienti nella zona di imposta tra muratura ed altri elementi (pilastri, setti, ecc.)

ERRORI

Progettazione:

- prescrizione di impiego di isolante non stabile nel tempo o idrofilo

Esecuzione:

- impiego di pannelli di isolante con bordi non rettificati
- messa in opera dei pannelli non a giunti sfalsati
- mancato riempimento degli eventuali giunti aperti tra i pannelli

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- formazione di fessurazioni localizzate o diffuse, superficiali o passanti
- macchiature, screpolature, alterazioni dello strato di rivestimento esterno
- diminuzione delle proprietà dello strato isolante
- infiltrazioni idriche interessanti le stratificazioni interne
- fenomeni di condensazione interstiziale e superficiale

ERRORI

Progettazione:

- errata previsione e dimensionamento dei giunti di dilatazione e di frazionamento

Esecuzione:

- errata realizzazione dei giunti di dilatazione e frazionamento

ISOLAMENTO DELLE PARETI VERTICALI IN INTERCAPEDINE CON EPS

<p>AGENTE: ACQUA</p> <p>REQUISITO DISATTIVATO Tenuta all'acqua</p> <p>REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA Isolamento termico Aspetto Controllo della condensazione</p> <p>CAUSE</p> <ul style="list-style-type: none">- porosità del materiale costituente gli strati esterni- discontinuità e/o cavillatura dei giunti di allettamento dei blocchi- lesioni e fessurazioni del paramento esterno dovuti a mobilità impedita- ristagno idrico in presenza di aggetti, sporgenze, disassamenti del paramento esterno, ecc.- discontinuità e/o cavillatura dello strato di rivestimento esterno <p>EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI</p> <ul style="list-style-type: none">- riduzione dell'isolamento- infiltrazioni idriche interessanti le stratificazioni interne con conseguenti macchiature, disgregazioni, stillicidi- fenomeni di gelività, delaminazione, efflorescenze del paramento esterno e dello strato di rivestimento- distacco del rivestimento- ossidazione degli elementi ed accessori metallici	<p>ERRORI</p> <p>Progettazione:</p> <ul style="list-style-type: none">- errata scelta del materiale costituente il paramento esterno- impiego di blocchi a fori orizzontali per il paramento esterno- assenza di giunti di dilatazione nelle campiture murarie e di accoppiamento con gli elementi strutturali- errato controllo delle discontinuità superficiali (risalti, elementi non a filo)- uso di intonaco soggetto a ritiri incontrollati (ad es. a base di solo cemento)- errato controllo delle mobilità termiche- mancata previsione di dispositivo di evacuazione al piede dello strato d'aria- impiego di isolante idrofilo a contatto con la superficie interna del paramento esterno- mancata prescrizione di strato di regolarizzazione sulla superficie interna di murature faccia a vista <p>Esecuzione:</p> <ul style="list-style-type: none">- errata realizzazione dei giunti di allettamento dei blocchi, di dilatazione della campitura muraria e di accoppiamento con gli elementi strutturali- errata esecuzione dello strato di rivestimento e protezione <p>Gestione:</p> <ul style="list-style-type: none">- mancato ripristino delle parti ammalorate dello strato di rivestimento- mancata sostituzione degli accessori di protezione degli aggetti
<p>AGENTE: RADIAZIONE SOLARE</p> <p>REQUISITO DISATTIVATO Aspetto</p> <p>CAUSE</p> <ul style="list-style-type: none">- strato di rivestimento con finitura superficiale di tipo fotosensibile <p>EFFETTI</p> <ul style="list-style-type: none">- macchiature- scoloriture	<p>ERRORI</p> <p>Progettazione:</p> <ul style="list-style-type: none">- errata prescrizione dei materiali di rivestimento e finitura <p>Esecuzione:</p> <ul style="list-style-type: none">- non osservanza delle prescrizioni specifiche dei prodotti di rivestimento <p>Gestione:</p> <ul style="list-style-type: none">- mancati interventi di manutenzione ordinaria
<p>AGENTI: BIOLOGICI</p> <p>REQUISITO DISATTIVATO Aspetto</p> <p>CAUSE</p> <ul style="list-style-type: none">- attacco di microrganismi allo strato di rivestimento <p>EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI</p> <ul style="list-style-type: none">- degrado superficiale con alterazioni di aspetto e colore	<p>ERRORI</p> <p>Progettazione:</p> <ul style="list-style-type: none">- mancata prescrizione di trattamenti anticrittogamici <p>Esecuzione:</p> <ul style="list-style-type: none">- trattamenti inadeguati del rivestimento

MANUTENZIONE

Occorre distinguere fra manutenzione di tipo ordinario e straordinario a seconda dell'entità e dei tempi di intervento. La manutenzione ordinaria comporta un periodico controllo di sorveglianza del buon funzionamento del pacchetto di stratificazioni costituenti la chiusura d'ambito, con particolare riguardo agli strati di rivestimento (ripristini, pitturazioni, puliture localizzate, ecc.) verificando la necessità di interventi di manutenzione straordinaria prima che l'entità delle patologie raggiunga livelli di difficile ripristino. La manutenzione straordinaria implica operazioni di rifacimento (parziale o complessivo) spesso a carattere distruttivo con ripristino degli strati di rivestimento e collegamento onde ricostituire il livello prestazionale originario. Interventi di manutenzione agli strati interni sono sempre di difficile attuazione e molto onerosi e pertanto occorre prevenire le problematiche eventualmente insorgenti in esercizio prestando massima attenzione in fase di progettazione e di costruzione. L'impiego di EPS come strato coibente dà al riguardo la massima garanzia. In particolare, nel caso di strato di rivestimento in intonaco si possono attuare le seguenti operazioni.

- Manutenzione ordinaria: in presenza di incrostazioni, effiorescenze o muffe effettuare un lavaggio con acqua fredda o calda ad alta pressione eventualmente addizionata con soluzioni specifiche, indi risciacquare abbondantemente e trattare con prodotti anticrittogamici.
- Manutenzione straordinaria:
 - a) in presenza di microfessure, maiolicature o fessure, applicare un ulteriore strato di finitura (rivestimento di impermeabilizzazione con adeguate caratteristiche di elasticità);

- b) in presenza di rigonfiamenti puntuali:
 - scrostare le porzioni di intonaco non aderenti,
 - spazzolare, ripulire, detergere con soluzione acida e risciacquare abbondantemente;
 - piccozzare il supporto murario e ripulire i giunti di malta fra i corsi dei mattoni per una profondità di circa 4 cm;
 - ricostituire l'intonaco impiegando un materiale analogo a quello di origine con l'eventuale aggiunta di prodotti additivi (collante di ripresa, ecc.);
 - per spessori intorno ai 3 cm, applicare una rete di armatura portaintonaco a maglia stretta; per spessori superiori ai 5 cm sottoporre allo strato di intonaco uno strato di supporto omogeneo al paramento murario;
- c) in presenza di distacchi generalizzati e macrofessurazioni per movimenti di origine termica o meccanica del supporto:
 - asportare integralmente l'intonaco mediante sabbiatura o picchettatura e ripulire i giunti di malta fra i corsi dei mattoni per una profondità di almeno 5 cm ricostituendoli previa abbondante bagnatura;
 - ripristinare lo strato di intonaco con applicazione di rete di armatura portaintonaco a maglia stretta, impiegando un prodotto compatibile con le caratteristiche chimico-fisiche del supporto.

Nel caso di muratura faccia a vista generalmente la manutenzione deve ridursi ad operazioni di pulitura e lavaggio con acqua ad alta pressione eventualmente additivata con prodotti detergenti o soluzioni acide e successiva risciacquatura. L'insorgenza di stati fessurativi interessanti il paramento murario va considerata attentamente dal punto di vista statico prima di effettuare qualsiasi operazione di ripristino.

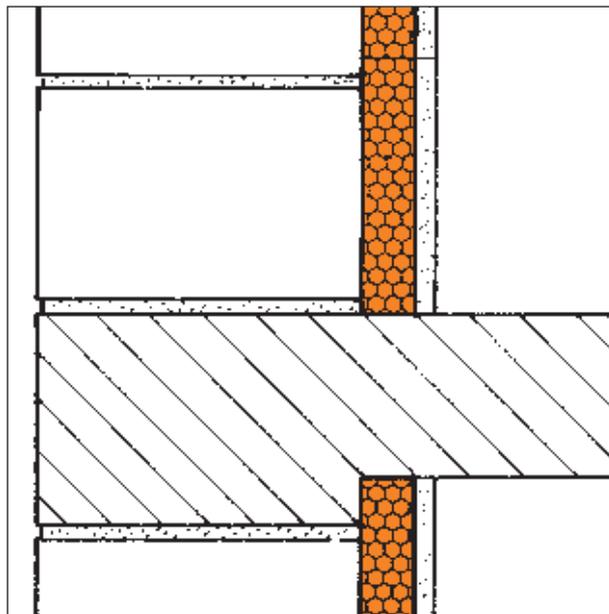
Autori del testo e delle illustrazioni:

Manuela Grecchi - Luigi Paolino

Dipartimento di Ingegneria dei Sistemi Edilizi e Territoriali
Facoltà di Ingegneria - Politecnico di Milano

7.

ISOLAMENTO INTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

CONSIDERAZIONI GENERALI

Un sistema per isolare termicamente le chiusure verticali d'ambito esterno consiste nell'applicare lo strato coibente direttamente sulla superficie interna della parete perimetrale, di solito mediante una controparete preisolata.

Tale soluzione trova applicazione in interventi di recupero e ristrutturazione del patrimonio edilizio esistente nei quali si renda necessario realizzare o incrementare lo strato di termocoibentazione ai fini di migliorare il comfort ambientale e contenere i disperdimenti energetici senza, per questo, dover modificare l'aspetto esterno dell'edificio, come comportano le soluzioni che prevedono l'isolamento del tipo "cappotto" o "facciata ventilata". Il sistema oggetto del presente Quaderno viene anche impiegato nelle costruzioni nuove, soprattutto laddove è prevista presenza discontinua di utenti e pertanto risulta significativo ottenere un raggiungimento rapido della temperatura ambientale voluta.

Infatti l'applicazione dello strato isolante internamente alla chiusura esclude l'inerzia termica della parete di supporto e pertanto accelera anche sensibilmente il processo di riscaldamento dell'aria.

In entrambi i casi si verificano alcuni vantaggi notevoli nei confronti di altre tecniche di isolamento termico, quali la rapidità e facilità di messa in opera, che si traducono anche in economia di mezzi e risorse, la possibilità di posa anche a secco o comunque con collanti che garantiscono pulizia di lavoro, la disponibilità immediata della parete trattata ad essere interessata da operazioni di finitura interna (pitturazioni o rivestimenti murari), la riduzione dello spessore complessivo della chiusura d'ambito, costituita da muratura portante monostrato, nei confronti della più tradizionale tecnica del doppio paramento murario con intercapedine coibentata. D'altro canto occorre osservare come tale sistema comporti alcuni svantaggi se messo a confronto con altre tecnologie di isolamento. In tal senso, rispetto ad un sistema di isolamento dall'esterno, esso implica la riduzione della superficie abitabile e non attua alcuna protezione della parete dagli stress termici dovuti agli agenti esterni e dalle conseguenti mobilità; dal punto di vista igrotermico, la soluzione con isolamento interno risulta essere la più problematica per la possibilità di condensazione del vapore acqueo ambientale e pertanto richiede un'attenta analisi e l'eventuale adozione di accorgimenti progettuali e costruttivi specifici; la discontinuità di applicazione dovuta alla presenza di elementi strutturali orizzontali o di partizioni interne ortogonali alla chiusura comporta l'insorgenza di ponti termici di difficile controllo; inoltre, soprattutto negli interventi di ristrutturazione, tale tecnica va ad interferire con le canalizzazioni e gli apparecchi utilizzatori dei flussi energetici; infine, la

stratificazione isolante risulta meno affidabile nel ruolo di supporto di elementi appesi.

Questo sistema può essere realizzato mediante applicazione di:

- lastre di EPS e successivo rivestimento con funzione protettiva;
- manufatti prefiniti composti da un pannello di EPS accoppiato ad una lastra di gesso rivestito, comunemente nota come cartongesso;
- manufatti prefiniti composti da un'anima di EPS contenuta tra due lastre di cartongesso (pannelli sandwich).

In tutti e tre i casi l'impiego di EPS garantisce la qualità dell'isolante termico in relazione alle prestazioni che sono richieste al sistema di isolamento in oggetto per ottenere livelli qualitativi apprezzabili.

DESCRIZIONE DEGLI STRATI

Nel sistema di isolamento in oggetto le stratificazioni funzionali esterne allo strato coibente possono presentarsi con differenti caratteristiche tipologiche e morfologiche, a seconda di specifiche scelte adottate in fase di progettazione complessiva della chiusura d'ambito o delle diverse preesistenze in caso di interventi di ristrutturazione.

In questa trattazione vengono analizzati più specificamente gli strati (Fig. 1) che sono legati direttamente alla tecnologia di isolamento dall'interno.

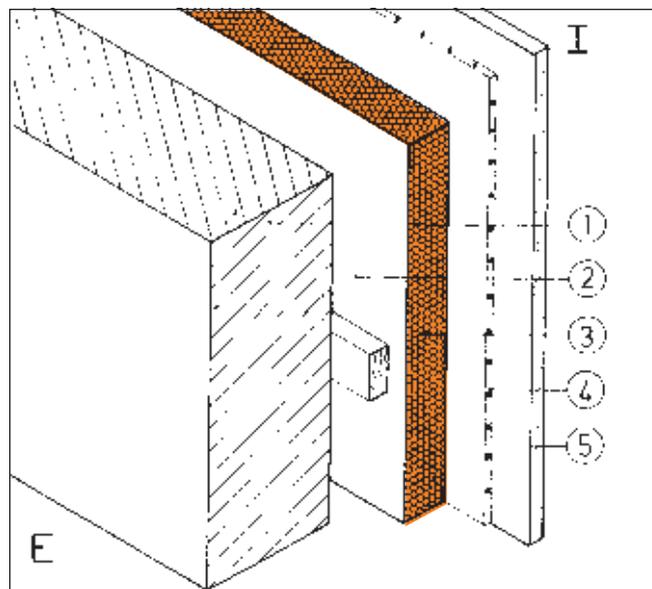


Fig. 1

- 1 Supporto
- 2 Strato d'aria
- 3 Strato termoisolante
- 4 Barriera al vapore
- 5 Strato di rivestimento e finitura interno

1. SUPPORTO

Tale strato deve assolvere a tutte le funzioni proprie di una chiusura d'ambito esterno ad eccezione di quelle connesse col comportamento igrotermico e con la finitura superficiale interna.

In tal senso ad esso è demandato il compito di resistere alle sollecitazioni derivanti dagli agenti esterni (acqua, vento, neve, carichi verticali nel caso di muratura portante, carichi accidentali orizzontali), di garantire la resistenza meccanica, la resistenza al fuoco, la sicurezza alle intrusioni, l'isolamento dai rumori aerei esterni. A seconda dell'impegno statico affidato al supporto nei confronti dei carichi verticali, si possono distinguere i seguenti schemi funzionali ai quali si riconducono le soluzioni usualmente impiegate per realizzare le chiusure verticali:

- a) doppio paramento inserito in struttura a telaio;
- b) doppio paramento in cui quello esterno portante;
- c) doppio paramento in cui quello interno portante;
- d) paramento semplice inserito in struttura a telaio;
- e) paramento semplice portante.

È da notare come nei primi tre casi la soluzione tecnica di isolare dall'interno sia convenientemente adottata per lo più in situazioni di recupero e ristrutturazione dell'edificio. In caso di supporto costituito da paramento monostrato, il comportamento all'acqua diventa condizione essenziale per il buon funzionamento della chiusura perimetrale nel suo complesso. A tal proposito può essere utile far riferimento alla classificazione delle murature in tipi a seconda del ruolo svolto dalla parete nei confronti della pioggia battente, così come riportato nel Quadro 1. In ogni caso il supporto deve essere esente da fenomeni di umidità o degrado, dal momento che l'applicazione dell'isolante dall'interno non porta all'eliminazione dei suddetti fenomeni ma solo al loro mascheramento, con il pericolo di una progressione nel tempo senza possibilità di controllo. In particolare il supporto deve essere il più possibile complanare e ben aggregato; in presenza di asperità o porzioni smembrate con spessore superiore a 1 cm è necessario realizzare uno strato di regolarizzazione sulla superficie interna; in caso di ristrutturazione edilizia occorre assicurarsi che l'intonaco di finitura interno sia integro e perfettamente aderente al paramento murario, provvedendo in caso contrario alla sua rimozione parziale o totale; in presenza di supporto nuovo costituito da setti in calcestruzzo è necessario evitare l'uso di disarmanti ed attendere la perfetta essiccazione degli impasti onde evitare perdite di prestazione dei materiali adesivi. Queste indicazioni sulle caratteristiche del supporto, possono essere trascurate qualora la controparete isolata sia applicata meccanicamente mediante orditura con funzione

distanziatrice, fermo restando l'obbligo che il paramento esterno sia comunque adatto a sopportare l'ancoraggio degli elementi costituenti il sistema.

2. STRATO D'ARIA

È possibile realizzare uno strato d'aria mediante applicazione dello strato termoisolante non direttamente a ridosso del paramento interno ma su un'orditura con funzione distanziatrice.

Tale soluzione tecnica, laddove di possibile attuazione, permette di creare una discontinuità tra supporto e coibente, in grado di raccogliere le eventuali infiltrazioni idriche senza che queste interessino l'isolante termico, con pericolo di permeare all'interno dell'ambiente.

Al piede dell'intercapedine può essere previsto un dispositivo di smaltimento che convogli le suddette infiltrazioni all'esterno mediante aperture dell'ordine di cm^2 50 ogni 20 m^2 di superficie di chiusura, compresi gli eventuali serramenti.

Qualora l'intercapedine abbia spessore compreso tra 2 e 10 cm, la lama d'aria immobile contribuisce alla resistenza termica globale della chiusura d'ambito con valore di R pari a $0,16 \text{ m}^2 \text{ K/W}$; tale contributo scende a $0,13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ per spessori di 1 cm, mentre per spessori inferiori si consiglia di non tenerne conto a causa dell'incertezza sulla sua effettiva consistenza.

3. STRATO TERMOISOLANTE

Allo strato isolante è affidato il compito di fornire all'interno degli ambienti le caratteristiche igrotermiche ottimali per il comfort abitativo.

Ad esso sono demandate le funzioni sia di portare al valore desiderato, per esempio quello richiesto dalla normativa, la resistenza termica della chiusura perimetrale, sia di evitare fenomeni di condensazione superficiale. Nel caso di isolamento dall'interno, quest'ultima funzione può risultare ridotta se non annullata a causa delle discontinuità dello strato in corrispondenza con gli orizzontamenti strutturali. Anzi, l'eterogeneità termica che si crea a livello di impalcato può produrre l'accentuazione del fenomeno qualora non si attui un rigoroso controllo del comportamento igrotermico globale con riferimento alle caratteristiche ambientali sia interne che esterne.

Per un buon funzionamento dello strato è necessario che questo sia continuo su tutta l'estensione del paramento per evitare fenomeni di termoforesi che possono compromettere l'aspetto della finitura superficiale interna.

In riferimento anche a quanto esposto nel Quadro 1, dal momento che il sistema di isolamento oggetto del presente Quadro è applicato per lo più in situazioni con chiusura monostrato come specificato nelle con-

QUADRO 1 - DEFINIZIONE DEI TIPI DI CHIUSURA D'AMBITO ESTERNO SECONDO IL RUOLO ESERCITATO DAL PARAMENTO NEI CONFRONTI DELLE PERMEAZIONI IDRICHE

CHIUSURA DI TIPO 1

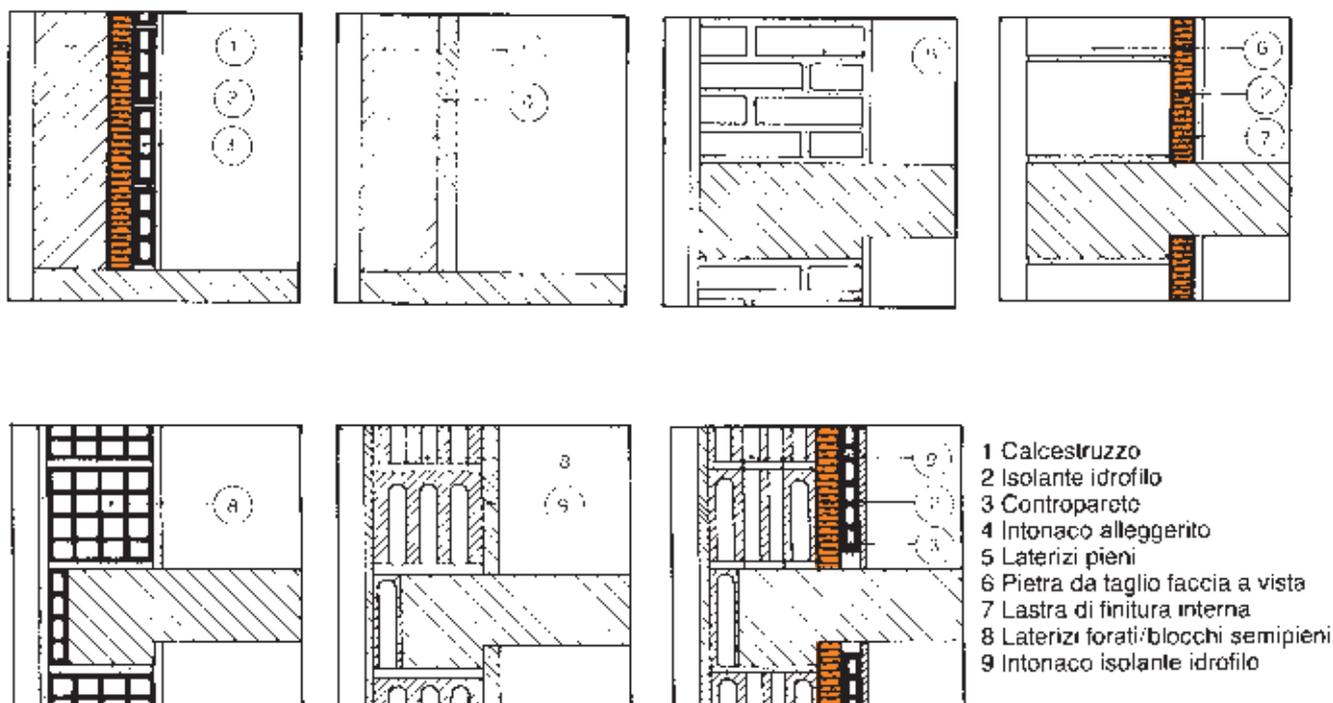
Si tratta di una chiusura che non è in grado di opporsi ad un'infiltrazione accidentale d'acqua piovana e nella quale il mantenimento della prestazione di tenuta dipende direttamente dall'integrità del materiale costituente il paramento.

Si tratta di una parete che non prevede:

- alcun rivestimento di tenuta d'acqua sulla superficie esterna
- alcuna discontinuità al suo interno (camera d'aria stagna o ventilata) per interrompere fenomeni di capillarità.

Appartengono a questo tipo le chiusure:

- faccia a vista;
- con strato di finitura:
 - esterno, costituito da intonaco non impermeabile oppure interessato da fessurazioni accidentali della parete;
 - interno, costituito da intonaco analogo a quello esterno o da un materiale isolante imputrescibile ma idrofilo direttamente applicato.



CHIUSURA DI TIPO 2

Si tratta di una chiusura come il TIPO 1 ma che comporta un dispositivo sufficiente ad arrestare le eventuali infiltrazioni d'acqua e ad evitare che queste possano influire sul comportamento dello strato isolante.

Tale dispositivo può essere realizzato mediante:

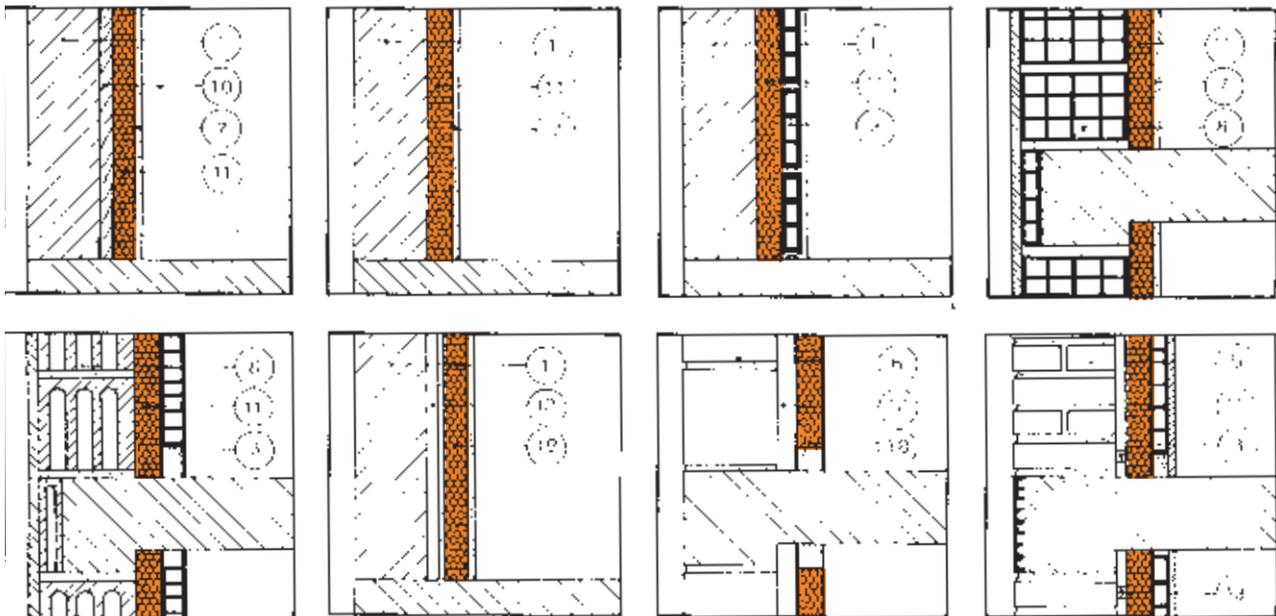
- applicazione di pannelli di isolante non idrofilo;
- costituzione di camera d'aria che determini una discontinuità tra le stratificazioni del paramento.

Lo strato di rivestimento esterno è analogo a quello previsto nella chiusura di TIPO 1. Le stratificazioni interne possono essere costituite da:

- pannelli di isolante non idrofilo fissati per punti sulla superficie interna della parete e successivamente rivestiti con strati idonei (ad esempio lastre di cartongesso);
- pannelli come sopra ma applicati tramite un'orditura costituita da elementi di materiale imputrescibile in modo da ottenere la discontinuità col paramento esterno.

(segue)

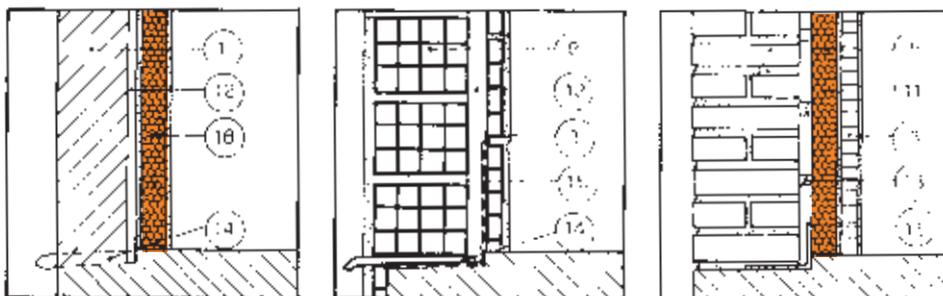
Segue QUADRO 1



CHIUSURA DI TIPO 3

Si tratta di una chiusura costituita da un paramento esterno come TIPO 1 accoppiato ad un paramento interno con interposta una lama d'aria continua alla base della quale è previsto un dispositivo di raccolta e smaltimento dell'acqua eventualmente infiltratasi. Tale dispositivo è realizzato generalmente a livello di solaio di interpiano.

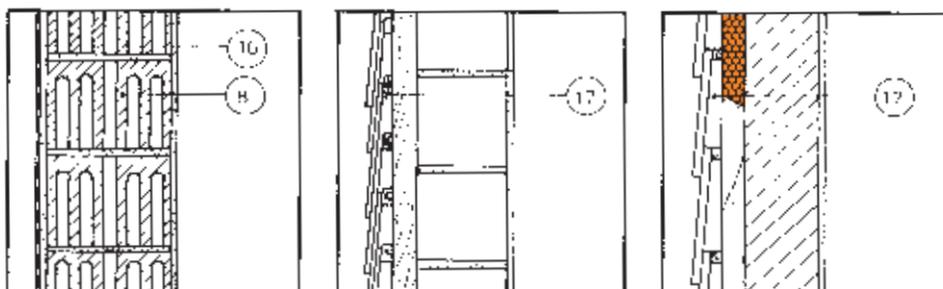
Nel caso in cui il paramento interno è costituito da pannelli di isolante termico rigidi e non idrofili mantenuti a distanza, i dispositivi che realizzano la lama d'aria non devono essere veicolo di infiltrazioni: pertanto sono da escludere orditure ad andamento orizzontale mentre quelle verticali devono essere arrestate almeno 10 cm al di sopra dell'elemento di tenuta al piede



- 10 Listello di legno
- 11 Isolante non idrofilo
- 12 Intercapedine
- 13 Listellatura imputrescibile
- 14 Dispositivo di evacuazione
- 15 Elemento di tenuta

CHIUSURA DI TIPO 4

Si tratta di una chiusura nella quale la tenuta all'acqua è affidata completamente ad uno strato esterno costituito da un rivestimento di tenuta o applicato in aderenza (cappotto) oppure separato dal paramento mediante interposizione di lama d'aria (facciata ventilata).



- 16 Rivestimento di tenuta aderente
- 17 Rivestimento esterno ventilato
- 18 Controparete isolata

ISOLAMENTO INTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS

siderazioni generali priva di stratificazione di tenuta esterna, è necessario che il coibente adottato sia di tipo imputrescibile e non idrofilo, anche nel caso di applicazione su orditura di supporto con funzione distanziatrice.

A tal proposito l'impiego di lastre di EPS garantisce un'efficace barriera alle eventuali infiltrazioni d'acqua essendo caratterizzato da scarsissimo assorbimento idrico. L'impiego del tipo a ritardata propagazione di fiamma, fa sì che lo strato termoisolante soddisfi ad un elevato grado di sicurezza anche nei confronti della propagazione degli incendi.

Il dimensionamento dello spessore dell'isolante va determinato tenendo presente le prescrizioni normative di cui alla legge 10 del 9.1.91 sul risparmio dei consumi energetici.

Per realizzare lo strato termoisolante si possono utilizzare pannelli di EPS ad altezza di piano con larghezza di 100-120 cm, con o senza strato di finitura preaccoppiato.

I pannelli EPS vengono applicati al supporto mediante incollaggio per punti con malta adesiva idonea oppure con fissaggio meccanico ad un'orditura in listelli di legno o profilati metallici.

Indicazioni specifiche sulle modalità di posa in opera sono contenute nel capitolo "Prescrizioni per la costruzione".

4. STRATO DI BARRIERA AL VAPORE

In relazione a situazioni di applicazione dello strato termoisolante in ambienti caratterizzati da elevata produzione di vapore acqueo oppure da condizioni igrotermiche esterne particolarmente sfavorevoli (elevato tasso di umidità relativa e/o temperatura dell'aria molto bassa per lunghi periodi di tempo) occorre considerare l'opportunità di impiegare uno strato di barriera al vapore con lo scopo di impedire fenomeni di condensazione all'interno del coibente.

Tra i materiali di impiego corrente si ricordano i fogli di cartone bitumato, le pellicole di polietilene e i fogli di alluminio; questi prodotti possono essere forniti direttamente accoppiati alle lastre di EPS.

La barriera al vapore trova collocazione sulla superficie interna del coibente (lato caldo) e va applicata senza soluzione di continuità affinché non si innescino pericolosi fenomeni di condensazione nei punti di discontinuità.

5. STRATO DI RIVESTIMENTO E FINITURA INTERNA

Nel caso di impiego di pannelli EPS non prefiniti, occorre prevedere l'applicazione di uno strato di pro-

tezione e finitura sulla superficie interna al locale, al fine di conferire resistenza meccanica e determinare l'aspetto interno. Tale stratificazione può essere realizzata mediante:

- lastre di gesso sottili;
- intonaco tradizionale o preconfezionato posato su rete portaintonaco;
- rivestimento ligneo a doghe o pannelli su apposita orditura.

È possibile, invece, impiegare pannelli EPS già muniti di uno strato di prefinitura in gesso rivestito (cartongesso), applicato su una o su entrambe le superfici, avente funzione di proteggere dalle sollecitazioni meccaniche l'isolante e di costruire supporto alla finitura interna. Questa, a sua volta, determina la qualificazione formale dello spazio abitato e, in rapporto alla destinazione d'uso del locale, costituisce protezione degli strati sottoposti dagli agenti di degrado biologici e chimici e dalle imbibizioni idriche in eccesso.

Il gesso rivestito si presenta in spessori mediamente variabili da 10 a 15 mm, in grado di opporsi a normali sollecitazioni d'uso. Le principali caratteristiche del cartongesso, la cui valutazione è necessaria per l'analisi termoigrometrica della chiusura, sono riportate nella tabella seguente.

Spessore mm	Massa unit. Kg/m ²	Resist. termica Valori di calcolo in m ² K/W	Resist. alla diffusione del vapore μ
10	7,9	0,048	8
13	11,7	0,062	
15	13,5	0,071	

Le lastre impiegate devono garantire un comportamento agli urti del componente analogo a quello di un intonaco tradizionale.

In rapporto alla caratteristica intrinseca del materiale di assorbire elevata quantità d'acqua, il gesso deve essere additivato e stabilizzato opportunamente con procedure tali da attenuarne anche sensibilmente la proprietà idrofila.

A tale fine esistono in commercio pannelli di gesso rivestito appositamente trattati per essere destinati ad ambienti umidi e con capacità di assorbimento ridotta a non più del 10% del peso, mentre in generale i pannelli standard arrivano ad assorbire umidità fino a circa il 37% del proprio peso.

Le lastre di gesso rivestito sono in grado di per sé di sostenere carichi appesi di uso corrente (quadri, piccole mensole poco aggettanti, ecc.); in presenza di carichi pesanti (mobili pensili, attrezzature impiantistiche, ecc.) è necessario prevedere l'impiego di opportuni tasselli e staffe di tenuta, così come del resto avviene anche nel caso di una muratura tradizionale.



In particolare con lastre di gesso di spessori correnti si può fare riferimento alle seguenti indicazioni (Fig. 2):

- a) oggetti con peso ≤ 100 kg: fissaggio diretto nella controparete con appositi ganci X o tasselli;
- b) oggetti con peso compreso tra 10 e 30 kg: fissaggio diretto nella controparete con tasselli ad espansione;
- c) oggetti con peso >30 kg: fissaggio diretto nel supporto da effettuarsi prima o dopo l'applicazione della controparete secondo le seguenti disposizioni:
 1. pannelli prefiniti con spessore \leq cm 3: fissaggio nel paramento mediante chiodi o viti appositamente dimensionati
 2. pannelli prefiniti con spessore $>$ cm 3 o tipo sandwich:
 - supporto in calcestruzzo: fissaggio nel supporto con chiodi speciali;
 - supporto in muratura: fissaggio con zanche in ferro applicate al supporto previa asportazione di una porzione di pannello da ripristinare ad operazione compiuta.

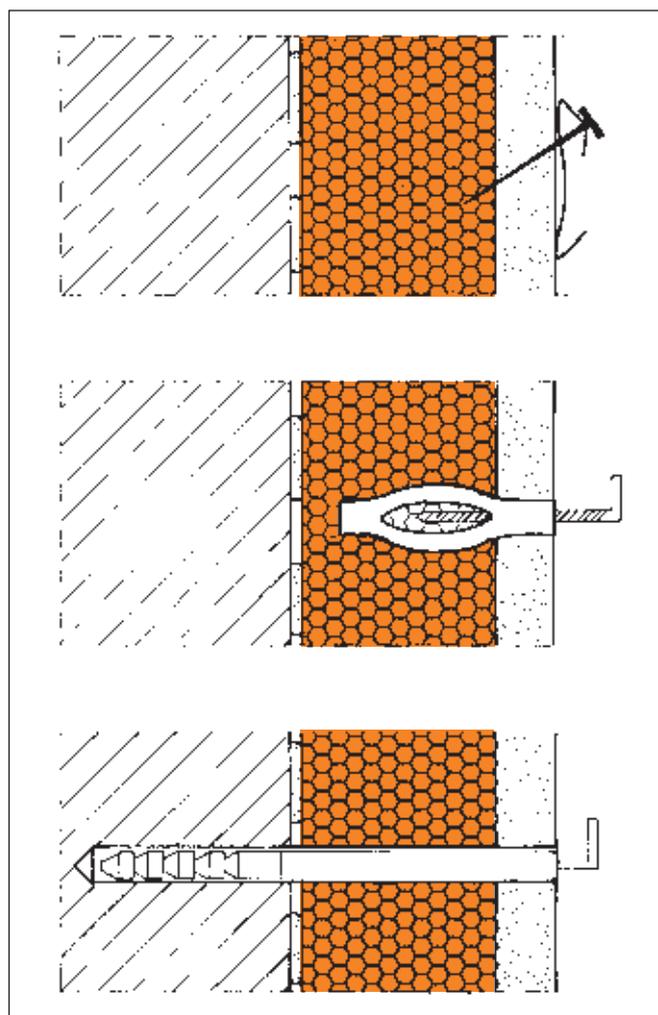


Fig. 2

Per quanto concerne lo strato di finitura interna propriamente detto, questo può essere costituito da:

- pittura o rivestimento in carta/stoffa;
- rivestimento plastico;
- rivestimento ceramico, vinilico, ecc.

A questo proposito occorre notare che, mentre l'applicazione di queste finiture sulle lastre di cartongesso, intonaco o altro rivestimento rigido dotato di qualche resistenza al fuoco non dà luogo a obiezioni dal punto di vista della prevenzione incendi, la loro applicazione diretta su EPS, anche quando è tecnicamente possibile, è sconsigliabile in ogni caso, in quanto la loro continuità viene rapidamente compromessa da un incendio e, oltre ad esporre direttamente l'EPS, le parti staccate dalla finitura possono contribuire alla propagazione dell'incendio.

REQUISITI E PRESTAZIONI DEL SISTEMA

STABILITÀ E RESISTENZA MECCANICA

La controparete preisolata concorre alla stabilità d'insieme nei confronti degli agenti interni agli ambienti.

In tal senso, quindi, essa deve poter sopportare le sollecitazioni derivanti dai carichi applicati (peso proprio, urti, carichi accidentali) senza che si verifichino deformazioni permanenti o rotture tali da compromettere il buon funzionamento del sistema.

In particolare, le sollecitazioni derivanti dai carichi appesi determinano tensioni anche considerevoli che devono essere attentamente valutate e controllate con dispositivi di fissaggio appropriati.

Qualora sia presente un'orditura di collegamento, ad essa è demandata la stabilità della controparete e pertanto deve essere oggetto di dimensionamento statico adeguato sia per gli elementi costituenti che per gli ancoraggi meccanici.

COMPORAMENTO AL FUOCO

La chiusura d'ambito esterno deve essere in grado di impedire la propagazione di un incendio sia interno che esterno.

Gli isolanti dall'interno sotto intonaco o cartongesso devono essere considerati "non in vista" e se il componente isolante è interamente ricoperto da rivestimento non combustibile, il complesso è considerato incompatibile, quindi praticamente non soggetto a limitazioni.

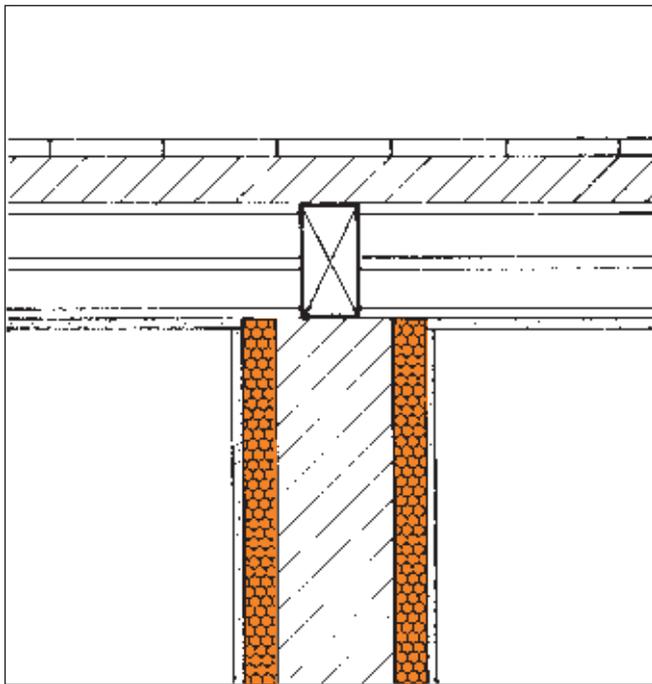


Fig. 3

ISOLAMENTO TERMICO

La chiusura verticale d'ambito deve garantire il raggiungimento del comfort ambientale interno dal punto di vista della trasmissione del calore, controllando il flusso termico in entrata e in uscita.

L'ottenimento di valori di resistenza termica globale accettabili è affidato essenzialmente allo strato isolante, in cui spessore minimo è da determinarsi secondo la Legge n. 10.

L'impiego di EPS, che presenta valori di conducibilità termica molto bassi e stabili nel tempo, risulta particolarmente indicato per il soddisfacimento di questo requisito.

Il coefficiente di trasmissione termica globale in sezione corrente di una chiusura d'ambito isolata dall'interno differisce a seconda della realizzazione del sistema e delle modalità di fissaggio al supporto.

Detta U_0 la trasmittanza del paramento non isolato, i valori di U si ottengono mediante le seguenti relazioni:

- manufatti prefiniti incollati

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_0} + R + R_p} \quad \text{W/m}^2 \text{ K}$$

- manufatti prefiniti applicati su orditura

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_0} + 0,16 + R + R_p} \quad \text{W/m}^2 \text{ K}$$

- manufatti sandwich

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_0} + 0,16 + R + R_p} \quad \text{W/m}^2 \text{ K}$$

dove

R_p = resistenza termica del pannello di cartongesso

R = resistenza termica dell'isolante

Il sistema di isolamento dell'interno, rispetto ad altre collocazioni del coibente, comporta peraltro maggiori dispersioni termiche causate dalla presenza di ponti termici, in corrispondenza degli orizzontamenti strutturali o dei setti con andamento perpendicolare alla tessitura delle chiusure d'ambito, che risultano per lo più di difficile eliminazione. È possibile attenuare l'influenza della discontinuità dello strato isolante, ad esempio risvoltando il coibente di circa 0,5 m su entrambe le superfici del setto perpendicolare alla chiusura (Figg. 4 e 5). In presenza di angoli esterni della chiusura d'ambito, l'isolamento dall'interno risulta invece più vantaggioso nei confronti di un isolamento esterno.

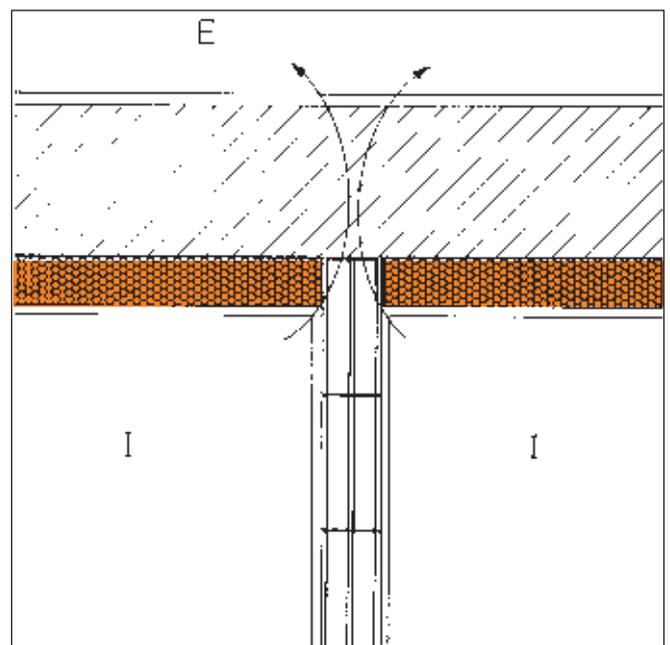


Fig. 4

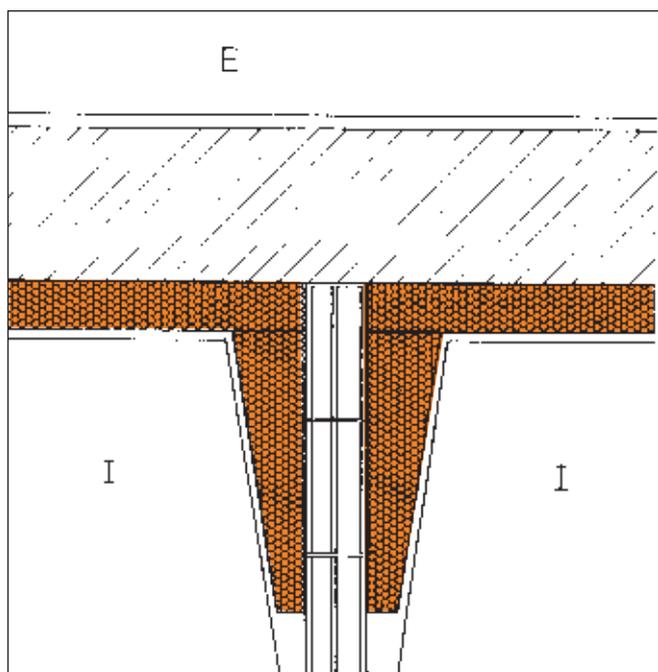


Fig. 5

CONTROLLO DELLA CONDENSAZIONE

Il sistema deve garantire il controllo dei fenomeni di diffusione del vapore acqueo attraverso gli strati componenti, onde evitare, in condizioni igrotermiche ambientali sfavorevoli, la formazione di condensa sia superficiale che interna agli strati.

La localizzazione dello strato isolante sulla superficie interna della chiusura d'ambito risulta essere la più rischiosa dal punto di vista della formazione di condensa, per la propensione della curva della pressione effettiva ad intersecare quella della pressione di saturazione.

È quindi necessario procedere ad un'analisi accurata del comportamento igrotermico della chiusura nel suo complesso in funzione delle condizioni di temperatura e umidità di esercizio più sfavorevoli, valutando i rischi di condensa mediante, ad esempio, il diagramma di Glaser.

Qualora si riscontri l'eventualità di formazione di condensa ripetuta all'interno delle stratificazioni costituenti la chiusura, può rendersi opportuno prevedere l'impiego di barriera al vapore, generalmente interposta tra il pannello coibente e la lastra di cartongesso (Figg. 6 e 7). Tale barriera al vapore dovrà essere continua per tutto lo sviluppo superficiale della parete, affinché non si determinino fenomeni localizzati di condensa.

CONDENSAZIONE SUPERFICIALE

I rischi di condensa superficiale vengono valutati considerando il valore della temperatura superficiale interna, in relazione all'umidità nell'ambiente. Essi dipendono dalla produzione di vapore negli ambienti, dai ricambi d'aria e dal valore della temperatura ambientale interna.

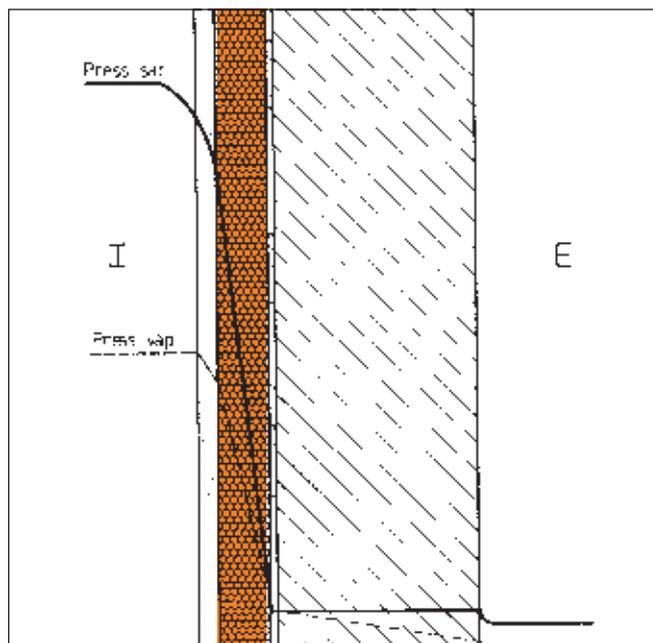


Fig. 6

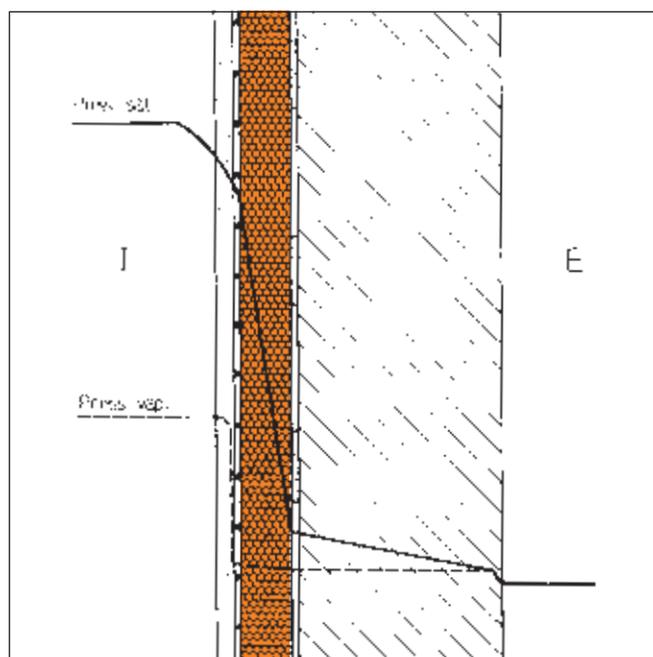


Fig. 7

ISOLAMENTO INTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS

La relazione fra la temperatura superficiale t_p e la temperatura dell'aria, interna t_i ed esterna t_e è espressa dal parametro ζ :

$$\zeta = \frac{t_i - t_p}{t_i - t_e}$$

Il valore di ζ deve risultare nei casi correnti inferiore a 0,25 affinché non si generino fenomeni condensativi con apparizione di degradi sulla superficie interna della chiusura (ad esempio mufte a pennello).

In sezione corrente tale condizione è generalmente rispettata; viceversa in corrispondenza di ponti termici non controllati è possibile riscontrare valori superiori che rischiano di compromettere il livello prestazionale della chiusura.

CONDENSAZIONE INTERNA

Per locali d'abitazione normalmente occupati e ventilati possono essere utili le indicazioni di resistenza al passaggio del vapore del complesso isolante, in relazione al tipo di muro e di controparete e al clima.

Impiego	Controparte	Resistenza alla diffusione del vapore μS (m)
- Muratura o cls con resistenza termica $R > 0,09 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ in zone con temperatura di progetto $> -15^\circ\text{C}$	bistrato	$< 1,5$
- Cls con $R < 0,09 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	bistrato sandwich	1,5 - 6 0,3 - 6
- Murature antiche con intonaco in gesso in zone con temperatura di progetto $< -15^\circ\text{C}$	bistrato e sandwich	> 6

TENUTA ALL'ACQUA

Dal punto di vista del comportamento all'acqua della chiusura d'ambito, le modalità di applicazione del sistema di isolamento dall'interno sono in relazione al grado di impermeabilità delle stratificazioni esterne allo strato isolante.

In tal senso, pertanto, è possibile distinguere due 1 classi di supporti (vedi anche Quadro 1):

- supporto perfettamente a tenuta (rivestimento esterno impermeabile oppure presenza di intercapedine ventilata con o senza evacuazione al piede): la controparete coibentata può essere applicata direttamente;
- supporto non perfettamente a tenuta (muratura monostrato senza barriera impermeabile all'acqua): tra la controparete coibentata e il supporto

deve essere prevista una intercapedine; inoltre l'isolante deve essere di tipo non idrofilo, caratteristica questa soddisfatta dall'EPS. In questo caso, inoltre, è opportuno prevedere un sistema di evacuazione al piede del supporto murario, in grado di intercettare e riportare all'esterno sia l'acqua meteorica infiltratasi, sia l'acqua di condensa eventualmente formata in relazione a sfavorevoli condizioni n igrotermiche.

In particolare, nel caso di murature costituite da doppio paramento senza intercapedine con strato esterno di tipo faccia a vista, le prescrizioni tecniche francesi consigliano di realizzare il paramento interno in laterizi forati con spessore di almeno 20 cm. Il controllo del comportamento all'acqua della chiusura deve essere effettuato sia in sezione corrente che a livello di punti singolari che, di solito, si configurano come veicolo preferenziale di infiltrazioni di acqua meteorica.

DURABILITÀ

Il sistema di isolamento dall'interno deve poter garantire nel tempo la conservazione delle prestazioni ad esso specificatamente demandate quali la resistenza meccanica, l'isolamento termico, il controllo della condensa nonch  l'aspetto.

In condizioni normali di esercizio, la durabilit  dei componenti pu  essere comparata a quella dei pannelli in gesso in analoghe situazioni di impiego, sempre che le stratificazioni esterne costituenti il supporto garantiscano di per s  di sopportare le sollecitazioni che possono prodursi per effetto della temperatura, dell'irraggiamento solare, del gelo e disgelo e dell'acqua meteorica.

Inoltre   necessario che gli accessori di collegamento (guide, montanti, tasselli, ecc.) siano opportunamente protetti da fenomeni ossidativi (se di metallo) o da rischi di marcescenza (se di legno) soprattutto in relazione alla possibilit  di formazione di condensa o di permeazioni idriche o se il montaggio   effettuato in ambienti a grande produzione di umidit .

  altres  opportuno che, in situazioni in cui   prevedibile che il pavimento venga lavato con acqua, sia realizzato un adeguato elemento di protezione al piede della controparete per una altezza di almeno 2 cm superiore al piano di calpestio.

PRESCRIZIONI PER LA COSTRUZIONE

A seconda che si impieghi una controparete bistrato (coibente pi  cartongesso) oppure tipo sandwich (coibente interposto a due strati di cartongesso), le modalit  di posa in opera risultano differenti sia per la localizzazione dei componenti che per i materiali e meccanismi di montaggio da utilizzare.



1. CONTROPARETI BISTRATO

1.1 *Messa in opera mediante incollaggio*

Per un'adesione ottimale dei pannelli al supporto occorre che questo risulti il più possibile piano e compatto ed assolutamente esente da umidità di costruzione o di risalita capillare. Inoltre esso deve presentarsi privo di porzioni polverulente o sudice di sostanze grasse od oleose e di effiorescenze; le irregolarità ammissibili, comunque, sono funzione del tipo di collante impiegato ed in genere non superano i 15 mm. In caso di applicazione su supporti preesistenti (ristrutturazione, risanamento, ecc.) questi devono essere verificati con particolare cura e opportunamente trattati:

- mediante rimozione completa del rivestimento (pitture, rivestimenti tessili o fibrosi, ecc.) nel caso in cui il collante è applicato all'isolante;
- mediante rimozione parziale del rivestimento in corrispondenza dei punti di adesione nel caso in cui il collante è applicato al supporto.

Intonaci solubili, ammalorati o scarsamente aderenti devono essere asportati onde garantire perfetta adesione al supporto esistente.

L'applicazione su intonaco di gesso o su supporto in calcestruzzo liscio deve avvenire con prodotti appositamente predisposti sulla scorta delle specifiche certificazioni.

In ogni caso, la posa del collante non deve mai effettuarsi nel caso in cui la temperatura ambientale e/o quella del supporto sia inferiore a 5°C.

L'incollaggio può realizzarsi in due modi, sia che il prodotto venga applicato sul pannello che direttamente sul supporto (circostanza questa consigliabile in caso di muratura preesistente):

- strisce continue di circa 5-10 cm di larghezza, ad interasse media di 30 cm, incrociate;
- punti con diametro di circa 10 cm, interasse orizzontale di 30 cm circa e verticale di 40 cm circa.

È necessario comunque che, a posa avvenuta, la superficie incollata rappresenti circa il 15% della superficie del pannello.

In entrambi i casi occorre curare che, a posa avvenuta, il collante non abbia a debordare dal singolo pannello impedendo il perfetto accostamento delle lastre.

Dopo le operazioni di incollaggio i pannelli devono essere applicati al supporto dapprima agendo con pressione manuale, indi battendone la superficie mediante un regolo in legno fino ad ottenere la verticalità e la complanarità voluta fra le lastre.

In tal senso sono da rispettare le seguenti tolleranze:

- *planarità locale*: scarto massimo di 1 mm sotto un regolo di cm 20 spostato in tutte le direzioni sulle superficie della controparete;

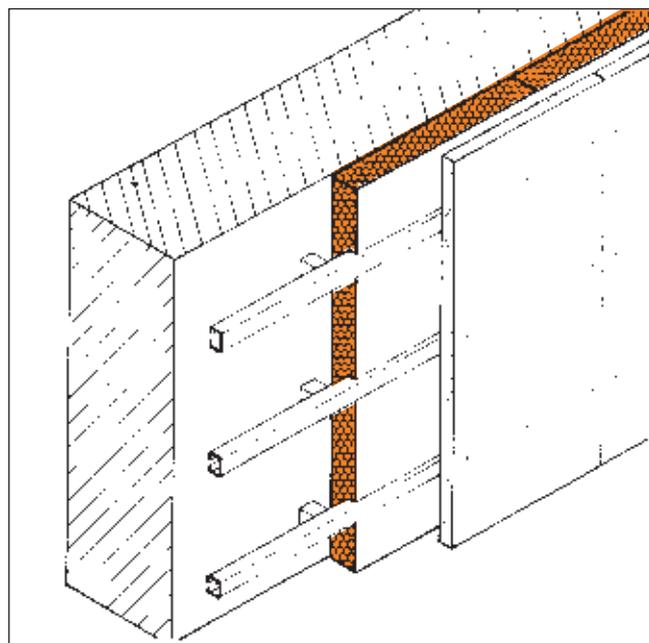


Fig. 8

- *planarità generale*: scarto massimo di 5 mm sotto un regolo di m 2 spostato in tutte le direzioni sulla superficie della controparete;
- *verticalità*: scarto massimo di 5 mm su un'altezza di interpiano.

A posa avvenuta, i bordi verticali reciproci dei pannelli devono risultare tali da consentire la perfetta realizzazione dei giunti di accoppiamento.

Questi vengono ottenuti mediante l'applicazione di intonaco adesivo o sigillante specifico, con la presenza o meno di banda appositamente predisposta (in fibra di vetro, carta microforata, garza, ecc.) e lisciatura finale, il tutto consentito dalla rastremazione dei bordi verticali delle lastre di cartongesso.

Il sistema di incollaggio suddetto comporta una distribuzione del collante pressoché uniforme sull'interfaccia isolante supporto.

È tuttavia possibile realizzare uno strato di microventilazione inserendo nei punti di incollaggio un elemento con funzione distanziatrice costituito da materiale imputrescibile (porzioni di isolante, elementi in plastica, ecc.); in tal modo si viene a creare una intercapedine di spessore fino a cm 2 che consente, impiegando il sistema in oggetto, di realizzare murature di tipo 2 secondo la classificazione del Quadro 1.

L'applicazione al piede della controparete di un dispositivo di raccolta e smaltimento all'esterno dell'acqua eventualmente infiltratasi attraverso il paramento murario permette di ottenere chiusure di tipo 3.

1.2 Messa in opera con fissaggio meccanico

L'applicazione della controparete può essere effettuata a secco senza impiego di collanti, attraverso il fissaggio meccanico dei pannelli ad un'orditura con funzione distanziatrice, essa stessa fissata meccanicamente al supporto.

Questa tecnologia di posa in opera è senz'altro da prevedersi sia nel caso in cui il paramento murario presenti irregolarità superficiali consistenti, tali da non poter essere assorbite nello spessore dello strato collante, sia nel caso in cui il rivestimento interno di un supporto preesistente appaia decoesionato al punto da ritenere inaffidabile l'adesione indispensabile creare un'intercapedine tra supporto e controparete al fine di raccogliere eventuali infiltrazioni idriche dovute ad una muratura esterna del tipo non a tenuta.

L'orditura può essere costituita da:

- listelli di legno trattati con prodotti protettivi anticrittogamici e fungicidi, aventi dimensione minima pari a mm 50;
- profili metallici in lamiera d'acciaio (con sezione generalmente ad U per le guide orizzontali e a C per i montanti) aventi spessore nominale $\geq 0,6$ mm e protetti contro la corrosione con sistema idoneo, tipo la galvanizzazione a caldo, con larghezza minima di mm 35.

In entrambi i casi è possibile ottenere le seguenti configurazioni (Figg. 8-10):

- a) orditura orizzontale e pannelli di controparete verticali;
- b) orditura verticale e pannelli di controparete orizzontali;
- c) orditura verticale e pannelli di controparete verticali.

L'ancoraggio dell'orditura al supporto avviene mediante tasselli ad espansione o chiodi a sparo.

Per garantire la stabilità meccanica della controparete, è necessario che l'interasse i degli elementi costituenti l'orditura rispetti i limiti riportati nella seguente tabella.

configurazione \ spessore cartongesso	≤ 13 mm	>13 mm
	a, b	$i \leq 50$ cm
c	$i \leq 40$ cm	$i \leq 60$ cm

Nel caso c. è bene applicare il montante in corrispondenza del giunto fra i pannelli.

Le lastre costituenti la controparete vengono fissate all'orditura mediante viti o chiodi, questi ultimi usati solo in presenza di listellatura in legno e comunque per spessori di isolante inferiori a mm 30.

Viti e chiodi devono essere di lunghezza tale da penetrare per almeno 30 mm nell'orditura in legno e almeno 15 in quella metallica. I punti di fissaggio devono essere distanziati dai bordi dei pannelli di almeno 10 mm ed avere spaziatura media di cm 30.

Gli elementi di fissaggio devono essere protetti contro la corrosione mediante galvanizzazione a caldo, tempratura, fosfatazioni o altra tecnologia specifica.

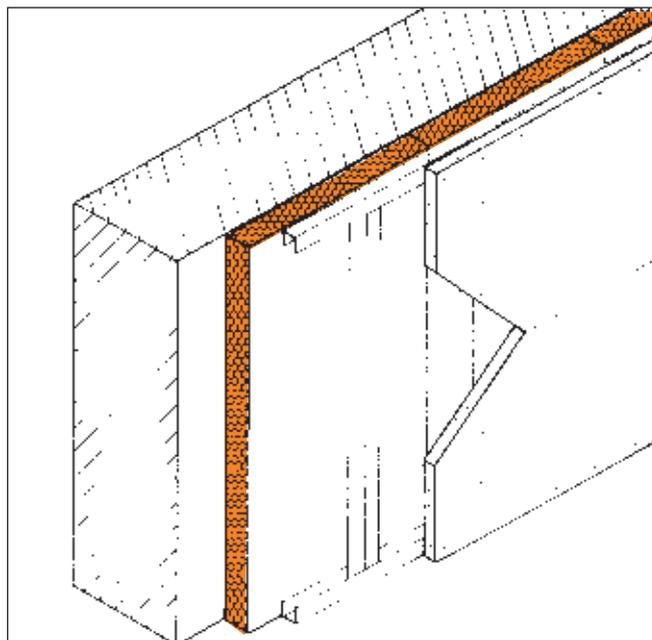


Fig. 9

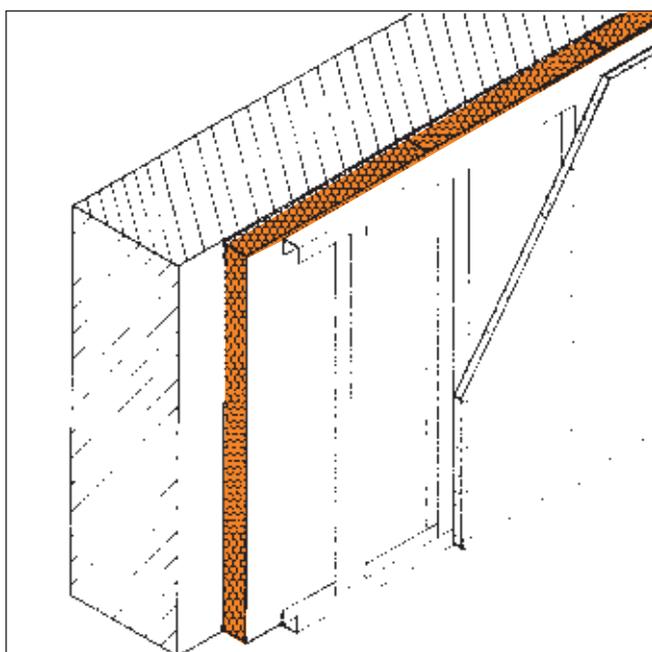


Fig. 10

2. PANNELLI SANDWICH

I manufatti prefiniti composti da un'anima di EPS contenuta tra due lastre di cartongesso (pannelli sandwich) vengono applicati mediante fissaggio meccanico su orditura in legno trattato, a configurazione verticale od orizzontale (Fig. 11).

- In presenza di orditura verticale, i pannelli vengono avvitati o inchiodati su listelli verticali di sezione mm 50x27, ad interasse di circa 120 cm, in corrispondenza dei quali è realizzato il giunto tra i pannelli.
- In presenza di orditura orizzontale, i pannelli vengono avvitati od inchiodati su due listelli di legno continui posti al piede ed in sommità della parete. Al fine di irrigidire la controparete è necessario prevedere un opportuno spessoramento a metà altezza dei pannelli in corrispondenza del giunto verticale, generalmente costituito da porzioni di EPS.

Tale tecnologia di applicazione non permette di realizzare chiusure d'ambito di tipo 3 o 4 secondo il Quadro 1, dal momento che l'eventuale penetrazione idrica attraverso la parete andrebbe comunque ad interessare la listellatura inferiore.

Gli elementi in legno costituenti l'orditura devono essere opportunamente trattati con prodotti anticrittogamici e fungicidi e, in localizzazioni particolarmente umide, protetti con dispositivi impermeabili.

3. SOLUZIONI ESECUTIVE

In generale, qualunque sia il tipo di controparete adottato, la lavorazione dei pannelli al fine di adattarli alle situazioni specifiche può avvenire mediante:

- a) taglio da effettuarsi con sega o segaccio manuali o sega circolare elettrica;
- b) rifilatura, da effettuarsi preferibilmente con pialla;
- c) foratura, da effettuarsi con trapano elettrico o manuale.

I giunti d'angolo devono essere realizzati in maniera tale da non creare soluzioni di continuità dello strato isolante.

Pertanto, per gli spigoli convessi occorre asportare da uno dei due pannelli una porzione verticale di isolante di misura pari allo spessore del pannello stesso, accostare gli elementi e disporre un angolare metallico di rinforzo; per gli spigoli concavi occorre invece asportare una porzione di cartongesso di misura pari allo spessore del pannello, accostare gli elementi e realizzare un giunto come in sezione corrente.

Nel caso di controparete incollata al supporto, per l'installazione dell'impianto elettrico i cavi possono esse-

re alloggiati entro apposite scanalature praticate nella muratura o direttamente nello strato isolante mediante fresatura; nel caso di cavi di sezioni ridotta questi possono essere contenuti nell'interspazio che si crea tra supporto e controparete (Fig. 12).

Le figure seguenti (13-19) rappresentano alcuni dettagli esecutivi di sezioni correnti e punti singolari per differenti modalità di posa in opera della controparete preisolata.

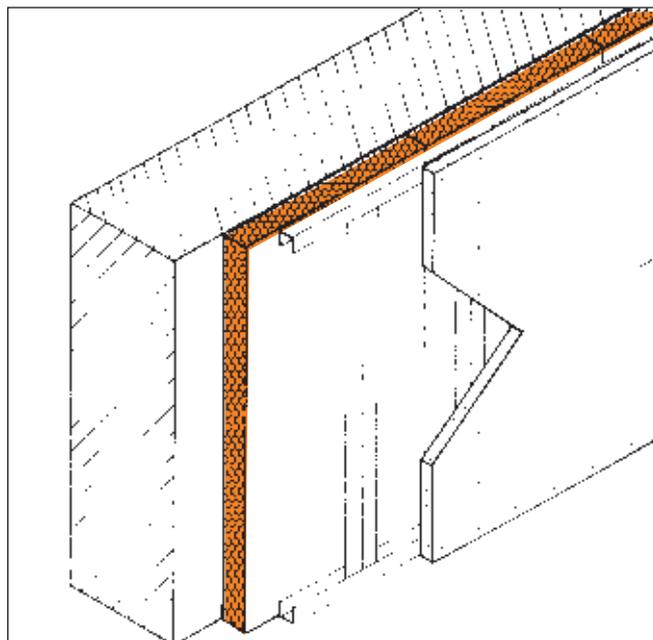


Fig. 11

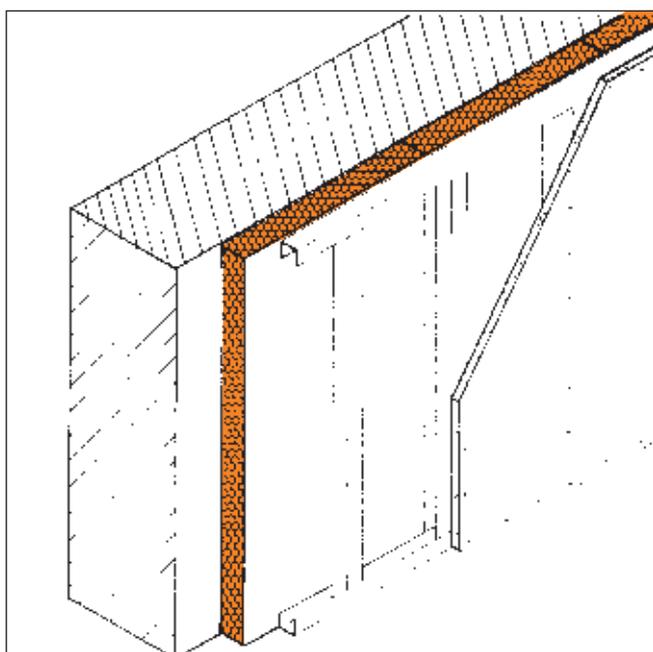


Fig. 12

ISOLAMENTO INTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON EPS

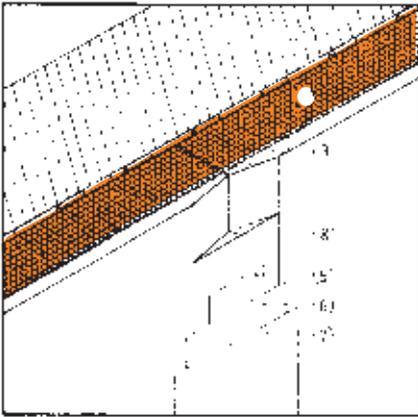


Fig. 13 - Sezione orizzontale - Giunto fra pannelli di cartongesso

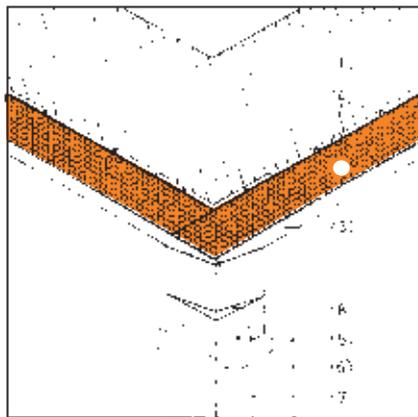


Fig. 14 - Sezione orizzontale - Giunto d'angolo convesso fra pannelli di cartongesso

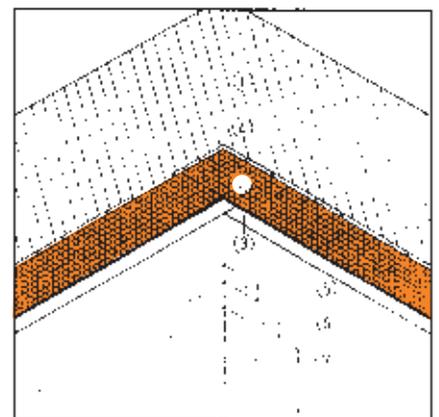


Fig. 15 - Sezione orizzontale - Giunto d'angolo concavo fra pannelli di cartongesso

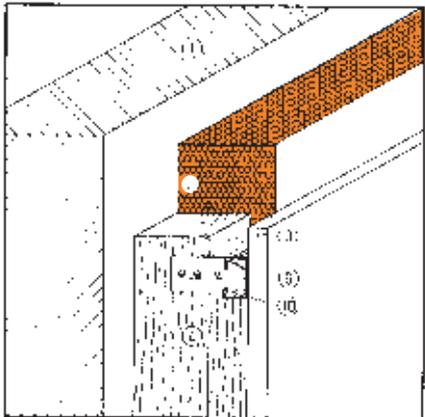


Fig. 16 - Assonometria - Particolare di fissaggio del cartongesso all'onditura

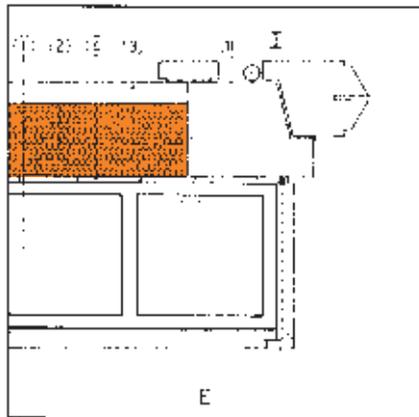


Fig. 17 - Sezione orizzontale - Giunto fra controparete e serramento a filo interno

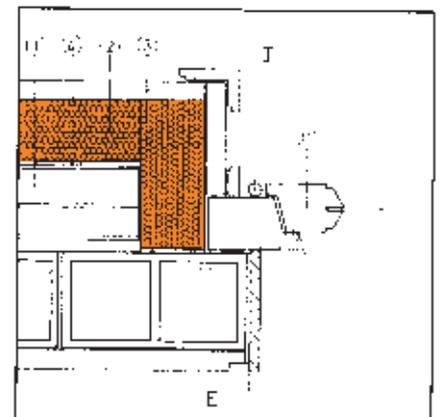


Fig. 18 - Sezione orizzontale - Giunto fra controparete e serramento con imbotte isolata

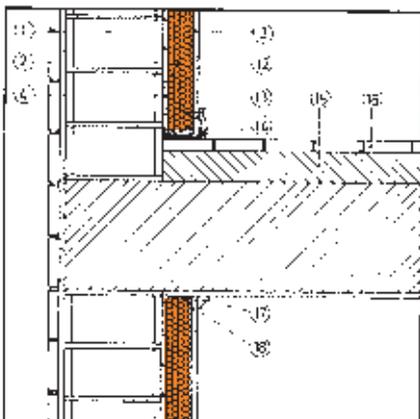


Fig. 19 - Sezione verticale - Giunti fra controparete e intradosso ed estradosso di solaio

Fig. 13-19

- | | | | |
|---|--------------------------|----|-------------------------------|
| 1 | Supporto | 10 | Guida metallica |
| 2 | EPS | 11 | Serramento |
| 3 | Cartongesso | 12 | Listello di partenza |
| 4 | Collegamento | 13 | Guida in PVC |
| 5 | Banda di giunzione | 14 | Zoccolo a pavimento |
| 6 | Intonaco adesivo | 15 | Sottofondo |
| 7 | Rasatura | 16 | Pavimento |
| 8 | Intonaco di collegamento | 17 | Listello di finitura in gesso |
| 9 | Staffa metallica | 18 | Desolidarizzante |

PATOLOGIE ED ERRORI

L'adozione del sistema di isolamento dall'interno in situazioni di ristrutturazione edilizia comporta l'alterazione dell'equilibrio termigrometrico della chiusura d'ambito. Questo fatto impone la necessità di effettuare un'accurata indagine sulle prestazioni dei materiali adottati e sull'attitudine all'impiego nonché un'attenta verifica del comportamento igrotermico della parete. Il mancato controllo dei parametri suddetti, insieme all'impossibilità di eliminare ponti termici strutturali o all'ineadeguatezza delle applicazioni ad affrontare eterogeneità termiche in corrispondenza di muri perpendicolari al supporto da isolare, determinano sovente le più significative situazioni di degrado che si evidenziano con patologie legate ai fenomeni di diffusione del vapore, la cui eliminazione è di difficile attuazione senza compromettere la realizzazione della controparete. Viceversa, un'analisi preventiva accurata delle caratteristiche di applicazione anche in funzione della permeabilità al vapore della chiusura, permette di adottare prodotti e accorgimenti tecnici appropriati. Circa il risultato formale della soluzione, il rispetto delle prescrizioni specifiche dei prodotti per la messa in opera nonché la perizia costruttiva consentono di evitare degradi connessi al requisito dell'aspetto. Quanto detto, unitamente alla possibilità di degrado della controparete dovuta alle infiltrazioni idriche del supporto non impermeabile o ai danni derivanti da sollecitazioni meccaniche improprie non controllate preventivamente, evidenzia come anche questo sistema di isolamento delle pareti verticali, benché apparentemente di facile adozione, non sia esente da rischi di insuccesso causati per lo più da posizioni semplicistiche e di sottostima dei problemi inerenti, assunte in sede di scelta del sistema, di progettazione e di esecuzione spesso non all'altezza della destinazione d'uso. Al fine di contribuire ad individuare le patologie e gli errori più ricorrenti, se ne riporta di seguito un quadro organizzato in funzione degli agenti di degrado.

AGENTE: TEMPERATURA

REQUISITO DISATTIVATO
Isolamento termico

CAUSE

- degrado delle proprietà isolanti dei pannelli
- discontinuità dello strato isolante

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- eterogeneità di comportamento termico
- insorgenza di ponti termici non controllati

ERRORI

Progettazione:

- prescrizione di impiego di isolante non stabile nel tempo o idrofilo (non è il caso di EPS)

Esecuzione:

- messa in opera dei pannelli a giunti aperti

AGENTE: CARICHI E SOVRACCARICHI

REQUISITO DISATTIVATO
Stabilità meccanica

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA
Aspetto

CAUSE

- deformazione dell'orditura e degli accessori
- eccessivo peso dei carichi sospesi

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- distacco dei carichi sospesi
- distacco parziale della controparete

ERRORI

Progettazione:

- errata valutazione del peso dei carichi sospesi e conseguente sottodimensionamento o errata localizzazione degli elementi di ancoraggio

Esecuzione:

- impiego di accessori non conformi a quanto previsto nel progetto

Gestione:

- applicazione di carichi eccessivi senza dovute precauzioni sul sistema di ancoraggio

AGENTE: URTI

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA
- stabilità meccanica
- durabilità

CAUSE

- deformazioni o rotture della controparete

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- sfondamento, imbozzamento, screpolature della controparete in relazione al materiale costituente

ERRORI

Progettazione:

- scelta di materiali non idonei alla destinazione d'uso in rapporto all'esposizione agli urti della parete

Gestione:

- sollecitazioni eccezionali

AGENTE: VAPORE ACQUEO

REQUISITO DISATTIVATO
Controllo della condensazione

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA
Isolamento termico
Aspetto

CAUSE

- presenza di ponti termici
- diminuzione della temperatura superficiale interna per permeazioni idriche
- assenza o discontinuità dello strato di barriera al vapore
- permeazione al vapore e resistenza termica delle stratificazioni

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- formazione di muffe e macchiature superficiali interne
- sfarinamento e sfogliatura del rivestimento interno
- riduzione delle caratteristiche dello strato isolante
- fenomeni di gelività, delaminazione, efflorescenze del paramento esterno

ERRORI

Progettazione:

- mancata valutazione e/o correzione dei ponti termici
- errata stima della conduttività e della permeabilità dei materiali impiegati
- errato controllo delle possibilità di permeazioni idriche e ristagni
- errata prescrizione di impiego di barriera al vapore
- mancato controllo del carico igrotermico e della ventilazione interna degli ambienti

Esecuzione:

- errata posa dello strato isolante e della barriera al vapore
- spessori dell'isolante diversi da quelli prescritti
- impiego di isolanti idrofili o comunque con caratteristiche variabili nel tempo (non è il caso di EPS)

Gestione:

- ripristino dello strato di rivestimento esterno con prodotti impermeabili al vapore
- mutamento incontrollato della destinazione d'uso dell'ambiente e conseguente alterazione dell'equilibrio igrotermico
- diminuzione dei ricambi d'aria interni (ad es. sostituzione o integrazione dei serramenti con elementi a perfetta tenuta)
- cessato funzionamento di aspiratori meccanici nei locali umidi
- abbassamento della temperatura superficiale interna (ad es. con l'accostamento alle pareti di elementi di arredo di notevole sviluppo)

AGENTE: ACQUA

REQUISITO DISATTIVATO
Tenuta all'acqua

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA
Isolamento termico
Aspetto
Controllo della condensazione

(segue)

CAUSE

- applicazioni della controparete senza intercapedine

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- riduzione dell'isolamento
- infiltrazioni idriche interessanti le stratificazioni interne con conseguenti macchiature, disgregazioni, stiliacidi
- fenomeni di delaminazione, efflorescenze del paramento esterno e dello strato di rivestimento
- ossidazione degli elementi ed accessori metallici

ERRORI

Progettazione:

- errata scelta delle modalità applicative della controparete
- errata progettazione del paramento esterno
- impiego di isolante idrofilo a contatto con un supporto monostrato (non è il caso di EPS)

Esecuzione:

- errata realizzazione del supporto
- errata esecuzione dello strato di rivestimento e protezione esterno

Gestione:

- mancato ripristino delle parti ammalorate dello strato di rivestimento esterno

REQUISITO DISATTIVATO
Stabilità meccanica

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA
Aspetto

CAUSE

- imbibizione degli elementi in legno dell'orditura

ERRORI

Progettazione:

- mancata prescrizione di trattamenti protettivi dell'orditura

Esecuzione:

- errati trattamenti protettivi dell'orditura

MANUTENZIONE

I pannelli costituenti la controparete, se applicati con cura e secondo le regole dell'arte, hanno durata paragonabile a quella di un paramento interno di tipo tradizionale con finitura a gesso.

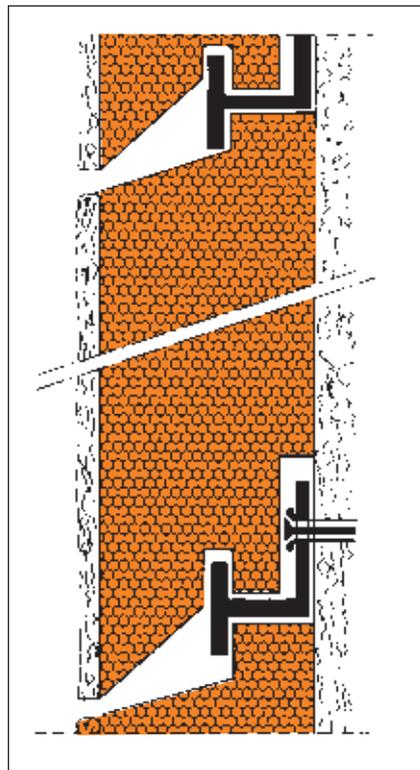
Pertanto le operazioni di manutenzione ordinaria si limitano al ripristino dello strato di rivestimento interno (tinteggiatura, tappezzeria in stoffa, carta, ecc.) con frequenza dipendente dalle condizioni d'uso del locale. Qualora si riscontrassero degni dovuti ad urti (quali fessurazioni, imbozzamenti, abrasioni), a deformazioni incontrollate dei pannelli (dovute a sollecitazioni igrotermiche impreviste, imbibizione, ecc.) oppure a sollecitazioni meccaniche da carichi appesi è possibile intervenire come segue:

- se l'entità del degrado è lieve e circoscritta, ripristinando la continuità del cartongesso con rasatura localizzata di intonaco di gesso o, eventualmente, di prodotti a base di collante;
- se l'entità del degrado è consistente, sostituendo i pannelli ammalorati con elementi aventi identiche caratteristiche fisicochimiche e morfologiche.



8.

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI (“VÊTURES”)



CONSIDERAZIONI GENERALI

L'isolamento delle chiusure perimetrali degli edifici realizzato mediante applicazione del coibente esternamente all'involucro murario offre notevoli vantaggi dal punto di vista del comportamento alle sollecitazioni igrotermiche. Infatti, la realizzazione di un sifatto sistema di facciata comporta:

- l'eliminazione dei ponti termici e delle patologie conseguenti, grazie alla continuità dello strato termoisolante;
- l'incremento dell'inerzia termica della chiusura;
- la protezione degli elementi strutturali dagli agenti atmosferici aggressivi;
- la riduzione delle mobilità di origine termica della chiusura d'ambito determinata dall'irraggiamento solare e dalla temperatura dell'aria;
- la creazione di un efficace schermo alla permeazione di acqua meteorica (in funzione dello specifico strato di tenuta all'acqua);
- la riduzione dello spessore complessivo della chiusura d'ambito ed il conseguente ottenimento di una superficie utile maggiore rispetto a sistemi di chiusura tradizionali;
- la particolare idoneità di impiego in situazioni di recupero del patrimonio edilizio mirato alla riqualificazione del comfort ambientale interno, senza riduzione delle superfici abitabili;
- un miglior comportamento della chiusura opaca alla trasmissione del vapore, causato dall'ottimale successione delle stratificazioni;
- la relativa facilità di intervento di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Questi vantaggi hanno indotto gli operatori del settore edilizio a ricercare tecnologie adeguate a realizzare sistemi di isolamento delle facciate dall'esterno con un grado di affidabilità tale da poterne garantire una diffusa applicazione in alternativa alle impostazioni edilizie convenzionali. In tal senso, già da parecchi anni, si sono affermate anche sul mercato italiano delle costruzioni le soluzioni con intonaco sottile su isolante (cappotto) e quella detta "facciata ventilata".

Accanto a queste tecnologie ormai consolidate al punto da riscuotere consensi sempre più allargati, sono recentemente apparsi in Francia sistemi ricchi di spunti innovativi, frutto dello sforzo ideativo teso ad un sempre maggiore approfondimento della tecnologia di isolamento dall'esterno in ordine ai criteri di applicazione, all'impiego dei materiali e agli aspetti funzionali, non disgiunti dai risvolti di natura estetica. Si tratta dei sistemi che vanno sotto il nome di "vêtures"; essi, secondo la definizione di P. Fallard del C.S.T.B., si presentano come un "mantello impermeabile e imbottito, con cui si abbiglia, in una sola

operazione, un edificio per proteggerlo dalla pioggia, dal freddo, dal sole e per donargli un aspetto piacevole". Al di là della metafora suggestiva, la vêture si configura come un rivestimento di facciata discontinuo costituito dalla giusta posizione di pannelli prefabbricati che realizzano lo strato di tenuta rivestimento e di isolamento termico, applicati direttamente al supporto (chiusura verticale opaca d'ambito) senza l'ausilio di un'orditura continua.

In realtà, le prime applicazioni di vêtures sono state effettuate in Canada attorno agli anni '60 e successivamente in Svizzera, ma è in Francia che si è particolarmente sviluppata questa tecnologia con la messa a punto di sistemi di rivestimento leggero isolante, affidabili per quanto riguarda la tenuta e con i tempi di messa in opera ridotti al minimo.

In Francia, dal 1980 ad oggi la vêture si è via via affermata ricoprendo un proprio ruolo nel settore edilizio, in alcuni casi alternativo al cappotto e alla facciata ventilata, grazie a certe caratteristiche specifiche che ne esaltano aspetti innovativi vantaggiosi; numerose industrie di componenti hanno immesso sul mercato diversi sistemi con materiali e tecnologie peculiari, provvisti di certificazione (Avis Technique). Inoltre sono state pubblicate le "Directives, UEAtc de base pour l'agrément des composants manufacturés d'isolation thermique extérieure des façades (vetures)" le quali, nonostante il carattere non definitivo dei contenuti, come specificato nella pubblicazione stessa, forniscono un valido strumento guida per l'individuazione delle prestazioni, delle proprietà e dei controlli di qualità; di queste Direttive si è ampiamente tenuto conto nella redazione del presente Quaderno. In generale queste nuove formulazioni tecnologiche presentano le seguenti caratteristiche distintive rispetto ai citati sistemi di isolamento dall'esterno di più solida tradizione:

- Presenza di uno strato di tenuta di tipo rigido, direttamente sovrapposto a lastre di materiale isolante applicate al supporto in modo continuo; ciò conferisce all'elemento e quindi al sistema una notevole rigidezza e resistenza meccanica, principalmente in relazione a carichi accidentali e urti, rendendolo idoneo ad essere impiegato in condizioni di esposizione ed accessibilità severe per il rivestimento (piano terra, sfondato di logge e balconi, ecc.).
- Semplicità di posa in opera degli elementi, favorita dal preassemblaggio dei materiali e dal metodo di applicazione mediante incastri e battentature che autoregolano verticalità e complanarità d'insieme. ciò da un lato configura, pur con una soluzione ad alto contenuto tecnologico, la possibilità che il montaggio avvenga senza manodopera specializzata e, al limite, con operazioni prossime

**ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI
CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI (“VÊTURES”)**

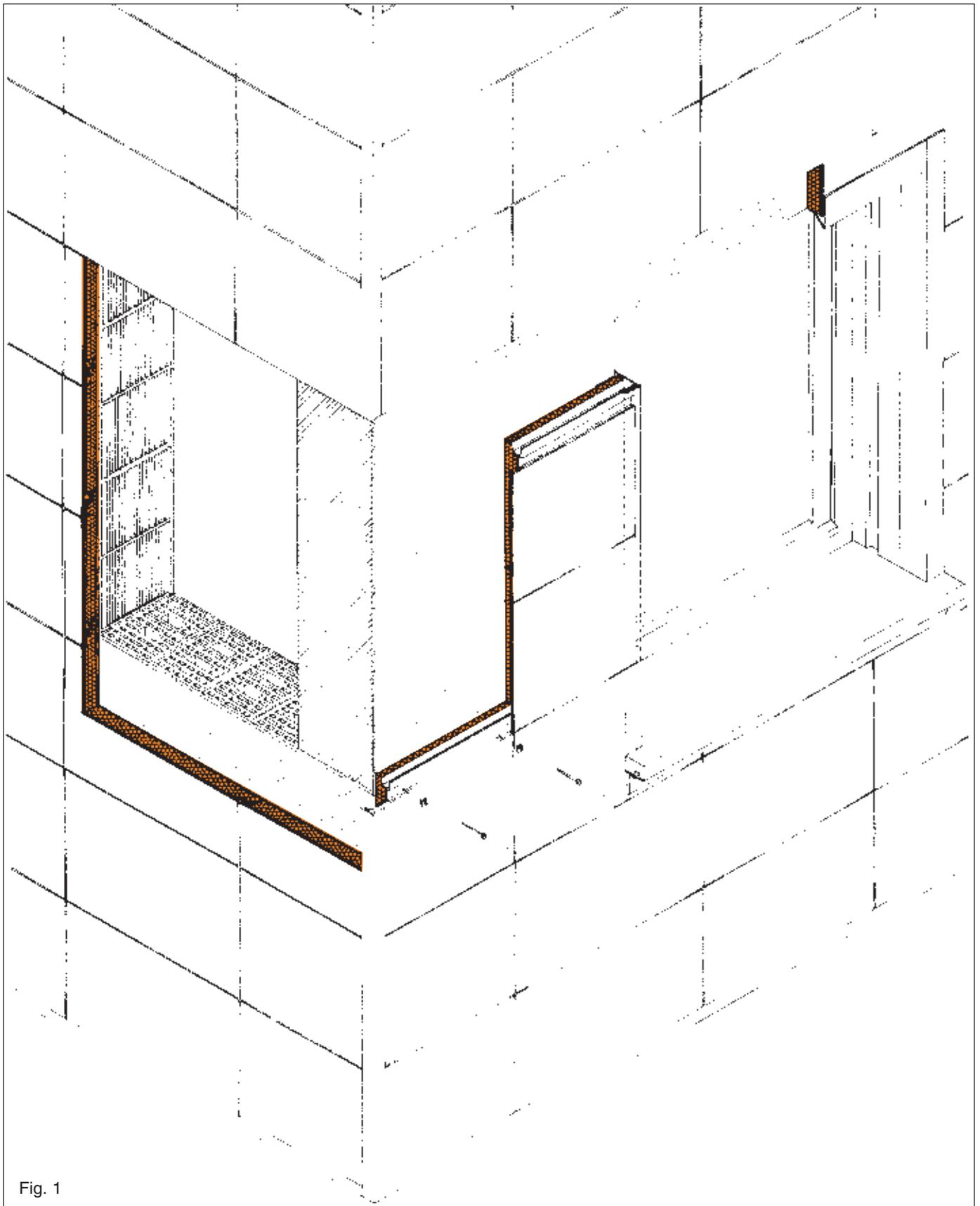


Fig. 1

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI (“VÊTURES”)

al "fai da te", dall'altro determina un significativo contenimento dei costi di costruzione, connesso alla rapidità esecutiva.

- Applicazione per punti con fissaggi meccanici; quindi non si richiedono lavori preparatori di consolidamento del supporto, anche in presenza di murature o rivestimenti continui ammalorati localmente o diffusamente, purché il degrado sia limitato alla porzione superficiale della chiusura; ciò tende a minimizzare gli aspetti di complessità di posa, riducendo quelle operazioni preliminari, che invece sono necessarie per altre tecnologie. Inoltre l'ancoraggio meccanico diretto al supporto facilita sensibilmente la valutazione della resistenza al vento del sistema.
- Capacità di assorbire facilmente gli eventuali fenomeni di mobilità indotti dagli strati sottostanti.
- Battentatura degli elementi, sia nell'isolante che nel rivestimento; ciò costituisce uno schermo idraulico in grado di esplicare le sue funzioni in virtù della forma senza l'intervento di coprigiunti e guarnizioni; inoltre, l'accoppiamento degli elementi è fatto in modo da favorire l'evacuazione dell'eventuale acqua di condensa formatasi a ridosso dello strato di rivestimento.
- Isolante continuo; ciò garantisce il controllo dei ponti termici.
- Utilizzo di elementi di diverse dimensioni e forma; ciò conferisce al sistema doti di versatilità per ogni tipo di edilizia (residenziale, industriale, terziaria, ecc.).
- Conformazione a piccoli elementi discreti; ciò permette di effettuare con semplici operazioni e costi contenuti la sostituzione integrale di singole lastre (rivestimento più isolante), in caso di degrado localizzato del sistema.

La Figura 1 evidenzia nel suo insieme una applicazione di *vêtures* e fornisce un'idea del risultato formale che ne può derivare.

Tutti questi elementi di interesse per i sistemi di isolamento esterno delle pareti verticali con componenti leggeri prefabbricati, cominciano ad essere avvertiti anche in Italia.

DESCRIZIONE DEGLI STRATI

I sistemi di isolamento esterno delle pareti verticali con componenti leggeri prefabbricati sono costituiti dal componente prefabbricato e dagli elementi per il suo fissaggio alla parete supporto. L'elemento prefabbricato è composto da uno strato di rivestimento e da uno strato isolante sottostante. Si possono presentare diversi tipi di collegamento fra i due strati, gli elementi di fissaggio e il supporto.

1. I due strati sono collegati fra loro nello stabilimento di prefabbricazione; gli elementi per il fissaggio al supporto possono far presa sull'isolante (Fig. 2), oppure sul rivestimento (Fig. 3); sono i sistemi più diffusi e ad essi in particolare ci si riferisce con il nome *vêtures*. Nel primo caso il collegamento tra rivestimento e isolante è permanentemente responsabile della resistenza alle sollecitazioni cui è sottoposto il complesso e analizzate più avanti.

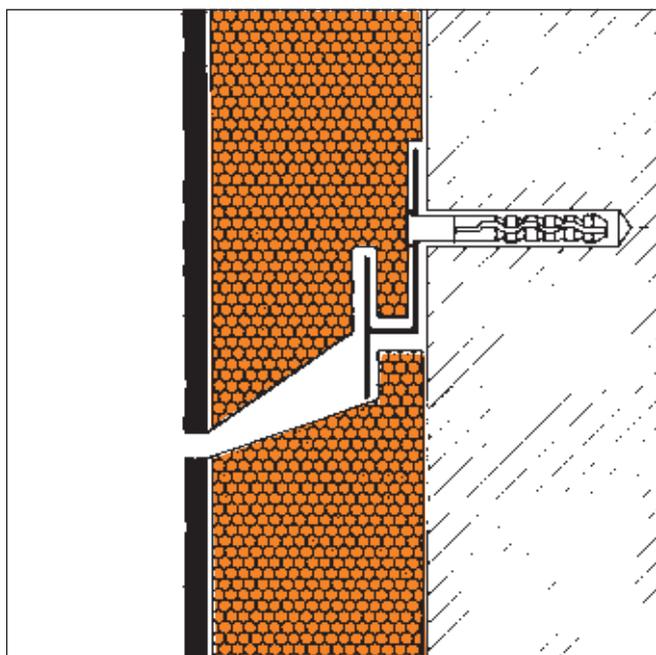


Fig. 2

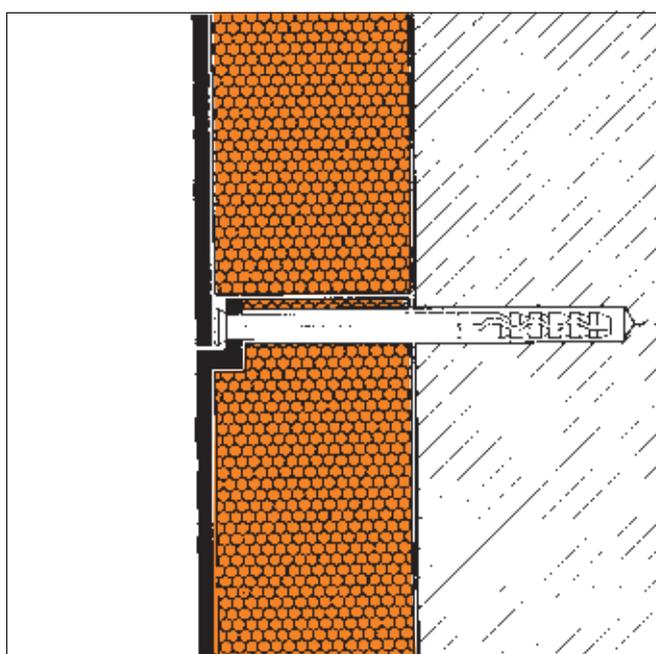


Fig. 3

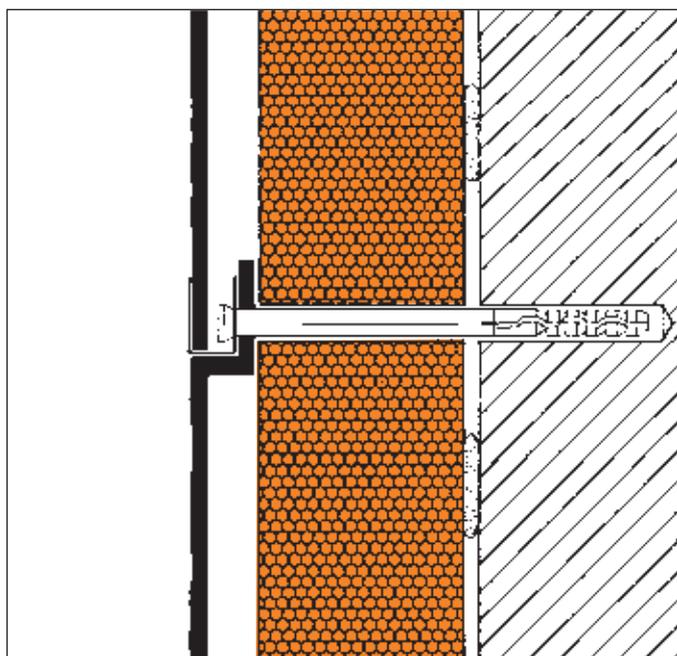


Fig. 4

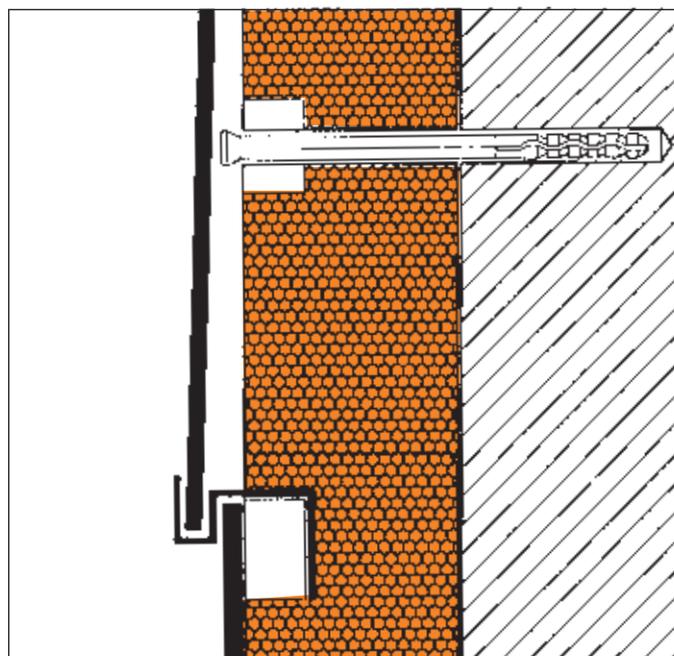


Fig. 5

Nel secondo caso tale collegamento ha una funzione temporanea, fino a fissaggio avvenuto, dopo di che spetta al collegamento diretto tra rivestimento e supporto il compito di resistere alle sollecitazioni di esercizio; funzionalmente quindi questi ultimi sistemi sono assimilabili a quelli del seguente punto 2.

2. I due strati si presentano separati al montaggio; l'isolante viene applicato al supporto con un collante temporaneo; il rivestimento viene poi applicato con dispositivi che attraversano l'isolante e fissano al supporto tutto il sistema. (Fig. 4). In questo caso l'isolante generalmente non è in forma di manufatti speciali, ma di lastre piane commerciali, battentate; ciò può fornire qualche motivo di maggiore economicità. Questi sistemi sono proposti anche per interventi su pareti con isolamento esterno preesistente, ma da ricoprire. Tali soluzioni, che i francesi hanno chiamato *vêtages*, differiscono da quelle a facciata ventilata essenzialmente per l'assenza dello strato di collegamento del rivestimento al supporto; inoltre la lama d'aria è assente o molto ridotta.
3. I due strati si presentano ancora separati al montaggio, ma l'isolante è conformato, in certi punti, in modo idoneo per il fissaggio meccanico permanente al supporto, mentre altre parti sono rinforzate per l'applicazione del rivestimento, che viene quindi fissato all'isolante e non al supporto (Fig. 5). Questi sistemi, chiamati *bardures*, sono ancora oggetto di ricerca applicata.

Le Direttive distinguono componenti di piccola dimensione, la cui superficie non supera $0,4 \text{ m}^2$ e il cui peso non è maggiore di 5 kg , e componenti di grandi dimensioni, per i quali una delle caratteristiche sopra dette è superata.

I componenti di grandi dimensioni sono caratterizzati in generale da rivestimenti a doghe di $20\text{-}30 \text{ cm}$ di larghezza fino a 6 m di lunghezza, mentre non vi sono finora esempi di grandi pannelli ad altezza di piano; questi ultimi comporterebbero probabilmente quasi sempre l'esigenza di produzioni su misura, che mal si accordano con il principio della prefabbricazione, mentre i componenti di piccole dimensioni standard si possono più facilmente adattare sul posto alle diverse situazioni applicative.

Gli elementi di piccole dimensioni permettono, secondo la conformazione dei giunti nei diversi sistemi, soltanto disposizioni a lato lungo orizzontale, con giunti verticali sfalsati o allineati (Fig. 6a), oppure a lato lungo verticale, pure a giunti verticali sfalsati o allineati (Fig. 6b), ma in qualche caso anche a disposizione mista (Fig. 6c).

1. SUPPORTO

Il supporto costituisce lo strato portante del sistema, cui questo è vincolato con le diverse tecniche di ancoraggio. In conseguenza del fatto che il sistema di isolamento prefabbricato può essere impiegato sia in nuove costruzioni, che nel recupero del patrimonio edilizio esistente, il supporto si presenta con caratte-

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI ("VÊTURES")

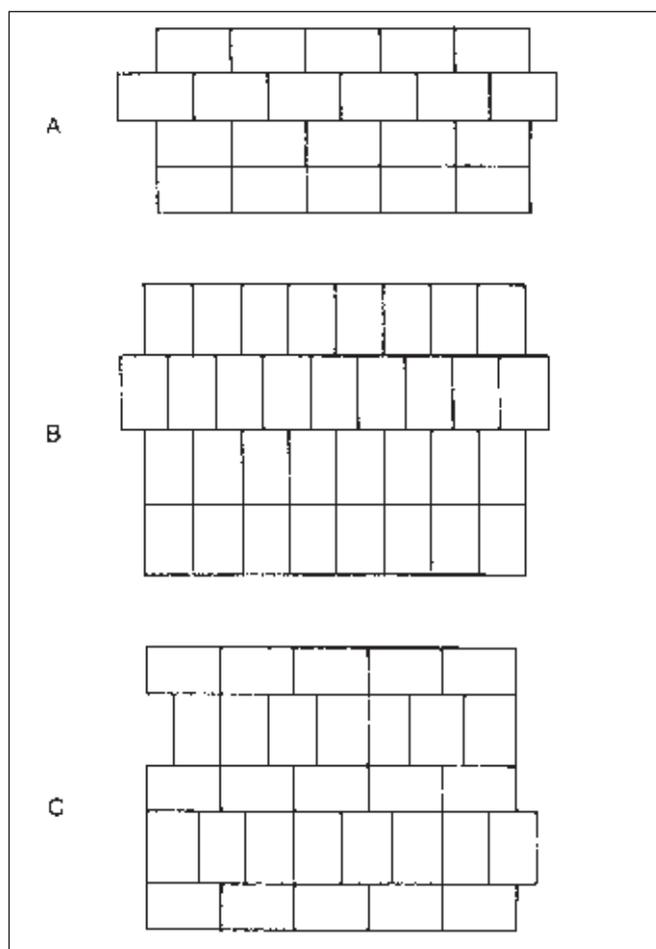


Fig. 6

ristiche fisiche e di finitura diverse. Si può pertanto distinguere una finitura tipo faccia a vista (muratura in laterizio, blocchi di calcestruzzo, setti in calcestruzzo armato, pannelli prefabbricati, ecc.) o finitura continua (intonaco minerale, plastico, verniciature, ecc.) o discontinua (piastrelle di materiali ceramici, pasta di vetro, klinker, ecc.) Possono differire in conseguenza gli eventuali lavori preparativi all'applicazione del sistema isolante prefabbricato.

Il posizionamento dello strato termoisolante esterno al supporto comporta una notevole riduzione delle possibili mobilità di tipo termico dello stesso, con conseguente limitazione delle deformazioni indotte; ciò assicura la diminuzione delle tensioni interne della parete anche in situazioni di particolari sollecitazioni termiche dello strato esterno di rivestimento.

1. STRATO TERMOISOLANTE

Lo strato termoisolante determina l'ottenimento del comfort ambientale richiesto all'interno dell'edificio,

per la parte che dipende dal comportamento igrotermico della chiusura d'ambito esterno. Per un buon funzionamento, è necessario che l'isolante sia aderente al supporto, del quale sarà stata quindi verificata una sufficiente planarità. La forma dello strato isolante non è in generale quella della semplice lastra piana, perciò è necessario che il materiale possa essere stampato o sagomato facilmente con lavorazioni meccaniche; esso poi deve avere rigidità e resistenza sufficienti e non essere deteriorabile dall'acqua che può passare attraverso le battentature dello strato di rivestimento o dall'umidità che deve attraversare la parete. Il materiale isolante che fino ad oggi si è trovato maggiormente rispondente all'insieme di queste esigenze tecnologiche e prestazionali è il Polistirene Espanso Sinterizzato, caratterizzato in particolare da un bassissimo assorbimento d'acqua (materiale non idrofilo).

Per questo impiego è consigliabile l'EPS a ritardata propagazione di fiamma, con massa volumica di 1520 kg/m^3 .

Le lastre hanno generalmente bordi sagomati onde ottenere la continuità del coibente e la facilità di messa in opera degli elementi, e favorire il deflusso verso l'esterno delle infiltrazioni meteoriche (vedi per esempio la Fig. 2). In alcuni sistemi (per esempio quello di Fig. 7) la funzione di supporto del rivestimento è ottenuta con apposite battentature sul lato esterno del coibente, alle quali vengono fissate a scatto le doghe di rivestimento.

Onde permettere l'eliminazione dell'acqua di condensa a ridosso dello strato di rivestimento (quando quest'ultimo è impermeabile al vapore), l'elemento

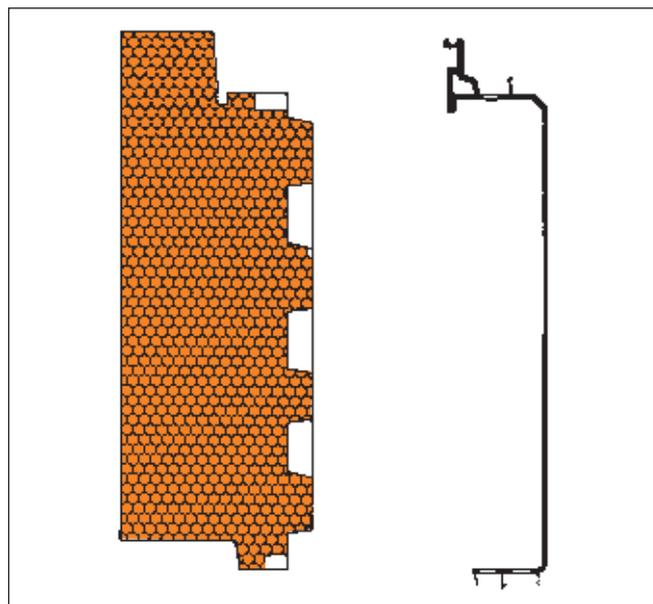


Fig. 7



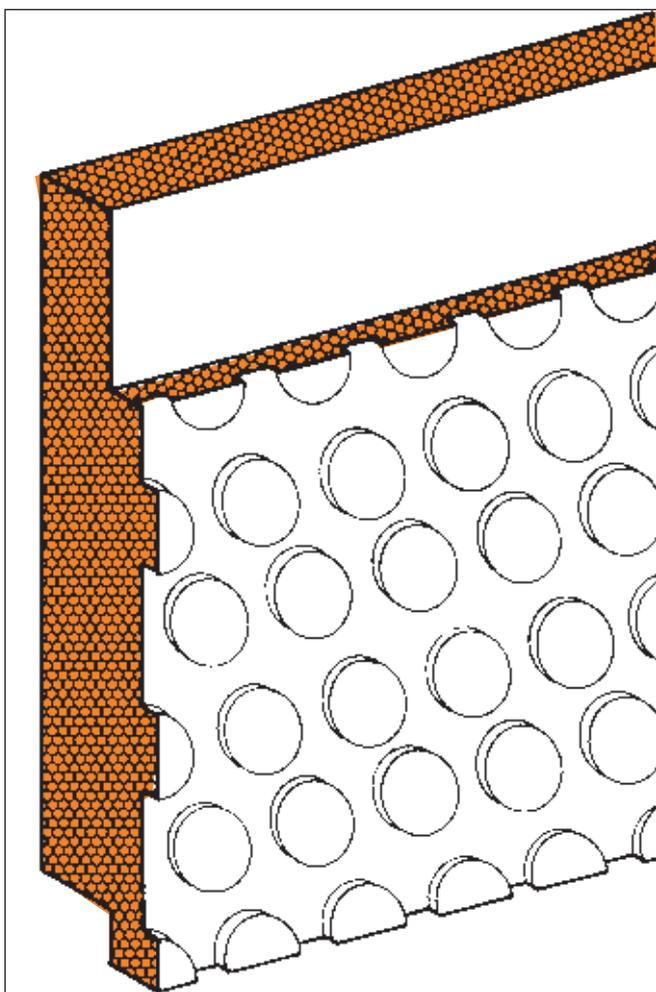


Fig. 8

isolante presenta la superficie esterna interessata da scanalature o rilievi geometrici che creano discontinuità tra le facce a contatto, realizzando una condizione di microventilazione che attiva la diffusione del vapore verso l'esterno (vedi Fig. 8).

In altri casi le scanalature, a coda di rondine, servono per l'aggrappaggio del rivestimento applicato all'isolante allo stato pastoso (intonaci rinforzati o malte GRC, Fig. 9).

In alcuni casi, infine, il collegamento con il rivestimento è ottenuto con collanti (per esempio hotmelt). Il dimensionamento dello spessore delle lastre deve avvenire tenendo presenti le prescrizioni di cui alla legge 10 del 9.1.91 per il risparmio dei consumi energetici.

3. STRATO DI RIVESTIMENTO E TENUTA

Lo strato di rivestimento e tenuta ha la funzione di proteggere gli strati sottostanti dagli agenti esterni (precipitazioni, vento, urti, carichi accidentali, ecc.) e

di conferire all'edificio la sua qualifica formale.

I materiali usualmente impiegati sono:

- prodotti metallici:
 - lamiera di alluminio
 - lamiera di acciaio
- prodotti minerali:
 - lastre sottili di pietra naturale
 - fibrocemento
 - intonaco armato con tessuto di vetro
 - cemento armato con fibra di vetro (GRC)
- prodotti organici:
 - poliestere rinforzato con fibra di vetro (BMC)
 - PVC estruso
 - stratificato fenolico

Gli elementi metallici devono essere opportunamente trattati con procedimenti protettivi (verniciatura, zincatura, ecc.) tali da garantire la durata in presenza di agenti atmosferici aggressivi.

I rivestimenti realizzati con materiali facilmente sagomabili (lamiere, PCV, BMC) presentano bordi sagomati che realizzano l'accoppiamento mediante battentatura congegnata in modo tale da permettere l'eliminazione dell'eventuale condensa che può fermarsi a ridosso della superficie interna del rivestimento e da innescare, attraverso opportuni fori, uno stato di microventilazione; la continuità della battentatura lungo tutto lo sviluppo delle lastre e la sua conformazione impediscono possibili infiltrazioni idriche in presenza di pioggia e vento, favorendo il dilavamento omogeneo della parete esterna. La Figura 33 mostra un esempio con doghe orizzontali in PVC e le Figure 31, 32 un esempio con pannelli in alluminio.

Nel caso di rivestimento minerale (pietra naturale o fibrocemento, malte e intonaci), le battentature del rivestimento non sono generalmente possibili; in

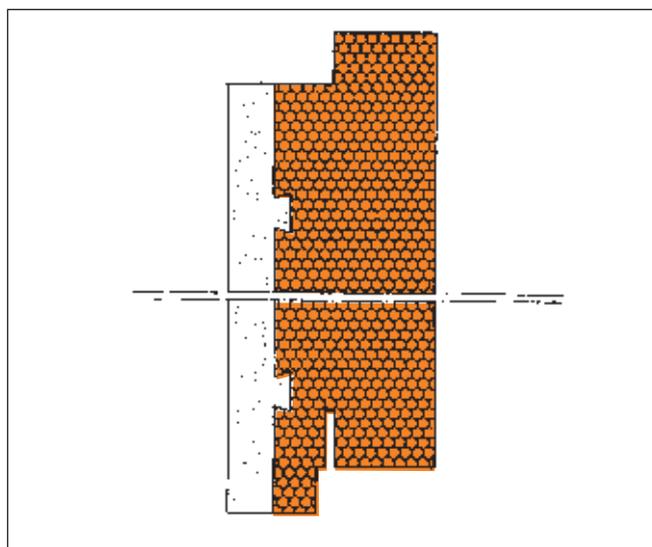


Fig. 9

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI (“VÊTURES”)

qualche caso si ricorre a sovrapposizioni o a guarnizioni in vista, ma più comunemente l'accostamento tra elementi è trattato come un giunto aperto e la tenuta è affidata all'accostamento della sottostante lastra di polistirene, come nelle Figure da 11 a 16.

La finitura superficiale, in relazione alla varietà dei materiali impiegati per il rivestimento, può essere la più varia, sia come colore che come brillantezza e opacità, come grana (liscia, granigliata, marezzata, ecc.) e forma.

Si può osservare in Francia e in Germania una tendenza ad imitare superfici tradizionali (ardesia, granigliati, intonaci), anche con l'applicazione sul pannello di rivestimento di una finitura supplementare; oltre a snaturare il carattere del materiale, si rischia in questo modo di ridurre anche il mantenimento nel tempo dell'aspetto iniziale. Spetta quindi alla collaborazione tra i produttori dei sistemi e gli architetti trovare le espressioni più adeguate alle esigenze locali e che insieme esprimano meglio i principi dell'isolamento prefabbricato e la natura dei materiali impiegati. Si può osservare in particolare che l'effetto della grana in distanza si perde e che rimangono prevalenti i colori e la maggiore o minore brillantezza.

4. ELEMENTI DI COLLEGAMENTO

Gli elementi di collegamento hanno la funzione di realizzare l'ancoraggio del sistema al supporto in condizioni di assoluta stabilità alle sollecitazioni statiche e dinamiche esterne.

Il collegamento è ottenuto mediante vincolo puntiforme degli elementi; ciò comporta una notevole semplificazione esecutiva rispetto ad un sistema di rivestimento a facciata ventilata con orditura strutturale continua. La scelta del tipo di fissaggio è condizionata dalle caratteristiche del supporto il quale, pertanto, deve essere analizzato preventivamente.

Si può distinguere:

- ancoraggio meccanico, da impiegarsi per elementi preassemblati; realizzato con zanche metalliche di varie forme preventivamente fissate al supporto (collegamento indiretto) (Fig. 2) oppure con tasselli ad espansione o a percussione passanti (collegamento diretto) (Fig. 3).
- Ancoraggio meccanico e chimico, da impiegarsi per elementi non preassemblati; esso prevede due fasi successive di intervento:
 - incollaggio delle lastre isolanti al supporto ed eventuale chiodatura con tasselli a testa allargata (con tecnologia analoga alla realizzazione dello strato isolante nel sistema di rivestimento a cappotto);

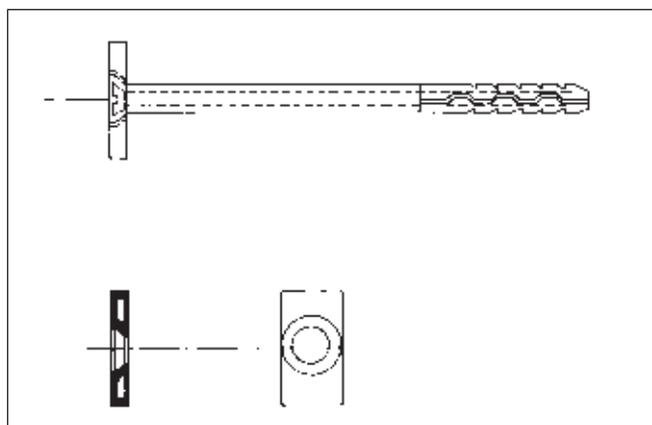


Fig. 10

- aggancio dell'elemento di rivestimento e tenuta con tasselli ad espansione o percussione passanti (Fig. 4). In tal caso è necessario provvedere la testa della vite di una piastrina di distribuzione degli sforzi, onde evitare la deformazione del rivestimento in fase di serraggio del tassello (Fig. 10).

L'impiego di fissaggio a percussione deve essere oggetto di particolare attenzione per non introdurre deformazioni del rivestimento. In generale il produttore di ogni sistema di isolamento prefabbricato fornisce gli elementi di collegamento specifici o precisa quali, fra i materiali in commercio, sono idonei per il proprio sistema, sia dal punto di vista del dimensionamento strutturale che del comportamento nel tempo.

5. ACCESSORI

Per garantire la tenuta all'acqua del sistema e realizzare un accostamento ottimale con altri elementi della facciata, è necessario impiegare opportuni profilati sagomati per ogni punto singolare (partenza alla base, arresto superiore, angoli interno ed esterno, raccordo con serramento, ecc.). Generalmente tali elementi sono realizzati in alluminio o acciaio pretrattati.

STABILITÀ E RESISTENZA MECCANICA

Il sistema deve essere in grado di sopportare le sollecitazioni derivanti dai carichi ad esso applicati (peso proprio, vento, urti, carichi accidentali) e trasmetterli al supporto attraverso lo strato di collegamento, senza che si verifichino deformazioni plastiche e/o cedimenti e/o rotture tali da compromettere il funzionamento.

**ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI
CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI (“VÊTURES”)**

Quadro 1

**PROVE SUI COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI DI ISOLAMENTO ESTERNO DELLE
FACCIAE**

REQUISITI	AGENTI	PROVE	MODALITÀ
Sicurezza	Atmosferici	Carico statico in depressione	Riproduzione in laboratorio degli effetti della depressione. Simulazione mediante una pressione uniformemente ripartita sulla superficie interna del componente con impiego di vescica. Prova effettuata per intervalli successivi di 500Pa con ritorno a zero ad ogni intervallo, fino a deformazione irreversibile dell'elemento o successiva rottura.
		Comportamento igrotermico	Riproduzione in laboratorio degli effetti del caldo, del freddo e della pioggia. Prove cicliche o no su un campione di almeno 3 m ² di componente applicato ad un supporto. 1 - <i>calore e choc termico</i> : il campione è sottoposto ad irraggiamento fino ad innalzarne la temperatura a 80° C con temperatura dell'aria pari a 30-40° C; dopo 3 ore di riscaldamento, successivo ruscellamento con acqua a 10-20 °C 2 - <i>gelo (secco e/o umido)</i> : il campione è sottoposto alternatamente ad una temperatura esterna di -20 °C ed una interna di + 30 °C 3 - <i>umidificazione esterna e successiva essiccazione</i> : in presenza di materiale porosi, la prova di cui al punto 3.221 avrà durata pari a 6 ore
Abitabilità	Urti	Urti da corpo molle (300 j e 60 j) Urti da corpo duro (10 j) Urti da corpo duro (3 j) Punzonamento (perforesi)	Proiezione sul componente di corpi differenti simulanti gli urti reali - sacco sferoconico di 50 kg proiettato con moto pendolare da un'altezza di 61 cm sfera di 3 kg in caduta libera da un'altezza di 2,04 m Biglia d'acciaio di 1000 g (diametro: 6,25 cm) in caduta da un'altezza di 1,02 m Biglia d'acciaio di 0,5 kg in caduta da un'altezza di 0,61 m Punzione emisferico riprodotto l'urto di una biglia di acciaio di 0,5 kg in caduta da un'altezza di 0,765 m
	Temperatura		Coefficiente di trasmissione termica K determinato da ciascun Istituto secondo le regole nazionali
Abitabilità	Umidità	Tenuta all'acqua	Il livello di tenuta all'acqua è effettuato in generale per analogia, considerando le caratteristiche dei materiali impiegati e i dispositivi di giunzione. In caso di dubbio si procede con una prova di pioggia artificiale su un campione mediante polverizzazione del getto e sovrappressione sull'elemento. Pressione costante minima: 100Pa Flusso costante: 1 l/m ² , min Durata: 1 ora
		Condensazione	Prova sia in regime corrente sia durante la stabilizzazione igrotermica del supporto dopo la posa del componente.

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI ("VÊTURES")

Quadro 2

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA AL VENTO

Sollecitazioni sui rivestimenti di facciata dovute al vento secondo le Raccomandazioni ECCS (sollecitazione in depressione per applicazione su pareti impermeabili e rigide)

Il valore caratteristico della differenza di pressione w da tenere in conto è fornito dalla relazione:

$$w = C_p \times C_e \times q_{ref}$$

dove: q_{ref} = pressione dinamica di riferimento (media di 10 min. a 10 m di altezza in terreno piano e zona rurale, con tempo di ritorno di 10 anni); per l'Italia settentrionale, Liguria esclusa, $q_{ref} = 270$ Pa; per il resto dell'Italia $q_{ref} = 370$ Pa.

C_e = coefficiente di esposizione, funzione della rugosità del terreno e dell'altezza z (m) dell'elemento dal suolo; esso è fornito dal grafico di fig A

C_p = coefficiente di pressione $C_p = \alpha C_{pe}$

- C_{pe} = coefficiente di pressione esterna locale, ricavabile dalle fig. B e C
- α = coefficiente di proporzionalità secondo tab. I

Il coefficiente di sicurezza da applicare ai risultati sperimentali ottenuti secondo UNI EN 77 è 2,6

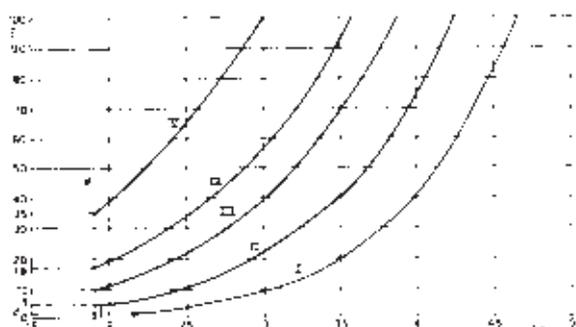
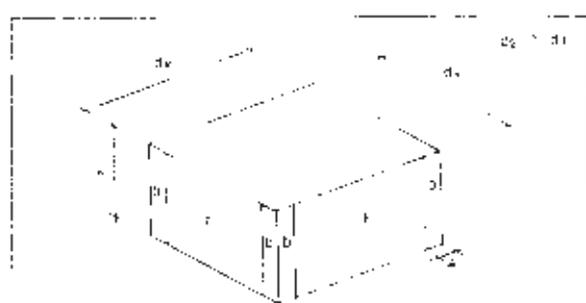


Fig. A

- Classe I : prossimità del mare o di uno specchio d'acqua largo almeno 5 km
- Classe II : zona rurale con edifici o alberi isolati
- Classe III: zona urbanizzata, industriale o boschiva
- Classe IV: città (con edifici di almeno 10 m di altezza su almeno 1/4 della superficie)
- Classe V: grandi città (con edifici di almeno 25 m di altezza su almeno 1/4 della superficie)



Il valore di a da considerare è il maggiore fra i seguenti

0,15 d_1 e 1 m per $h/d_1 \geq 1/3$
0,45 h , 0,04 d_1 e 1 m per $h/d_1 \leq 1/3$

Pertanto il valore A_1 da utilizzare nel grafico di fig. C è dato dalla relazione:

$$A_1 = ah$$

Fig. B

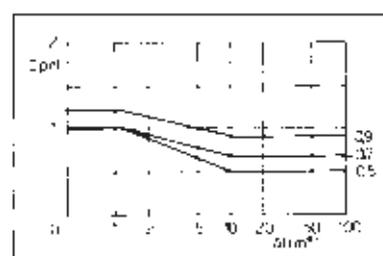


Fig. C

Faccia esterna permeabile senza entrate d'aria al contorno	$\alpha = 1/3$
Faccia esterna impermeabile con entrate d'aria al contorno	$\alpha = 0$
Faccia esterna impermeabile e stagna anche se deformata dal vento	$\alpha = 1$

Tab. 1



L'azione del vento andrà valutata con riferimento all'ubicazione (regione e altitudine) dell'edificio, alla sua altezza e all'esposizione della parete ai venti dominanti; il tutto facendo riferimento alle prescrizioni normative vigenti in materia. Il QUADRO 2 riporta le recenti raccomandazioni, specifiche per i rivestimenti di facciata, emesse dalla European Convention for Constructional Steelwork (ECCS).

In ogni caso, il sistema deve offrire sufficiente resistenza meccanica agli effetti della pressione e depressione cinetica e alle vibrazioni dovute al vento. A tal proposito è opportuno riferirsi a risultati di prove sperimentali connesse sia al sistema di fissaggio sia alla resistenza propria dei differenti materiali costituenti l'elemento e del loro assemblaggio.

In Francia, l'Avis Technique di ogni sistema di veture fornisce i valori espressi in Pascal della resistenza ammissibile ai suddetti effetti cinetici (generalmente più di 2000 Pa); questi valori sono indipendenti dalla scelta del sistema di ancoraggio, a priori supposto adeguato. Nel caso di prove in depressione, le caratteristiche del campione di prova devono essere tali per cui i tasselli di fissaggio non possano costituire punti deboli. Comunque, dal momento che lo strato di tenuta e rivestimento è generalmente a contatto più o meno continuo con lo strato isolante non compressibile, le prove di resistenza alla pressione del vento sono poco significative e analoghe a quelle di tutti gli altri sistemi di isolamento dall'esterno; viceversa, gli effetti del carico ripartito in depressione vanno valutati molto attentamente, attraverso simulazione su campioni al vero, per esempio con i metodi da tempo codificati per la prova delle finestre. Va anche tenuto presente che, in sistemi con strato di ventilazione, la lama d'aria comunicante con l'esterno tende ad equilibrare le pressioni sulle due facce dello strato di tenuta, riducendone gli effetti rispetto ad elementi privi di intercapedine come evidenzia il Quadro 2.

Occorre poi analizzare l'azione combinata di peso proprio e vento (soprattutto in presenza di elementi di grandi dimensioni) e considerarne la forza risultante al fine del dimensionamento dei tasselli, analogamente a quanto si fa per i sistemi a facciata ventilata. In considerazione dei materiali costituenti lo strato di tenuta e rivestimento, per lo più aventi elevati coefficienti di dilatazione termica, occorre verificare attentamente il comportamento degli elementi e del collegamento sotto l'effetto delle variazioni igrotermiche, affinché non avvengano fenomeni distruttivi o deformazioni permanenti in grado di compromettere l'efficienza del sistema. In particolare, temperature limite superficiali di riferimento sono considerate le seguenti:

- 20 °C e + 80 °C all'esterno
- 0 °C e + 50 °C all'interno.

Gli shocks dovuti a repentini salti termici (dell'ordine

di 50 K) o alle sollecitazioni indotte da fenomeni di gelività non devono produrre patologie tali da ridurre i limiti di prestazione del sistema. In relazione alle mobilità di origine termica del supporto occorre prevedere opportuni giunti di dilatazione nel sistema in grado di assorbire le deformazioni senza compromettere l'integrità degli ancoraggi e i meccanismi di accoppiamento degli elementi.

Per effetto degli urti accidentali che possono verificarsi in situazioni di particolare esposizione agli utenti (piano terreno, logge, coperture praticabili, ecc.) il sistema non deve subire degradi capaci di provocare nel tempo il distacco dell'elemento e comunque deve resistere agli urti da corpo duro conservando l'indeformabilità del rivestimento a garanzia del requisito di aspetto.

COMPORAMENTO AL FUOCO

I sistemi di isolamento dall'esterno delle pareti d'ambito devono essere tali per cui né i materiali componenti né i gas che possono svilupparsi con la combustione non devono contribuire alla propagazione da un piano all'altro di un incendio eventualmente sviluppatosi all'interno dell'edificio.

Inoltre l'incremento di temperatura o la combustione degli elementi non devono causarne il distacco totale o anche parziale.

Mentre non si impongono limitazioni all'impiego di componenti incombustibili, precauzioni sono da osservare per gli altri materiali, in relazione alle caratteristiche dimensionali dell'edificio, ed è necessario tenere in considerazione le proprietà chimico fisiche del sistema di ancoraggio, in rapporto alla sua possibilità di collassamento indipendentemente o comunque prima di quello degli strati adiacenti.

Non esiste ancora alcuna normativa italiana specifica contenente prescrizioni sulle caratteristiche di reazione al fuoco di rivestimenti esterni di facciata.

ISOLAMENTO TERMICO

Il sistema di isolamento termico della chiusura d'ambito, deve mantenere al di sotto dei limiti imposti dalla normativa il valore del coefficiente di disperdimento termico globale e contribuire al soddisfacimento del requisito di benessere ambientale interno. La continuità dello strato isolante, caratteristica dei sistemi considerati, evita la formazione di ponti termici che incrementano le dispersioni e attivano fenomeni condensativi locali. In tal modo il sistema garantisce un comportamento ottimale della chiusura rispetto ai fenomeni legati ai flussi termici.

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI ("VÊTURES")

Tuttavia taluni accessori di ancoraggio o di finitura costituiti da profili metallici possono innescare flussi termici, dei quali occorre avere conoscenza per la corretta scelta e localizzazione dei dispositivi.

L'ottenimento dei valori voluti di resistenza termica è legato essenzialmente allo spessore del pannello coibente, essendo lo strato di rivestimento e tenuta poco influente, sia per i ridotti spessori impiegati, sia per i coefficienti di conducibilità termica generalmente elevati.

L'impiego di EPS consente bassi spessori del pannello isolante, dal momento che presenta bassissimi valori di conducibilità. Tuttavia, indipendentemente dalle prescrizioni alle quali devono soddisfare le pareti conformemente a quanto previsto dalla legge 10/91, i sistemi finora realizzati hanno in genere una resistenza termica media superiore a $1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, cui corrisponde uno strato di EPS di almeno 50 mm.

La determinazione della trasmittanza U della chiusura d'ambito dotata di sistema di isolamento esterno prefabbricato può essere effettuata a partire dal valore K_0 in sezione corrente, mediante la relazione.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_0} + R_v} + \alpha n \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$$

ove R_v è la resistenza termica media del sistema, che tiene conto dei differenti spessori del pannello isolante dovuti alla presenza delle scanalature o di rilievi geometrici, n la densità dei fissaggi ($\text{n}^\circ/\text{m}^3$) e α ($\text{W}/\text{n}^\circ \cdot \text{K}$) la trasmittanza puntiforme del fissaggio.

I valori dei parametri sono connessi a ciascun sistema particolare in relazione alla morfologia del pannello isolante e sono esplicitati, in Francia, nelle prescrizioni riportate nei relativi Avis Techniques.

CONTROLLO DELLA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE

Il sistema delle chiusure d'ambito esterno deve garantire il controllo dei fenomeni di diffusione del vapore acqueo attraverso gli strati componenti, onde evitare, in condizioni igrotermiche ambientali sfavorevoli, la formazione di condensa, sia superficiale che interna agli strati.

Da questo punto di vista, il modello di funzionamento dei sistemi di facciata con isolamento dall'esterno risulta in genere particolarmente soddisfacente, in quanto la pressione di vapore all'interno della stratificazione difficilmente raggiunge il valore di saturazione.

Tuttavia, data la trascurabile resistenza termica dello strato di rivestimento dei sistemi di isolamento prefabbricati, ciò potrebbe verificarsi all'interfaccia fra

rivestimento e isolamento, se il primo offre una resistenza elevata al passaggio del vapore.

Da questo punto di vista, le citate Direttive Francesi classificano i sistemi in tre categorie:

1. sistemi "ventilati", nei quali esistono degli opportuni orifizi di ventilazione, di larghezza pari ad almeno 5 mm su tutta la lunghezza dell'elemento. In tal modo si realizza un debole flusso d'aria tra l'isolante e il rivestimento, in grado di asportare il vapore in uscita; in queste condizioni il sistema è assimilabile ad una parete ventilata;
2. sistemi "respiranti", distinti in due tipi:
 - elementi con strato di tenuta avente debole resistenza alla diffusione del vapore; è il caso dei rivestimenti con intonaci e malte cementizie rinforzate;
 - elementi con strato di tenuta resistente al vapore ma avente orifizi di ventilazione in grado di limitare sensibilmente i fenomeni condensativi; è il caso dei rivestimenti metallici e di PVC su lastra di Polistirene espanso con superficie sagomata;
3. sistemi "stagni", nei quali l'isolante presenta una resistenza alla diffusione del vapore maggiore di quella di uno strato d'aria di 9 m ($\mu_s > 9 \text{ m}$). Dati gli spessori s correnti (0,05-0,1 m) e del coefficiente μ del Polistirene espanso nelle masse volumiche usate in questi sistemi ($\mu = 20 \div 50$), questo caso particolare si verifica difficilmente. In tali sistemi può essere necessario adottare uno strato di barriera al vapore.

La valutazione del rischio di condensa va affrontata con riferimento al sistema impiegato, alle caratteristiche del supporto e alle condizioni igrotermiche interne ed esterne.

Ciò può essere fatto sia con il calcolo (programmi con il metodo degli elementi finiti sono stati studiati dal CSTB per i sistemi respiranti del 2° tipo), o con prove pratiche sul sistema completo, sia in condizioni di ciclo termico annuale, sia in fase di essiccazione di muri nuovi, generalmente la più gravosa.

TENUTA ALL'ACQUA

Il sistema isolante prefabbricato deve proteggere gli strati sottostanti dalle penetrazioni idriche dovute alle precipitazioni atmosferiche (pioggia, neve, grandine) assicurando una perfetta tenuta affidata alle caratteristiche dei materiali e alla morfologia dei giunti tra gli elementi e dei profili speciali impiegati per la realizzazione dei punti singolari.

È pertanto fondamentale che l'acqua non possa raggiungere né il supporto né i dispositivi e gli elementi metallici di ancoraggio che potrebbero essere degra-



ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI (“VÊTURES”)

dati per ossidazione.

Comunque occorre prevedere dispositivi di evacuazione per eventuali infiltrazioni realizzando opportunamente le battentature dei giunti fra le lastre; tali dispositivi possono coincidere con gli orifici per l'eliminazione dell'acqua di condensa. In relazione alle condizioni ambientali esterne e alle caratteristiche dello strato di rivestimento le Direttive UEAtc individuano quattro tipi di sistemi, secondo il loro grado di protezione dalla pioggia, così come riportato nel quadro seguente:

Come già rilevato, l'isolante non idrofilo, quale è l'EPS, è richiesto per qualunque situazione di impiego. In riferimento a condizioni di impiego con pioggia battente, gli elementi con strato di finitura in intonaco idraulico devono essere impiegati in edifici di altezza inferiore a m 18 e in situazioni non molto esposte.

ASPETTO

Indipendentemente dalla morfologia degli elementi costituenti il sistema, la superficie esterna deve presentare regolarità geometrica e aspetto gradevole. Particolare attenzione va posta nell'osservanza delle campiture di facciata e della scansione e modularità degli elementi tecnici che caratterizzano la parete (finestre, aggetti, ecc.), onde evitare un disordine formale poco qualificante.

Il colore, la brillantezza e il potere riflettente della superficie esterna devono mantenere caratteristiche proprie costanti nel tempo o, comunque, variare in modo uniforme con l'invecchiamento, senza che si formino porzioni contrastate; i materiali costituenti lo strato di rivestimento devono essere esen-

ti da formazioni di efflorescenze e muffe e gli elementi di ancoraggio a vista non devono essere soggetti a corrosione, onde evitare colature e macchiate.

La planarità d'insieme deve essere tale da non presentare scostamenti e deformazioni visibili ad occhio nudo. l'impiego di elementi con finitura non liscia permette di mascherare eventuali difetti non rilevanti di planarità. In tal caso, però, la sagomatura delle lastre o la scabrezza superficiale del materiale non devono trattenere il puiviscolo atmosferico.

Le fughe tra i pannelli che si evidenziano per la presenza della battentatura dei giunti devono essere perfettamente rettilinee ed allineate.

DURABILITÀ

Il sistema deve essere in grado di sopportare le sollecitazioni che possono prodursi sotto l'effetto della temperatura, dell'irraggiamento solare, del gelo e disgelo, delle azioni, sia chimiche in relazione alle atmosfere anche aggressive, sia fisiche in relazione alla persistenza di venti trasportanti particelle solide, senza che intervengano perdite delle prestazioni dal punto di vista della planarità, dell'aspetto delle superfici, della tenuta all'acqua, della resistenza meccanica e del comportamento igrotermico del sistema e degli strati componenti.

È ragionevole ritenere che una durata di 30 anni del sistema sia un tempo sufficientemente accettabile, anche se i dispositivi di fissaggio devono essere concepiti per una vita molto superiore.

La durata degli elementi del sistema è legata soprattutto a quella dello strato di tenuta e rivestimento. In

TIPO	STRATO DI RIVESTIMENTO	SISTEMA DI EVACUAZIONE	ISOLANTE	CONDIZIONI DI IMPIEGO
1	permeabile	non previsto	non idrofilo	<ul style="list-style-type: none"> · situazioni protette · supporto impermeabile
2	poco permeabile	non previsto	non idrofilo	situazioni di esposizione alla pioggia mediamente severe
3	poco permeabile	previsto	non idrofilo	qualunque esposizione eccetto zone costiere ed edifici molto alti
4	impermeabile	previsto	non idrofilo	qualunque esposizione

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI (“VÊTURES”)

Strato di rivestimento	Atmosfera		Industriale normale	Urbana o industriale severa	Marina	Mista
	Rurale	Urbana normale				
Poliestere spessore 30 µm	15 anni	10 anni	10 anni	Sconsigliata	Sconsigliata	Sconsigliata
Plastisol PVDF spessore 200 µm	25 anni	15 anni	15 anni	10 anni	10 anni	10 anni

tal senso, è possibile distinguere due famiglie di prodotti impiegati;

- materiali di tipo tradizionale (terracotta, lamiere metalliche, fibrocemento, ecc.);
- materiali plastici e malte idrauliche armate con fibra di vetro.

In particolare, nel caso di impiego di lamiera prelacata occorre considerare che il filmogeno protettivo ha vita molto inferiore a quella del manufatto e pertanto ne occorre la reintegrazione non appena se ne nota un degrado evidente; il tempo di vita, comunque, è funzione del tipo di laccatura e degli agenti atmosferici: la tabella seguente fornisce un riferimento sulla base delle attuali esperienze.

Elementi in fibrocemento presentano ottima durabilità senza richiedere operazioni manutentive, all'infuori di semplici lavature, purché la pigmentazione superficiale di finitura appartenga alla gamma dei colori ormai standardizzati. Circa i prodotti della seconda famiglia, è necessario che nella realizzazione degli elementi in PVC siano impiegate resine di base di ottima qualità e che la trasformazione per estrusione sia correttamente eseguita.

Fenomeni di degrado accelerato (sfarinamento, fragilimento, cambiamento di colore, ecc.) possono riscontrarsi nei materiali di sintesi: gli elementi in PVC sono particolarmente sensibili ai raggi ultravioletti, a meno di non impiegare stabilizzanti idonei, i quali peraltro presentano l'inconveniente di ridurre il loro effetto nel tempo.

L'impiego di colori chiari è senz'altro un fattore che ritarda l'invecchiamento dello strato di rivestimento.

I prodotti in poliesteri risultano degradabili per effetto dell'acqua che ne distrugge la resina per idrolisi, mentre l'armatura in vetro può amplificare il fenomeno. Inoltre l'idrolisi è tanto maggiore quanto più la polimerizzazione della resina è incompleta: è quindi opportuno utilizzare resine debolmente idrolizzabili, totalmente polimerizzate con uno stampaggio ad alta temperatura e debolmente caricate con fibre di vetro.

L'impiego di filmogeni protettivi aumenta l'affidabilità di questi materiali.

I prodotti in malta idraulica armata con fibra di vetro presentano con l'invecchiamento una perdita delle

caratteristiche meccaniche dovuta ad una parziale distruzione delle fibre.

Con le fibre più recenti il decadimento è asintotico, con una soglia che non supera il 50%.

L'energia radioattiva e gli shocks termici inducono deformazioni nei materiali costituenti lo strato di rivestimento, proporzionali ai coefficienti di dilatazione termica e di assorbimento della radiazione; anche l'esposizione e i tipi di vincolo influenzano lo stato tensionale degli elementi e le conseguenti variazioni morfologiche e dimensionali di tipo plastico. L'adozione di sistemi a dilatazione non impedita consente di ovviare alle problematiche suddette.

Sotto il profilo del comportamento nel tempo all'umidità (aria umida, condensazioni, penetrazioni d'acqua) è necessario prevedere trattamenti protettivi a base di prodotti idrorepellenti o anticorrosivi per i materiali di rivestimento particolarmente sensibili e per gli elementi di fissaggio e gli accessori (viti, profili, ancoraggi, ecc.).

Inoltre, tutti i materiali organici costituenti il sistema devono essere protetti dagli agenti biologici quali muffe, funghi, termiti, ecc.

È necessario che tutti i materiali costituenti il sistema abbiano stabilità chimico fisica in relazione ai degrading che possono innescarsi nel tempo fra prodotti interagenti. Il pericolo di possibili corrosioni da ossidazione o di origine elettrolitica deve essere fugato con l'impiego di materiali compatibili, appositamente trattati o protetti e messi in opera con soluzioni tecnologiche appropriate, soprattutto se non sono facilmente suscettibili di operazioni manutentive.

PRESCRIZIONI PER L'APPLICAZIONE E PARTICOLARI COSTRUTTIVI

Per la natura stessa degli elementi costituenti, i sistemi di isolamento dall'esterno prefabbricati presentano estrema versatilità applicativa.

Pertanto, dal punto di vista progettuale non esistono vincoli particolari, né per quanto riguarda l'estensione delle superfici di facciata, né per la presenza di aperture o oggetti, dal momento che gli elementi



possono, in generale, essere facilmente tagliati a piè d'opera e quindi adattati a situazioni specifiche.

Sotto il profilo formale, inoltre, è possibile disporre le lastre a giunti verticali allineati o sfalsati (vedi Fig. 5), mentre i profili terminali di raccordo che risultano in vista possono essere dissimulati nel contesto della facciata o resi evidenti a seconda che si impieghino pigmentazioni uguali o contrastanti.

La suddetta versatilità deriva dal fatto che gli elementi, generalmente di formato standard, sono tagliabili e quindi adattabili; non è pertanto vincolante alcun discorso dimensionale ai fini della progettazione ed esecuzione. È ipotizzabile che in futuro una maggiore attenzione ai problemi di modularità, con messa in produzione di manufatti aventi gamme dimensionali diversificate, unitamente all'impiego di elementi speciali per la risoluzione dei nodi in corrispondenza dei punti singolari dell'edificio, potrà portare ad un miglior controllo degli esiti formali complessivi forniti da questo sistema di rivestimento.

Dal punto di vista applicativo, in generale tutti i sistemi attualmente prodotti non presentano difficoltà particolari di messa in opera, al punto che, per taluni di essi, non è nemmeno richiesta manodopera specializzata.

Tuttavia, al di là di prescrizioni specifiche attinenti al singolo sistema e determinate dalle caratteristiche morfologiche e dimensionali degli elementi e dalle procedure di ancoraggio, è necessario considerare alcune prescrizioni di validità generale.

L'applicazione dei componenti, allo stato attuale della produzione, può avvenire solo su pareti verticali, anche se non è da escludere a priori l'impiego su superfici subverticali di sistemi aventi però caratteristiche di perfetta tenuta all'acqua.

Il supporto può non essere perfettamente piano, dal momento che il sistema è in grado di assorbire eventuali modeste irregolarità; comunque i difetti di planarità del supporto (causati da disgregazioni localizzate, imbozzamenti, ecc.) non devono essere superiori a mm 5 sotto un regolo da cm 20, intervenendo con operazioni di regolarizzazione qualora questa condizione non sia verificata. Fenomeni fessurativi esistenti nel supporto, dovuti a mobilità differenziali, non compromettono il sistema di rivestimento, essendo questo applicato per punti. È però necessario preventivamente accertare che tali fenomeni non abbiano a continuare nel tempo per evitare l'insorgere di lesioni anche all'interno del sistema di rivestimento. In presenza di supporto vecchio, questo deve risultare perfettamente asciutto ed esente da fenomeni di umidità capillare; in presenza di supporto nuovo è opportuno rispettare i seguenti tempi di stagionatura prima di procedere all'applicazione del sistema:

- supporto in calcestruzzo gettato in opera: minimo 45 giorni;

- supporto in muratura: minimo 30 giorni.

Ciò al fine di evitare che un incremento anomalo di vapore comprometta il comportamento igrotermico del sistema.

Particolare cura va riposta nella scelta e determinazione degli elementi di ancoraggio in relazione sia alla natura e consistenza del supporto sia alle condizioni di esposizione al vento e alla resistenza allo strappo dei tasselli.

In presenza di supporto in laterizi forati è necessario rilevare le dimensioni delle forature in modo da impiegare tasselli di fissaggio di lunghezza tale da interessare almeno due cavità.

Il dimensionamento dei fissaggi deve essere valutato con riferimento alle prestazioni specifiche dei tasselli, definite dalle apposite Direttive UEAtc che, se necessario, vanno confrontate con il risultato di prove sul supporto in questione.

In molti casi è opportuno prevedere l'impiego di rondelle metalliche o in materiale sintetico da interporre tra la testa della vite del tassello e la lastra del rivestimento, onde evitare rotture in fase di serraggio.

Dal punto di vista delle condizioni atmosferiche al montaggio, non sono richieste precauzioni particolari; solamente per elementi di grandi dimensioni occorre fare attenzione alla realizzazione dei giunti in relazione alla massima temperatura di posa.

La posa degli elementi, secondo la geometria dei giunti del sistema, può avvenire procedendo sia dal basso verso l'alto che viceversa; se la prima modalità è certamente la più diffusa, in quanto permette maggiore precisione di montaggio, la seconda risulta particolarmente utile nei casi in cui si prevede di dover sostituire singole lastre a livello di piano terreno (con particolare esposizione a sollecitazioni meccaniche).

In caso di montaggio dal basso in alto e da sinistra a destra, occorre preventivamente applicare un profilo di base orizzontale e d'angolo verticale: tali accessori vanno posati con estrema precisione dal momento che determinano il corretto allineamento dei corsi del rivestimento.

In presenza delle aperture, i profili di cornice devono essere applicati prima della posa delle lastre.

La foratura del singolo elemento e del supporto deve avvenire in un'unica operazione con l'impiego di un trapano a percussione. È escluso l'impiego di chiodi sparati, che possono provocare deformazioni del rivestimento.

Di seguito si riportano alcuni dettagli costruttivi relativi a sistemi con strato termoisolante direttamente accoppiato allo strato di tenuta oppure indipendente da esso, per quanto riguarda sia la sezione corrente

STRATO DI TENUTA E RIVESTIMENTO IN MALTA DI CEMENTO

1. Supporto - 2. Strato isolante - 3. Strato di rivestimento e tenuta in malta di cemento con inerti fini - 4. Profilo di ancoraggio in lamiera metallica trattata - 5. Tassello ad espansione in nylon - 6. Inserti di ancoraggio - 7. Cameretta di espansione

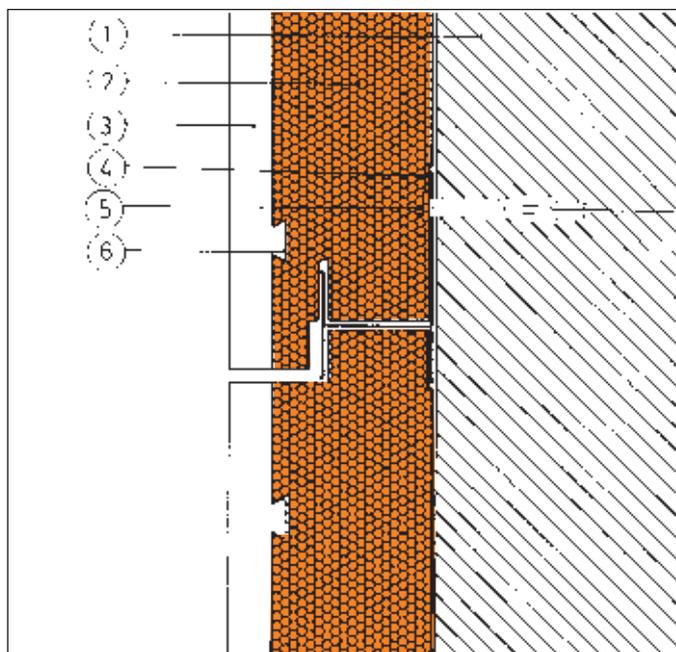


Fig. 11 Sezione corrente verticale - giunto orizzontale

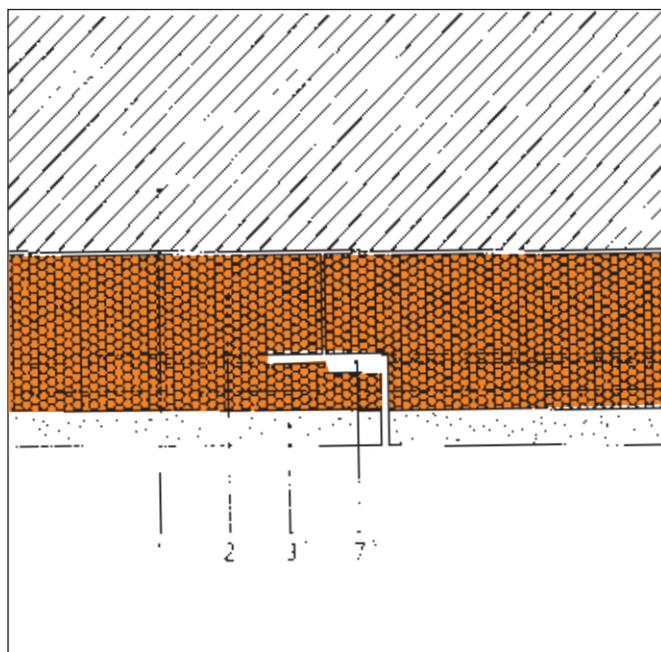


Fig. 12 Sezione corrente orizzontale - giunto verticale

STRATO DI TENUTA E RIVESTIMENTO IN GRC

1. Supporto - 2. Strato isolante - 3. Strato di rivestimento e tenuta in malta idraulica armata con fibre di vetro - 4. Profilo di ancoraggio in lamiera di alluminio piegata, con spessore > 10/10 prelaccata o anodizzata, oppure in lamiera di acciaio con spessore > 7,5/10 prelaccata - 5. Tassello ad espansione in nylon - 6. Inserti di ancoraggio - 7. Cameretta di espansione

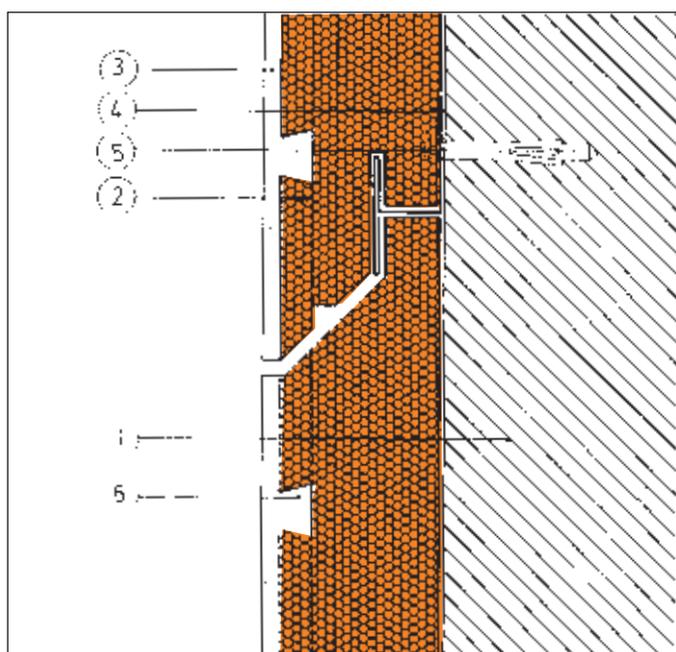


Fig. 13 Sezione corrente verticale - giunto orizzontale

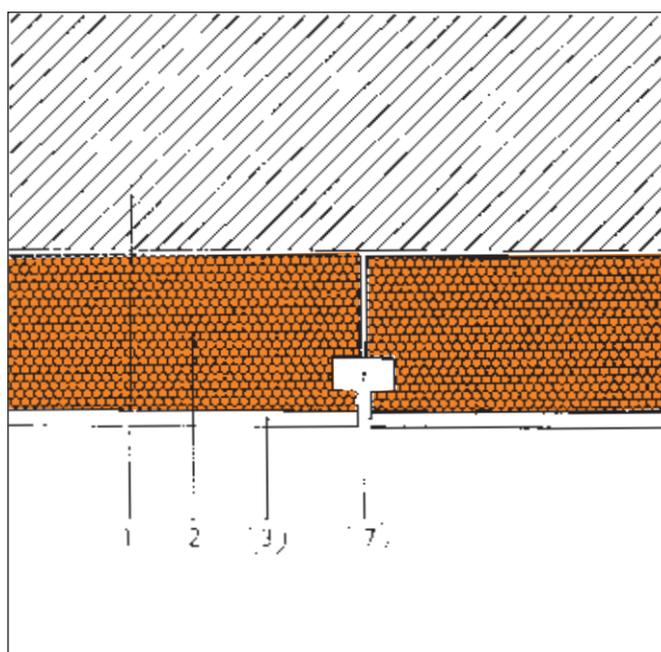


Fig. 14 Sezione corrente orizzontale - giunto verticale

STRATO DI TENUTA E RIVESTIMENTO IN FIBROCEMENTO

1. Supporto - 2. Strato isolante - 3. Strato di rivestimento e tenuta in fibrocemento - 4. Profilo in lamiera piegata di alluminio prelacato - 5. Profilo di partenza alla base in lamiera di alluminio - 6. Tassello ad espansione in nylon - 7. Foro di micro-ventilazione ed evacuazione condensa

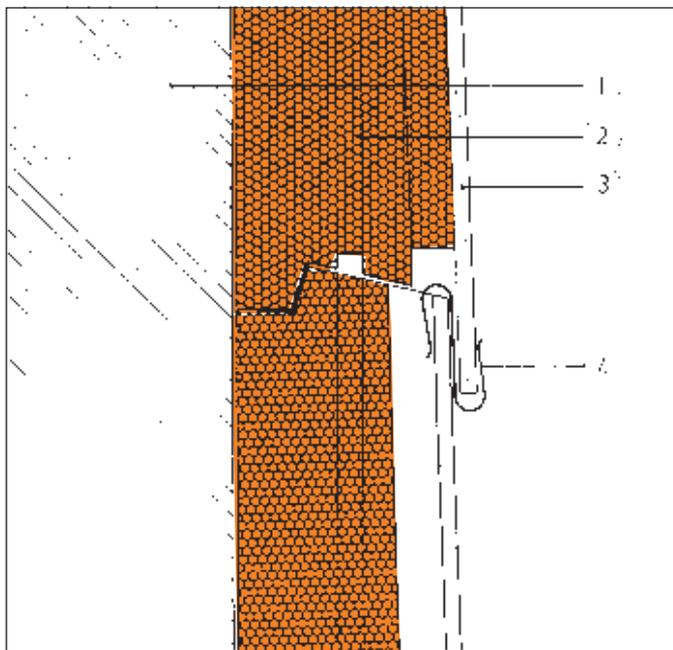


Fig. 15 Sezione corrente verticale - giunto orizzontale

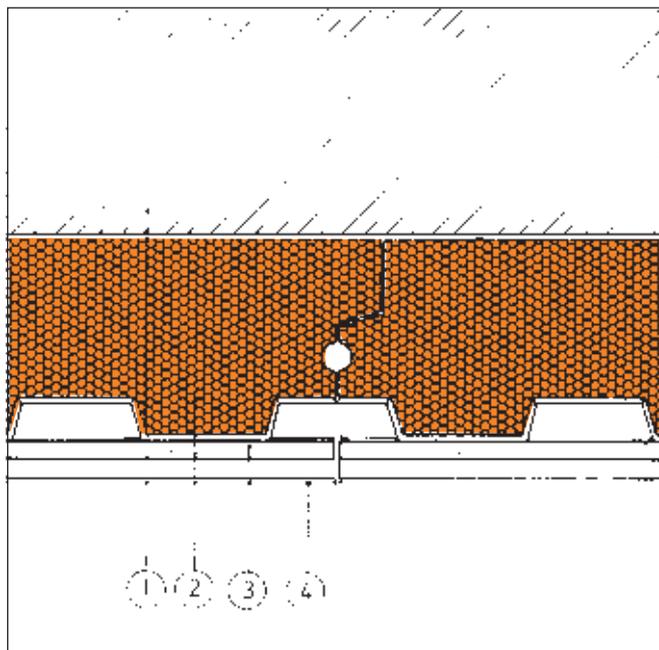


Fig. 16 Sezione corrente orizzontale - giunto verticale

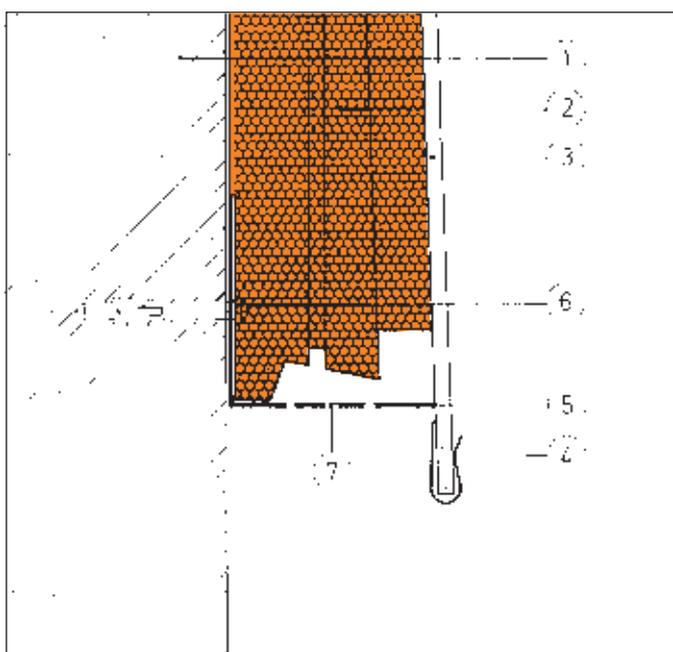


Fig. 17 Partenza alla base - sezione verticale

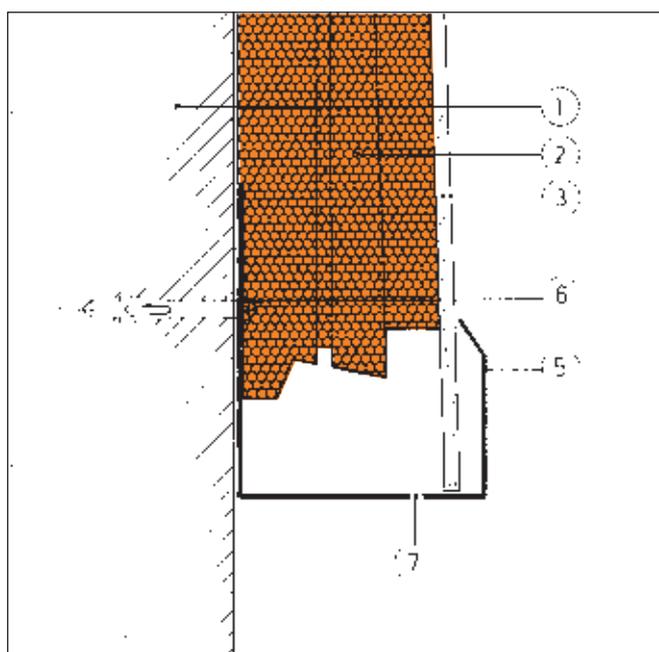


Fig. 18 Partenza alla base - sezione verticale

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI ("VÊTURES")

STRATO DI TENUTA E RIVESTIMENTO IN POLIESTERE

1. Supporto - 2. Strato isolante - 3. Strato di rivestimento e tenuta in poliestere stampato - 4. Tassello ad espansione in nylon - 5. Foro di microventilazione ed evacuazione condensa

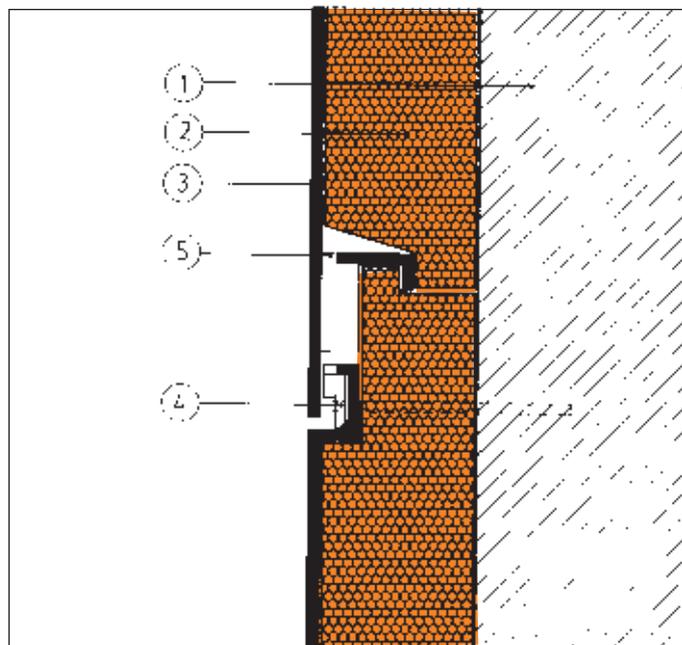


Fig. 19 Sezione corrente verticale - giunto orizzontale

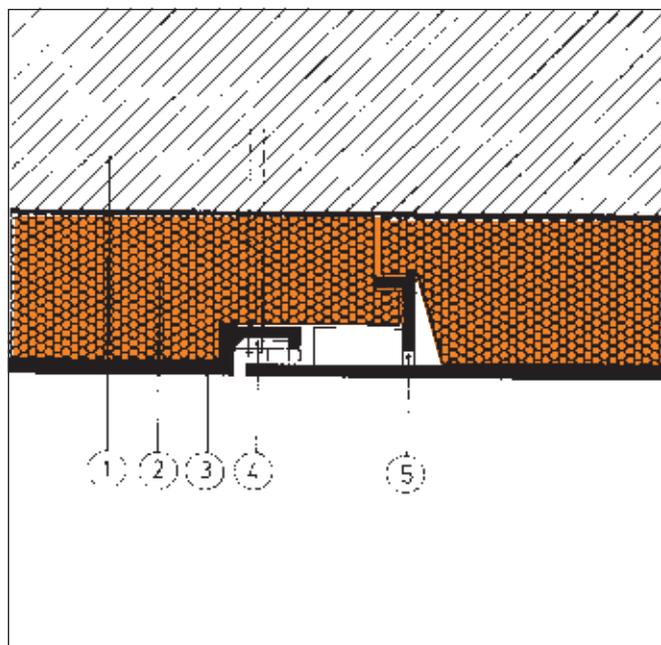


Fig. 20 Sezione corrente orizzontale - giunto verticale

1. Supporto - 2. Strato di regolarizzazione - 3. Strato isolante - 4. Strato di rivestimento e tenuta in poliestere stampato - 5. Tassello ad espansione in nylon - 6. Foro di microventilazione ed evacuazione condensa - 7. Profilo continuo in alluminio prelaccato o PVC - 8. Scossalina di copertura - 9. Aggetto - 10. Serramento - 11. Fondo giunto e sigillante

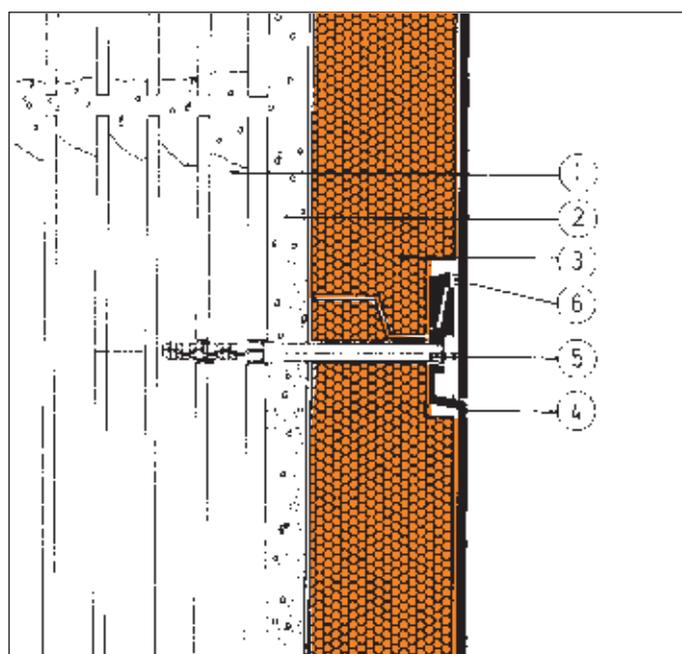


Fig. 21 Sezione corrente verticale - giunto orizzontale

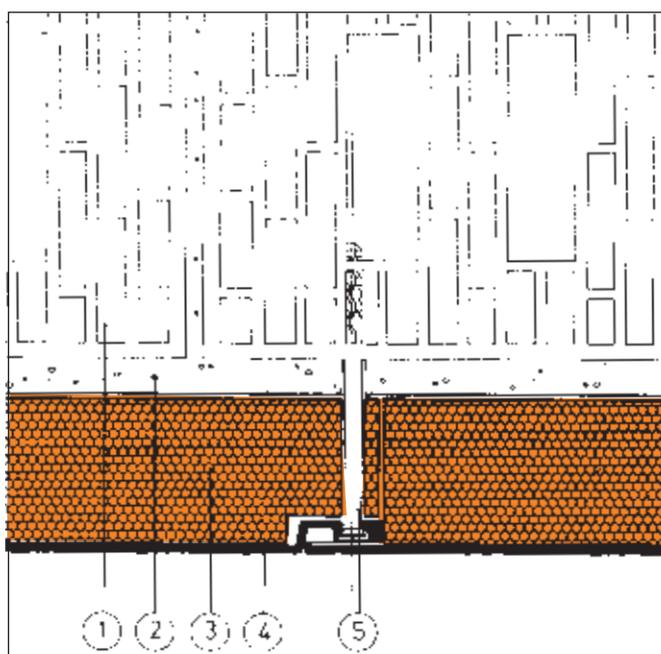


Fig. 22 Sezione corrente orizzontale - giunto verticale



ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI (“VÊTURES”)

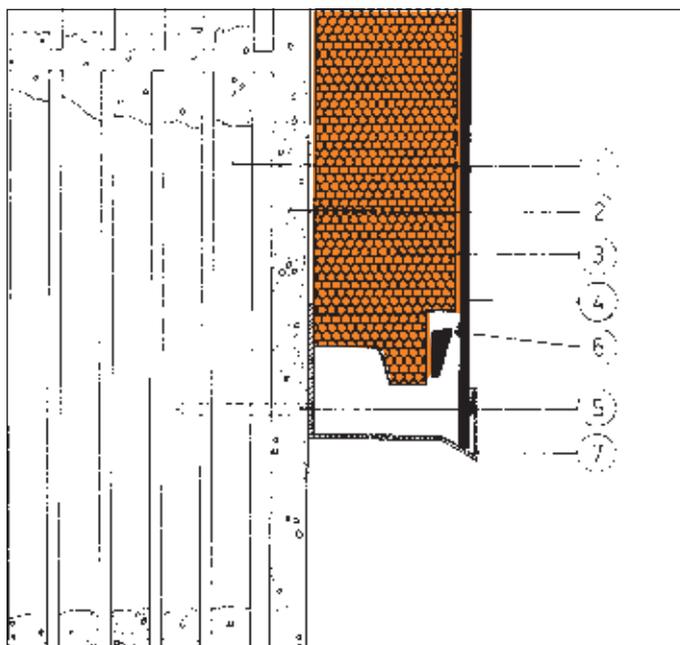


Fig. 23 Partenza alla base - sezione verticale

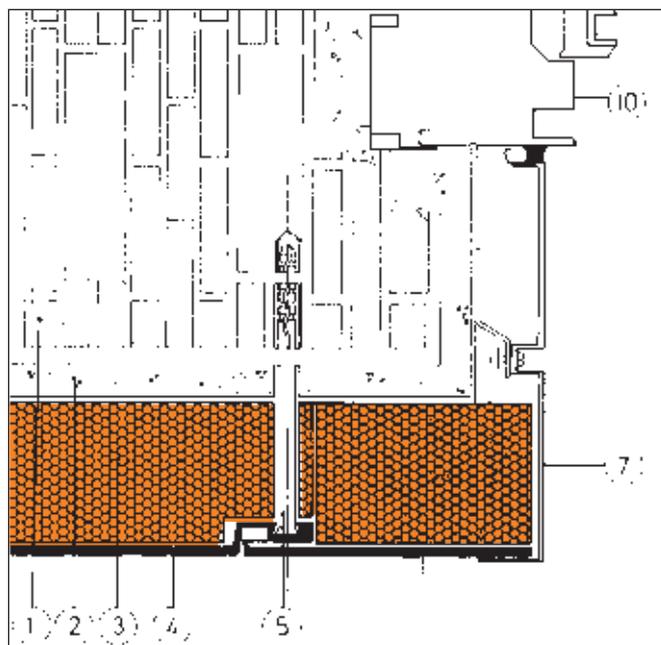


Fig. 24 Raccordo con serramento - sezione orizzontale

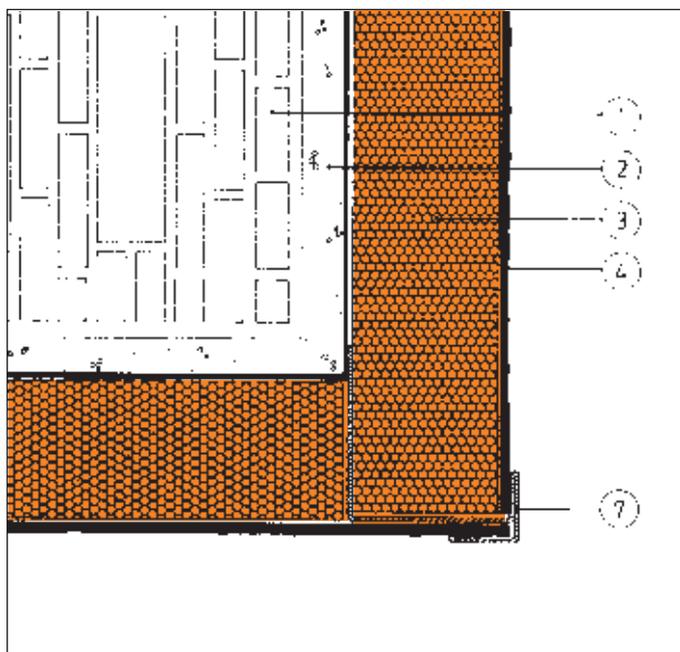


Fig. 25 Angolo esterno - sezione orizzontale

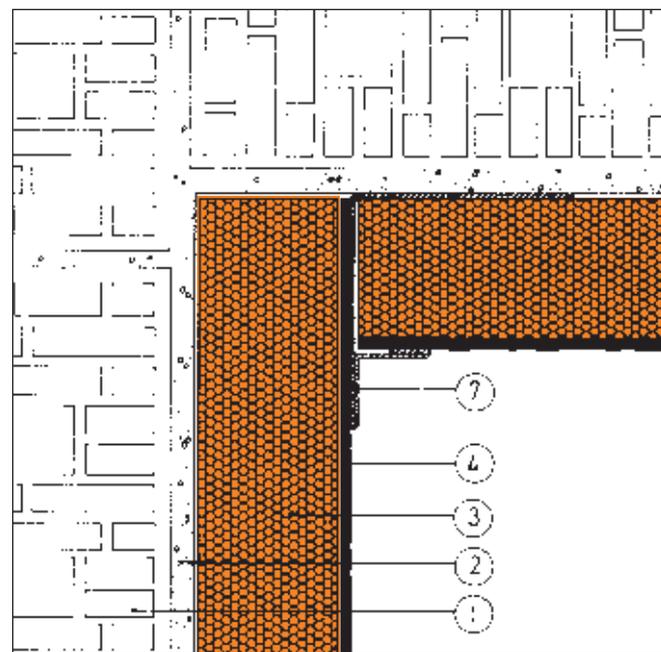


Fig. 26 Angolo interno - sezione orizzontale

**ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI
CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI ("VÊTURES")**

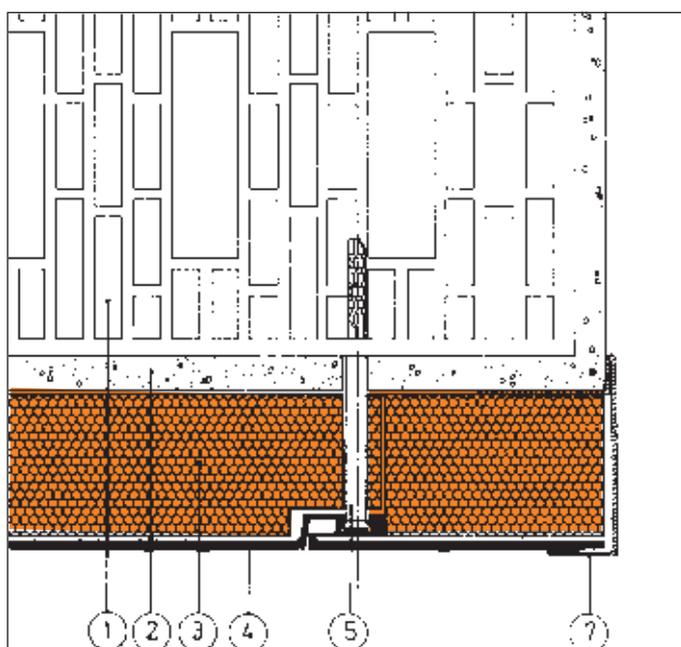


Fig. 27 Arresto laterale - sezione orizzontale

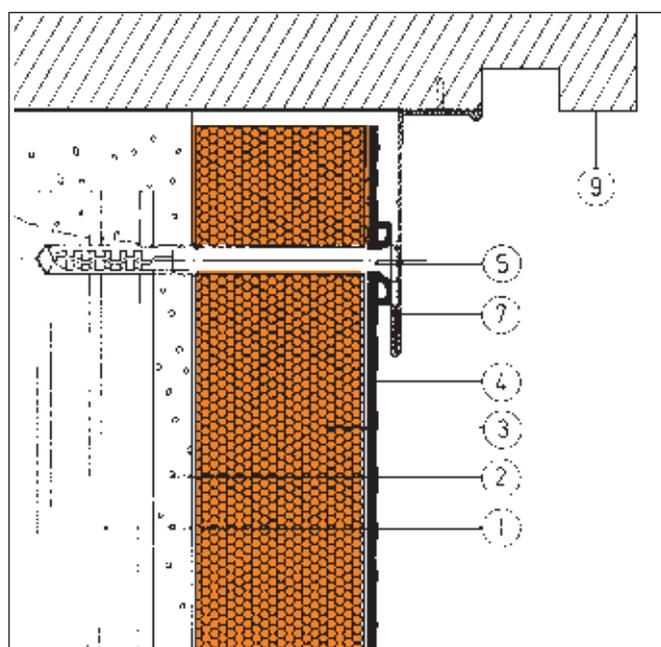


Fig. 28 Raccordo con aggetto - sezione verticale

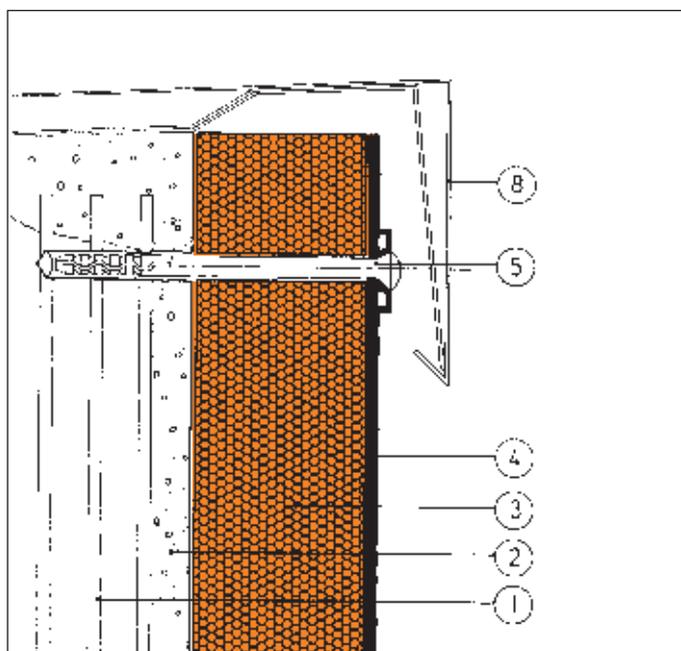


Fig. 29 Raccordo con scossalina di coronamento - sezione verticale

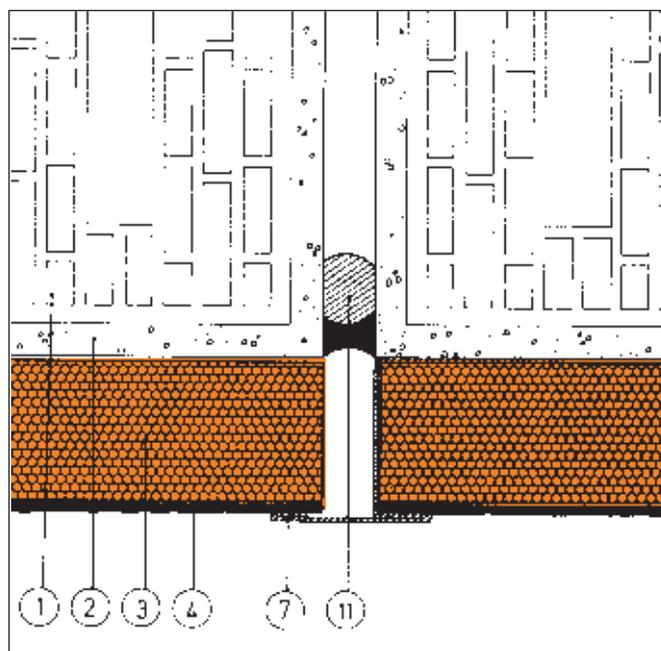


Fig. 30 Giunto di dilatazione - sezione orizzontale

STRATO DI TENUTA E RIVESTIMENTO IN ALLUMINIO

1. Supporto - 2. Strato isolante - 3. Strato di rivestimento e tenuta a doghe di alluminio prelaccato (spessore > 6/10) - 4. Zanca di ancoraggio in lamiera di alluminio (spessore > 15/10) - 5. Tassello ad espansione in nylon - 6. Foro di microventilazione ed evacuazione condensa

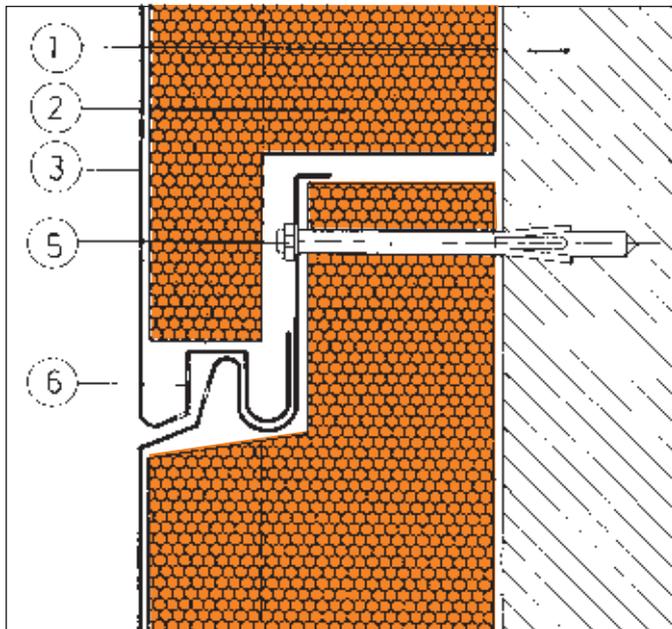


Fig. 31 Ancoraggio diretto del rivestimento al supporto - Sezione corrente verticale - giunto orizzontale

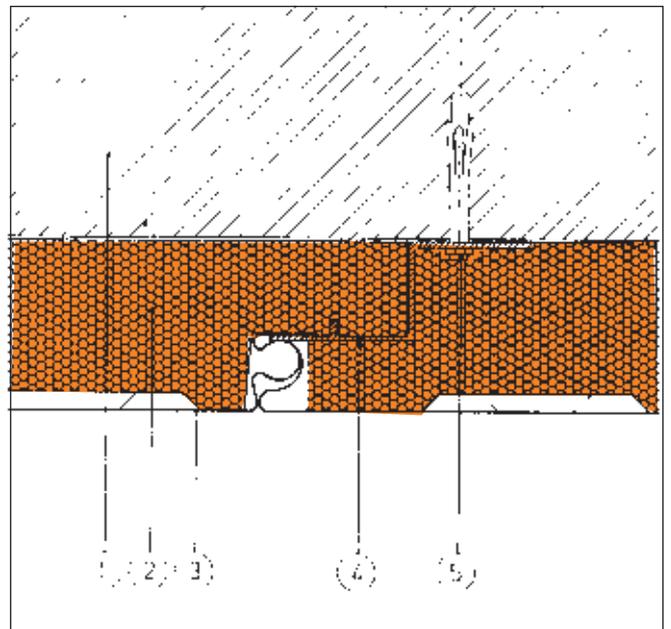


Fig. 32 Ancoraggio del rivestimento al supporto mediante profilo metallico - Sezione corrente orizzontale - giunto orizzontale

STRATO DI TENUTA E RIVESTIMENTO IN PVC

1. Supporto - 2. Strato isolante - 3. Strato di rivestimento e tenuta a doghe orizzontali di PVC estruso - 4. Zanca di ancoraggio in lamiera di alluminio (spessore > 15/10) prelaccato o anodizzato - 5. Tassello ad espansione in nylon - 6. Foro di microventilazione ed evacuazione condensa - 7. Profilo di chiusura

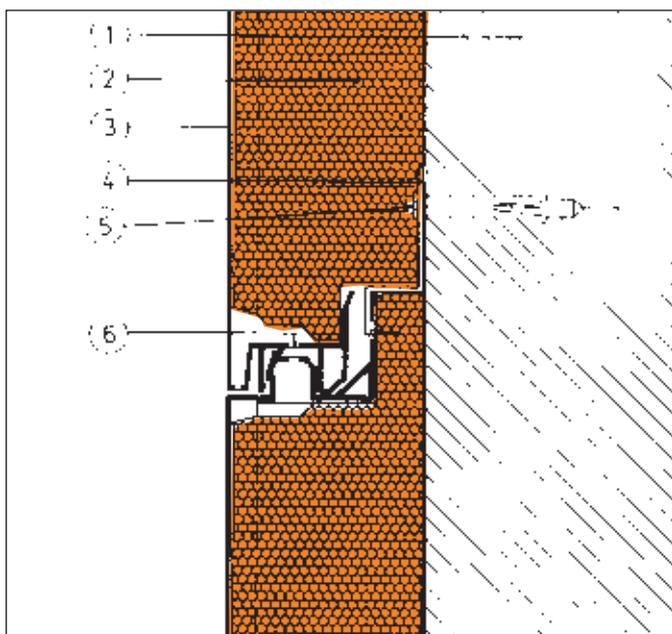


Fig. 33 Sezione corrente verticale - giunto orizzontale

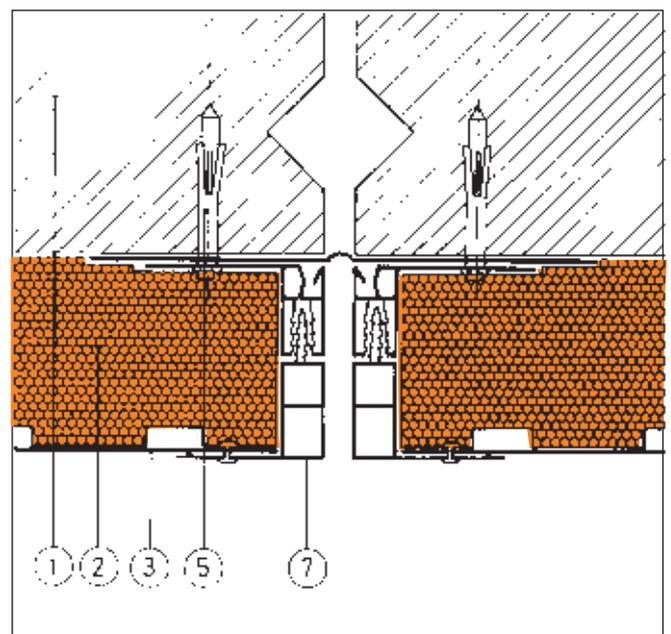


Fig. 34 Giunto di dilatazione - sezione orizzontale

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI ("VÊTURES")

che i punti singolari più ricorrenti (Fig. 11 a 34).

MANUTENZIONE

Al fine di prolungare nel tempo la prestazione di durabilità, è necessario prendere in considerazione operazioni di manutenzione dei sistemi di isolamento esterni prefabbricati, la cui periodicità è funzione del materiale impiegato per la realizzazione dello strato di rivestimento, delle condizioni di esercizio e dell'esposizione. E comunque ipotizzabile che tale periodicità sia dell'ordine del decennio onde non gravare pesantemente sui costi di gestione del sistema.

L'ordinaria manutenzione si effettua generalmente con acqua pura, eventualmente tiepida; in presenza di sporcizia persistente, è consigliabile l'impiego di acqua saponata o additivata con detergenti opportuni, che richiede un successivo risciacquo con acqua pura. In funzione delle condizioni di conservazione dell'aspetto e della natura dello strato esterno degli elementi, è possibile l'applicazione di pitture, vernici o resine diverse, previa sempre le suddette operazioni di lavaggio. In presenza di rigature, scalfitture, graffiature, ecc. dei rivestimenti metallici prelaccati, è possibile intervenire con ritocchi a base degli stessi prodotti di laccatura. La manutenzione straordinaria è da prevedersi in presenza di degradi accidentali localizzati (ad es. urti).

In questi casi gli elementi ammalorati devono poter essere sostituiti senza che si debba necessariamente smontare l'intero sistema, ma eventualmente solo

i componenti adiacenti. Per ciascun sistema devono comunque essere previste adeguate tecniche di intervento in grado di ripristinare l'integrità e garantire nel tempo la continuità di prestazione.

PATOLOGIE ED ERRORI

Trattandosi di sistemi di isolamento molto recenti, non si ha ancora una casistica riconosciuta di degradi legati alla durabilità.

Tuttavia, dal momento che le patologie eventualmente insorgenti in relazione a condizioni d'uso correnti sono da imputare a scelte progettuali o modalità costruttive non perfettamente consone alle problematiche reali ed alle regole dell'arte, è necessario approfondire i meccanismi che possono innescare fenomeni di decadimento del sistema, onde poterli prevenire con opportuni accorgimenti. Al fine di concorrere a definire un quadro ragionato della problematica del degrado, particolarmente significativa per sistemi innovativi, si riporta di seguito l'analisi di alcune situazioni patologiche eventuali. In essa si è tenuto presente che, trattandosi di componenti prefabbricati, che dovrebbero, sia per impostazione progettuale che per verifica sperimentale, soddisfare le prescrizioni delle Direttive UEAtc, le patologie considerate sono soltanto quelle che possono derivare o da un'errata scelta del componente in relazione all'applicazione specifica, o ad una cattiva esecuzione del sistema.

AGENTE: CARICHI E SOVRACCARICHI

REQUISITO DISATTIVATO
Stabilità meccanica

CAUSE

- deformazioni del supporto
- instabilità cicliche (dilatazioni termiche, ecc.) o permanenti (dilatazioni per imbibizione, ritiri, ecc.) dimensionali delle strutture di contorno
- supporto decoesionato o con insufficiente resistenza meccanica
- cedimenti localizzati nei punti di fissaggio

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- distacco dell'elemento del sistema
- difetto di planarità
- permeazione idrica

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

- aspetto
- isolamento

ERRORI

- Progettazione:
- errata indagine preliminare sul supporto
 - mancata valutazione dei movimenti delle strutture di contorno
 - errato dimensionamento degli elementi di ancoraggio
- Esecuzione:
- errata esecuzione dei fori per l'applicazione dei tasselli
 - impiego di accessori non conformi e quanto prescritto nel progetto
- Gestione:
- in caso di sostituzione degli elementi del rivestimento, errato impiego di materiali e accessori ed errata sequenza delle fasi operative



ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI (“VÊTURES”)

AGENTE: ACQUA

REQUISITO DISATTIVATO
Tenuta idrica

CAUSE

- permeazioni attraverso i giunti di accoppiamento degli elementi del rivestimento

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- infiltrazioni idriche attraverso il supporto

ERRORI

- Progettazione: - sistema non adatto alle condizioni di impiego

- Esecuzione: - errata realizzazione dei giunti di accoppiamento

AGENTE: TEMPERATURA

REQUISITO DISATTIVATO
Isolamento termico

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- eterogeneità di comportamento termico
- insorgenza di ponti termici non controllati

ERRORI

- Progettazione: - errato calcolo termico e scelta dello spessore isolante

AGENTI: CHIMICI

REQUISITO DISATTIVATO
Stabilità meccanica

CAUSE

- ossidazione degli elementi metallici dello strato di collegamento

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- distacco localizzato dello strato di rivestimento

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

- aspetto
- tenuta idrica

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

CAUSE

- ossidazione degli elementi di ancoraggio del rivestimento allo strato di collegamento
- ossidazione degli elementi di rivestimento in metallo
- degrado degli accessori metallici
- termoossidazione degli elementi di rivestimento in materiali plastici
- degrado degli elementi in cemento-amianto

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- colature di ruggine e/o macchiature a danno del rivestimento
- corrosione degli elementi di rivestimento in metallo

ERRORI

- Progettazione: - prescrizione di materiali ossidabili non opportunamente trattati
- errata valutazione dei fenomeni di condensazione

- Esecuzione: - mancato trattamento dell'elemento di collegamento

ERRORI

- Progettazione: - errata scelta dei materiali in relazione all'aggressività dell'atmosfera

- Esecuzione: - mancato trattamento dello strato di rivestimento e/o degli accessori di collegamento

- Gestione: - impiego di prodotti di pulitura chimicamente non compatibili

ISOLAMENTO ESTERNO DELLE PARETI VERTICALI CON COMPONENTI LEGGERI PREFABBRICATI (“VÊTURES”)

AGENTE: URTI E COAZIONI

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

CAUSE

- deformazioni plastiche dello strato di rivestimento

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- sfondamento, imbozzamento, screpolature del rivestimento in relazione al materiale costituente

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

- stabilità meccanica
- durabilità
- tenuta all'acqua

ERRORI

- Progettazione: - scelta di materiali non idonei alla destinazione d'uso in rapporto all'esposizione agli urti della parete

Esecuzione:

- messa in opera in modo da impedire la libera dilatazione

AGENTE: VENTO

REQUISITO DISATTIVATO
Stabilità meccanica

CAUSE

- pressione o depressione cinetica

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- strappamento di uno o più elementi dello strato di rivestimento discontinuo

ERRORI

- Progettazione: - sottostima del carico dinamico del vento

- mancata previsione di accessori di rinforzo in corrispondenza di spigoli

Esecuzione:

- errata posa degli accessori di rinforzo

AGENTE: RADIAZIONE SOLARE

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

CAUSE

- meccanismo fotochimico di degrado degli elementi di rivestimento

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- macchiature
- screpolature

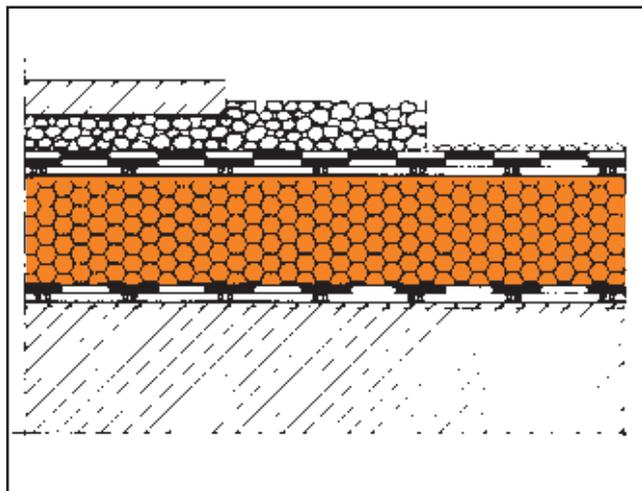
ERRORI

- Progettazione: - scelta di componente non idoneo alle condizioni di esposizione, in particolare se rivestimento plastico



9.

ISOLAMENTO DEI TETTI PIANI CON EPS



INTRODUZIONE

Secondo la norma di settore si definisce "continua" una copertura nella quale l'elemento di tenuta è in grado di assicurare la tenuta all'acqua del subsistema edilizio indipendentemente dalla pendenza della superficie; in particolare, una copertura continua è considerata di tipo "piano" quando la pendenza risulta inferiore al 5%. A tale classificazione, il cui criterio base fa riferimento al modello di funzionamento della copertura nei confronti dell'acqua meteorica, possono essere affiancate altre in relazione a differenti requisiti (accessibilità, isolamento termico, inerzia termica, ventilazione, protezione dell'elemento di tenuta, controllo della diffusione del vapore) che concorrono a determinare la scelta, da parte dei progettisti, della soluzione più favorevole rispetto ad un prefabbricato quadro di sollecitazioni esterne e ad esigenze costruttive, formali o economiche.

Insieme alla tenuta all'acqua, il comportamento termoigrometrico della copertura è per altro uno dei requisiti più importanti per la durabilità e affidabilità dell'edificio e, nel caso della copertura continua, deve essere oggetto di particolare attenzione. A questo proposito si individuano quattro classi di copertura:

1. copertura senza elemento termoisolante, senza strato di ventilazione: la copertura non controlla il comportamento termoigrometrico e non controlla la trasmissione del calore; Figura 1A.
2. copertura senza elemento termoisolante, con strato di ventilazione: la copertura controlla il comportamento termoigrometrico attraverso lo strato di ventilazione e non controlla la trasmissione del calore; Figura 1B.
3. copertura con elemento termoisolante, senza strato di ventilazione: la copertura non controlla il comportamento termoigrometrico e controlla la trasmissione del calore attraverso un apposito elemento termoisolante; Figura 1C.
4. copertura con elemento termoisolante, con strato di ventilazione: la copertura controlla il comportamento termoigrometrico attraverso lo strato di ventilazione e la trasmissione del calore attraverso un apposito elemento termoisolante; Figura 1D.

Per le esigenze attuali, sia di benessere ambientale che di risparmio energetico, le ultime due classi sono le più significative e in esse la funzione dell'isolante termico è fondamentale. Se si considerano le complesse interazioni che nella copertura piana possono aver luogo fra l'isolante e l'acqua meteorica da una parte e il vapore acqueo proveniente dall'interno, è evidente che gli isolanti non idrofili sono i più consigliabili per questa applicazione. In effetti il Polistirene Espanso Sinterizzato, che corrisponde in modo ec-

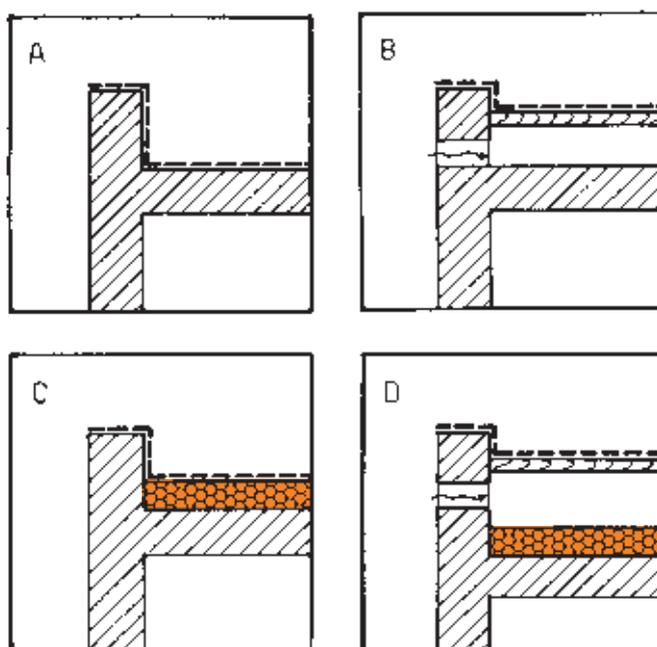


Fig. 1

cellente a questa caratteristica ha dimostrato fin dalla sua apparizione sul mercato, più di 30 anni or sono, di essere una delle scelte preferite in questo campo. Naturalmente, date le elevate prestazioni richieste, è necessario disporre di un prodotto di qualità garantita controllata dall'Istituto Italiano dei Plastici su mandato dell'UNI.

DESCRIZIONE DEGLI STRATI DEGLI ELEMENTI

La norma nazionale contiene l'elencazione degli elementi e strati funzionali delle coperture continue, specificandone la necessità o eventualità di impiego in relazione al livello prestazionale che si vuole ottenere. La differente successione delle stratificazioni comporta modelli di funzionamento anche molto diversi tra loro, oltre che procedimenti costruttivi più o meno complessi in relazione alla posa dei materiali e alle interrelazioni fra le parti costituenti.

La presenza o meno di taluni strati funzionali, oltre che la loro localizzazione e sequenza all'interno di un certo schema funzionale, origina soluzioni anche molto dissimili fra loro; in ogni caso ciascuna di esse deve essere concepita in modo da assicurare il funzionamento di ogni singolo elemento e di tutta la copertura nel suo insieme onde soddisfare i requisiti ambientali e tecnologici richiesti in ogni situazione specifica (soluzioni conformi). Il QUADRO 1 riporta alcuni esempi significativi di soluzioni conformi di coperture continue.

ELEMENTO PORTANTE

Ha la funzione di sopportare i carichi permanenti ed sovraccarichi della copertura e deve essere dimensionato in rapporto ad essi in base alla normativa specifica.

Lo strato portante può essere realizzato con diverse tecnologie costruttive, delle quali le più comuni sono:

1. Strutture in calcestruzzo armato pieno o laterocementizio.

In tal caso è necessario che i getti per questi solai risultino sempre perfettamente maturati e il più possibile esenti da acqua di costruzione, onde garantire la perfetta applicazione degli strati sovrapposti; sempre per questo motivo le superfici devono presentarsi complanari ed esenti da asperità.

QUADRO 1 - ESEMPI DI SOLUZIONI CONFORMI DI COPERTURE CONTINUE

LEGENDA

I - Isolato

NI - Non isolato

V - Ventilato

NV - Non ventilato

1 - Strato di protezione

2 - Strato di tenuta

3 - Strato di pendenza

4 - Elemento portante

5 - Strato termoisolante

6 - Strato di diffusione del vapore

7 - Strato di barriera al vapore

8 - Strato di separazione/scorrimento

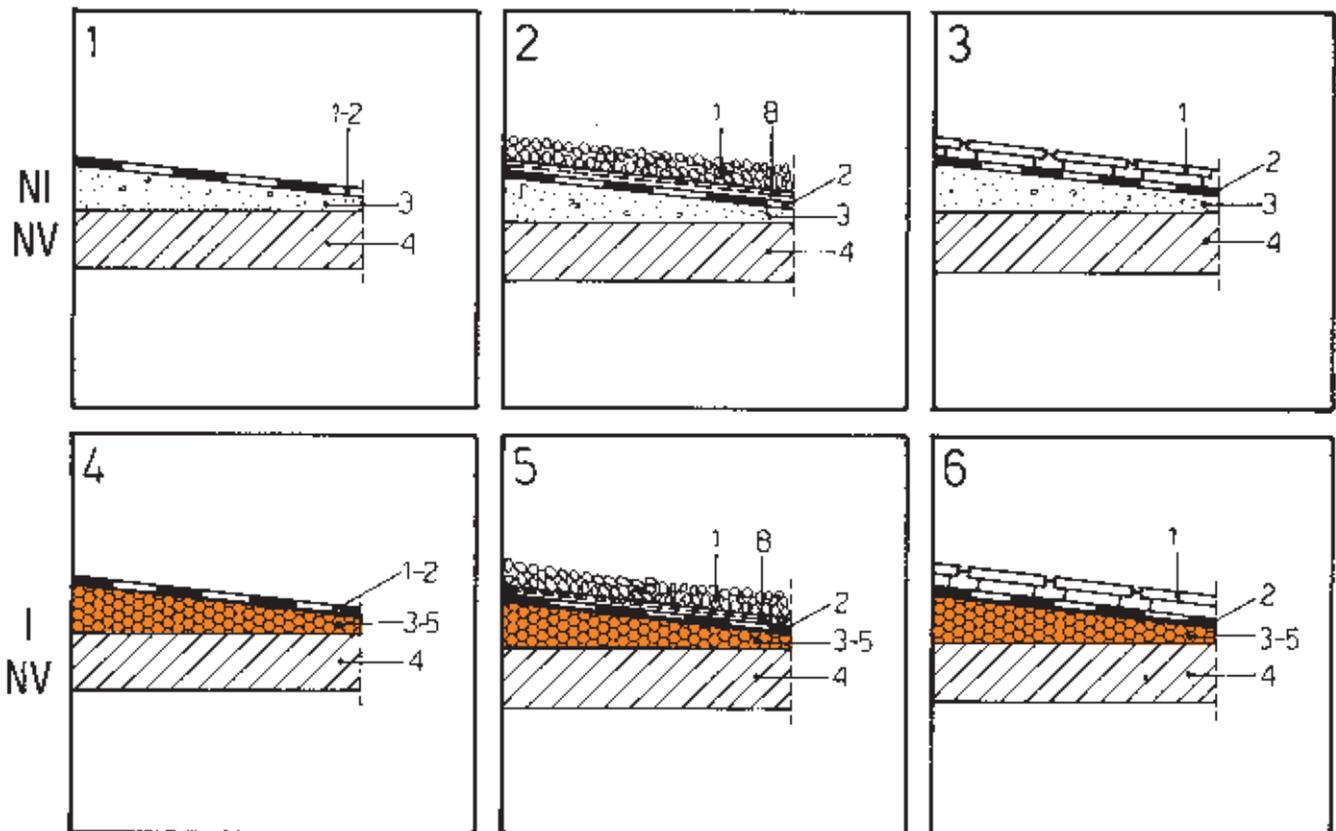
9 - Strato di ripartizione

10 - Strato di regolarizzazione

11 - Strato di ventilazione

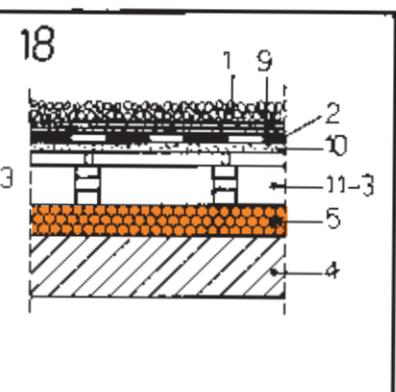
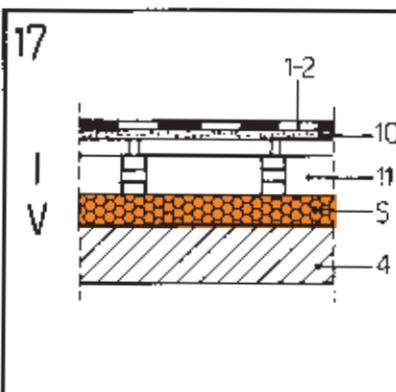
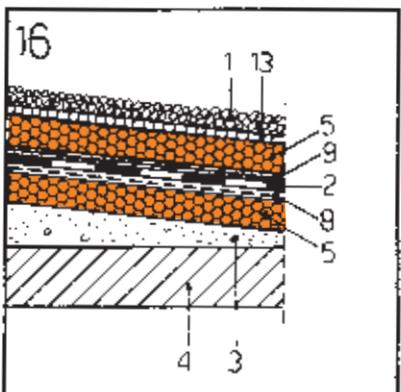
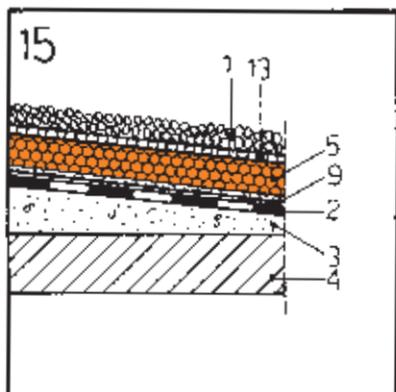
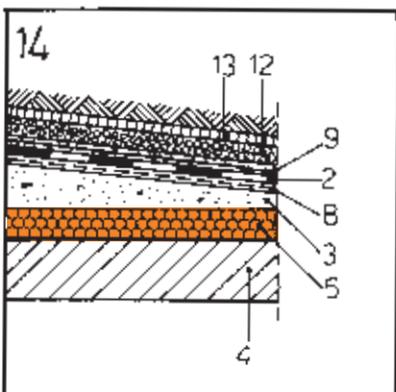
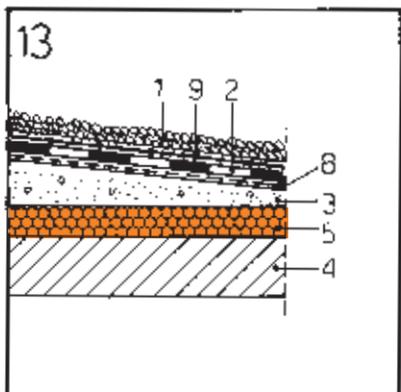
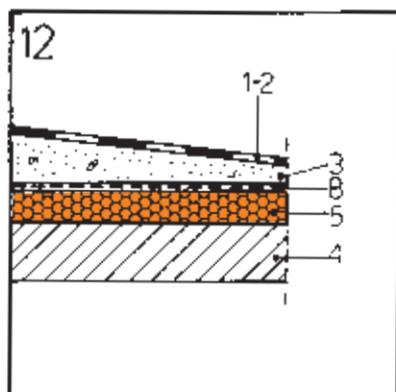
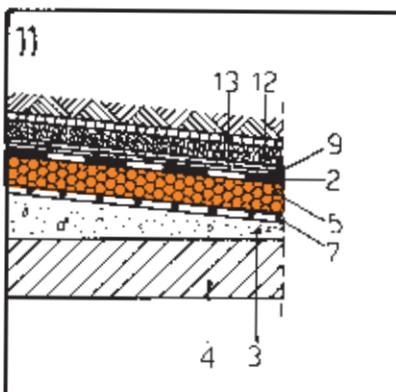
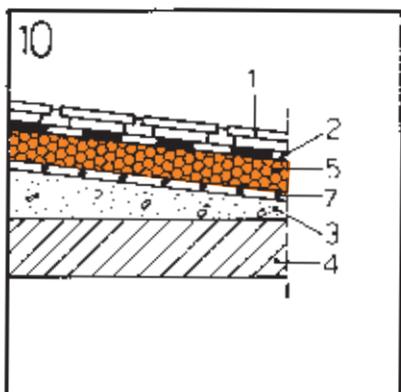
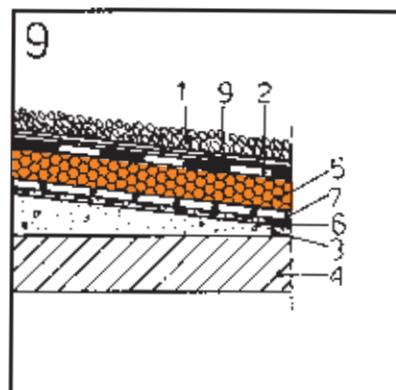
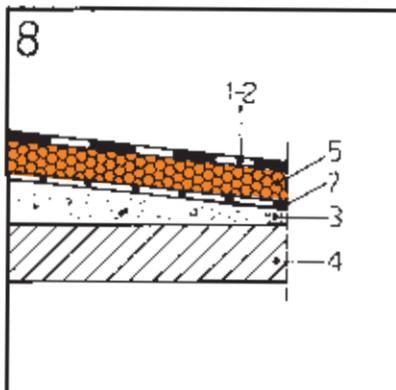
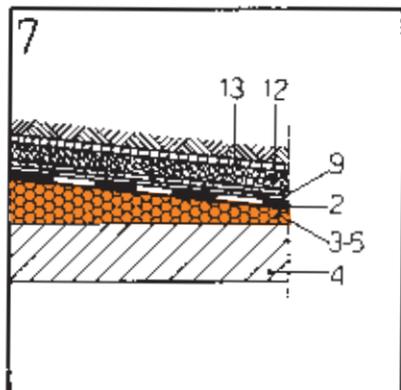
12 - Strato drenante

13 - Strato filtrante



(segue)

segue QUADRO 1



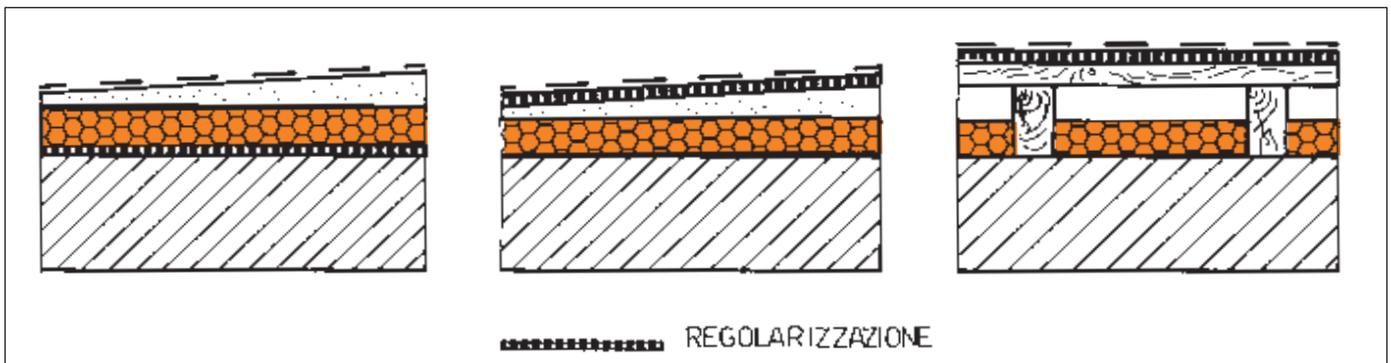


Fig. 2

Nel caso di impiego di elementi prefabbricati assemblati in opera (a secco o con legante cementizio), questi dovranno costituire una superficie uniforme e priva di dislivelli, con giunti a raso; infatti in presenza di superfici frazionate, al problema di una regolarizzazione delle superfici per accogliere gli strati successivi, si sovrappone quello di realizzare la continuità fra i componenti affinché eventuali cedimenti differenziali o movimenti ciclici di origine termica non producano patologie agli strati soprastanti.

2. Strutture in legno

Si tratta di una tecnologia scarsamente utilizzata in Italia nell'edilizia civile. Prescrizioni costruttive tedesche indicano l'impiego di spessori non inferiori a 24 mm, con larghezza di ciascun elemento compresa tra 8 e 16 cm, a costituire un assito continuo con incastri a maschio e femmina; la qualità del legname impiegato e il grado di stagionatura, oltre che eventuali trattamenti protettivi, sono necessari per garantire affidabilità e durata.

3. Strutture in acciaio

- profilati metallici;
 - lamiere grecate portanti travi a traliccio.
- In questo caso i solai di copertura sono generalmente realizzati con lamiere grecate di opportuni profili e spessori.

STRATO DI REGOLARIZZAZIONE

Ha la funzione di ridurre le irregolarità superficiali dello strato sottostante. Questo strato, costituito generalmente da malte cementizie, è particolarmente importante nel caso in cui sia necessario compensare le tolleranze di assemblaggio degli elementi prefabbricati costituenti l'impalcato strutturale e per regolarizzare le superfici di getto nel caso di impalcato monolitici. La sua funzione tuttavia si può esten-

dere a tutti quei casi in cui si vuole o deve rendere uniforme l'adesione fra un elemento e quello immediatamente sottostante; in particolare sono interessati gli elementi di tenuta, quelli termoisolanti o gli strati costituenti la barriera al vapore, quelli cioè che richiedono una salvaguardia della loro continuità nonché una ripartizione degli effetti dei movimenti rispetto al supporto (Fig. 2).

L'eliminazione di cavità o distacchi localizzati di tali strati annulla anche il rischio di pressioni di vapore localizzate.

STRATO DI IMPRIMITURA

Ha la funzione di modificare le caratteristiche superficiali fisico chimiche dello strato sottostante, in situazioni in cui è necessario realizzare la perfetta adesione fra due strati o in situazioni di incompatibilità chimica fra i materiali (Fig. 3).

STRATO DI CONTINUITÀ

Ha la funzione di realizzare una superficie continua su uno strato discontinuo. Si è già detto come esistono soluzioni di continuità della struttura portante nel caso in cui questa sia realizzata da componenti prefabbricati e la sola presenza di un massetto di

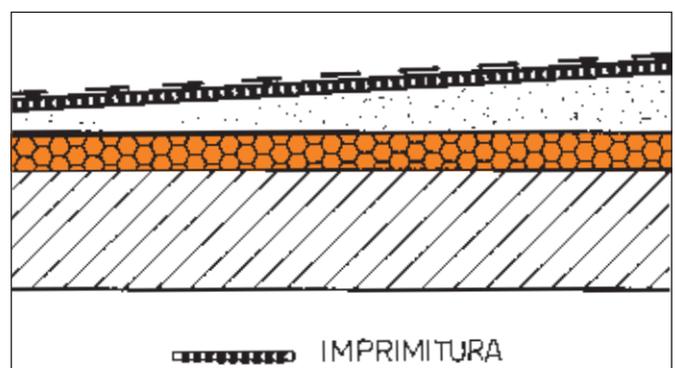


Fig. 3

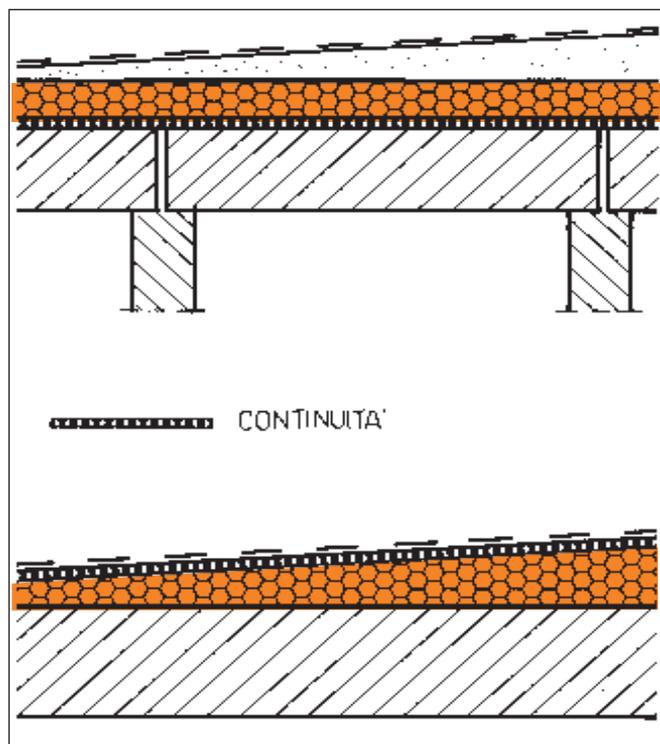


Fig. 4

pendenza in calcestruzzo alleggerito non armato può non risultare sufficiente a compensare eventuali cedimenti differenziali (Fig. 4). Ulteriori discontinuità si determinano anche in corrispondenza di un elemento termoisolante a pannelli, nel qual caso può essere sufficiente l'impiego di fogli a base di prodotti bituminosi con funzione di collegamento; in questa circostanza, specie in presenza di variazioni dimensionali o di movimenti termici differenziali dei pannelli isolanti, tale strato assume anche la funzione di scorrimento.

STRATO DI SEPARAZIONE E/O SCORRIMENTO

Ha la funzione di evitare interazioni di carattere fisico e/o chimico fra strati contigui. Il suo impiego si rende necessario laddove possibili movimenti diffe-

renziali di origine termica e/o meccanica o un'incompatibilità possono causare alterazioni dei materiali impiegati. In particolare, i movimenti dei pannelli isolanti in corrispondenza dei giunti possono indurre deformazioni locali dell'elemento di tenuta che richiedono l'inserimento di uno strato di separazione tra elemento termoisolante ed elemento di tenuta (v. soluzioni conformi n. 2, 12, 13, 14, 16). È indispensabile che la messa in opera di tale strato sia preceduta da un accurato studio delle soluzioni di dettaglio in corrispondenza di risalti perimetrali, realizzando giunti elastici, ad esempio per gli strati di protezione pesanti costituiti da pavimentazioni e relativi massetti di allettamento, oppure per i massetti di pendenza onde evitare fenomeni di compressione lungo gli elementi di coronamento o fenomeni di eccessivo attrito dovuto al peso di questi strati.

STRATO DI PENDENZA

Ha la funzione di portare la pendenza della copertura al valore richiesto. Qualora questo strato non sia integrato all'elemento portante in fase di esecuzione dello stesso, esso è generalmente realizzato sia con massetti a geometria variabile in malta o calcestruzzi alleggeriti, sia con l'impiego di pannelli isolanti di EPS opportunamente sagomati con spessore decrescente dal colmo al coronamento, sia mediante la realizzazione di muricci ad altezza variabile e sovrastante solaio laterocementizio con funzione di supporto degli strati di tenuta e protezione (Fig. 5). Quando l'elemento termoisolante è collocato al di sotto dello strato di pendenza, le sue caratteristiche meccaniche devono essere tali da non generare nello strato di pendenza lesioni e fessurazioni con conseguenze negative agli strati soprastanti.

Occorre inoltre tener presente come la realizzazione di massetti di pendenza con materiali porosi che contengono un'alta percentuale di umidità residua, possa influenzare notevolmente il comportamento igrotermico complessivo del sistema di impermeabilizzazione qualora non si adottino opportuni accorgimenti per smaltire tale umidità nel tempo.

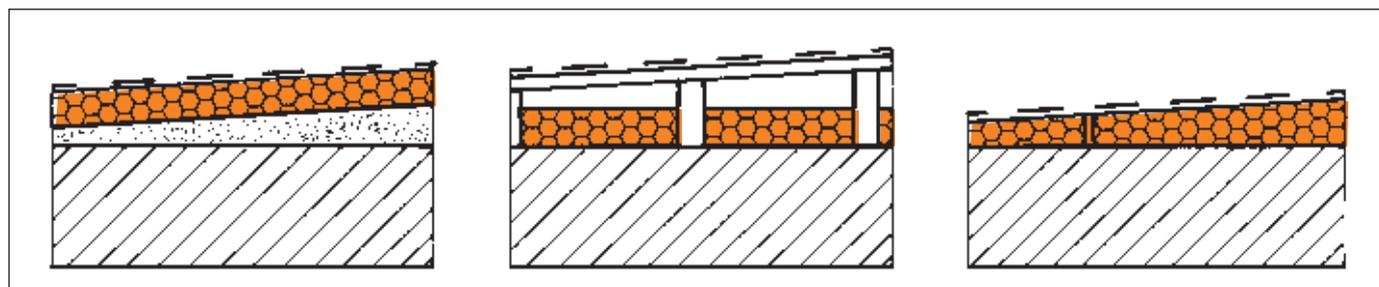


Fig. 4

STRATO DI DIFFUSIONE O DI UGUALIZZAZIONE DELLA PRESSIONE DI VAPORE

Ha la funzione di impedire la formazione di pressioni anomale all'interno della copertura, conseguenti all'evaporazione dell'acqua occlusa.

È posizionato al di sotto dello strato di tenuta nei casi in cui si possano verificare flussi di vapore in uscita dagli ambienti sottostanti o ristagno di acqua di costruzione negli elementi o strati sottoposti, quando cioè è necessario agevolarne il deflusso in atmosfera (Fig. 6). Tale strato deve essere messo in comunicazione con l'esterno sia mediante opportuni torrini evaporatori dislocati sulla superficie della copertura, sia attraverso aperture lungo il perimetro curando in ogni caso che non si verifichino permeazioni idriche (v. Particolari costruttivi).

STRATO DI BARRIERA AL VAPORE

Ha la funzione di impedire il passaggio di vapore d'acqua consentendo di controllare il fenomeno della condensa all'interno della copertura. Tale strato viene impiegato quando sopra lo strato coibente vi sono strati che impediscono la diffusione del vapore verso l'esterno e contemporaneamente vi è la formazione di rilevante umidità negli ambienti sottostanti la copertura oppure il materiale termoisolante è sensibile all'umidità.

La barriera al vapore deve venire posta sempre al di sotto del coibente; la caratteristica della sua impermeabilità al vapore è funzione del coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore μ propria del materiale e del suo spessore; per ottenere buone prestazioni occorre utilizzare barriere perfettamente stese e senza soluzioni di continuità (v. soluzioni conformi n. 8 a 11).

Lo strato può essere realizzato mediante applicazione, con tecniche diverse, di membrane in fogli, rotoli o simili a base di bitumi, elastomeri e plastomeri, oppure mediante prodotti sotto forma di paste o liquidi stesi in opera in modo da realizzare uno strato continuo e uniforme, di spessore costante, eventualmente con l'interposizione di armature specifiche costituite da lamine metalliche o veli di vetro.

Tra i materiali costituenti le membrane, quelli maggiormente impiegati sono i prodotti a base bituminosa il polietilene, il polivinile cloruro, il polipropilene; mentre i principali prodotti liquidi o in pasta vengono distinti in: bituminosi, epossidici, poliuretanic, acrilici, vinilici, ecc. In ogni caso devono venire applicati essenzialmente materiali qualificati secondo norme e controlli specifici.

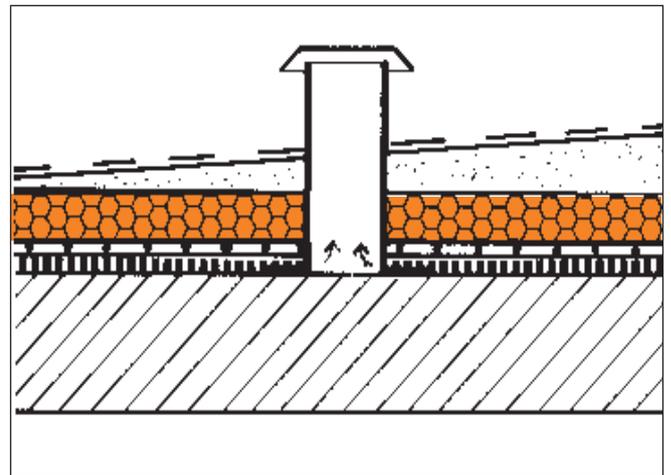


Fig. 4

I sistemi di applicazione dello strato di barriera al vapore sono molteplici: generalmente le membrane vengono incollate al supporto per punti, a strisce o su tutta la superficie, oppure semplicemente stese; è necessario fare molta attenzione alla risoluzione di punti singolari; ad esempio in corrispondenza di raccordi è opportuno far risvoltare il materiale fin sopra l'elemento isolante e farlo aderire allo strato di tenuta.

Se il supporto è costituito da lamiera grecata di acciaio è opportuno prevedere una barriera al vapore costituita da membrana polimerica/bituminosa totalmente incollata, con spessore minimo di mm 4, armata con tessuto.

L'incollaggio deve avvenire con prodotti idonei e compatibili con la superficie metallica del supporto, oppure mediante un sistema di saldatura a fiamma, facendo attenzione di non danneggiare la protezione anticorrosiva della lamiera.

Per supporti costituiti da elementi in legno o materiali legnosi, il fissaggio deve essere meccanico mediante chiodatura, predisponendo però uno strato di separazione tra i due elementi.

Lo strato di barriera al vapore evidenzia la possibilità che tale elemento svolga anche la funzione integrativa di tenuta all'aria.

STRATO DI TENUTA

Ha la funzione di conferire alla copertura la impermeabilità all'acqua meteorica, resistendo alle sollecitazioni fisiche, meccaniche e chimiche indotte dal contesto ambientale e dall'uso.

In relazione allo schema funzionale adottato, tale strato può essere localizzato all'estradosso della copertura, al di sotto dello strato di protezione o al di sotto dello strato isolante (Fig. 7).

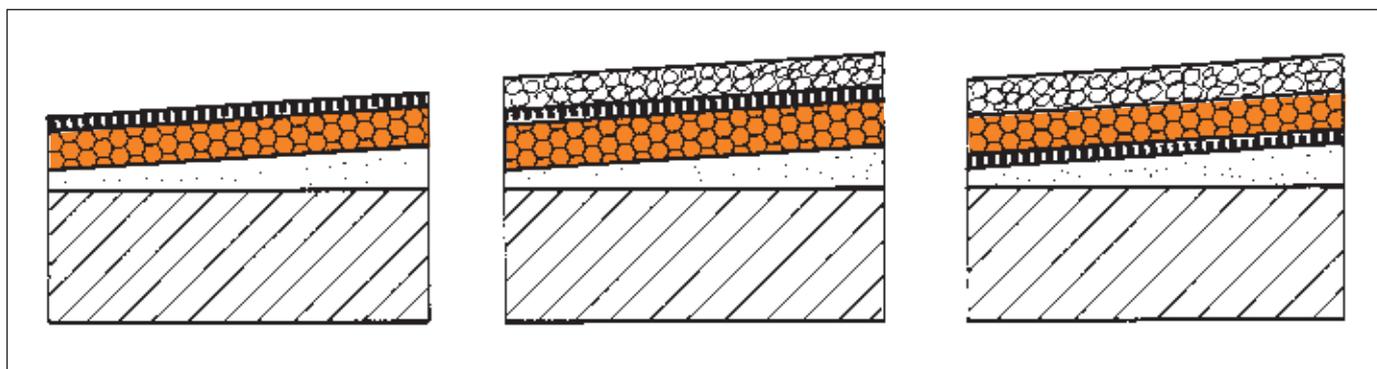


Fig. 7

I materiali più comunemente adottati possono così distinguersi:

- materiali forniti in foglio o simili costituiti da un componente di base come di seguito elencato, associato o no ad armature;
- bitumi e bitumi modificati;
- polimeri;
- loro miscele.

La norma fornisce i criteri di classificazione in base alla composizione della massa impermeabilizzante ai materiali di armatura e a quelli di finitura.

- materiali forniti sotto forma di liquidi, paste o solidi da applicare fusi, costituiti da componenti di base come di seguito elencati, associati o no ad armature:
- mastice di asfalto, malta asfaltica, asfalto colato;
- bitumi e bitumi modificati, anche in emulsione;
- catrami e catrami modificati;
- polimeri miscele dei componenti suddetti.

Dal momento che il comportamento all'acqua della copertura dipende essenzialmente dalle caratteristiche dei materiali di tenuta, è fondamentale il controllo delle prestazioni e proprietà di questi elementi.

Per le membrane a base bituminosa, in genere l'applicazione avviene in più strati incollati l'un l'altro.

In generale, si possono dare le seguenti indicazioni:

- membrane armate velo vetro in unione con membrane armate tessuto di juta o di vetro o poliestere: 3 strati;
- membrane armate tessuto di vetro o di juta o poliestere: 2 strati preferibilmente di diversa armatura;
- membrane bitume polimero: 2 strati di cui uno armato velo vetro e l'altro armato poliestere.

Le membrane a base di polimeri possono venire abbinare o meno a membrane bituminose, nel qual caso occorre verificarne attentamente la compatibilità e le tecniche di incollaggio. Nel caso di coperture praticabili con strato di tenuta direttamente posato su strato termoisolante compressibile, è necessario prevedere l'impiego di membrana bituminosa armata

onde realizzare un'adeguata ripartizione dei carichi ed evitare lacerazioni della membrana.

L'applicazione a contatto di prodotti non compatibili richiede l'interposizione di strati di separazione idonei; ciò vale in particolare per il contatto con EPS da parte di alcune membrane in PVC plastificato o di membrane bituminose con solventi.

Data la varietà di prodotti presenti sul mercato, è sempre consigliabile seguire le indicazioni del produttore. In caso di dubbio una risposta può essere ottenuta da una prova accelerata, ponendo a contatto per alcuni giorni i materiali in questione in una stufa a 70 °C.

STRATO TERMOISOLANTE

Ha la funzione di portare al valore richiesto la resistenza termica globale della copertura.

Deve essere adottato in tutti quei casi in cui si richiedono condizioni termoigrometriche particolari nei vani sottostanti la copertura, il contenimento dei disperdimenti energetici in base ai valori richiesti dalla normativa, la riduzione delle mobilità termiche dello strato portante, l'attenuazione dei fenomeni di condensazione superficiale verso l'ambiente interno.

La localizzazione dello strato termoisolante può trovare differenti collocazioni, anche in rapporto alla presenza o meno di strati di ventilazione e al grado di accessibilità della copertura. In particolare si può evidenziare quanto segue.

Copertura isolata e non ventilata

Si tratta di quella famiglia di coperture anche nota col nome di "tetto caldo".

a) *Strato isolante al di sotto dell'elemento portante* (Fig. 8).

Tale soluzione, poco diffusa a causa del conseguente difficile controllo del comportamento igrometrico, è per

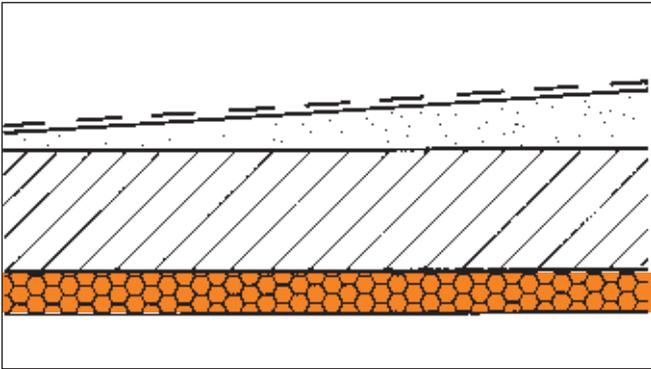


Fig. 8

lo più adottata in situazione di recupero di sottotetti ad uso residenziale, laddove non è possibile porre l'isolamento termico verso l'esterno della copertura.

Questa localizzazione tende ad esaltare i movimenti di origine termica dello strato portante con ripercussioni sugli strati sovrastanti. La presenza di barriera al vapore, di solito necessaria, costituisce una complicazione esecutiva, mentre l'esistenza di elementi strutturali verticali ne impedisce la continuità.

b) *Strato isolante al di sotto dello strato di tenuta* (v. soluzioni conformi 4 a 14).

Si possono presentare due schemi funzionali ricorrenti: b1) strato isolante con massetto di pendenza o ripartizione sovrapposta.

Mentre l'elemento portante risulta efficacemente protetto nei confronti dei movimenti termici, il massetto di pendenza è particolarmente sollecitato e necessita di adeguato dimensionamento e della presenza di armatura di assorbimento delle tensioni di trazione.

In condizioni climatiche estreme (notevoli escursioni, shock termici) occorre predisporre opportuni giunti di dilatazione. La collocazione dello strato coibente al di sotto di un massetto umido richiede l'impiego di prodotti con limitata igroscopicità, quali l'EPS.

b2) Strato isolante sovrapposto al massetto di pendenza.

In questo caso tutte le stratificazioni funzionali della copertura risultano protette rispetto alle sollecitazioni indotte dalle variazioni di temperatura e soleggiamento, ad eccezione dello strato di tenuta il quale, rispetto alle soluzioni precedenti, è particolarmente sottoposto a shock termico; è pertanto sempre consigliabile la posa in indipendenza e l'adozione di opportuno strato di protezione superficiale.

c) *Strato isolante sovrapposto allo strato di tenuta* (v. soluzione conforme n. 15).

Si tratta della soluzione cosiddetta a "tetto rovescio".

Essa consente di evitare la posa dello strato di barriera al vapore, ma, per contro, espone il prodotto isolante più o meno direttamente agli agenti atmosferici. È quindi necessario l'impiego di materiali non igroscopici, come EPS, resistenti al gelo e alle sollecitazioni meccaniche di calpestio (anche per sola manutenzione).

È particolarmente importante l'adozione di elementi di protezione e zavorramento sovrapposti.

Copertura isolata e ventilata

La presenza dello strato di ventilazione consente un migliore controllo degli effetti dell'irraggiamento solare estivo e un efficace smaltimento del vapore in uscita dagli ambienti, grazie al lavaggio termico che si realizza nell'intercapedine di aerazione. Questa è realizzata al di sopra dello strato isolante e, per questo, è necessario che il materiale coibente sia di tipo rigido, poco comprimibile, sottoposto ad uno strato di ripartizione dei carichi: ciò al fine di poter realizzare il vincolo tra l'impalcato superiore e quello portante senza interrompere la continuità del coibente.

Per la scelta del tipo di coibente da adottare è necessario considerare attentamente le caratteristiche della copertura da isolare e il grado di accessibilità previsto; è anche necessario che il prodotto risulti indeformabile, stabile, resistente alla temperatura, conformabile alla geometria della copertura.

A tali requisiti l'EPS di qualità risponde perfettamente. È necessario che venga impiegato solo materiale conforme alla normativa e provvisto di marchio di qualità. In genere, vengono impiegate lastre di dimensioni non superiori a m 0,60x1,20, con bordi lisci o preferibilmente battentati, così da realizzare una migliore continuità dello strato coibente. Lastre di dimensioni maggiori possono dar luogo, in corrispondenza dei giunti, a sollecitazioni eccessive negli strati adiacenti.

Le lastre EPS sono facilmente adattabili alle diverse situazioni specifiche di applicazione, in quanto possono venire sagomate in cantiere partendo dai formati standard.

La dimensione minima dello spessore dell'elemento termoisolante deve essere conforme a quanto prescritto dalla Legge 10 del 9.1.91 per il contenimento dei consumi energetici.

La conduttività utile di calcolo risulta pertanto:

- EPS 15 0,045 W/mK
- EPS 20 0,041 W/mK
- EPS 25 0,040 W/mK
- EPS 30 0,040 W/mK
- EPS 35 0,040 W/mK

Nel caso in cui lo strato di tenuta deve essere applicato a caldo direttamente sullo strato isolante, è partico-

larmente utile l'impiego di EPS preaccoppiato con una membrana bituminosa; ciò può essere realizzato sia con lastre in cui la membrana è sporgente su due lati adiacenti così da realizzare un sormonto con le lastre contigue (Fig. 9), sia con strisce di EPS di lunghezza limitata applicate su un telo continuo; in questo caso il complesso può essere arrotolato per il trasporto (Fig. 10) e la posa per srotolamento è molto rapida.

Altre forme da ricordare sono le lastre tagliate a cuneo per realizzare le pendenze di scolo (Fig. 11) e i pannelli per tetto giardino; quest'ultimo è un particolare tipo di tetto rovescio che sta riscuotendo particolare attenzione all'estero; in una delle versioni più interessanti le lastre di EPS sono stampate in modo da realizzare, all'intradosso, un buon deflusso dell'eccesso di acqua meteorica e per contro all'estradosso una riserva d'acqua per il terreno soprastante (Fig. 12).

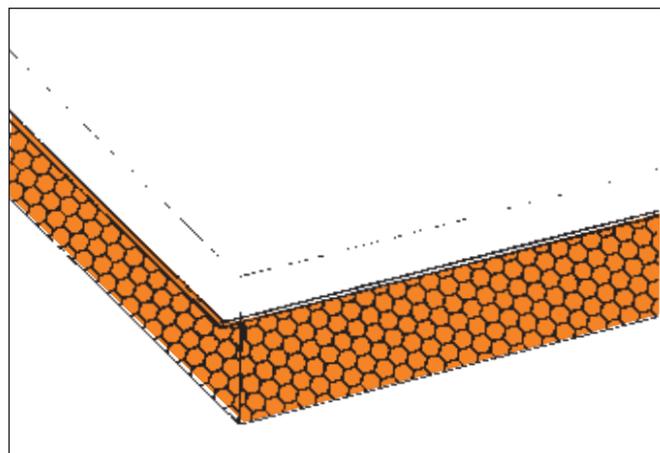


Fig. 9

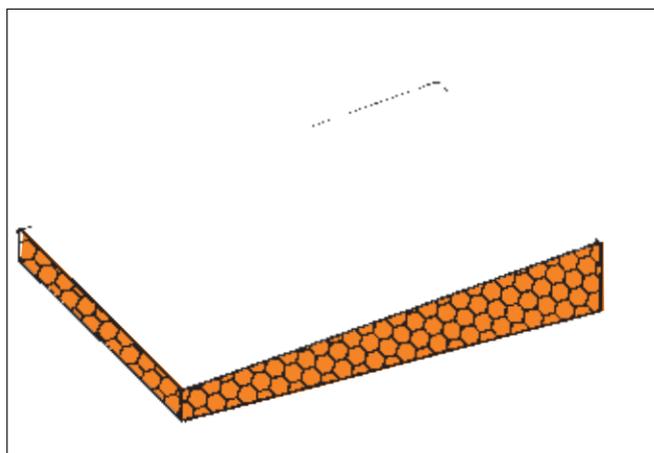


Fig. 11

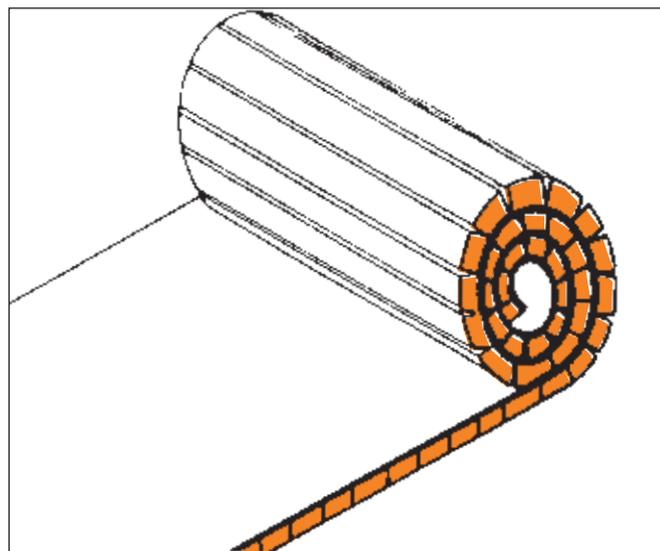


Fig. 10

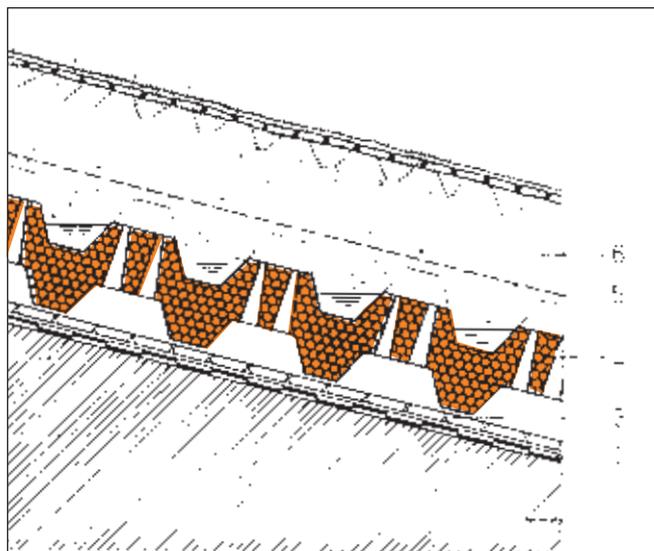


Fig. 12

STRATO DI VENTILAZIONE

Nel caso di "copertura ventilata" lo strato ha la funzione di smaltire, nella stagione fredda, il vapore proveniente dagli ambienti interni e, nella stagione calda, di ridurre attraverso moti d'aria convettivi il calore che altrimenti potrebbe raggiungere i locali sottostanti la copertura.

Lo strato di ventilazione, che deve sempre venire collocato tra l'elemento di tenuta e lo strato termoisolante, viene generalmente realizzato mediante elementi distanziatori che assolvono anche alla funzione portante per lo strato di tenuta; si tratta in genere di arcarecci metallici, laterizi forati, muricci e tavelloni, ecc. (v. soluzioni conformi n. 17 e 18). In ogni caso è necessario garantire una ventilazione costante e generale di tutto il volume, con aperture

collocate preferibilmente lungo il perimetro, da dimensionarsi in relazione al flusso d'aria in transito e al carico termico complessivo della copertura. Qualora l'intercapedine abbia sezione costante è necessario verificare che non si determinino variazioni di spessore causate da impianti, strutture, ecc. Le aperture vengono realizzate mediante appositi elementi integrati con quelli che costituiscono il coronamento, concepiti in modo da impedire infiltrazioni idriche dovute a pioggia di stravento. Sono in ogni caso da preferire elementi che realizzino aperture continue, tipo feritoie, che garantiscono un contatto diretto tra esterno e camera d'aria e che siano provvisti di reti di protezione per impedire l'intrusione di animali.

È necessario inoltre che la superficie inferiore garantisca la tenuta all'aria verso gli ambienti sottostanti: qualora il materiale costituente l'impalcato non sia in grado di garantire tale requisito, occorre collocare uno strato di tenuta all'aria che contribuisca ad impedire infiltrazioni negli ambienti sottoposti.

ELEMENTO DI COLLEGAMENTO

Può essere costituito da un elemento o da un insieme integrato di elementi aventi la funzione di assicurare il collegamento tra strati e/o elementi contigui:

- elemento di tenuta e portante;
- strato termoisolante e supporto.

L'elemento può essere realizzato mediante chiodatura, rivettatura, avvitaglio, adesione chimica, saldatura. In alcune situazioni specifiche, esso può assolvere a funzioni integrative quali il controllo dei movimenti igrotermici dello strato isolante nel caso in cui questo è realizzato mediante pannelli.

STRATO DI PROTEZIONE

È lo strato più esterno e ha la funzione di proteggere gli strati sottostanti (in particolare quello di tenuta o quello termoisolante) dalle sollecitazioni indotte da agenti atmosferici, meccanici, fisici, termici, chimici e radiativi.

In tal senso esso è determinante al fine della durata della copertura e deve essere opportunamente considerato in rapporto ai materiali interagenti e alla geometria della superficie, curando in modo particolare la continuità di posa e la soluzione dei punti singoli.

Lo strato di protezione è localizzato o al di sopra dell'elemento di tenuta con eventuale interposizione dello strato di separazione oppure al di sopra dello strato isolante nel caso di copertura rovescia. Può

svolgere anche la funzione di strato di ripartizione dei carichi.

Su impermeabilizzazioni posate in indipendenza lo strato di protezione funge anche da zavorramento contro il sollevamento dovuto al vento e, nel tetto rovescio, deve opporsi alla spinta di galleggiamento dell'isolante.

La protezione può essere applicata in stabilimento (granulati, scaglie minerali, finitura metallica) o direttamente in opera; in questo caso le tipologie più diffuse sono:

- pitturazioni
- quadrotti prefabbricati su distanziatori
- ghiaia
- elementi in calcestruzzo autobloccanti su sabbia
- getti armati o quadrotti gettati in opera su strato di separazione.

STRATO DRENANTE

Ha la funzione di raccogliere e smaltire l'acqua pervenuta all'interno della copertura, generalmente in presenza di soluzioni a giardino pensile o a copertura rovescia qualora si debba agevolare lo smaltimento idrico al di sotto dello strato isolante.

Può essere realizzato mediante:

- materiali sfusi (ghiaia, argilla espansa, ecc.);
- lastre di PSE opportunamente sagomate;
- fogli a base bituminosa scanalati o rivestiti con granuli (nel caso di tetto rovescio).

Lo strato drenante è collocato al di sopra dello strato di tenuta (v. soluzioni conformi n. 7, 11, 14).

STRATO FILTRANTE

È in genere adottato nelle soluzioni a giardino pensile o a copertura rovescia, nel caso in cui occorra evitare che particelle fini degli strati sovrastanti (terreno vegetale o protezioni in materiali sfusi) possano essere trasportate dall'acqua di dilavamento superficiale (v. soluzioni conformi n. 7, 11, 14 a 16). Il materiale generalmente impiegato è a base di prodotti sintetici (ad esempio poliestere tessuto non tessuto).

REQUISITI E PRESTAZIONI

Il sistema costituente una copertura continua deve essere in grado, sotto l'effetto degli agenti esterni e secondo le specifiche condizioni di impiego, di fornire un insieme di prestazioni in relazione alla sicurezza, al benessere, alla fruibilità e di assicurarne il mantenimento nel tempo.

STABILITÀ E RESISTENZA MECCANICA

Il sistema di copertura deve essere in grado di sopportare le sollecitazioni dovute all'azione di carichi sia statici che dinamici previste in sede di progetto, senza che si verifichino deformazioni o rotture tali da compromettere il funzionamento dell'insieme e l'incolumità degli utenti.

Il compito di assicurarne la stabilità e resistenza meccanica è essenzialmente svolto dagli elementi strutturali che devono essere dimensionati in base ad ipotesi di carico che dipendono dalle presunte condizioni di esercizio e dal contesto meteorico in cui la copertura si colloca, in conformità a quanto previsto dalla normativa vigente.

La copertura deve quindi poter resistere alle sollecitazioni meccaniche imposte, oltre che dal peso proprio, dai sovraccarichi generati da agenti naturali quali neve, pioggia, grandine, o artificiali dovuti alla presenza di sovrastrutture, impianti, ecc.; alle sollecitazioni dovute a movimenti trasmessi dalla costruzione sottostante, come assestamenti, oscillazioni e vibrazioni, o a stati tensionali anomali oppure incrinature della struttura portante per effetto dei processi di indurimento ed essiccazione.

In particolare, occorre valutare attentamente gli effetti del vento in termini di pressione cinetica del flusso e di variazione repentina di direzione ed intensità (colpo di vento).

Tali azioni possono determinare depressioni anomale o sollecitazioni dirette sugli strati ed elementi esposti, soprattutto in corrispondenza delle zone di bordo, provocando traslocazioni dei componenti superficiali ed accessori o sollevamento dello strato di tenuta o di isolamento termico (nel caso di copertura rovescia).

Al fine di ottenere adeguata sicurezza allo strappo per effetto del vento è possibile intervenire nei modi seguenti:

- a) mediante carico (zavorramento);
- b) con applicazione ad incollaggio;
- c) con fissaggio meccanico.

Lo strato di tenuta deve essere in grado di sopportare i carichi di esercizio dovuti al grado di accessibilità della copertura senza subire danneggiamenti (perforazione o deformazione) che ne possono compromettere la funzione.

Le sollecitazioni più significative sono di tipo statico (carico di durata lunga, quale i sovraccarichi permanenti o quelli dovuti a movimenti differenziali di origine termica impediti dal contatto cogli strati adiacenti, in particolare quello isolante) e di tipo dinamico (shoks) dovute alla caduta di oggetti.

COMPORAMENTO AL FUOCO

L'insieme degli elementi e degli strati costituenti la copertura deve resistere all'azione del fuoco mantenendo inalterate le condizioni di sicurezza per il tempo necessario affinché gli utenti possano mettersi in salvo.

In relazione alle destinazioni d'uso dell'edificio ed in particolare degli ambienti sottostanti la copertura, la vigente normativa italiana in taluni casi richiede tempi specifici di resistenza al fuoco delle strutture in genere e quindi anche di quelle relative alla copertura.

La normativa relativa agli edifici di civile abitazione non impone particolari prescrizioni relative alle coperture né ai materiali costituenti, ma è comunque necessario che gli elementi posti all'estradosso non contribuiscano alla propagazione delle fiamme, anche in relazione ad incendi provenienti dall'esterno (ad esempio per caduta di fulmine, contatto diretto di materiale infiammato, ecc.).

Per quanto riguarda lo strato isolante, è in ogni caso consigliabile l'impiego di EPS con caratteristiche di ritardata propagazione di fiamma, contrassegnato dalla sigla RF dopo la designazione del tipo.

ISOLAMENTO TERMICO

Il sistema di copertura deve contribuire all'ottenimento del comfort ambientale interno e al risparmio energetico conformemente alla vigente normativa in materia di riduzione dei disperdimenti termici invernali.

Sotto il profilo del benessere termico estivo, inoltre esso deve garantire adeguati livelli di smorzamento e sfasamento dell'onda termica dovuta all'irraggiamento solare; in questo caso risultano determinanti ai fini di un buon funzionamento della copertura sia l'inerzia termica che l'isolamento connesso alla presenza dello strato termoisolante, alla sua corretta collocazione e alle caratteristiche del materiale.

Il fatto che, generalmente, la copertura piana si configuri come chiusura orizzontale dell'edificio senza interposizione di un volume non abitabile tra copertura ed ambienti sottostanti, rende particolarmente importante il controllo del flusso di calore in uscita dai locali riscaldati e gli apporti di energia radioattiva estiva per effetto dell'insolazione al fine di conservare accettabili livelli di qualità ambientale complessiva.

L'adozione di uno strato di ventilazione può risultare particolarmente utile per il controllo del comportamento del sistema in situazione estiva.

Parimenti l'impiego di un prodotto isolante caratterizzato da basso valore di conducibilità termica e notevole stabilità nel tempo quale è l'EPS risulta par-

ticolaramente adatto al soddisfacimento del requisito in oggetto anche in termini di durabilità.

L'isolamento termico del sistema di copertura è strettamente legato alla tenuta all'aria dello stesso. Si devono pertanto evitare migrazioni d'aria fra esterno e interno ed eliminare la possibilità che si inneschino moti convettivi a ridosso dello strato isolante che ne riducano il livello prestazionale.

Va tuttavia considerato come l'impiego di algoritmi di calcolo in regime stazionario, la relativa incertezza dei valori di conduttività dei materiali, la valutazione dei ricambi d'aria e il reale funzionamento degli impianti termici consigliano di adottare opportuni coefficienti di maggiorazione nel dimensionamento della resistenza termica del sistema di copertura. In particolare nel caso del tetto rovescio, la possibilità che l'acqua meteorica venga in contatto diretto con le stratificazioni sottostanti l'isolamento, con conseguente raffreddamento più o meno rapido a seconda della loro inerzia termica, consiglia di aumentare la resistenza termica dello strato isolante di almeno il 10% o di ricorrere ad un sistema sandwich.

CONTROLLO DELLA CONDENSAZIONE

Il sistema di copertura deve garantire il controllo dei fenomeni di diffusione del vapore acqueo, così da evitare la formazione di condensa sia sulle superfici che all'interno degli strati. La localizzazione dello strato isolante e l'eventuale presenza di dispositivi di freno o barriera al vapore, insieme allo strato di ventilazione, sono fondamentali ai fini del soddisfacimento del requisito in oggetto.

La collocazione del coibente all'estradosso del solaio ottimizza il comportamento del sistema sotto il profilo termoigrometrico, dal momento che in nessuna stratificazione le pressioni effettive di vapore raggiungono il punto di saturazione; inoltre, in tal modo si ottiene un incremento dell'inerzia termica della copertura e una riduzione delle mobilità degli strati ed elementi sottoposti al coibente.

Lo strato di tenuta all'acqua è necessariamente uno strato ad alta resistenza al passaggio del vapore e quindi diventa assolutamente necessario in fase progettuale analizzare la diffusione del vapore in rapporto alla soluzione tecnica prevista, alla successione delle stratificazioni funzionali e alle loro caratteristiche di permeabilità al vapore, alle condizioni termoigrometriche esterne ed interne di esercizio, con riferimento alle circostanze più gravose anche se meno frequenti. In genere il controllo della condensazione interstiziale può essere eseguito mediante il

sistema di Glaser, dal quale si ottengono i seguenti risultati:

- verifica della possibilità che il vapore accumulato durante il periodo invernale sia smaltito in estate;
- controllo che, a condensazione avvenuta, il contenuto di umidità all'interno delle stratificazioni sia inferiore a quello ammissibile per ogni materiale;
- evidenziazione dell'eventuale opportunità di munire lo strato di tenuta di dispositivi di sfogo verso l'esterno (v. particolari costruttivi).

TENUTA ALL'ACQUA

Il sistema di copertura deve impedire il passaggio di acqua sia meteorica che eventualmente presente per svariate cause attraverso le stratificazioni funzionali, onde evitare infiltrazioni all'interno degli ambienti sottoposti e il degrado di altri elementi.

La tenuta all'acqua è completamente affidata alla perfetta realizzazione dell'impermeabilizzazione della copertura; da ciò deriva la necessità che le saldature fra le membrane e i raccordi dei punti singolari siano effettuati in modo tale da garantire nel tempo la continuità ed integrità dello strato di tenuta.

L'accurato studio della morfologia delle aree di drenaggio, della localizzazione e numero dei bocchettoni di scarico, della pendenza dei bacini di raccolta permette di controllare l'esatto smaltimento dell'acqua meteorica in funzione della geometria complessiva della copertura.

DURABILITÀ

La durata nel tempo di livelli di prestazione accettabili deve essere garantita dal sistema di copertura nel suo complesso e dai singoli elementi componenti.

In tal senso, la copertura deve poter resistere, per il tempo di vita utile prefissato, alle azioni indotte da:

- formazione di gelo dovuto a ristagno idrico in punti singolari critici;
- alternanza del fenomeno di gelo e disgelo;
- shock termico dovuto a repentini sbalzi di temperatura;
- attacco di agenti biologici di degrado di origine animale o vegetale;
- attacco di agenti chimici aggressivi;
- presenza di acqua meteorica che possa innescare corrosioni elettrochimiche;
- operazioni di manutenzione che possono produrre deformazioni permanenti o punzonamenti;
- errato uso da parte degli utenti nel caso di coperture praticabili.

ISOLAMENTO DEI TETTI PIANI CON EPS

Per quanto riguarda lo strato coibente, la durabilità del EPS di qualità correttamente posato (in pratica se non è esposto direttamente alla radiazione solare) è ormai provata da più di 30 anni di esperienza applicativa. La sua assoluta inerzia chimica garantisce poi che l'EPS non provoca degradi nemmeno nelle altre parti della copertura con cui è a contatto.

PRESCRIZIONI PER LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE

La molteplicità delle soluzioni conformi in relazione ai diversi schemi funzionali menzionati, nonché la varietà dei prodotti utilizzabili per la realizzazione delle stratificazioni e la complessità dei meccanismi di interazione sia tra i componenti la copertura che tra la copertura e gli altri elementi tecnici e subsistemi edilizi, comportano prescrizioni progettuali e costruttive molto articolate la cui trattazione esula dall'impostazione del presente Quadro. In termini molto generali, si può comunque evidenziare quanto segue.

1. L'analisi del tipo di supporto strutturale deve essere condotta con estrema cura in termini di esatta valutazione delle possibili deformazioni sotto carico e mobilità inerenti, al fine di provvedere ad un suo eventuale irrigidimento o alla realizzazione di giunti di frazionamento delle stratificazioni sovrapposte; l'esecuzione su un tetto esistente di una copertura pesante (giardino pensile, parcheggio, invaso d'acqua, ecc.) impone sempre il controllo statico degli elementi portanti.

Dal momento che l'elemento di tenuta è di tipo continuo e molto spesso applicato in condizioni di aderenza o semiaderenza al supporto, è opportuno controllare accuratamente i possibili movimenti di tipo elastico o termico cui sono sottoposti gli elementi strutturali al fine di evitare rischi di fessurazioni. Pertanto dal punto di vista della progettazione occor-

re controllare in sede di calcolo e dimensionamento il fenomeno delle mobilità indotte all'elemento portante, con impiego di opportune armature che ne ripartiscano gli effetti su superfici più estese, riducendo gli sforzi tensionali cui potrebbero venire sottoposti gli strati collocati superiormente.

A tal proposito si osserva come la collocazione dello strato isolante al di sopra dell'elemento portante riduca decisamente i movimenti di origine termica; viceversa nel caso in cui l'elemento isolante viene posto all'intradosso dell'impalcato strutturale, tali movimenti possono assumere valori assai più rilevanti e produrre anomalie funzionali sia allo strato di tenuta, con conseguenti fenomeni di infiltrazione, sia agli elementi murari sottostanti.

2. La pendenza della copertura, in generale deve essere compresa tra l'1,5% e il 3% ed essere costruita con cura onde evitare ristagni idrici; nel caso di copertura pedonabile, il valore della pendenza non dovrebbe superare il 2%; il Quadro seguente dà qualche indicazione supplementare.

Al fine di evitare massetti di pendenza di spessore eccessivo, occorre analizzare i possibili bacini di drenaggio affinché colmi e displuvi risultino di lunghezza contenuta.

La morfologia delle aree di drenaggio deve tener conto che la pendenza dei bacini sia il più possibile uniforme e regolare e che non si creino zone di contropendenza che ostacolano il flusso dell'acqua.

Lo smaltimento idrico avviene lungo i compluvi attraverso il canale che si crea per l'intersezione delle geometrie, oppure lungo un canale di bordo in relazione alla conformazione delle falde. La Figura 13 illustra le varie configurazioni.

Il bocchettone di scarico che intercetta il flusso è conformato in funzione della composizione delle stratificazioni della copertura; essa deve essere dimensionata in base all'area di drenaggio di pendenza e al regime pluviometrico locale.

3. La barriera al vapore, qualora necessaria, deve essere applicata con continuità e risvoltata in corri-

Finitura	Praticabilità	Pendenza minima	Pendenza massima
autoprotetto	praticabile per la sola manutenzione	1,5 - 2%	
ghiaia sciolta	praticabile per la sola manutenzione	3%	
pavimentazione in quadrotti o materiale similare	praticabile per l'uso	1,5% - 2%	3%
giardino pensile	praticabile per l'uso	2,5%	



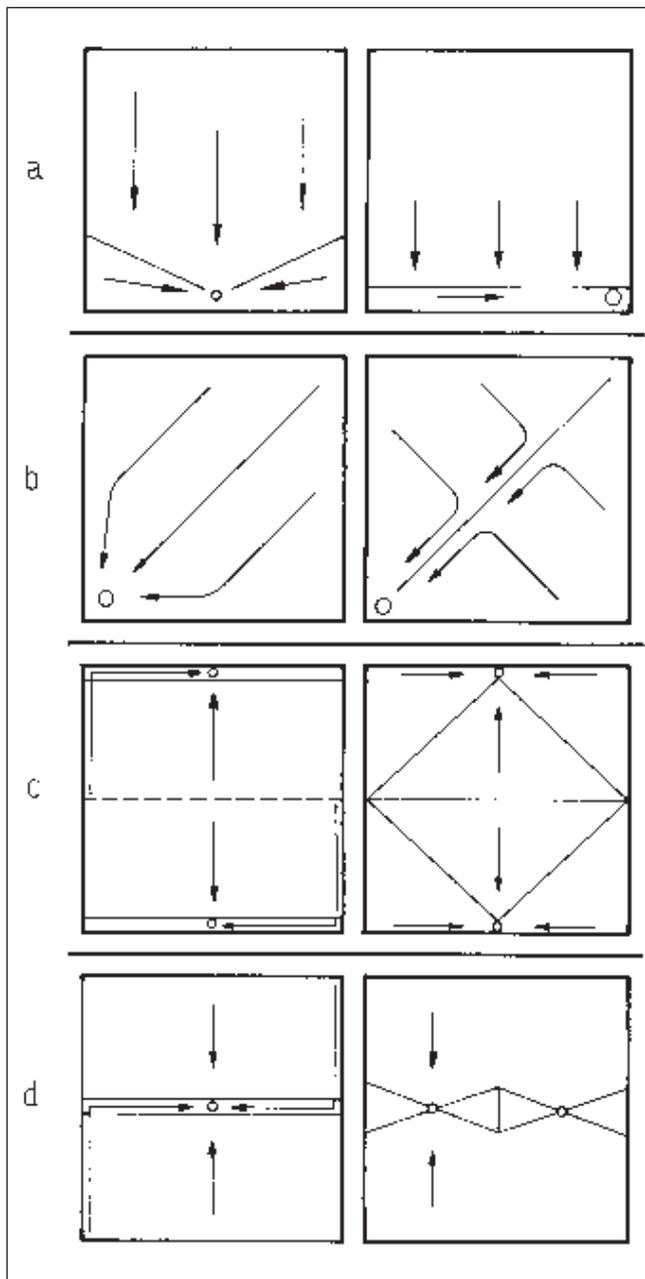


Fig. 13 - a) con pendenza parallela al pendio
 - b) con pendenza diagonale al pendio
 - c e d) scarico centrale

spondenza dei bordi della copertura e dei dispositivi di attraversamento; in presenza di supporto discontinuo, occorre prevedere sistemi di giunzione che disattivano eventuali mobilità differenziali evitando lacerazioni del prodotto.

La barriera al vapore può essere applicata in aderenza o in semiaderenza (incollaggio per punti o per strisce): nel primo caso è bene interporre uno strato di separazione tra barriera al vapore e supporto.

4. L'EPS deve avere massa volumica sufficiente a resistere ai carichi permanenti e di esercizio senza subire deformazioni plastiche; indicazioni generali per i vari tipi di copertura sono state fornite nella descrizione degli strati; in casi particolari si può tener presente il criterio secondo cui il carico permanente non superi $1/5$ della sollecitazione al 10% di deformazione previsto dalla UNI 7819 per ogni massa volumica.

Nei sistemi in cui l'EPS è applicato in aderenza allo strato di tenuta è necessario accertarsi che quest'ultimo resista ai tensionamenti di origine termica indotti dalle variazioni della temperatura esterna, secondo le indicazioni della Direttiva sugli isolanti supporto di impermeabilizzazione.

Quando l'EPS è localizzato direttamente al di sotto della membrana impermeabile, può resistere al massimo alla temperatura di 80°C . Nei rari casi (per es. climi tropicali) in cui si possono temere temperature più elevate, occorre prevedere un diverso sistema (strato di protezione e/o strato di ventilazione).

Qualora lo spessore dello strato isolante sia particolarmente significativo (10 cm o più), è consigliabile prevedere la posa di due strati sfalsati tra di loro.

Nel caso di copertura non zavorrata, i pannelli isolanti devono essere opportunamente vincolati al supporto al fine di resistere alle trazioni indotte dalle depressioni localizzate del vento.

5. La ventilazione in coperture ventilate è realizzata mediante intercapedine e dispositivi di immissione ed estrazione dell'aria; la dimensione delle coperture e l'altezza dello strato di aerazione dipendono dalle condizioni termoigrometriche del contesto ambientale interno ed esterno, dalla pendenza delle falde e dall'esposizione della copertura ai venti dominanti. In generale nel caso di coperture a minima pendenza, la ventilazione si attiva per effetto del vento e delle differenze di pressione ai bordi.

In tale circostanza, l'intercapedine di ventilazione non deve essere inferiore a 20 cm e la sezione di immissione ed estrazione pari a $1/150$ della superficie ventilata; nel caso di coperture con pendenza maggiore del 9% la sezione di immissione sul lato gronda può essere pari a $1/600$ della superficie ventilata, mentre quella di estrazione su colmo può essere di $1/500$.

È possibile realizzare l'area mediante apertura continua dello spessore minimo di cm 2, provvista di opportuna griglia anti insetti.

6. Il materiale da impiegare come strato di tenuta deve essere prescelto in modo che sia compatibile,

ISOLAMENTO DEI TETTI PIANI CON EPS

dal punto di vista funzionale, chimico fisico e della tecnologia applicativa, con gli altri strati con cui è a contatto; in particolare le alte temperature relative ai processi di saldatura tra membrane o l'impiego di adesivi chimici o primer solventi richiedono il controllo della sua compatibilità con l'EPS ed eventualmente l'adozione di stratificazioni integrative di protezione.

La geometria e la morfologia della copertura, qualora comportino l'insorgenza di numerosi 12 punti singoli, possono complicare l'applicazione dello strato di tenuta o moltiplicarne i giunti con maggiore rischio di perdita prestazionale in termini di impermeabilità.

La posa in opera deve essere effettuata su supporti asciutti, privi di asperità e in generale in condizioni atmosferiche caratterizzate da basso tasso di umidità e temperatura sopra zero; in corrispondenza di spigoli e risvolti è opportuno realizzare raccordi arrotondati con eventuali rinforzi.

Lo strato di tenuta deve essere protetto contro il sollevamento per carico di vento. Se l'impermeabilizzazione è posata in indipendenza occorre prevedere lo zavorramento mediante uno strato di ghiaia (nel caso di copertura non praticabile) o una pavimentazione pesante, con funzione anche di protezione superficiale.

La tabella seguente fornisce i valori del carico di zavorra da tenere in considerazione in funzione dell'altezza dell'edificio.

Altezza della gronda dal terreno m.	Carico	
	zona perimetrale kg/m ²	zona interna kg/m ²
fino a 8	80	40
oltre 8 fino a 20	130	65
oltre 20	180	80

Protezione contro il sollevamento per carico dovuto al vento

Nel caso del tetto rovescio il carico di zavorra deve essere anche superiore alla spinta di galleggiamento (10 kg/m² per ogni cm di spessore di EPS).

Il raccordo delle membrane con le zone perimetrali deve essere realizzato in modo da impedire l'infiltrazione del vento.

Nel caso di posa in semiaderenza o in aderenza, sia che l'applicazione avvenga mediante incollaggio o meccanicamente, è necessario che sia verificata una notevole resistenza allo strappo; in presenza di fissaggio meccanico, in genere sono da prevedersi 4 fissaggi per m² di superficie, mentre in corrispondenza dei bordi e degli angoli tale frequenza deve

essere di almeno 6 e 9 fissaggi per m² rispettivamente il raccordo con le superfici verticali deve avere un'altezza di almeno 15 cm al di sopra dell'ultimo strato; la membrana deve essere vincolata al bordo e protetta superiormente con dispositivi meccanici (scossaline) o opportune sagomature degli elementi murari (gusci, sguinci, scanalature, ecc.) onde evitare infiltrazioni di acqua di dilavamento della parete verticale.

7. Lo strato di protezione, qualora realizzato con pavimentazione in quadrotti di cemento o piastrelle su sottofondo in malta, deve essere frazionato in superfici non maggiori di 6 m² e presentare un giunto perimetrale di almeno 2 cm in corrispondenza di tutti i risalti.

È consigliabile l'adozione di uno strato separatore (sabbia, membrane sintetiche, ecc.). Nel caso di forte sollecitazione (traffico pesante) la protezione deve avvenire con massetto di calcestruzzo o lastre prefabbricate (2,5 mx2,5 m) il cui dimensionamento dipende dai carichi di esercizio.

8. I raccordi con emergenze tecniche (camini, esalatori, ecc.) devono essere realizzati con anelli di tenuta, flange adesive o flange di serraggio in relazione al tipo di membrana impermeabile adottata e alle caratteristiche delle emergenze.

MANUTENZIONE

Manutenzione ordinaria

La manutenzione ordinaria ha la funzione di verificare con periodicità che le caratteristiche iniziali di funzionamento della copertura siano sostanzialmente inalterate; essa si esplica attraverso sopralluoghi, con frequenza generalmente annuale o dopo eventi atmosferici eccezionali, finalizzati ad evitare che piccoli guasti limitati si trasformino in patologie rilevanti per assenza di interventi di ripristino localizzati.

Mediante operazioni di manutenzione ordinaria è possibile procedere all'asportazione di detriti e depositi vari che si accumulano per effetto del vento e degli utenti (nel caso di copertura praticabile), al mantenimento in efficienza del sistema di evacuazione idrica e dei dispositivi di realizzazione dei punti singoli.

Inoltre, con minore periodicità, la manutenzione ordinaria permette di ripristinare le sigillature tra scossaline, pannellature cementizie, giunti di frazionamento e dilatazione così come i rivestimenti protettivi dello strato di tenuta.



Manutenzione straordinaria

Si effettua in genere dopo qualche decennio di vita della copertura (in funzione della durabilità dei materiali impiegati e del verificarsi di eventi meteorologici eccezionali) e comporta la sostituzione sistematica di porzioni anche consistenti di componenti che per usura o invecchiamento risultano degradati al punto da compromettere l'affidabilità dell'intero sistema.

Questo tipo di manutenzione richiede in genere l'intervento di manodopera specializzata e l'ausilio di opere provvisorie e di attrezzature di cantiere consistenti. In considerazione di ciò si può osservare come l'impiego di prodotti particolarmente durevoli e resistenti agli agenti aggressivi, a fronte di un maggiore investimento iniziale, possa ritardare anche di molto il rifacimento delle parti ammalorate; così come l'attenzione progettuale e la corretta esecuzione del sistema allunga la periodicità degli interventi manutentivi.

L'intervento di manutenzione straordinaria può essere anche l'occasione per attuare nel modo più economico un rafforzamento dell'isolamento termico della copertura.

DETTAGLI COSTRUTTIVI

Di seguito vengono riportati alcuni significativi dettagli costruttivi relativi ai più comuni sistemi di copertura continua, con particolare attenzione ai punti singoli più ricorrenti.

LEGENDA

- 1 elemento di tenuta
- 2 massetto di pendenza
- 3 EPS
- 4 solaio
- 5 barriera al vapore
- 6 strato di diffusione del vapore
- 7 ghiaia
- 8 strato di scorrimento
- 9 scossalina
- 10 sigillatura
- 11 supporto continuo in legno
- 12 elemento di tenuta autoprotetto

- 13 guarnizione in neoprene
- 14 pavimentazione in quadrotti prefabbricati
- 15 supporto mobile
- 16 soglia
- 17 parapetto
- 18 elemento di coronamento prefabbricato
- 19 fiorera prefabbricata
- 20 strato di livellamento
- 21 strato filtrante
- 22 strato drenante
- 23 strato antiradice
- 24 rete di ancoraggio radici
- 25 terreno di coltura
- 26 strato di ventilazione
- 27 listellatura
- 28 bocchettone
- 29 pioviale
- 30 tubo di troppo pieno
- 31 torrino di evaporazione
- 32 riccio parafoglie

COPERTURA ISOLATA - NON VENTILATA

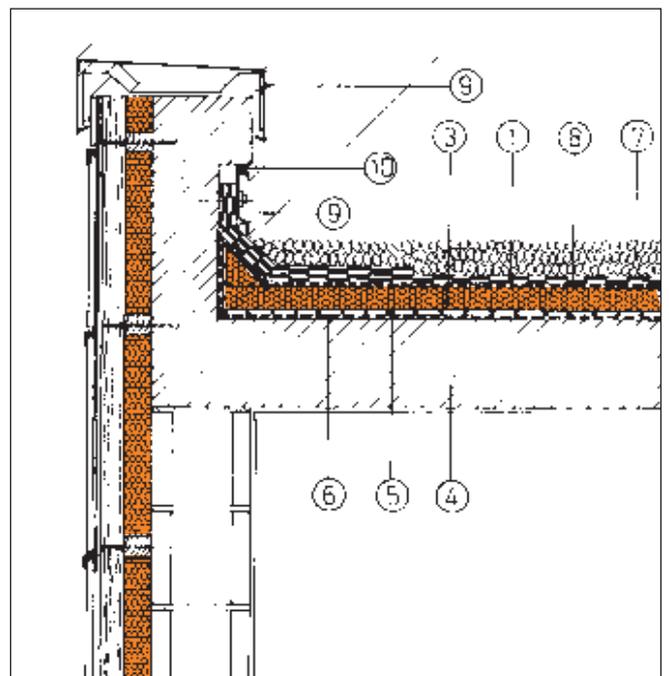


Fig. 14 Coronamento sez. verticale

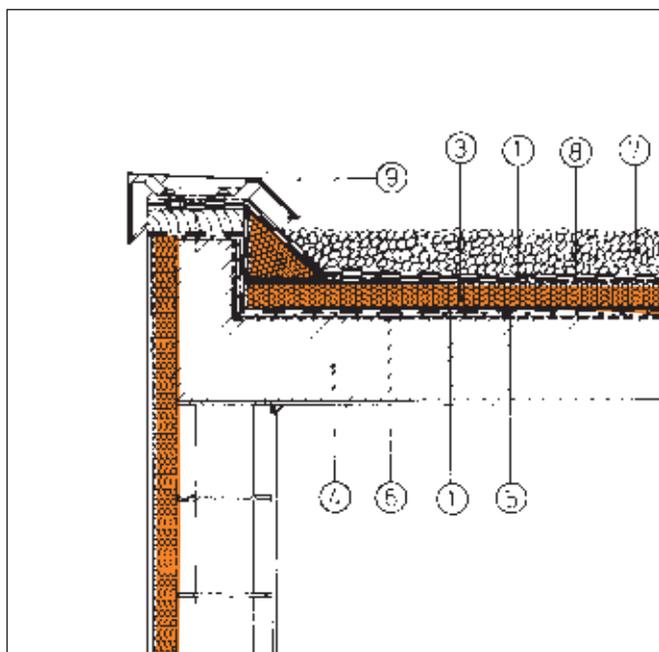


Fig. 15 Coronamento sez. verticale

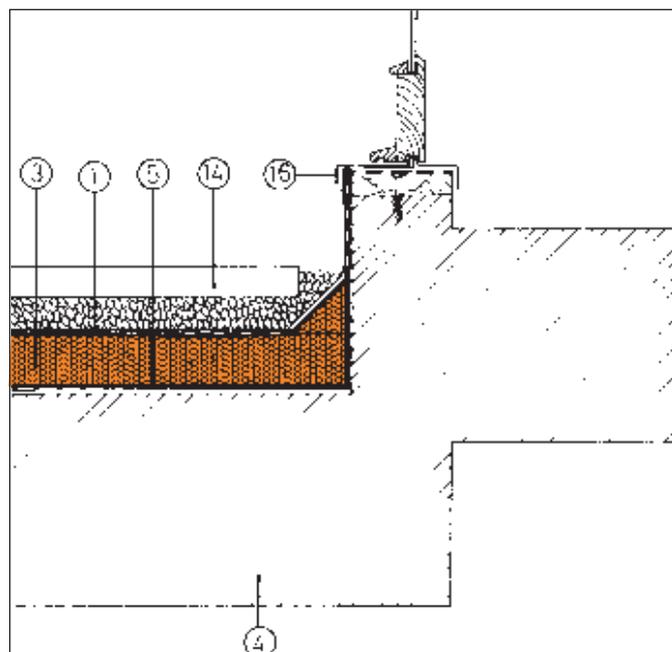


Fig. 16 Soglia sez. verticale

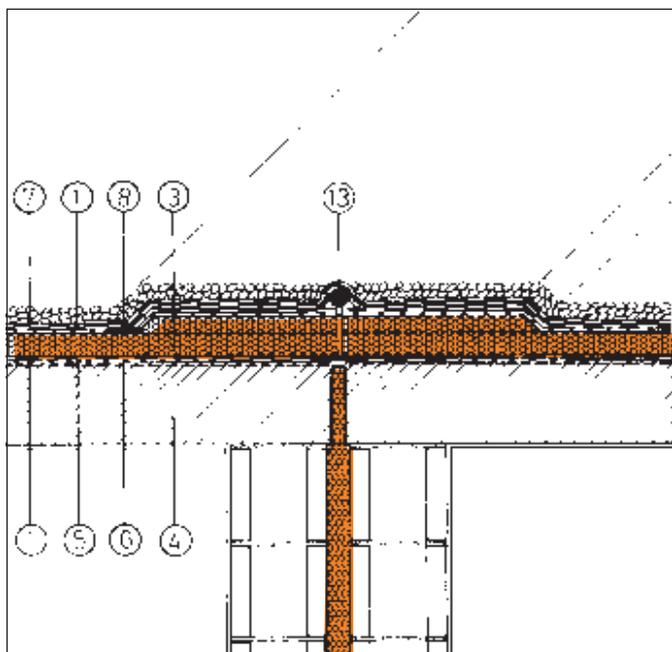


Fig. 17 Giunto di dilatazione sez. verticale

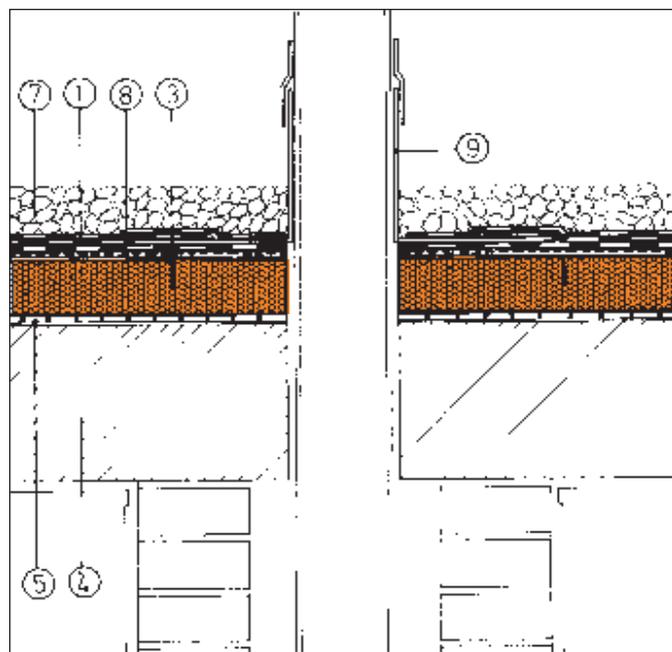


Fig. 18 Attraversamento impiantistico sez. verticale

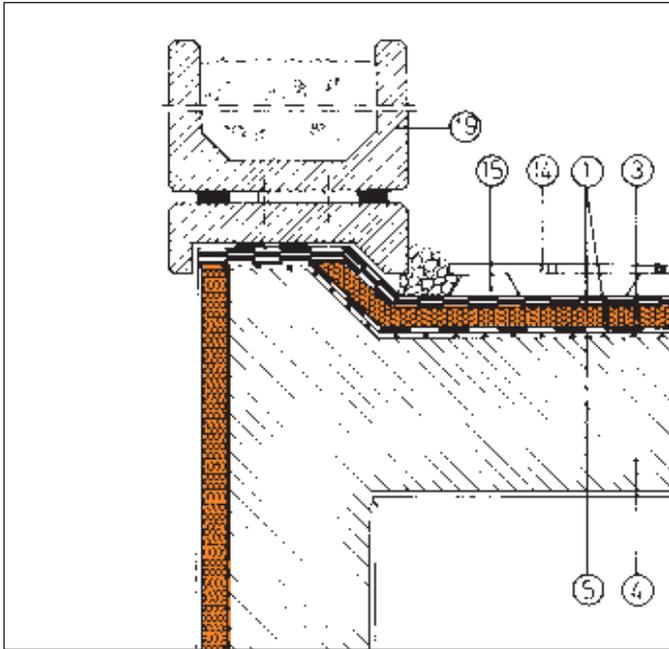


Fig. 19 Fioriera sez. verticale

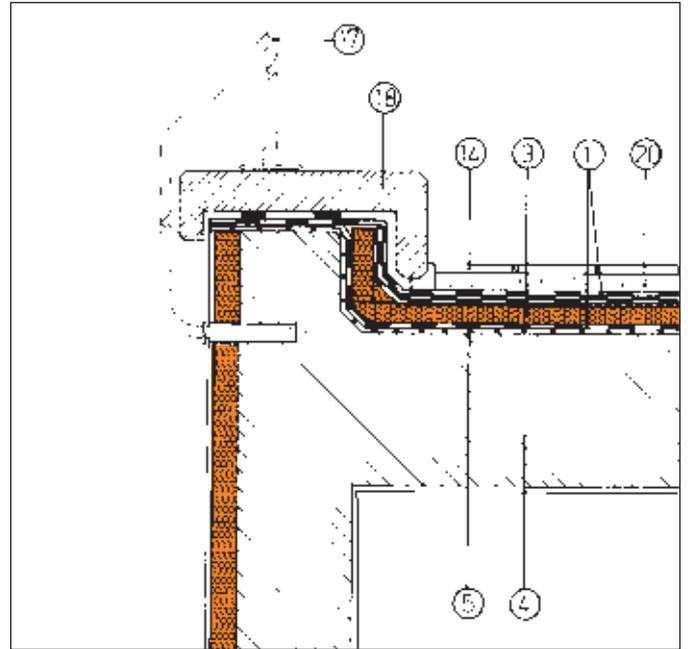


Fig. 20 Parapetto sez. verticale

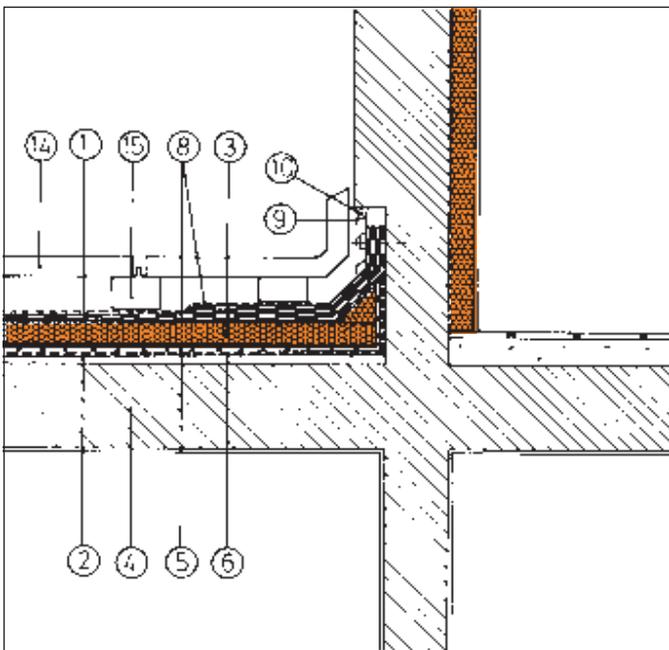


Fig. 21 Volume emergente sez. verticale

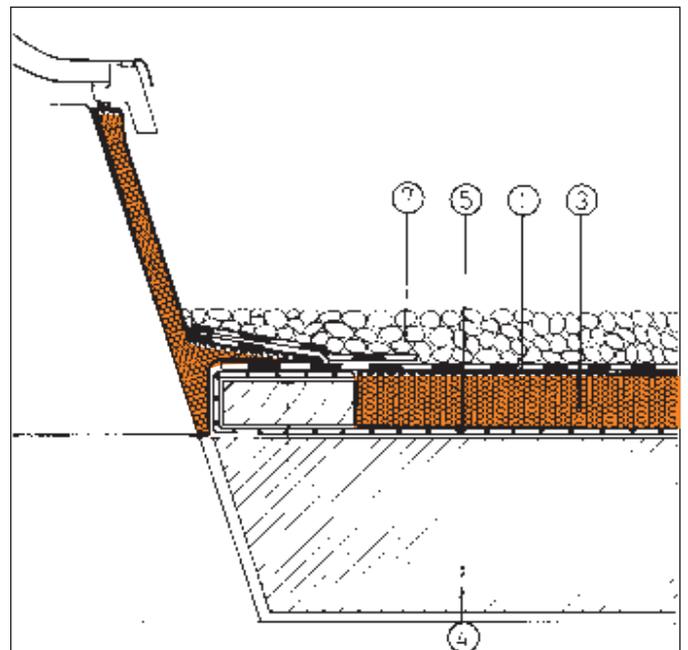


Fig. 22 Lucernario sez. verticale

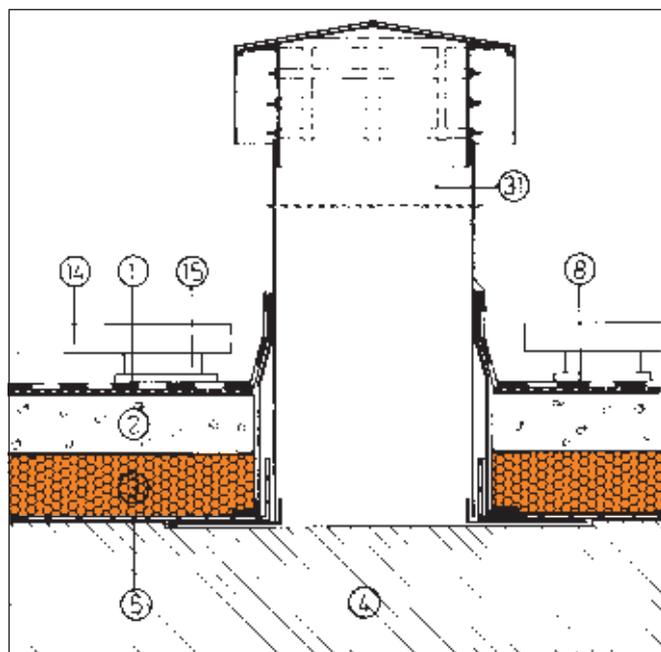


Fig. 23 Torrino di evaporazione sez. verticale

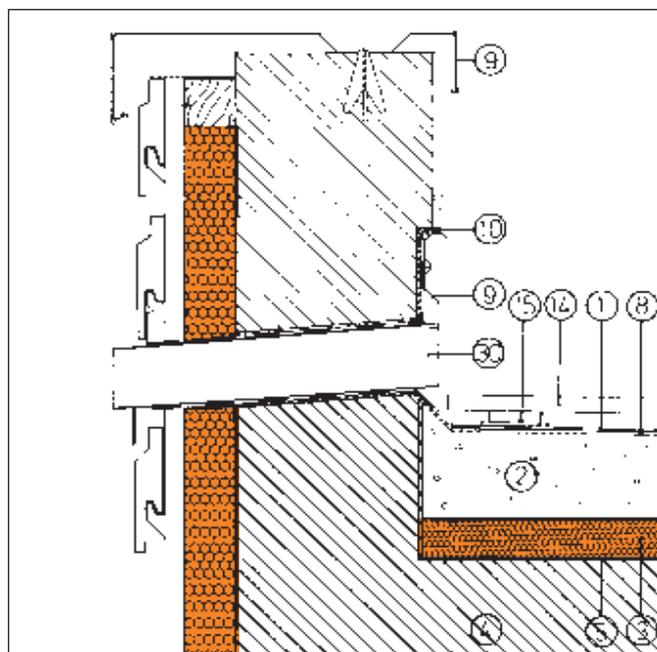


Fig. 24 Tubo di troppo pieno sez. verticale

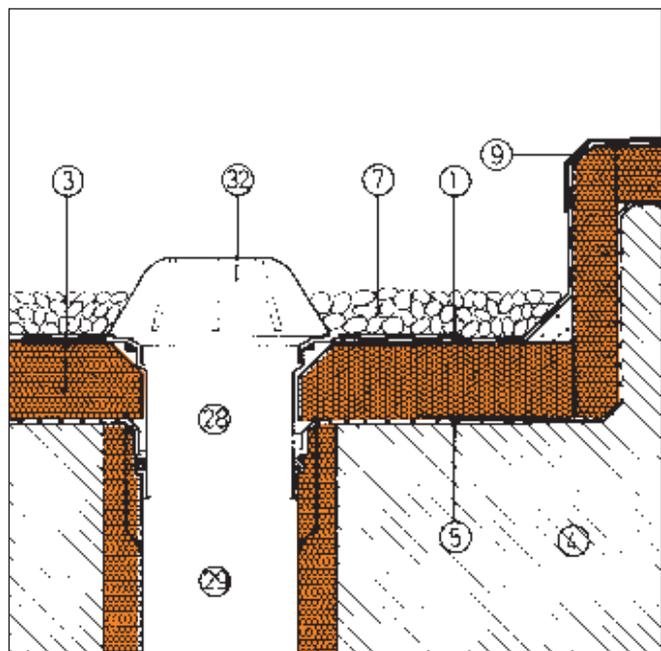


Fig. 25 Bocchettone di scarico sez. verticale

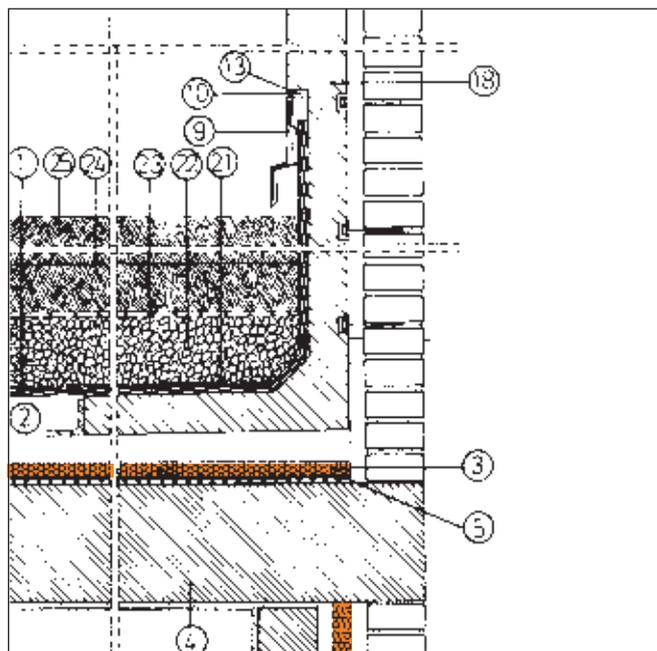


Fig. 26 Giardino pensile sez. verticale

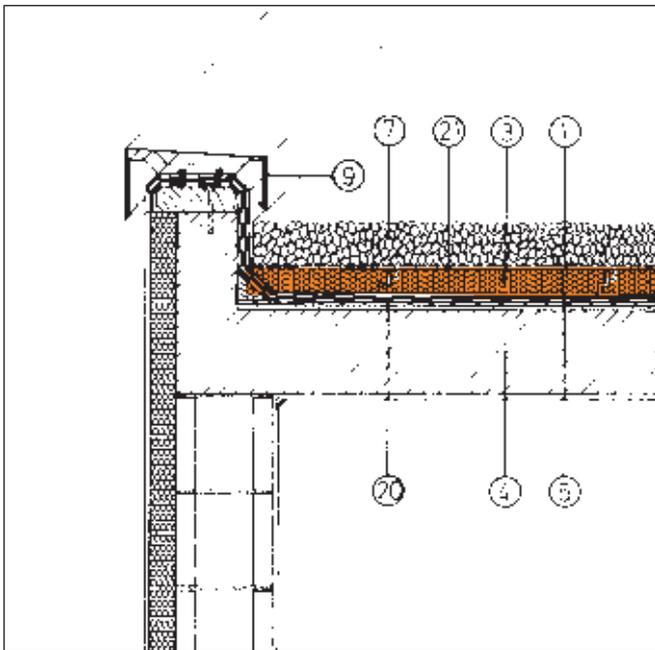


Fig. 27 Copertura rovescia-particolare di coronamento sez. verticale

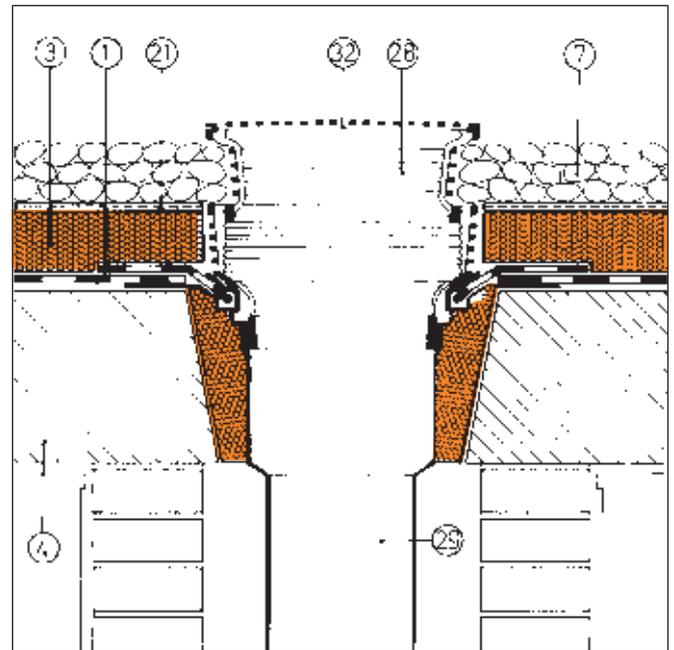


Fig. 28 Copertura rovescia-bocchettone sez. verticale

COPERTURA ISOLATA - VENTILATA

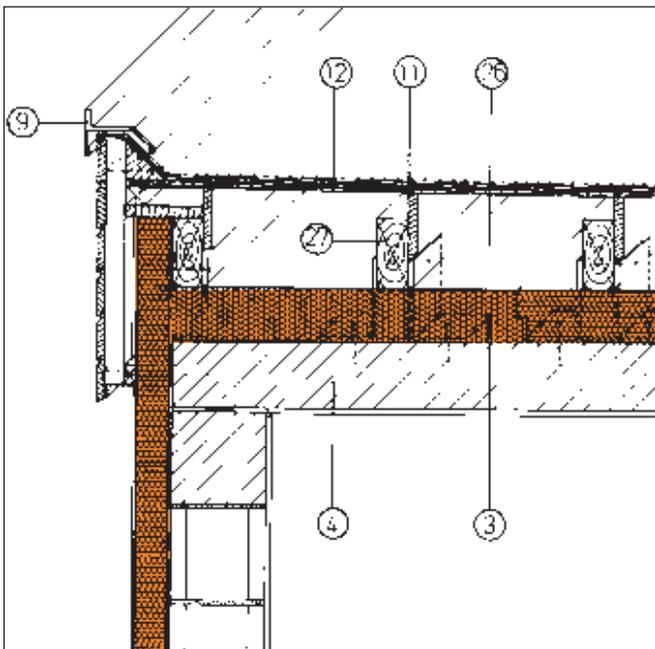


Fig. 29 Coronamento sez. verticale

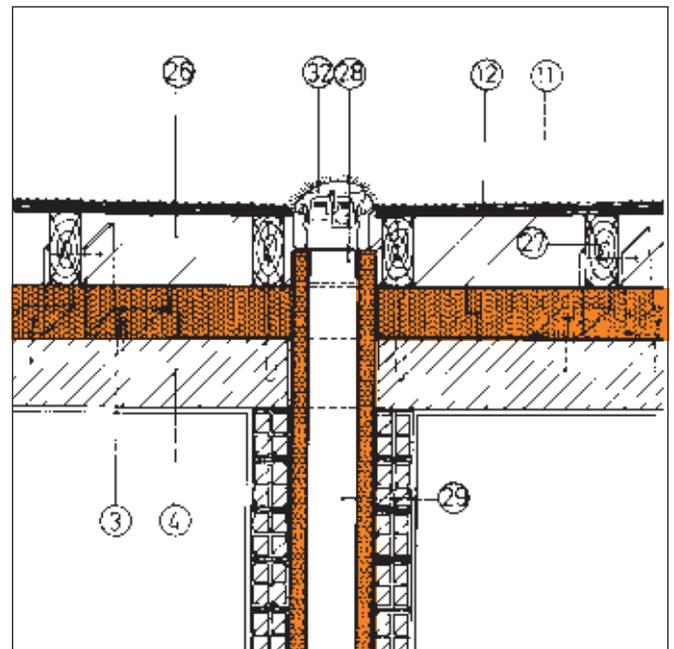


Fig. 30 Bocchettone sez. verticale

PATOLOGIE ED ERRORI

AGENTE: ACQUA

REQUISITO DISATTIVATO:
Tenuta all'acqua

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA:
Stabilità e resistenza meccanica
Isolamento termico
Controllo della condensazione

CAUSE

- caratteristiche geometriche della copertura
- lunghezza e pendenza della aree di drenaggio
- complessità morfologica
- depositi in corrispondenza dei bocchettoni
- deformazioni del supporto dell'elemento di tenuta
- degrado degli elementi di convogliamento e raccolta
- alterazione funzionale del sistema di drenaggio ed evacuazione dell'acqua meteorica
- nidificazione in corrispondenza dei canali e dei pluviali

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- infiltrazioni idriche interessanti le stratificazioni sottoposte all'elemento di tenuta, gli ambienti e i subsistemi edilizi protetti dalla copertura
- marcescenza, muffa, sfogliatura, ecc. di pareti verticali, intradosso di gronda, orizzontamenti sottoposti
- riduzione del grado di isolamento termico in presenza di prodotto isolante igroscopico

ERRORI

Progettazione:

- pendenze tali da agevolare ristagni idrici
- geometria eccessivamente complessa, tale da comportare difficoltà di esecuzione dei punti singolari
- caratteristiche geometriche della falda non compatibili con gli elementi di tenuta e il contesto meteorico
- errata concezione, dimensionamento e morfologia del sistema di drenaggio dell'acqua meteorica
- impiego di isolante idrofilo
- errata concezione dei punti singolari (interconnessione con subsistemi edilizi, con elementi passanti, sovrapposizioni, ecc.)

Esecuzione:

- impiego di prodotti non idonei
- fissaggio improprio degli elementi di tenuta
- errata esecuzione delle sovrapposizioni e risvolti in corrispondenza dei punti singolari

Gestione:

- adozione di prodotti di ripristino o integrazione non compatibili o non congruenti
- mancate periodiche operazioni di pulizia e rimozione dei depositi nei canali, nelle converse e in corrispondenza dei pluviali
- mancata sostituzione tempestiva di elementi ed accessori degradati

AGENTE: RADIAZIONE SOLARE

REQUISITO DISATTIVATO:
Durabilità

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA:
Tenuta all'acqua

CAUSE

- elemento di tenuta fotosensibile
- assenza o carenza di strato di protezione

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- alterazione della composizione chimico-fisica dell'elemento di tenuta
- fessurazioni e rotture
- infiltrazione idrica

ERRORI

Progettazione:

- errata scelta dei prodotti
- mancata prescrizione di trattamenti protettivi superficiali
- errata valutazione del contesto climatico

Esecuzione:

- impiego di prodotti non idonei
- errata esecuzione dei trattamenti o strati protettivi

Gestione:

- adozione di prodotti di ripristino non conformi
- danneggiamento del trattamento protettivo in fase di manutenzione

AGENTE: VAPORE ACQUEO

REQUISITO DISATTIVATO:
Controllo della condensazione

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA:
Isolamento termico

CAUSE

- tipo, localizzazione e dimensionamento dello strato isolante non consoni alla problematica termoigrometrica
- presenza di ponti termici non controllati
- diminuzione della temperatura superficiale interna dovuta a permeazioni idriche
- permanenza di acqua di costruzione (con strati portanti e supporto in conglomerato cementizio)
- assenza o discontinuità dell'eventuale strato di barriera al vapore
- localizzazione dello strato di barriera al vapore all'estradosso dello strato isolante
- permeabilità al vapore e resistenza termica delle stratificazioni
- carenza dello strato di ventilazione in copertura isolata e ventilata

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- formazione anomala di condensa all'interno e sulla superficie delle stratificazioni
- riduzione delle proprietà dell'isolante termico
- variazione dimensionale degli elementi (rigonfiamento) e tensionamenti relativi
- formazione di muffe e macchiature a livello di strato di finitura interno
- maggior consumo di combustibile
- riduzione del comfort ambientale interno con alterazione del microclima
- tensionamento dell'elemento di tenuta

ERRORI**Progettazione:**

- mancato controllo e correzioni dei ponti termici
- errata valutazione o insufficienza dello strato di ventilazione in situazioni ad alto rischio condensativo
- insufficienza della ventilazione per errato dimensionamento della intercapedine o degli orifizi predisposti
- errata stima della conduttività e della permeabilità dei materiali impiegati
- erroneo dimensionamento e posizionamento dello strato isolante
- mancata prescrizione o errata collocazione della barriera al vapore
- mancata o errata valutazione del carico igrotermico interno

Esecuzione:

- impiego di materiali non idonei
- errata posa dello strato isolante (giunti non perfettamente chiusi, doppia stratificazione con giunti filanti, ecc.)
- errata posa della barriera al vapore e realizzazione dei giunti di continuità
- spessore dell'isolante diverso da quello prescritto
- impiego di isolante idrofilo e non stabile
- errata realizzazione della intercapedine di ventilazione

Gestione:

- mutamento incontrollato della destinazione d'uso degli ambienti sottoposti, con incremento sensibile della produzione di vapore
- adozione di prodotti di ripristino o integrazione non compatibili
- occlusione accidentale dello strato di ventilazione
- alterazione delle caratteristiche igrotermiche e del microclima interno, ad es. per sostituzione dei serramenti con elementi a perfetta tenuta, cessazione di funzionamento di aspiratori nei locali umidi, ecc.
- rottura dello strato di barriera al vapore
- manomissione dello strato isolante

AGENTI: BIOLOGICI

REQUISITO DISATTIVATO:
Tenuta all'acqua

CAUSE

- attacco di microrganismi, insetti, animali

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- fessurazioni
- degrado superficiale con alterazione di aspetto, colore e spessore utile

ERRORI**Progettazione:**

- impiego di prodotti di tenuta sensibili all'attacco delle radici nei giardini pensili
- punti singolari che agevolano formazione di vegetazione
- errata scelta dei prodotti
- mancata prescrizione di trattamenti anticrittogamici

Esecuzione:

- impiego di prodotti o trattamenti non idonei

Gestione:

- manutenzione non conforme o eseguita non a tempo debito

AGENTE: CARICHI E SOVRACCARICHI

REQUISITO DISATTIVATO:
Stabilità e Resistenza Meccanica

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA:
Tenuta all'acqua

CAUSE

- rottura dello strato di ripartizione carichi
- applicazione di carichi impropri
- irregolarità superficiale dello strato di supporto
- strato di supporto eccessivamente compressibile
- pedonamento diretto su copertura non predisposta
- urto di oggetti pesanti proiettati
- eventi meteorici eccezionali
- elasticità non controllata del supporto o dello strato portante

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- lacerazione e punzonamento dell'elemento di tenuta
- tensionamento e strappo degli ancoraggi
- rottura del supporto o dello strato portante
- infiltrazione idrica

ERRORI

Progettazione:

- errata scelta dei prodotti di tenuta e termoisolanti in relazione ai carichi previsti
- mancanza di strato di ripartizione carichi e/o di separazione
- errata previsione di tipo di praticabilità
- assenza di strato di regolarizzazione
- discontinuità dello strato portante
- errata previsione dell'azione della grandine
- errata valutazione dei carichi e sovraccarichi
- errato dimensionamento del supporto o dello strato portante

Esecuzione:

- errata localizzazione dell'armatura nello strato di distribuzione carichi
- assenza di giunti di frazionamento o di ritiro
- posa di pannelli isolanti non perfettamente accostati o non integri
- pedonamento diretto
- impiego di prodotti non idonei
- errata realizzazione dei meccanismi di vincolo strutturale
- fissaggio dei prodotti non a regola d'arte
- stoccaggio improprio di materiale sovrapposto ad elementi già in opera

Gestione:

- mancata adozione di provvedimenti atti ad evitare danneggiamenti
- pedonamento diretto o comunque non compatibile
- adozione di prodotti di ripristino non confacenti
- errate operazioni di manutenzione

AGENTE: VENTO

REQUISITO DISATTIVATO:
Stabilità e resistenza meccanica

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA:
Tenuta all'acqua

CAUSE

- vincolo insufficiente tra elemento di tenuta e supporto
- insufficiente coesione dell'elemento termoisolante
- infiltrazione fra i giunti dello strato preposto

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- lacerazione dell'elemento di tenuta

ERRORI

Progettazione:

- errata previsione della situazione di vincolo
- pannelli isolanti con improprie caratteristiche coesive
- zavorramento insufficiente
- errata valutazione del contesto ambientale
- errata valutazione dei movimenti differenziali degli elementi costruttivi

Esecuzione:

- errata posa degli elementi di fissaggio e incollaggio
- errata realizzazione dello zavorramento

Gestione:

- mancata manutenzione dello strato di zavorra in ghiaia
- lacerazione dello strato di tenuta in operazioni di manutenzione

AGENTE: TEMPERATURA

REQUISITO DISATTIVATO:
Tenuta all'acqua

CAUSE

- trattamenti di posa a caldo
- dilatazione impedita da vincoli (fissaggi, scossaline, ecc.)
- mobilità impedita tra elemento di tenuta e supporto
- scarsa resistenza dei materiali alle deformazioni cicliche

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- fessurazione dell'elemento di tenuta
- alterazioni fisico-chimiche delle membrane
- permeazioni idriche

ERRORI**Progettazione:**

- assenza di strato di protezione
- errata valutazione del contesto climatico
- errata previsione delle mobilità relative
- errata adozione del sistema di ancoraggio
- impiego di prodotti sensibili al gelo

Esecuzione:

- anomali trattamenti a caldo
- errata realizzazione dei punti singolari
- errata realizzazione dei giunti di dilatazione
- posa della membrana con metodo non conforme alle prescrizioni progettuali
- impiego di materiali non idonei
- errata realizzazione degli ancoraggi

Gestione:

- errata manutenzione dello strato di protezione
- adozione di prodotti di ripristino non conformi
- ancoraggi non conformi al contesto

AGENTI: CHIMICI

REQUISITO DISATTIVATO:
Tenuta all'acqua

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA:
Stabilità e resistenza meccanica

CAUSE

- interazione di prodotti chimicamente incompatibili
- aggressione chimica prodotta da atmosfera inquinata o salina

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- alterazione chimico-fisica dell'elemento di tenuta
- infiltrazione idrica
- alterazione superficiale e intrinseca

ERRORI**Progettazione:**

- assenza di strati di separazione tra prodotti chimicamente incompatibili
- errata scelta dei prodotti
- errata valutazione dell'aggressività atmosferica
- mancata prescrizione di trattamenti o strati di protezione

Esecuzione:

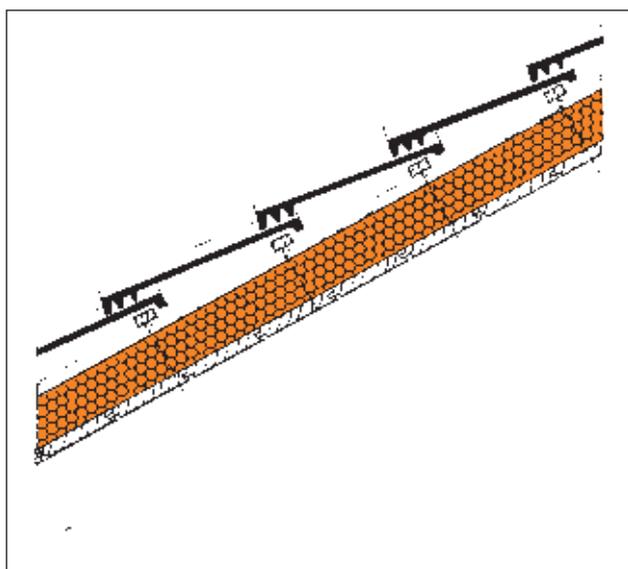
- impiego di materiali chimicamente aggressivi
- impiego di prodotti non idonei
- mancata o errata esecuzione di trattamenti protettivi e di eventuali strati separatori

Gestione:

- adozione di prodotti di ripristino non conformi
- cattiva manutenzione degli impianti adduttori di aeriformi (camini, esalatori, ecc.)

10.

ISOLAMENTO DEI TETTI A FALDE CON EPS



INTRODUZIONE

Il tetto a falde è caratterizzato, nella massima parte dei casi, da una copertura costituita da elementi di piccole o medie dimensioni, comunemente designata come "copertura discontinua". Secondo la normativa vigente con il termine di "copertura discontinua" si intende una chiusura superiore costituita da un insieme di elementi suborizzontali in cui l'elemento di tenuta assicura la tenuta all'acqua solo per valori della pendenza della superficie di copertura maggiore di un minimo, prevalentemente in funzione del materiale impiegato.

La definizione si basa essenzialmente sul comportamento all'acqua; altri tipi di classificazione possono essere effettuati secondo altri criteri, ad esempio in base al grado di accessibilità, alle caratteristiche dell'elemento portante e dei materiali, alla geometria degli elementi, ma tali metodologie possono contenere il rischio, da un lato di perdere la generalità dell'impostazione che garantisce la completezza

della trattazione, dall'altro di trascurare gli aspetti funzionali a vantaggio di approcci descrittivi e pertanto poco connotanti il comportamento dell'elemento in questione.

Le coperture discontinue risultano costituite dalla successione di strati ed elementi funzionali che, di per sé o in correlazione reciproca, concorrono al soddisfacimento dei requisiti imposti alla copertura; questi strati possono essere presenti in tutto o in parte a seconda del grado di complessità della soluzione adottata e del comportamento globale richiesto in rapporto alle sollecitazioni di esercizio: la presenza o meno degli elementi o strati, in rapporto a schemi funzionali diversi, determina una matrice di possibili soluzioni conformi (v. QUADRO 1), intese come sequenza ordinata di elementi e strati funzionali tale da assicurare il corretto funzionamento di ogni singolo elemento o strato e del sistema di copertura. La norma classifica gli schemi funzionali, con riferimento alla metodologia di controllo del comportamento termigrometrico, in quattro categorie e precisamente:

QUADRO 1

Coperture discontinue (matrice delle soluzioni conformi)

Elemento o strato funzionale	Schemi funzionali			
	Copertura con elemento termoisolante		Copertura senza elemento termoisolante	
	Con strato di ventilazione	Senza strato di ventilazione	Con strato di ventilazione	Senza strato di ventilazione
Denominazione				
Elemento di collegamento	E	E	E	E
Elemento di sopporto*	F	F	F	F
Elemento di tenuta	F	F	F	F
Elemento portante	F	F	F	F
Elemento termoisolante	F	F		
Strato schermo vapore/barriera vapore		F		
Strato di irrigidimento		E		
Strato di pendenza	integrato	integrato	integrato	integrato
Strato di protezione	E	E	E	E
Strato di tenuta all'aria	E	E	E	E
Strato di ventilazione	F		F	

F - elemento o strato fondamentale (sempre presente).

E - elemento o strato eventualmente necessario.

* Nei sistemi discontinui si è spesso in presenza di una microventilazione sottotegola; qualora il sistema dal punto di vista termigrometrico si affidi solamente a tale ventilazione viene considerato "non ventilato". In ogni caso lo strato di microventilazione sottotegola viene considerato con l'elemento di sopporto.

1. copertura senza elemento termoisolante, senza strato di ventilazione: la copertura non controlla il comportamento termoigrometrico e non controlla la trasmissione del calore; Figura 1A.
2. copertura senza elemento termoisolante, con strato di ventilazione: la copertura controlla il comportamento termoigrometrico attraverso lo strato di ventilazione e non controlla la trasmissione del calore; Figura 1B-C.
3. copertura con elemento termoisolante, senza strato di ventilazione: la copertura non controlla il comportamento termoigrometrico attraverso lo strato di ventilazione e controlla la trasmissione del calore attraverso un apposito elemento termoisolante; Figura 1D-E.
4. copertura con elemento termoisolante, con strato di ventilazione: la copertura controlla il comportamento termoigrometrico attraverso lo strato di ventilazione e la trasmissione del calore attraverso un apposito elemento termoisolante; Figura 1F-G.

Le odierne esigenze di isolamento termico, sia per motivi di benessere abitativo che di risparmio energetico hanno naturalmente portato a fissare l'attenzione sugli schemi funzionali con elemento termoisolante. Particolarmente nei casi, sempre più frequenti sia nelle nuove costruzioni che nelle ristrutturazioni, in cui si vuole sfruttare a scopo abitativo lo spazio immediatamente sottostante al tetto a falde, l'impiego dell'EPS si è rivelato uno dei più convenienti, tecnicamente ed economicamente, in tutte le diverse modalità applicative che questo Volume sinteticamente illustra.

DESCRIZIONE DEGLI STRATI E DEGLI ELEMENTI

La norma fornisce un quadro completo degli elementi e strati funzionali delle coperture sia continue che discontinue, specificandone la necessità od eventualità di impiego in relazione al livello prestazionale che si vuole ottenere.

Nel Quadro 2 sono schematizzate alcune soluzioni conformi significative.

Si può notare come una differente successione delle stratificazioni possa comportare sia complessificazione costruttiva, sia obbligo di adozione di elementi integrativi onde assicurare l'adeguato livello prestazionale della copertura. Quindi diventa molto importante individuare per tutti gli strati concorrenti a formare il sistema il loro specifico ruolo e le caratteristiche funzionali, prestazionali e intrinseche perché se ne ottimizzi l'impiego.

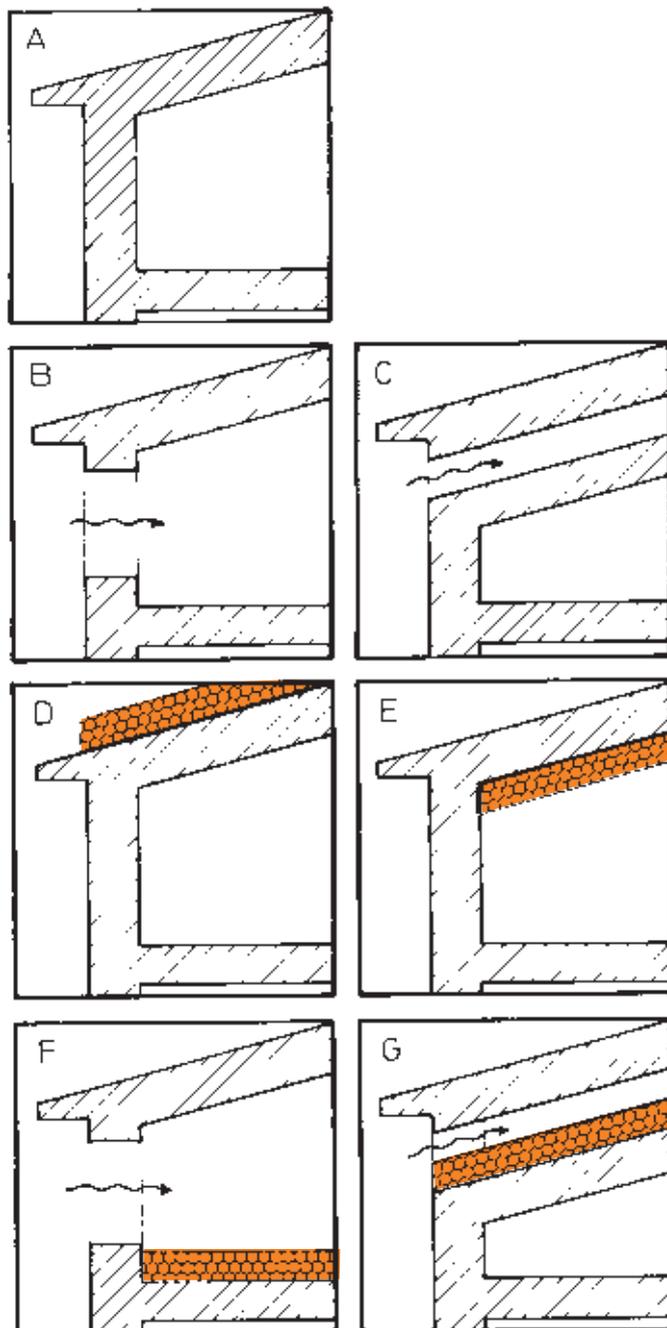


Fig. 1

QUADRO 2 - ESEMPI DI SOLUZIONI CONFORMI DI COPERTURE DISCONTINUE

LEGENDA

I - Isolato

NI - Non isolato

V - Ventilato

NV - Non ventilato

1 - Strato di tenuta

2 - Strato isolante

3 - Supporto

4 - Elemento di collegamento

5 - Strato portante

6 - Strato di barriera al vapore

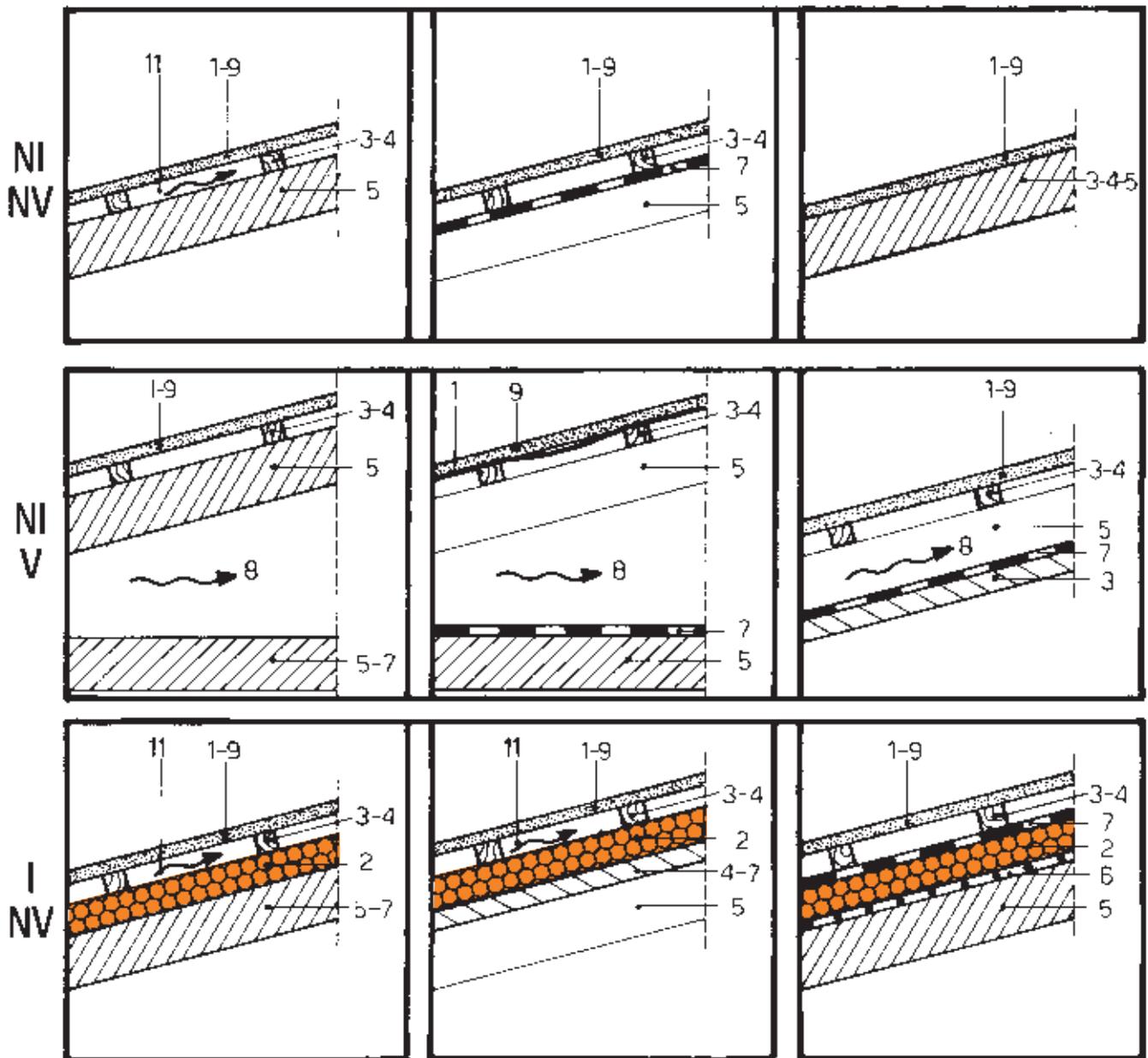
7 - Strato di tenuta all'aria aggiuntivo

8 - Strato di ventilazione

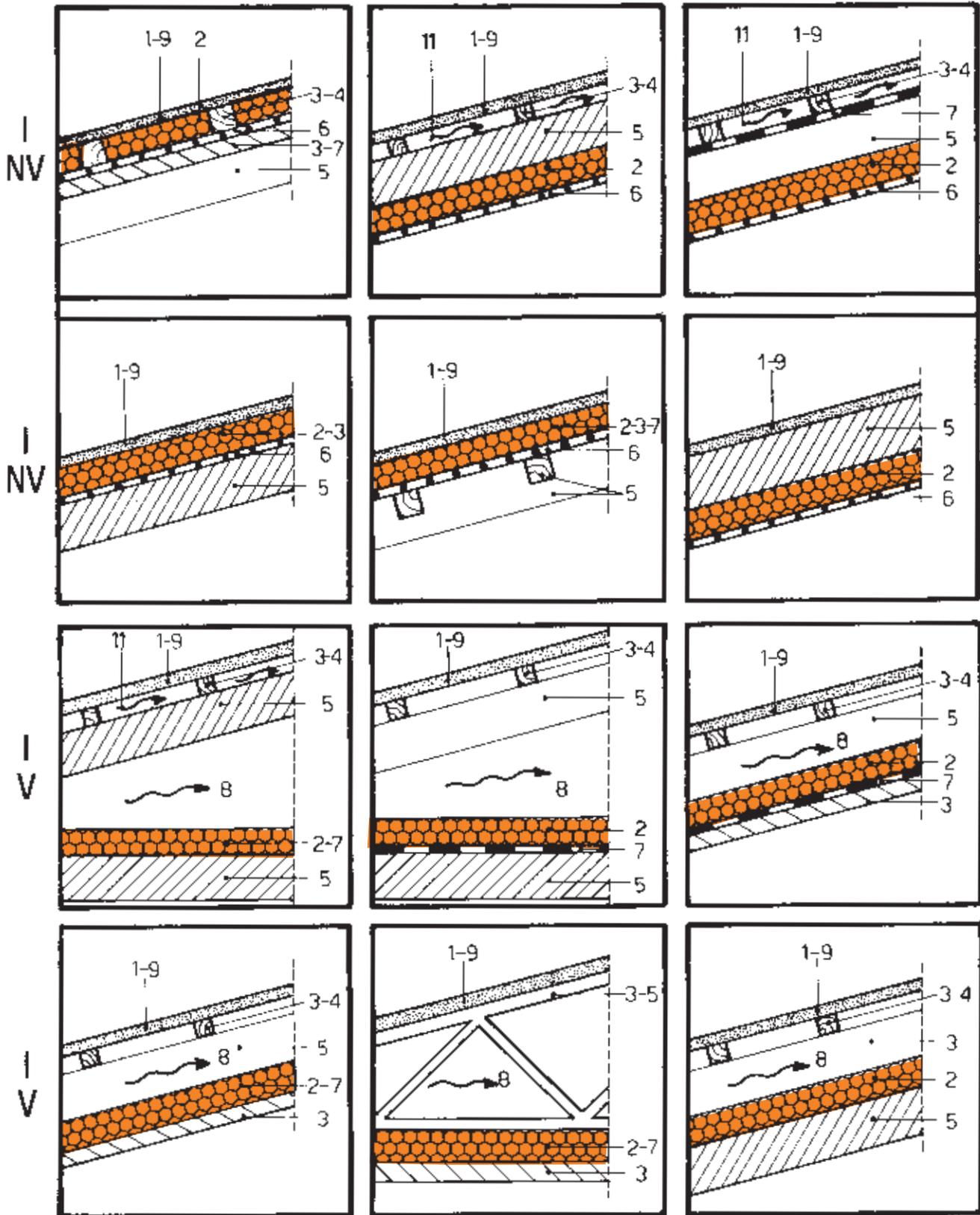
9 - Strato di protezione

10 - Accessori

11 - Microventilazione sotto tegola



segue **QUADRO 2**



STRATO DI TENUTA

Ha la funzione di conferire alla copertura la impermeabilità all'acqua meteorica, resistendo alle sollecitazioni fisiche meccaniche e chimiche indotte dal contesto ambientale e dall'uso.

L'elemento di tenuta può essere il più esterno della copertura (collocato all'estradosso della stessa), nell'ipotesi di utilizzo di elementi discreti interconnessi per semplice sovrapposizione, oppure trovarsi sottoposto allo strato di protezione nel caso di impiego di guaine bituminose o manti sintetici. I materiali più comunemente impiegati possono così distinguersi:

- prodotti di piccole dimensioni:
 - tegole in laterizio, cemento, metallo, vetro, plastica
 - tegole bituminose (tipo canadesi)
 - piccole lastre in pietra (ardesia, serpentino, ecc.)
 - piccole lastre in fibrocemento piane o nervate
 - scandole lignee
- prodotti di medie dimensioni:
 - lastre ondulate in fibrocemento
 - lastre fibrobituminose
 - lastre in materia plastica (PVC, poliestere rinforzato, ecc.)
 - lastre metalliche profilate o non
- prodotti di grandi dimensioni:
 - tegole metallici polistrato
 - lastre grecate metalliche
 - pannelli isolanti tipo sandwich
 - canaloni autoportanti in fibrocemento
 - nastri di rame continui.

Oltre a questi, si può menzionare l'uso di guaine (PVC, EPDM, ecc.) rinforzate, più o meno protette da strato metallico superiore, le quali sono di per sé materiale privilegiato per coperture continue ma con particolari accorgimenti costruttivi possono essere impiegate anche per tetti a falde o a padiglione.

La scelta del prodotto è di fondamentale importanza per il comportamento all'acqua della copertura, ma anche per le implicazioni costruttive e formali che essa determina.

Tale scelta progettuale deve tener conto dei seguenti aspetti:

- pendenza delle falde da realizzare (v. Tabella 1).
Va tenuto presente che pendenze superiori a quelle consigliate per ogni materiale determinano lo scorrimento degli elementi, a meno di non realizzare vincoli meccanici, cosiccome pendenze inferiori possono provocare infiltrazioni idriche tra un elemento e l'altro richiedendo pertanto uno strato aggiuntivo di impermeabilizzazione;
- estensione delle falde nel senso della pendenza: per lunghezze oltre i 10 m circa è necessario interrompere la continuità della falda oppure aumentare la pendenza;

TABELLA 1

PRODOTTI	PENDENZE %				
	p > 60	35 < p < 60	30 < p < 35	15 < p < 30	5 < p < 15
Tegola laterizia piana			*	□	
Tegola laterizia curva			*	□	
Tegola in cemento	□	□	*	□	
Tegola metallica		*	*		
Tegola bituminosa	*	*	*	□	
Lastre in ardesia	*	*			
Lastre in pietra	*	*			
Lastre piane in fibrocemento	*	*	*		
Lastre nervate in fibrocemento	*	*	*		
Scandola lignea	*	*			
Lastre ondulate in fibrocemento		□	*	*	□
Lastre fibrobituminose	*	*	*	*	□
Lastre in materia plastica	*			*	
Lastre grecate o ondulate metalliche	*	*	*	*	□
Lastre grecate metalliche polistrato	*	*	*	*	□
Lastre metalliche saldate in opera	*	*	*	*	□
Lastre in lamiera di rame	□	*	*	□	□
Pannello isolante sandwich	*	*	*	*	*
Canalone autoportante in fibrocemento				*	*

* utilizzo ottimale senza particolari accorgimenti di posa
□ utilizzo con particolari accorgimenti di posa

TABELLA 2

PRODOTTI	PESO kg/m ²	Coperture leggere		Coperture medie			Coperture pesanti	
		5-10	10-20	30-40	40-50	50-60	70-80	>100
Tegola laterizia piana					*		*	
Tegola laterizia curva							*	
Tegola in cemento						*		
Lastre in ardesia				*				
Lastre in pietra								*
Lastre ondulate in fibrocemento			*					
Lastre fibrobituminose	*							
Lastre in materia plastica	*							
Lastre grecate o ondulate metalliche			*					

- eventi atmosferici: in presenza di vento forte, oltre al fenomeno di infiltrazione conseguente a pioggia battente, sono da tenere in conto gli effetti di depressione che possono determinare l'asportazione o la movimentazione degli elementi; anche la possibilità che si verifichino grandinate di forte intensità deve essere tenuta presente nella valutazione della resistenza meccanica;
- impegno statico dell'elemento portante: soprattutto in situazioni di recupero del patrimonio edilizio esistente il peso dell'elemento di tenuta (v. Tabella 2) può incidere in maniera anche significativa sulla resistenza o sul dimensionamento della sottostruttura;
- condizioni ambientali: in situazioni di grave inquinamento atmosferico è necessario verificare la durabilità degli elementi impiegati sotto l'effetto di agenti chimici aggressivi; inoltre il contesto urbano ove si inserisce la copertura può motivare l'esclusione di prodotti ritenuti di tipo non tradizionale.

STRATO TERMOISOLANTE

Ha la funzione di portare al valore richiesto la resistenza termica globale della copertura. Deve essere adottato in tutti quei casi in cui si richiedono condizioni termoigrometriche particolari nei vani sottostanti la copertura, il contenimento dei disperdimenti energetici in base ai valori richiesti dalla normativa, la riduzione delle mobilità termiche dello strato por-

tante, l'attenuazione dei fenomeni di condensazione superficiale verso l'ambiente interno.

A seconda della conformazione geometrica, della morfologia del sistema di copertura, nonché del comportamento termoigrometrico prefigurato, l'elemento termoisolante può trovare differenti collocazioni, anche in rapporto alla presenza o meno di strato di ventilazione. In particolare si può evidenziare quanto segue:

Copertura isolata e non ventilata

Nel caso in cui il vano sottostante la copertura venga abitato e non sia possibile creare uno strato di ventilazione sottoposto allo strato di tenuta, l'isolamento termico può essere realizzato con applicazione di EPS:

- all'intradosso dello strato portante (Figg. 2, 3);
- all'estradosso dello strato portante con funzione di supporto dello strato di tenuta o della listellatura di ancoraggio degli elementi di tenuta (Figg. 4, 5);
- fra gli elementi discreti dello strato portante quando questo è di tipo discontinuo ad orditura (Figg. 4, 6);
- fra listelli distanziatori all'estradosso dello strato portante (Fig. 7).

Mentre nei primi due casi lo strato isolante può essere di tipo continuo, assicurando un isolamento termico uniforme, nelle altre due disposizioni la discontinuità determinata dalla presenza di elementi di orditura induce eterogeneità termiche con presenza di ponti termici lineari; ciò va considerato attentamente in sede progettuale, al fine di evitare perdite prestazionali anche significative.

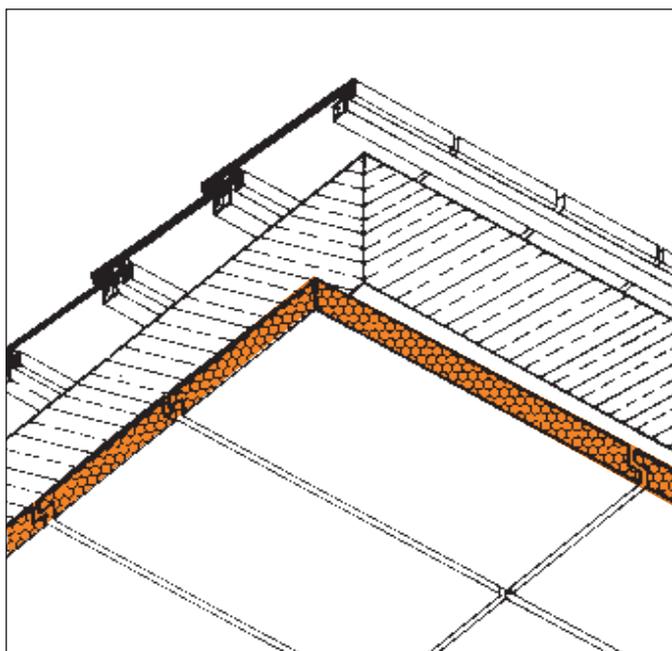


Fig. 2

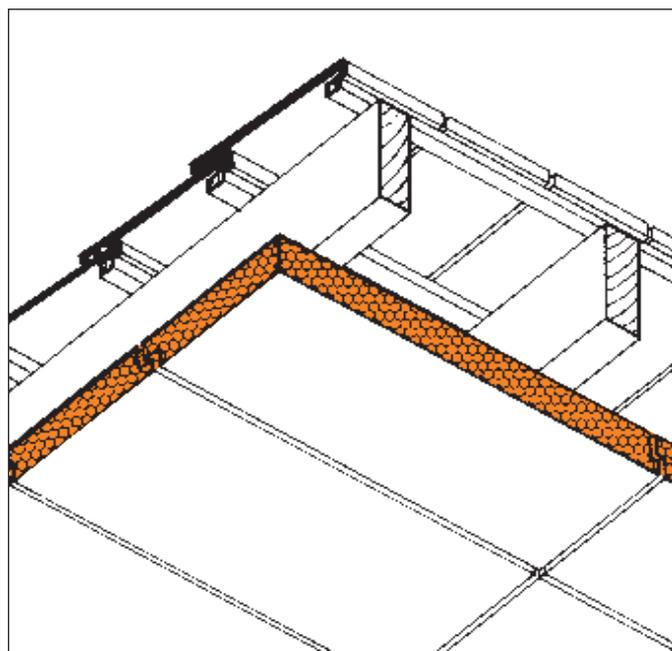


Fig. 3

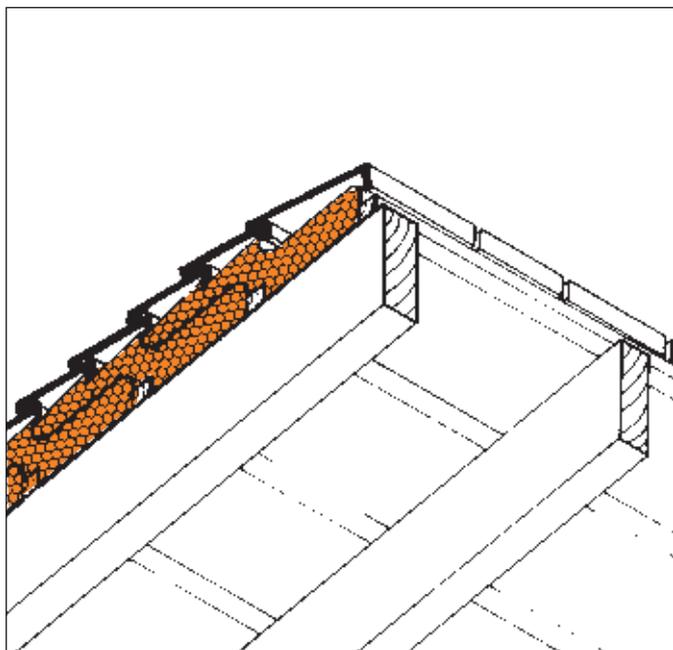


Fig. 4

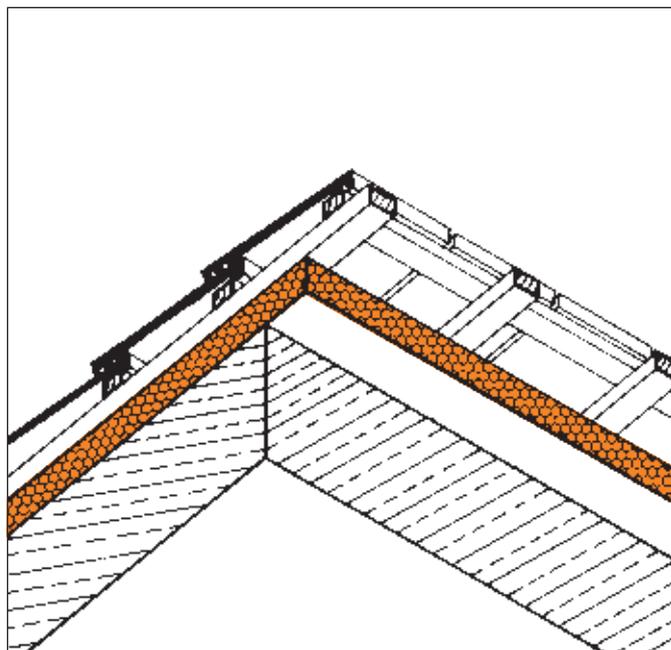


Fig. 5

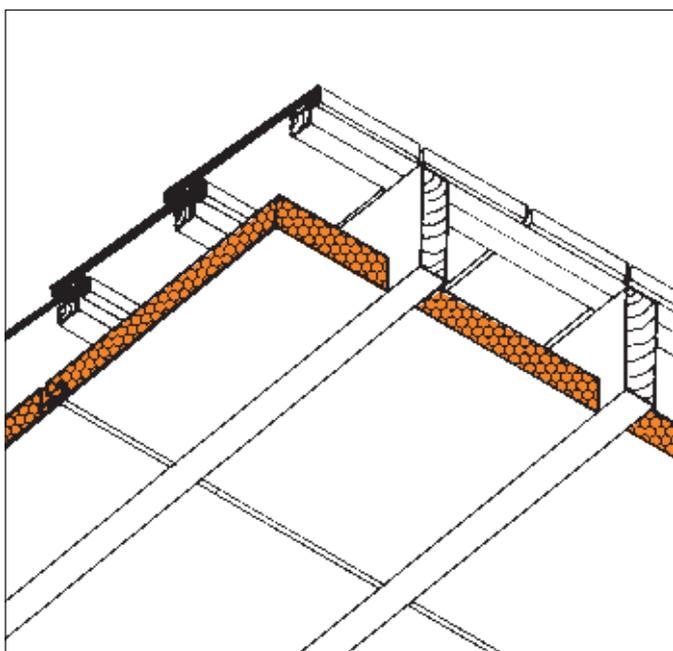


Fig. 6

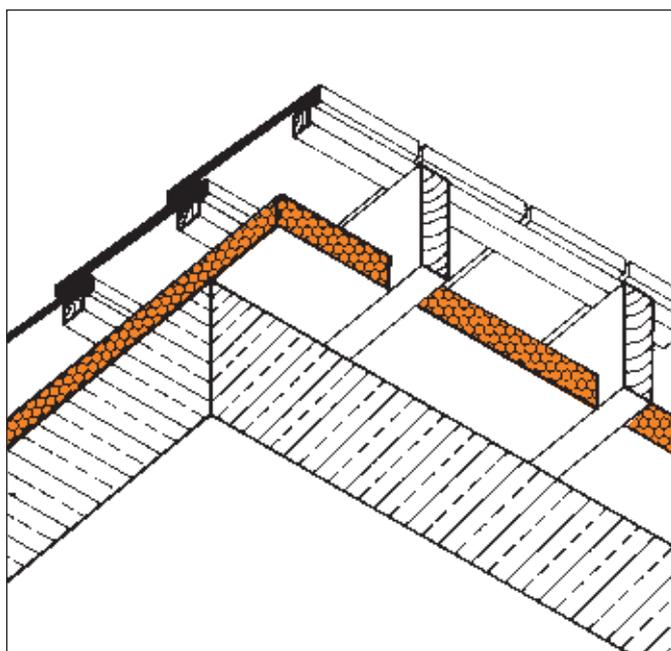


Fig. 7

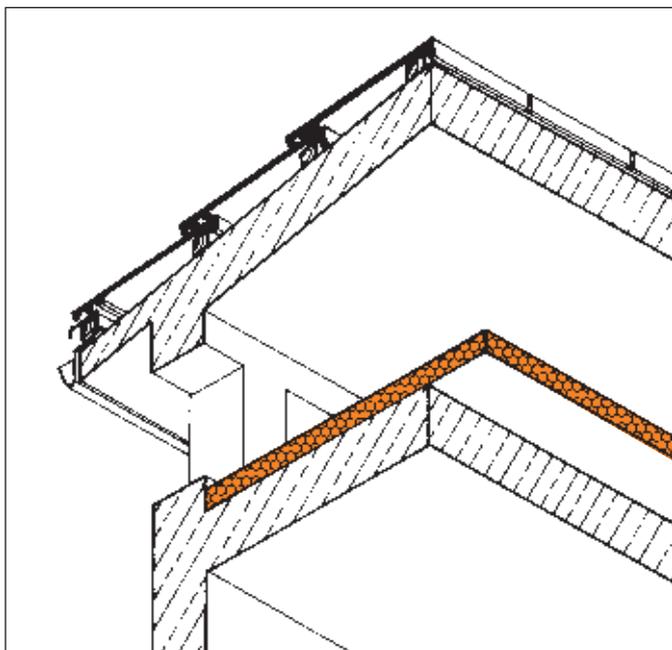


Fig. 8

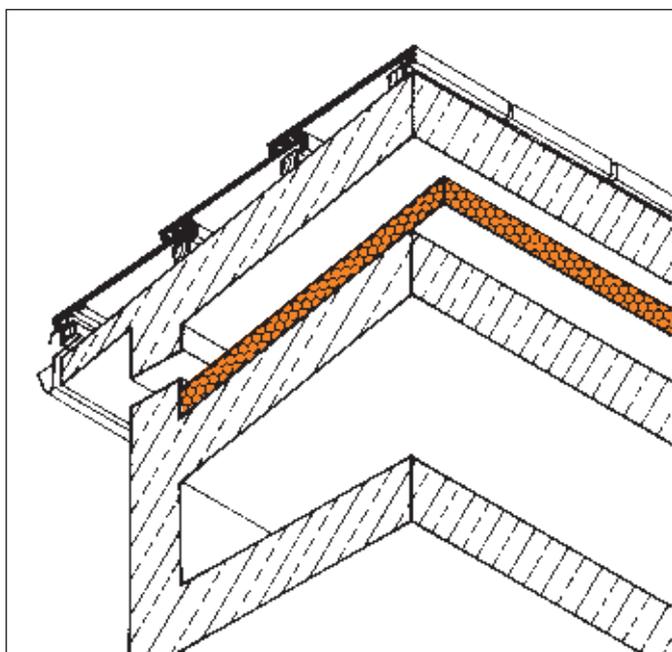


Fig. 9

Copertura isolata e ventilata

La presenza dello strato di ventilazione migliora la prestazione in oggetto dal punto di vista del comportamento, sia invernale (smaltimento del vapore in uscita dall'ambiente sottoposto), che estivo (lavaggio termico superficiale). In Figura. 8 è riportato lo schema di un tipico "tetto freddo" con sottotetto non abitabile, mentre in Figura 9 è schematizzata una variante in cui questo può essere adibito ad abitazione. È da sottolineare come in entrambi i casi la presenza di ponti termici in corrispondenza delle continuità strutturali richieda l'analisi attenta dei fenomeni connessi.

In alcuni casi lo strato termoisolante, a seconda dei materiali che lo costituiscono e alla conformazione e localizzazione, può svolgere anche una o più funzioni integrative, quali costituire l'elemento portante o il supporto dello strato di tenuta, oppure migliorare l'isolamento acustico dell'ambiente. Per la scelta del tipo di coibente da adottare è necessario considerare attentamente le caratteristiche della copertura da isolare, sia in rapporto alle possibili permeazioni idriche, per le quali si consiglia un materiale non idrofilo, sia in riferimento alla tenuta all'aria, per la quale occorre che l'isolante sia scarsamente permeabile onde potersi opporre ad eventuali filtrazioni di aria fredda attraverso le stratificazioni esterne.

A tali requisiti l'EPS di qualità risponde perfettamente.

In genere, per isolare le coperture discontinue vengono impiegate lastre di dimensioni non superiori a m 0,60 x 1,20, con bordi lisci o battentati, che realizzano una migliore continuità dello strato coibente. Le lastre EPS sono facilmente adattabili alle diverse situazioni specifiche di applicazione, in quanto possono venire sagomate in cantiere partendo dai formati standard.

Il dimensionamento minimo dello spessore dell'elemento termoisolante deve essere conforme a quanto prescritto dalla Legge n. 10 del 9191 per il contenimento dei consumi energetici.

ELEMENTO DI SUPPORTO

Assolve alla funzione di sostegno dello strato di tenuta ed è sempre presente, anche se a volte può essere integrato ad altri elementi o strati.

Il supporto può trovarsi subito sotto lo strato di tenuta o al di sotto dell'elemento termoisolante, dello strato di ventilazione o della barriera al vapore.

L'elemento di supporto varia in funzione della sua localizzazione, del materiale impiegato e della tipo-

ISOLAMENTO DEI TETTI A FALDE CON EPS

logia degli strati sovrapposti; esso può essere conformato con elementi a sviluppo lineare oppure superficiale.

Elementi di supporto a sviluppo lineare sono:

- a) orditura di listelli di legno con andamento parallelo alla linea di gronda ed interasse variabile in relazione alla pendenza della falda e alle dimensioni longitudinali degli elementi di tenuta;

l'adozione di tegumento in coppi richiede una doppia orditura ortogonale.

I listelli possono essere retti direttamente dai puntoni oppure da un'orditura secondaria (terzere) in funzione delle dimensioni della copertura e della tipologia della struttura ("alla lombarda", "alla piemontese", a capriata, ecc.) (Fig. 10);

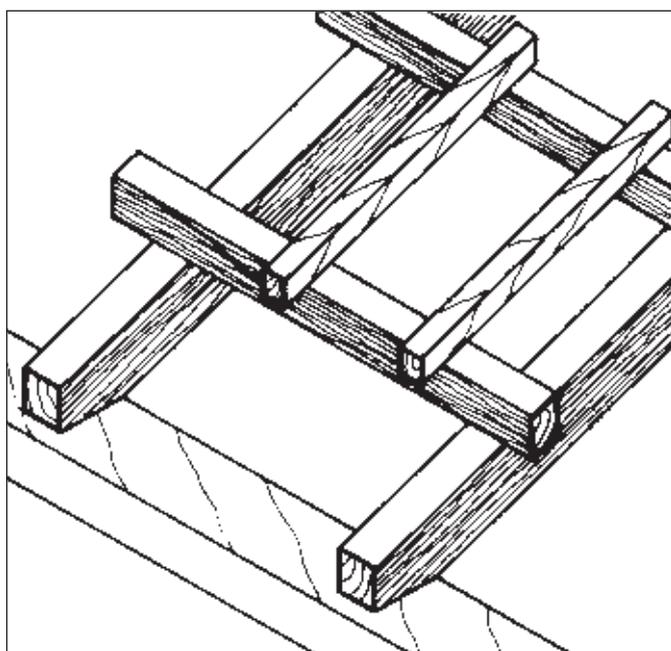
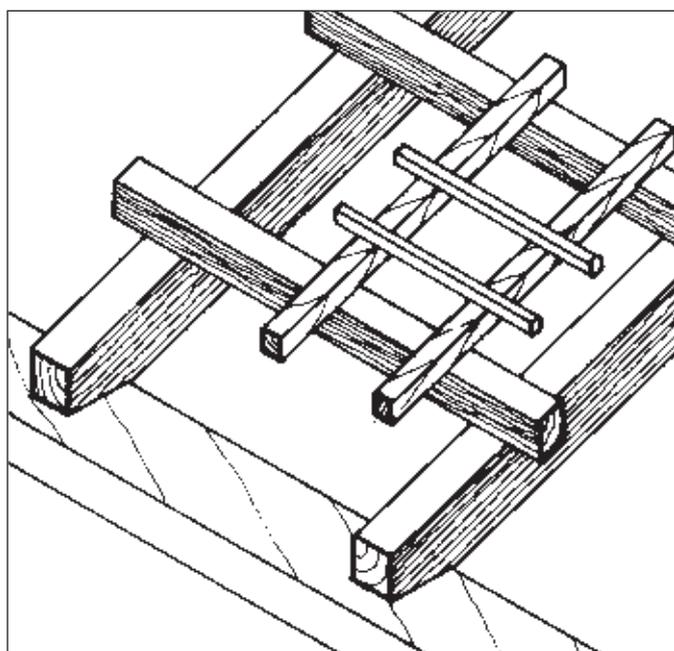
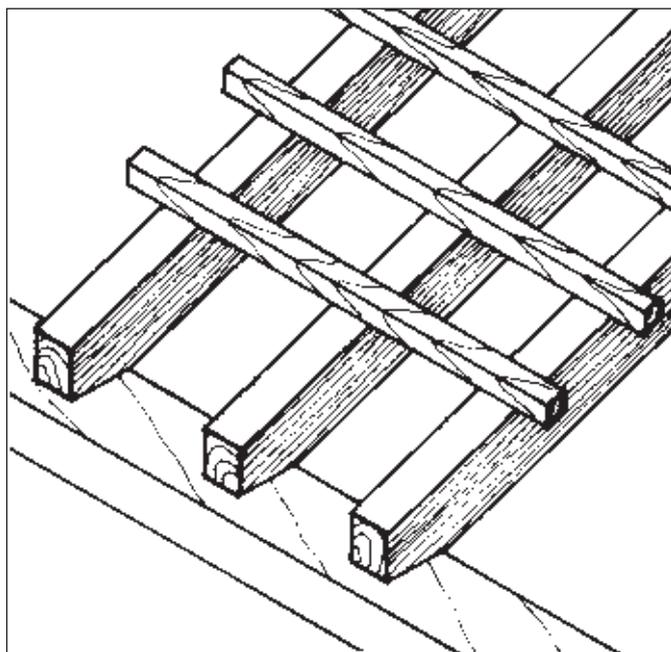
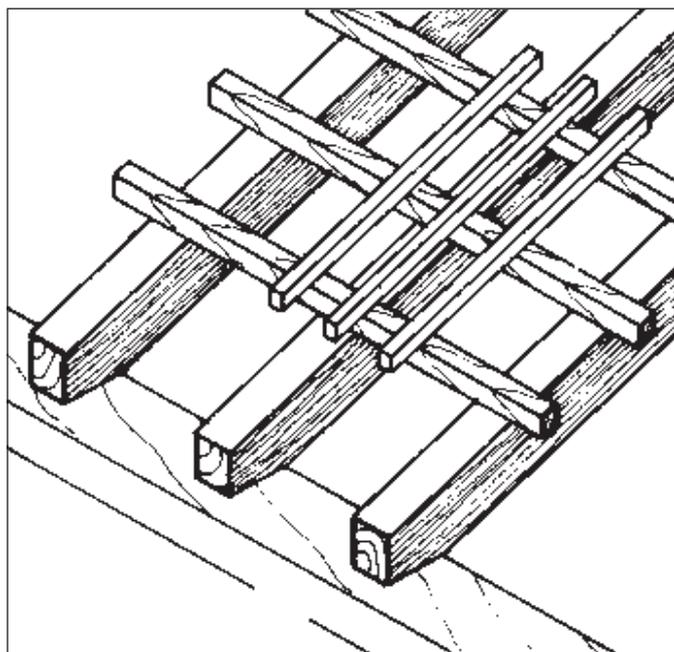


Fig. 10

- b) orditura di profilati metallici normali o chiodabili, con sezione a C, L, U, omega, oppure arcarecci. Per quanto concerne gli elementi di supporto a sviluppo superficiale, occorre sottolineare che ad essi si deve o meno sovrapporre una listellatura complementare (in legno, ferro, malta) a seconda del tipo di tegumento adottato; si possono individuare le seguenti tipologie costruttive:
- pianelle o tavelline forate in laterizio;
 - solaio inclinato laterocementizio o in calcestruzzo pieno;
 - pannelli di EPS preformati (Fig. 11);
 - tavolato in legno chiodato su terrere o puntoni oppure su listellatura integrativa;
 - pannellatura in legno o agglomerato ligneo;
 - lastre metalliche nervate.

La tabella seguente indica quali sono gli elementi di supporto più appropriati per i diversi tipi di elemento di tenuta.

	SUPPORTO					
	lineare		superficiale			
	a	b	a	b	c	d e f
tegole in laterizio e in cemento	*		*			
lastre in fibrocemento	*	*	*	*	*	*
tegole bituminose					*	*
scandole lignee					*	*
lastre di ardesia	*	*			*	*
lastre fibrobituminose	*	*	*			
lastre in lamiera metallica	*	*				
lastre in lamiera di rame			*			
pannelli isolanti sandwich					*	*
guaina					*	*

In alcuni casi l'elemento di supporto, in rapporto alla sua conformazione, alle sue caratteristiche e alla collocazione che occupa nella successione di strati può assumere anche una o più funzioni integrative, quali:

- Sotto lo strato di tenuta
 - ancoraggio dell'elemento di tenuta mediante impiego di elementi di collegamento;
 - elemento portante;
 - strato termoisolante;
 - strato di ventilazione;
 - finitura interna.
- Sotto lo strato termoisolante
 - ancoraggio dello strato termoisolante mediante impiego di elementi di collegamento;
 - elemento portante.
- Sotto lo strato di barriera al vapore
 - elemento portante;
 - strato di ventilazione.
- Sotto lo strato di ventilazione
 - elemento portante.

Devono comunque essere garantite le caratteristiche generali del materiale che costituisce il supporto; in particolare, per gli elementi in legno è necessario

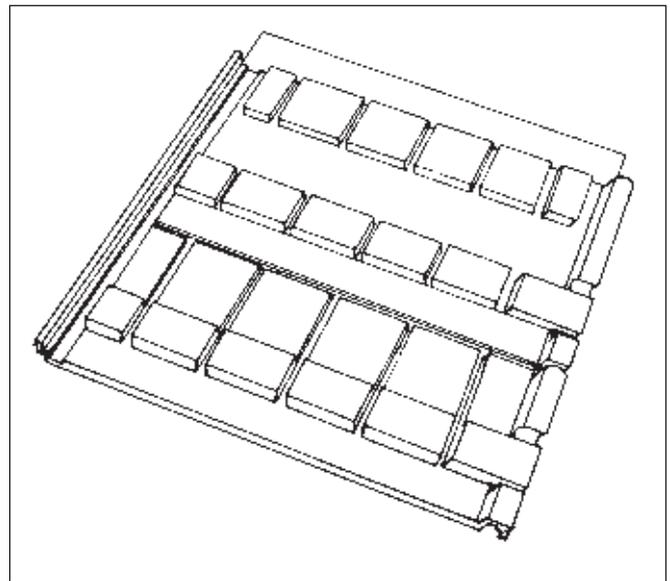


Fig. 11

che il tipo impiegato garantisca nel tempo stabilità dimensionale e resistenza meccanica soddisfacenti, senza presentare alterazioni biologiche o difetti tali da compromettere la sezione resistente; una protezione con prodotti insetticidi, fungicidi e, se necessario, ignifughi è sempre raccomandabile; le connessioni tra supporto e struttura devono essere realizzate mediante profilati in acciaio inossidabile con spessore minimo pari a mm 1,5; la malta costituente cordoli o sottofondo è preferibile sia a base di calce o bastarda.

ELEMENTO DI GOLLEGAMENTO

Può essere costituito da un elemento o da un insieme integrato di elementi e riveste la funzione di assicurare il collegamento tra strati o elementi contigui, per impedirne l'asportazione dovuta all'azione degli agenti atmosferici, come vento o neve, o della gravità nel caso di pendenze di falda elevate. In particolare nelle coperture discontinue, qualora se ne riscontri la necessità, tale elemento viene impiegato per collegare lo strato di tenuta al supporto, oppure serve per vincolare quest'ultimo alla struttura portante anche attraverso eventuali strati interposti.

Il collegamento può venire attuato mediante diversi sistemi quali chiodi, ganci, graffe, malta di allettamento, adesivi, denti di arresto; a seconda delle condizioni di impiego, questi possono essere distinti in:

- Elementi occorrenti solo in condizioni particolari, quali pendenza elevata e comunque superiore a quella prevista per lo strato di tenuta adottato, zone particolarmente esposte a vento, ecc;

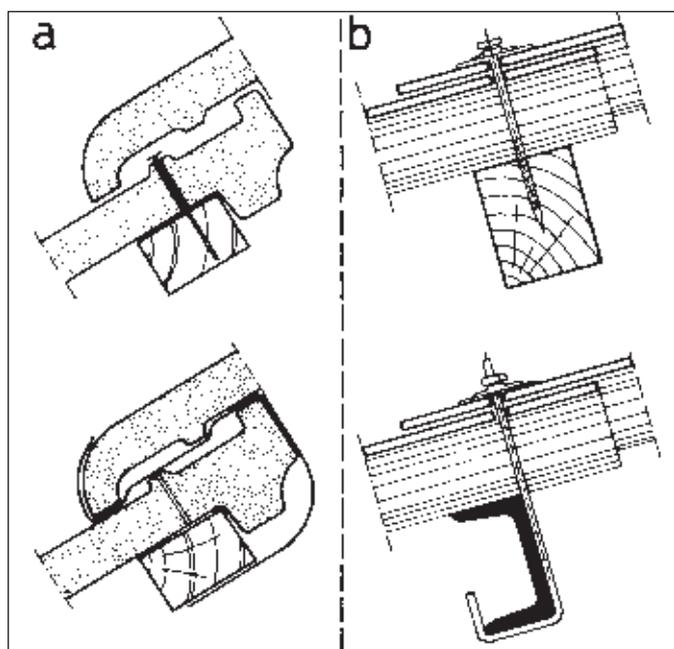


Fig. 12

2. Elementi occorrenti in ogni caso; in condizioni particolari il numero degli ancoraggi potrà essere incrementato oppure si dovrà provvedere a modificare il sistema.

Il tipo e il numero di elementi di collegamento viene in genere fissato da prescrizioni specifiche per i singoli prodotti, mentre il sistema di ancoraggio deve comunque permettere piccoli movimenti differenziali di origine termica ed elastica tra l'elemento di tenuta ed il supporto: questo tanto più quanto maggiore è il coefficiente di dilatazione termica del materiale, le sue dimensioni e il pericolo di brusche variazioni termiche. In Figura 12 sono rappresentati alcuni tipi di ancoraggi meccanici per a) tegole, b) lastre di fibrocemento.

ELEMENTO PORTANTE

Ha la funzione di sopportare i carichi permanenti ed i sovraccarichi della copertura e pertanto deve essere dimensionato in rapporto ad essi in base alla normativa specifica (vedi norma CNR UNI 10012).

È un elemento sempre presente che viene generalmente collocato al di sotto degli elementi di tenuta e di supporto, oppure può essere integrato con essi.

Lo strato portante può essere realizzato mediante differenti tecniche costruttive che danno origine a diverse tipologie di copertura, proprie della cultura e tradizione costruttiva locale, oltre che di destinazioni d'uso differenziate.

La struttura della copertura può essere classificata a seconda del materiale che la costituisce, oppure in base alla forma o alla schematizzazione statica di base; le tipologie più comunemente adottate sono quelle che originano falde più o meno inclinate, costituite in genere da solette gettate in opera di calcestruzzo armato normale o alleggerito, da solai laterocementizi, da lastre prefabbricate di calcestruzzo armato normale o precompresso, da strutture in legno o in acciaio. La pratica costruttiva italiana predilige l'impiego di strutture laterocementizie, anche se in alcune regioni e in interventi di recupero edilizio si utilizza ancora il legno. Più specificatamente, si può distinguere quanto segue:

1. Strutture in calcestruzzo armato pieno o laterocementizie:
 - lastre piane o nervate;
 - solaio misto gettato in opera;
 - solaio misto con travetti prefabbricati (tipo "Varese" o altro) e tavole di laterizio o lastre di calcestruzzo prefabbricate;
 - solaio in laterizio armato;
 - struttura con nervature in laterizio o scanalature sagomate per aggancio tegole;
 - pannelli in c.a.p. assemblati in opera;
 - travi e tegole in c.a.p. (per grandi luci).

2. Strutture in legno

Sono costituite da un'orditura principale e una secondaria ortogonale con funzione di irrigidimento oltre che di supporto degli strati sovrapposti.

- travi a sezione piena;
- travi in legno lamellare (per luci grandi);
- travi composte (per luci medie);
- pannelli portanti;
- capriate (per luci medie e grandi).

3. Strutture in acciaio

- profilati metallici a C o a doppio T;
- travi a traliccio (per medie e grandi luci);
- capriate (per medie e grandi luci).

L'elemento portante, in funzione dei materiali costituenti, delle caratteristiche chimico fisiche e della conformazione, può assolvere anche ad altre funzioni, quali, ad esempio, quella propria dell'elemento di tenuta, di supporto, termoisolante oppure quella di isolamento acustico e di protezione contro gli incendi provenienti dall'esterno.

STRATO DI BARRIERA AL VAPORE

Ha la funzione di impedire il passaggio del vapore d'acqua per controllare il fenomeno della condensazione all'interno della copertura.

Tale strato viene impiegato quando sopra lo strato coibente vi sono strati che impediscono la diffusione del vapore verso l'esterno e contemporaneamente vi è la formazione di rilevante umidità negli ambienti sottostanti la copertura oppure il materiale termoisolante è sensibile all'umidità. La barriera al vapore deve venire posta sempre al di sotto del coibente; la caratteristica della sua impermeabilità al vapore è funzione del coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore propria del materiale μ e del suo spessore; per ottenere buone prestazioni occorre utilizzare barriere di elevata impermeabilità, perfettamente stese e senza soluzioni di continuità. Lo strato può essere realizzato mediante applicazione, con tecniche diverse, di membrane in fogli, rotoli o simili a base di bitumi, elastomeri o plastomeri, oppure mediante prodotti sotto forma di paste o liquidi stesi in opera in modo da realizzare uno strato continuo ed uniforme, di spessore costante, eventualmente con l'interposizione di armature specifiche costituite da lamine metalliche o veli di vetro. Tra i materiali costituenti le membrane, quelli maggiormente impiegati sono i prodotti a base bituminosa, il polietilene, il polivinil cloruro, il polipropilene; mentre i principali prodotti liquidi o in pasta vengono distinti in: bituminosi, epossidici, poliuretani, acrilici, vinilici, ecc. In ogni caso devono venire applicati essenzialmente materiali qualificati secondo norme e controlli specifici. I sistemi di applicazione dello strato di barriera al vapore sono molteplici: generalmente le membrane vengono incollate al supporto per punti, a strisce o su tutta la superficie, oppure semplicemente stese; e necessario fare molta attenzione alla risoluzione di punti singolari; ad esempio in corrispondenza di raccordi è opportuno far risvoltare il materiale fin sopra l'elemento isolante e farlo aderire allo strato di tenuta. Se il supporto è costituito da lamiera grecata di acciaio è opportuno prevedere una barriera al vapore costituita da membrana totalmente incollata, con spessore minimo di mm 4, armata con tessuto. L'incollaggio deve avvenire con prodotti idonei e compatibili con la superficie metallica del supporto, oppure mediante un sistema di saldatura a fiamma, facendo attenzione di non danneggiare la protezione anticorrosiva della lamiera. Per supporti costituiti da elementi in legno o materiali legnosi, il fissaggio deve essere meccanico mediante chiodatura, predisponendo però uno strato di separazione tra i due elementi. Per lo strato di barriera al vapore la norma UNI 8178 evidenzia la possibilità che tale elemento svolga anche la funzione integrativa di tenuta all'aria.

STRATO DI TENUTA ALL'ARIA

Ha la funzione di controllare il passaggio dell'aria dall'esterno verso gli ambienti sottostanti la copertura,

in relazione alle caratteristiche dell'elemento di tenuta e delle condizioni ambientali esterne.

Lo strato di tenuta all'aria, costituito generalmente da elementi piani in laterizio, fogli bitumati o fogli sintetici, viene collocato sotto l'elemento termoisolante oppure al disotto dello strato di tenuta ma separato da questo mediante uno strato di ventilazione.

In funzione della sua conformazione, dei materiali che lo costituiscono e della sua localizzazione al disotto dello strato di tenuta, tale elemento può assolvere anche la funzione di strato secondario di tenuta all'acqua.

STRATO DI VENTILAZIONE

Ha la funzione di contribuire al controllo delle caratteristiche igrotermiche della copertura attraverso ricambi d'aria naturali o forzati. Non è necessariamente sempre presente ma, anche nelle coperture discontinue non ventilate è opportuno prevedere comunque una microventilazione al disotto dello strato di tenuta, per evitare ristagni di umidità e garantire una ventilazione sulla superficie esterna dell'eventuale strato termoisolante.

Nel caso della "copertura ventilata" lo strato ha la funzione di smaltire, nella stagione fredda, il vapore proveniente dagli ambienti interni e, nella stagione calda, di ridurre attraverso moti di aria convettivi il calore che altrimenti potrebbe raggiungere i locali sottostanti la copertura. Lo strato di ventilazione, che deve sempre venire collocato tra l'elemento di tenuta e l'eventuale strato termoisolante, viene generalmente realizzato mediante elementi distanziatori, che possono anche assolvere funzione portante per lo strato di tenuta, costituiti da listelli di legno, profilati metallici, pannelli di legno, laterizi forati, muricci e tavelloni, o altri elementi.

Lo strato di ventilazione deve avere spessore minimo di cm 10 nel punto più basso, ma può anche essere costituito da un'intercapedine di spessore costante lungo tutta la falda, con altezza utile fino a cm 60.

In ogni caso è necessario garantire una ventilazione costante e generale di tutto il volume, con aperture collocate generalmente in corrispondenza della gronda e del colmo, per far sì che le uscite dell'aria siano sempre in posizione più elevata rispetto a quelle di entrata. Per dimensionare tali aperture è necessario considerare che nel caso di strati di ventilazione di altezza ridotta la sezione utile dovrà essere di almeno 1/500 della superficie di copertura; mentre per falde molto estese si prevedono generalmente 100 cm² di aperture (in ingresso e in uscita) ogni m³ di volume da ventilare. Qualora l'intercapedine abbia sezione costante è necessario verificare

che non si determinino variazioni di spessore causate da impianti, strutture, ecc. Le aperture vengono realizzate mediante appositi elementi integrati con quelli che costituiscono lo strato di tenuta, concepiti in modo da impedire infiltrazioni idriche dovute a piogge di stravento. Sono in ogni caso da preferire elementi che realizzino aperture continue, tipo feritoie, che garantiscono un contatto diretto tra esterno e camera d'aria e che siano provvisti di reti di protezione per impedire l'intrusione di animali.

È necessario inoltre che la superficie inferiore garantisca la tenuta all'aria verso gli ambienti sottostanti e pertanto, qualora il materiale che lo costituisce non sia in grado di garantire tale requisito deve essere posto uno strato di tenuta all'aria che contribuisca ad impedire infiltrazioni negli ambienti sottoposti.

STRATO DI PROTEZIONE

Ha la funzione di controllare le alterazioni dello strato di tenuta conseguenti a sollecitazioni meccaniche, fisiche, chimiche; e più eventualmente assolvere funzione decorativa; viene collocato, qualora se ne ravvisi la necessità, al disopra dell'elemento di tenuta, generalmente come protezione da agenti atmosferici. Lo strato di protezione può essere realizzato mediante apposite vernici o pitture, smalti ceramici e vetrosi, materiali in scaglie o granuli incorporati nella superficie dell'elemento di tenuta.

ELEMENTO DI FINITURA INTERNA

Ha la funzione di conferire la qualificazione formale interna della copertura nel caso di sottotetto abitabile. In talune soluzioni tecniche l'elemento di finitura è integrato ad altre stratificazioni, con il vantaggio di ridurre le procedure di realizzazione del sistema. Tecnologie costruttive e materiali di uso più corrente, in rapporto alla tipologia strutturale e alla collocazione dell'isolante termico, sono sintetizzati nel quadro seguente:

Collocazione isolante	Struttura	
	Continua	Discontinua
estradosale	- pitturazione - rivestimento stoffa - rivestimento carta - verniciatura - perlinatura	- struttura a vista e perlinatura intermedia - struttura a isolante a vista - perlinatura sotto-struttura
intradossale	- perlineatura - isolante prefinito	- perlinatura - isolante prefinito
intermedia		- perlinatura - isolante prefinito

ELEMENTI COMPLEMENTARI ED ACCESSORI

Hanno il compito di collaborare con l'elemento di tenuta e la struttura della copertura per assolvere alle prestazioni principali, nonché di svolgere funzioni che completano o migliorano quelle di pertinenza delle stratificazioni.

La loro presenza ed importanza e la morfologia specifica dipendono essenzialmente dalla tipologia della copertura e dalle condizioni al contorno, generalmente in relazione al contesto meteorico.

Le norme individuano tra gli elementi complementari delle coperture i seguenti:

1. Elementi di raccolta e convogliamento delle acque, comprendenti canali di gronda, profili di bordo, converse, pluviali, doccioni, scarico di troppo pieno, scossaline di raccordo con elementi verticali.

In zone climatiche a forte precipitazione e per coperture con inclinazione tra i 18° e 60° è necessario predisporre elementi di tenuta della neve (paraneve) dislocati opportunamente lungo le falde, onde evitare la caduta di massa nevosa a blocchi in prossimità delle linee di gronda.

2. Elementi traslucidi e/o apribili con funzione di illuminare e/o areare i volumi sottostanti la copertura, oppure di consentire l'accesso all'esterno.

Si tratta essenzialmente di abbaini che permettono l'affaccio, lucernari a filo di falda botole di manutenzione.

3. Elementi terminali di impianti con funzione di consentire l'emissione di aeriformi in atmosfera:

- camini, costituiti da elementi integrati nella copertura la cui morfologia dipende dalle caratteristiche dello strato di tenuta; possono essere di laterizio, calcestruzzo, lamiera di forma e tecnologia di raccordo molto variabili;
 - aeratori, che consentono il passaggio di aria da e verso l'atmosfera agevolando la microventilazione sottotegola; in tale circostanza è opportuno posizionarli verso la linea di colmo e ogni 20 m² circa di copertura, munendoli di dispositivi atti ad impedire l'intrusione di animali o materiale estranei;
 - sfiati, che assicurano l'evacuazione di gas proveniente dai servizi igienici;
 - terminali dei camini che, posizionati nella parte terminale dei camini, ne assicurano il tiraggio migliorando il disperdimento dei prodotti della combustione e proteggendo le canalizzazioni sottostanti dagli agenti atmosferici.
4. Elementi di coronamento, con funzioni di riparo, difesa e/o decoro della copertura.

REQUISITI E PRESTAZIONI

Il sistema costituente una copertura discontinua deve essere in grado, sotto l'effetto degli agenti esterni e secondo le specifiche condizioni di impiego, di fornire un insieme di prestazioni in relazione alla sicurezza, al benessere, alla fruibilità e di assicurare il mantenimento nel tempo.

STABILITÀ E RESISTENZA MECCANICA

Il sistema di copertura deve essere in grado di sopportare le sollecitazioni dovute all'azione di carichi sia statici che dinamici previste in sede di progetto, senza che si verifichino deformazioni o rotture tali da compromettere il funzionamento dell'insieme e l'incolumità degli utenti.

Il compito di assicurarne la stabilità e resistenza meccanica è essenzialmente svolto dagli elementi strutturali che devono essere dimensionati in base ad ipotesi di carico che dipendono dalle presunte condizioni di esercizio e dal contesto meteorico in cui la copertura si colloca, in conformità a quanto previsto dalla normativa vigente.

La copertura deve quindi poter resistere alle sollecitazioni meccaniche imposte, oltre che dal peso proprio, dai sovraccarichi generati da agenti naturali quali neve, pioggia, vento, grandine, o artificiali dovuti alla presenza di sovrastrutture, impianti, ecc.; alle sollecitazioni dovute a movimenti trasmessi dalla costruzione sottostante, come assestamenti, oscillazioni e vibrazioni, o a stati tensionali anomali oppure incrinature della struttura portante per effetto dei processi di indurimento ed essiccazione.

Occorre considerare che il carico dovuto alla presenza di neve sulla copertura non può essere tenuto in conto come un carico uniformemente distribuito, in quanto la conformazione e l'esposizione delle falde possono causare accumuli e quindi sovraccarichi localizzati.

Sotto l'azione di fenomeni di pressione e depressione del vento la copertura e gli elementi che la costituiscono devono resistere senza danni di traslocazione, asportazione di parti, distacco di strati dai relativi supporti, deformazioni permanenti. Si devono tenere presente in proposito:

- pendenza e morfologia delle falde;
- rigidità e tenuta all'aria delle stratificazioni continue sottoposte al tegumento (elemento di supporto, elemento portante, strato isolante, strato di tenuta all'aria);
- localizzazione della copertura (in zona costiera, rurale, urbanizzata, città; vicinanza di edifici alti, di rilevati naturali o artificiali, di vegetazione permanente frangivento, ecc.);

- disposizione dei bordi, dei colmi e dei volumi emergenti (camino, vano scala, abbaino, ecc.);
- peso e meccanismi di giunzione degli elementi di tenuta.

Nelle zone particolarmente ventose occorre fissare quegli elementi di tenuta che solitamente prevedono la sola posa o aumentare il numero degli ancoraggi per quelli solitamente posti in opera con fissaggio.

Gli strati più esterni della copertura, infine, devono resistere agli urti che possono venire causati da transito di persone addette alla manutenzione o da oggetti che possono accidentalmente cadere (nel caso, ad esempio, di coperture sottostanti a viadotti).

COMPORTAMENTO AL FUOCO

L'insieme degli elementi e degli strati costituenti la copertura deve resistere all'azione del fuoco mantenendo inalterate le condizioni di sicurezza, senza crolli o distacchi di parti, per il tempo necessario affinché gli utenti possano mettersi in salvo.

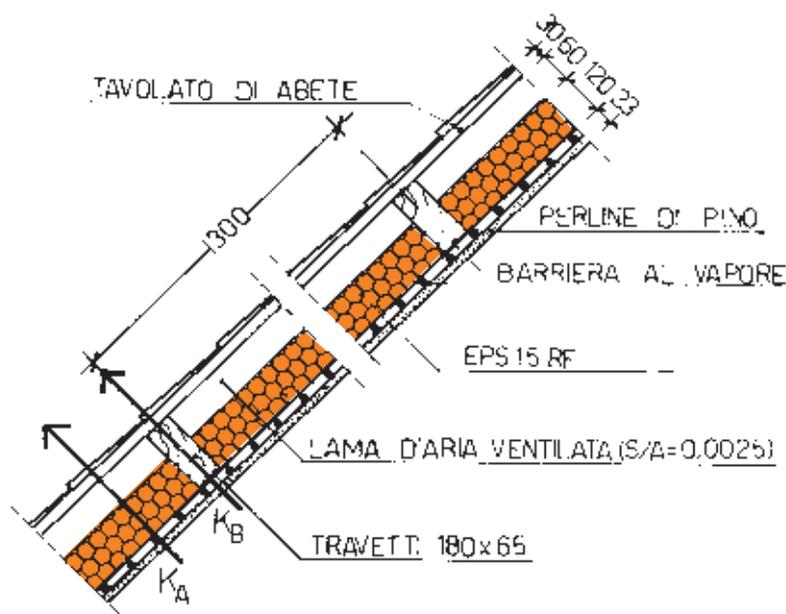
In relazione alle destinazioni d'uso dell'edificio ed in particolare degli ambienti sottostanti la copertura, la normativa italiana vigente richiede tempi specifici di resistenza al fuoco delle strutture in genere e, quindi, anche di quelle relative alla copertura.

La normativa in materia di sicurezza antincendi non impone particolari prescrizioni relative alle coperture né ai materiali che ne costituiscono gli strati, ma è comunque necessario che gli elementi posti all'estradosso non contribuiscano alla propagazione delle fiamme, anche in relazione ad incendi provenienti dall'esterno. In presenza di copertura ventilata occorre tenere in conto anche l'eventualità che la camera d'aria, per effetto camino, possa provocare una propagazione del fuoco incontrollata.

ISOLAMENTO TERMICO

Il sistema di copertura deve contribuire all'ottenimento del comfort ambientale interno e al risparmio energetico conformemente alla vigente normativa in materia di riduzione dei disperdimenti termici invernali. Sotto il profilo del benessere termico estivo, inoltre, esso deve garantire adeguati livelli di smorzamento e di sfasamento dell'onda termica relativa all'irraggiamento solare; in questo caso risultano determinanti ai fini di un buon funzionamento della copertura la inerzia termica e la ventilazione eventualmente presente, ma anche l'isolamento termico. Questo è essenzialmente legato alla presenza dello strato termoisolante, alla sua corretta collocazione e alle caratteristiche del materiale. L'esempio 1 ne mostra una applicazione. Un prodotto

ESEMPIO 1 - Trasmittanza termica di una copertura ventilata



1) Trasmittanza U_a in corrispondenza dei travetti

	s (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistenza superficiale interna			0,108
Perlinatura di pino	0,023	0,15	0,153
Travetti di abete	0,180	0,12	1,500
Tavolato di abete	0,030	0,12	0,250
Resistenza superficiale esterna			0,043
			$R_a = 2,054$
			$U_a = 0,487 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

2) Trasmittanza U_a in corrispondenza della lama d'aria.

L'intercapedine, con un rapporto-sezione/area coperta di 0,0025 m²/m², si classifica come "debolmente ventilata"

A) Trasmittanza U_0 considerando chiusa l'intercapedine

	s (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistenza superficiale interna			0,108
Perlinatura di pino	0,023	0,15	0,153
EPS	0,120	0,045	2,667
Lama d'aria			0,144
Tavolato di abete	0,030	0,12	0,250
Resistenza superficiale esterna			0,043
			$R_0 = 3,365$
			$U_0 = 0,297 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

B) Trasmittanza U_i della parte interna all'intercapedine

	s (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistenza superficiale interna			0,108
Perlinatura di pino	0,123	0,15	0,153
EPS	0,120	0,045	2,667
1/2 lama d'aria			0,072
			$R_i = 3,000$
			$U_i = 0,333 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (segue)

segue Esempio 1

C) Trasmissanza U_e della parte esterna all'intercapedine

	s (m)	λ (W/m K)	R (m ² K/W)
1/2 lama d'aria			0,072
Tavolato di abete	0,030	0,12	0,250
Resistenza superficiale esterna			0,043
			<hr/>
			$R_e = 0,365$
			$U_e = 2,740 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$$D) U_i + U_o = 0,333 + 2,740 = 3,073 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$I = 1,6$$

$$E) U_B = U_o + I (U_o / U_e)^2 = 0,297 + 1,6 (0,297 / 2,740)^2 = 0,316 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

3) Trasmissanza media della copertura

$$U = \frac{65 U_k + 1235 U_B}{1300} = \frac{65 \cdot 0,487 + 1235 \cdot 0,316}{1300} = 0,325 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

caratterizzato da basso valore di conducibilità termica e notevole stabilità nel tempo quale è l'EPS risulta particolarmente idoneo al soddisfacimento del requisito in oggetto anche in termini di durabilità.

L'isolamento termico del sistema di copertura è strettamente legato alla tenuta all'aria dello stesso.

Si devono pertanto evitare migrazioni d'aria dall'esterno all'interno e viceversa ed eliminare la possibilità che si inneschino moti convettivi a ridosso dello strato isolante che ne riducano il livello di prestazione. La tenuta all'aria può essere affidata agli stessi pannelli isolanti se di tipo stagno, quali quelli EPS.

In questo caso l'impiego di strato di tenuta supplementare può risultare superfluo, a meno che l'interferenza con elementi differenti e i raccordi con parti di copertura possano costituire giunti non a tenuta e dare origine a flussi d'aria incontrollati.

CONTROLLO DELLA CONDENSAZIONE

Il sistema di copertura deve garantire il controllo dei fenomeni di diffusione del vapore acqueo, così da evitare la formazione di condensa sia sulle superficie che all'interno degli strati.

La localizzazione dello strato isolante e l'eventuale presenza di dispositivi di freno o barriera al vapore, insieme allo strato di ventilazione, sono fondamentali ai fini del soddisfacimento del requisito in oggetto; nelle Figg. 13 e 14 è stato schematizzato qualitativamente l'andamento delle curve di pressione effettiva del vapore e di saturazione nei casi in cui l'isolante termico è posto all'esterno o all'interno

dello strato portante (supposto continuo di tipo cementizio).

Si nota come la dislocazione all'estradosso del solaio ottimizzi il comportamento del sistema sotto il profilo termoigrometrico, dal momento che nessuna stratificazione le pressioni effettive di vapore raggiungono il punto di saturazione; inoltre, in tal modo si ottiene un incremento dell'inerzia termica della copertura (circostanza questa che è molto importante in situazione estiva e con assenza di strato di ventilazione) e una riduzione delle mobilità degli strati ed elementi sottoposti al coibente.

Diventa, pertanto, assolutamente necessario in fase progettuale analizzare la diffusione del vapore (ad esempio attraverso l'uso del metodo di calcolo di Glaser) in rapporto alla soluzione tecnica prevista, alla successione delle stratificazioni funzionali e alle loro caratteristiche di permeabilità al vapore, alle condizioni termoigrometriche esterne ed interne di esercizio, con riferimento alle circostanze più gravose anche se meno frequenti.

Da ciò deriverà la corretta localizzazione e scelta dei prodotti, nonché la necessità eventuale di adottare una barriera al vapore. In questo caso occorre che essa sia posata a contatto della superficie dell'isolante rivolta verso l'interno e senza soluzione di continuità per evitare pericolose localizzazioni di fenomeni condensativi.

Qualora si renda necessaria l'applicazione di uno strato di tenuta all'aria o all'acqua disposto al di sopra dello strato isolante (per porosità dei materiali, scarsa pendenza delle falde, cattiva tenuta dei giunti fra gli strati continui, ecc.) questo può alterare il processo diffusivo e comportare il rag-

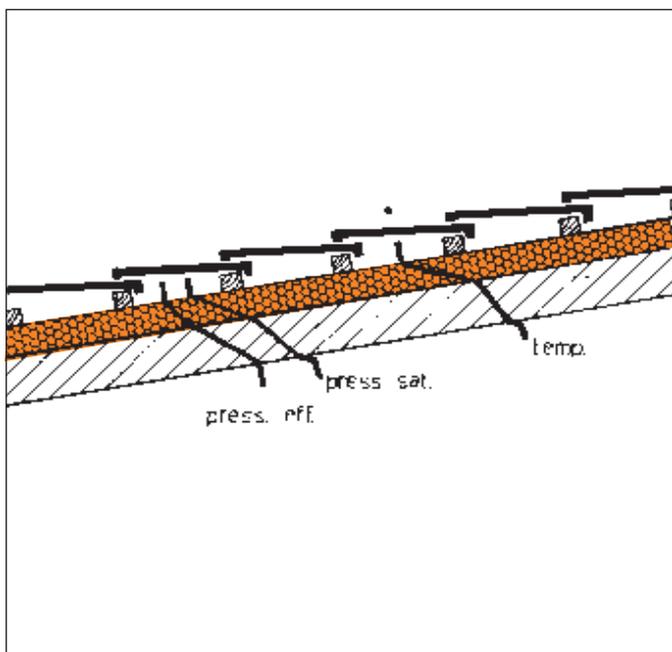


Fig. 13

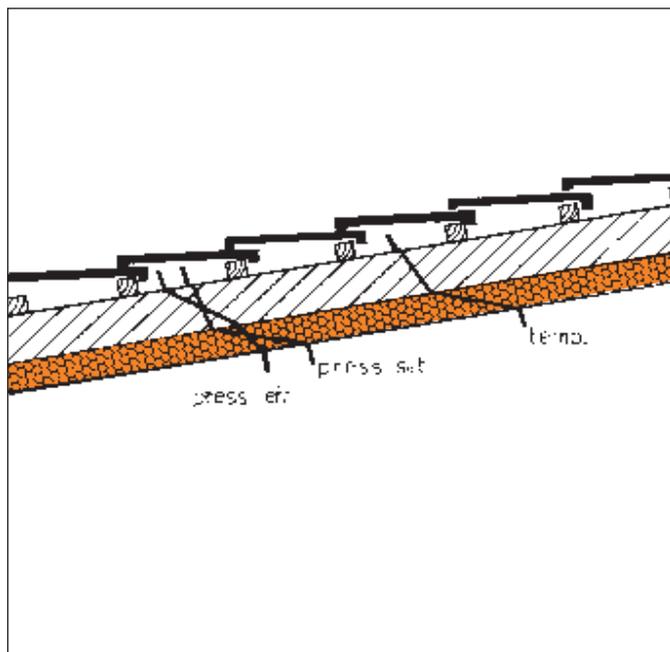


Fig. 14

giungimento dei valori di condensazione all'interno delle stratificazioni sottoposte.

A tal proposito, si può evidenziare come un corretto impiego di EPS può rendere assolutamente superflua l'adozione della suddetta barriera impermeabile, grazie alle spiccate proprietà intrinseche di non idrofilia e scarsissima permeabilità all'aria. Nel QUADRO 3 si è sintetizzato a titolo esemplificativo il risultato di alcune prove sperimentali svolte al Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC, Bruxelles) su coperture discontinue isolate non ventilate, finalizzate ad individuare soluzioni tecniche nelle quali non si possano verificare condensazioni superficiali ed interne; i risultati, pur riferentisi a tipologie e condizioni climatiche proprie del Belgio, tuttavia evidenziano come l'utilizzazione di pannelli di EPS possa escludere nella maggior parte dei casi la previsione di barriera al vapore e di strato di tenuta all'aria.

TENUTA ALL'ACQUA

Il sistema di copertura deve impedire il passaggio di acqua sia meteorica che eventualmente presente per svariate cause attraverso le stratificazioni funzionali, onde evitare infiltrazioni all'interno degli ambienti sottoposti e il degrado di altri elementi.

La tenuta all'acqua dell'insieme è determinata dal concorso di numerosi fattori quali pendenza e lunghezza di falda, geometria della superficie, sovrapposizione

degli elementi costituenti il tegumento, loro permeabilità e morfologia, ubicazione della copertura.

La lunghezza della falda può assumere valori massimi, in genere individuati dai produttori degli elementi di tenuta, oltre i quali è necessario prevedere un'interruzione con raccolta intermedia di acqua onde evitarne l'eccessivo accumulo in corrispondenza del piede di falda.

Anche la pendenza è in rapporto ai prodotti impiegati; già in precedenza si è sottolineato come al di sotto di valori minimi consigliati occorra adottare uno strato di tenuta aggiuntivo sottoposto al tegumento.

In genere, poi, diminuendo la pendenza è necessario incrementare la lunghezza di sovrapposizione degli elementi, specie in localizzazioni in cui l'effetto vento può produrre infiltrazioni per pompaggio in condizioni di bassa velocità di ruscellamento: ciò comporta un incremento del carico permanente e un maggior "consumo" di elementi per unità di superficie (condizioni particolarmente gravose nel caso di piccoli elementi ad alto peso specifico).

Per quanto concerne la configurazione geometrica della copertura, soluzioni semplici riducono le discontinuità e l'uso di pezzi speciali, limitando di conseguenza la possibilità di permeazione a livello di punti singolari.

La permeabilità degli elementi può generare infiltrazioni anche notevoli in condizioni di piovosità intensa e pendenza ridotta, così come il profilo può agevolare sensibilmente il ruscellamento di falda.

QUADRO 3

Comportamento all'umidità delle coperture discontinue
(da prove del C.S.T.C. belga)

CONDIZIONI AMBIENTALI INTERNE

Classe	Pressione parziale di vapore (Pa)	Produzione di umidità	Tipologia Edilizia
I	$1100 < p \leq 1165$	nulla o scarsa	box, rimesse, ecc.
II	$1165 < p \leq 1370$	nulla, con ventilazione sufficiente	scuole, uffici, ecc.
III	$1370 < p \leq 1500$	discreta, con ventilazione $> 0,5$ vol/h	case d'abitazione
IV	$p > 1500$	notevole, con ventilazione scarsa	piscine, lavanderie, ecc.

MATERIALI ISOLANTI

K	= sughero
MW	= lana minerale, lana di vetro
CG	= vetro cellulare
S-	EPS = polistirene espanso sinterizzato
	PUR = poliuretano
	PIR = poliisocianurato
XPS	= polistirene estruso
FF	= schiuma di fenolformaldeide
P	= perlite, vermiculite, altri

MATERIALI PER SCHERMO E BARRIERA AL VAPORE

Classe	Spessore di diffusione equivalente (m)	Materiale
E1	$2 < \mu s < 5$	cartonfeltro bitumato, velo vetro bitumato, vernici
E2	$5 < \mu s < 25$	cartongesso con alluminio e giunti permeabili, membrane sintetiche o bituminose con ancoraggio meccanico
E3	$25 < \mu s < 200$	membrane sintetiche o bituminose saldate
E4	$\mu s > 200$	lamine metalliche bitumate saldate

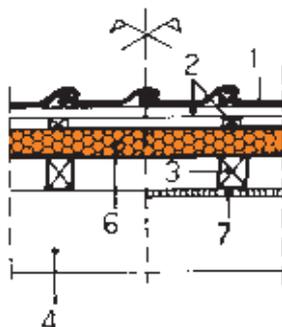
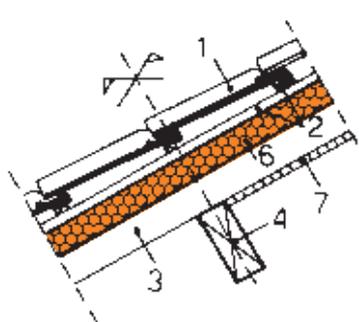
MATERIALI PER STRATO DI TENUTA ALL'ARIA

Tipo	Materiale
ST 1	pannelli in fibra di legno, in cellulosa-cemento
ST 2	teli di materiale sintetico, cartonfeltri bitumati, membrane bituminose

(segue)

ISOLAMENTO DEI TETTI A FALDE CON EPS

segue QUADRO 3



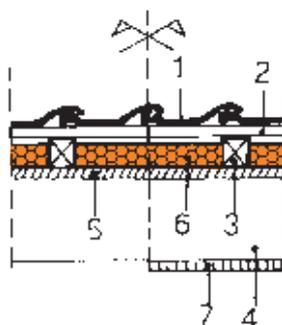
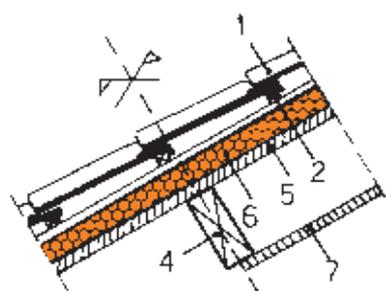
CASO 1

BARRIERA VAPORE : presente solo per Classe IV

TENUTA ALL'ARIA : ST 1, ST 2 assenti

Legenda

1 tegole - 2 listelli - 3,4 strutture portanti - 6 isolante termico - 7 finitura



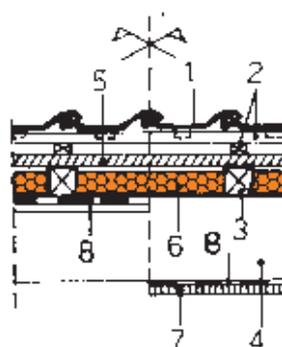
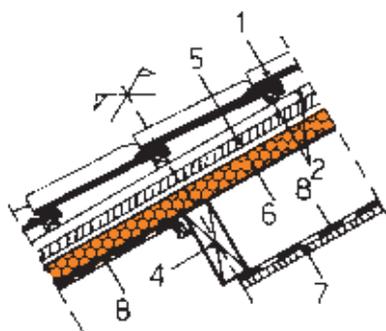
CASO 2

BARRIERA VAPORE : presente solo per Classe IV

TENUTA ALL'ARIA : ST 1, ST 2 assenti

Legenda

1 tegole - 2 listelli - 3,4 struttura portante - 5 supporto continuo in legno - 6 isolante termico - 7 finitura



CASO 3

BARRIERA VAPORE: Classe I = assente

Classe II =

* assente con impiego di S e XPS

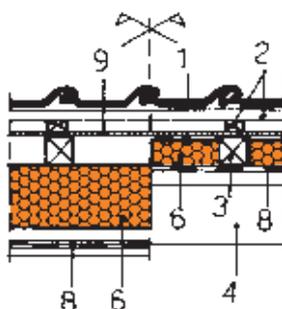
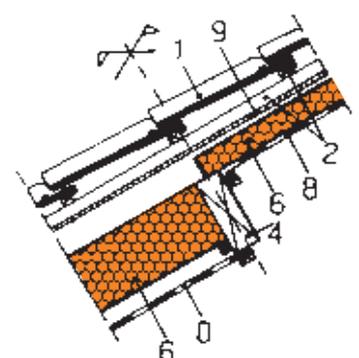
* E 1 con impiego di MW, FF

Classe III = E 2

TENUTA ALL'ARIA : ST 1, ST 2 assenti

Legenda

1 tegole - 2 listelli - 3,4 struttura portante - 5 supporto continuo in legno - 6 isolante termico - 7 finitura - 8 barriera al vapore



CASO 4

BARRIERA VAPORE:

Classe I = assente

Classe II =

* assente con impiego di S e XPS

* E 1 con impiego di MW, FF e con ST 1 o ST 2

Classe III =

* assente con impiego di S e XPS e con ST 1

* E 1 con impiego di MW, FF e con ST 1

* E 2 con impiego di ogni materiale e con ST 2

Legenda

1 tegole - 2 listelli - 3,4 strutture portanti - 6 isolante termico - 8 barriera al vapore - 9 tenuta all'aria



AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

Al fine di evitare o almeno limitare la presenza di umidità al di sotto del tegumento, causata da infiltrazioni meteoriche accidentali, dalla porosità degli elementi, da fenomeni condensativi, ecc., è utile permettere una microventilazione nell'interspazio fra strato di tenuta e strato continuo sottoposto (elemento di supporto, portante, termoisolante).

Lo spazio di ventilazione sottotegola può essere ottenuto con la listellatura di ancoraggio (supporto a sviluppo lineare) (Fig. 15).

La microventilazione si innesca attraverso la predisposizione di opportune aperture (elementi speciali, cuffie, torrini, ecc.), l'interconnessione non stagna con elementi costruttivi (camini, muri di raccordo, ecc.), le luci offerte dalla sagomatura degli elementi di tenuta a livello di linea di gronda e, in certe soluzioni tecniche, la conformazione del colmo.

La tenuta all'acqua deve essere verificata anche in relazione all'accumulo di neve in punti critici della copertura: in particolari situazioni (ad esempio a livello di cornicione non riscaldato che sporga da falda sovrapposta ad ambiente riscaldato) il ristagno di neve e ghiaccio può generare, in fase di disgelo, infiltrazioni dovute a risalite di acqua in fusione. Fig. 16.

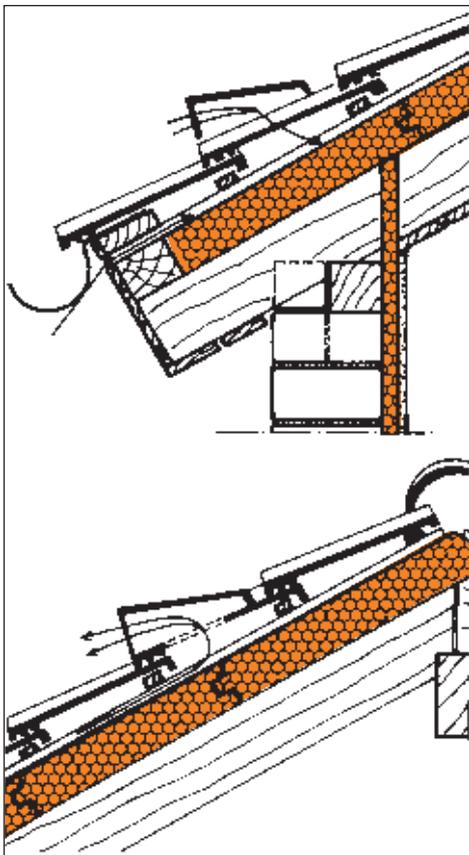


Fig. 15

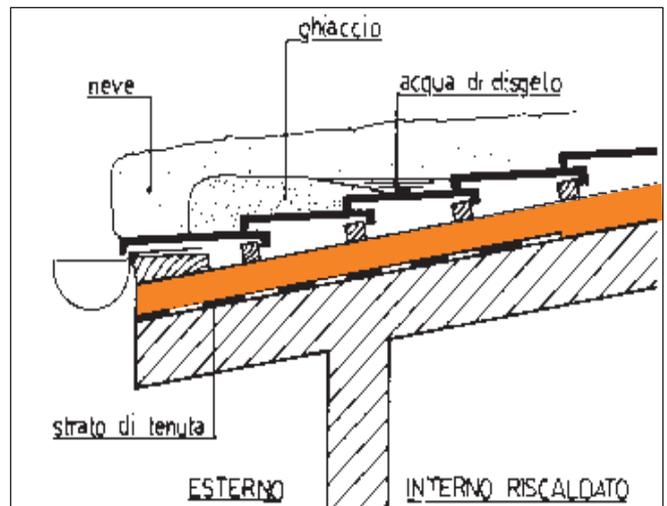


Fig. 16

DURABILITÀ

La durata nel tempo di livelli di prestazione accettabili deve essere garantita dal sistema di copertura nel suo complesso e dai singoli elementi componenti.

In tal senso, la copertura deve poter resistere alle azioni indotte da:

- formazione di gelo dovuto a ristagno idrico in punti singolari critici;
- alternanza del fenomeno di gelo e disgelo;
- shock termico dovuto a repentini sbalzi di temperatura;
- deformazioni cicliche degli elementi di tenuta per effetto delle dilatazioni da irraggiamento e dei rigonfiamenti da imbibizione;
- attacco di agenti biologici di degrado di origine animale o vegetale;
- attacco di agenti chimici aggressivi;
- presenza di acqua meteorica che possa innescare corrosioni elettrochimiche;
- corrosione galvanica per effetto del contatto fra prodotti chimicamente non compatibili;
- operazioni di manutenzione che possono produrre deformazioni permanenti o punzonamenti.

Per quanto riguarda lo strato coibente, la durabilità dell'EPS, correttamente posato (in pratica se non è esposto direttamente alla radiazione solare) è ormai provata da più di 30 anni di esperienza applicativa.

La sua assoluta inerzia chimica garantisce poi che l'EPS non provoca degradi nemmeno nelle altre parti della copertura con cui è a contatto.

PRESCRIZIONI PER LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE

Le problematiche relative alla progettazione e costruzione di coperture inclinate risultano molto complesse e articolate a causa sia della diversità degli schemi funzionali adottabili, sia della molteplicità e specificità dei prodotti utilizzabili per ciascuna delle stratificazioni e della variabilità delle combinazioni possibili: questi aspetti esigerebbero una trattazione analitica e differenziata che esula dall'impostazione e dall'ambito stesso dei presenti Quaderni. Tuttavia, oltre alle considerazioni a carattere progettuale e applicativo svolte già nei capitoli precedenti, è possibile evidenziare altre indicazioni di carattere alquanto generale.

1. La concezione della copertura non può prescindere dall'analisi delle condizioni locali atmosferiche e climatiche, con individuazione degli eventi meteorici più significativi, della loro intensità e frequenza, nonché del tempo di ritorno di quelli critici. Anche la possibilità che si verifichino effetti combinati deve essere valutata attentamente: l'azione del vento, ad esempio, può provocare risalita di acqua meteorica nel giunto fra gli elementi di tenuta, così come depositi localizzati di neve o ghiaccio che determinano carichi concentrati anomali.

2. La pendenza di falda deve essere scelta essenzialmente in rapporto alla idoneità della copertura a smaltire l'acqua meteorica, con riguardo alla abitabilità o meno del volume di sottotetto e agli aspetti formali d'insieme dell'edificio. A tal proposito, giova ricordare come un tetto a falde in vista risulti elemento che connota fortemente sia l'edificio sia il contesto ambientale in cui si inserisce.

La determinazione della pendenza in sede progettuale deve tener conto di diversi fattori che interessano aspetti strutturali, formali e di tenuta all'acqua. In localizzazioni geografiche caratterizzate da nevicate intense e frequenti, la pendenza deve essere tale da evitare ritorni d'acqua in fase di disgelo e nel contempo limitare la componente verticale del carico per ridurre l'incidenza statica sulla struttura, agevolando il lento scivolamento della neve lungo le falde senza provocare movimentazioni anomale degli elementi di tenuta. Analogamente, in rapporto alla tenuta all'acqua della copertura, la scelta della pendenza viene ad essere influenzata dall'eventualità che si verifichino piogge intense in presenza di vento forte (ad esempio in zone costiere o interessate da fenomeni temporaleschi), situazione questa che, influenzando il normale ruscellamento lungo le linee di massima pendenza, può provocare infiltrazioni per pompaggio a livello dei giunti fra gli elementi di tenuta. A titolo orientativo si possono

considerare i seguenti valori: per pressione cinetica q di 60, 75, 100, 120 Pa la pendenza minima consigliabile p è rispettivamente del 30, 35, 40, 45%.

In ogni caso tali considerazioni assumono rilevanza specifica in relazione al materiale e alle caratteristiche morfologiche dello strato di tenuta. Così, ad esempio, per l'impiego di tegole in laterizio sono consigliabili pendenze comprese tra il 30% e il 40%: valori inferiori possono provocare infiltrazioni idriche e richiederebbero uno strato aggiuntivo impermeabile, valori superiori impongono particolari accorgimenti per la posa in opera. Accanto a queste valutazioni, la determinazione della pendenza è anche influenzata da consuetudini locali e da scelte compositive connesse alle forme dell'architettura.

3. L'inclinazione della linea di massima pendenza determina differenti meccaniche di comportamento alla neve. In generale per pendenze superiori a 60° la massa nevosa tende a scivolare con continuità e gradualmente a mano a mano che si accumula lungo le falde; per pendenze inferiori a 18° essa tende a stazionare sulla copertura, mentre per inclinazioni intermedie si possono verificare distacchi improvvisi di blocchi nevosi, specie in presenza di elementi di tenuta lisci e di sottotetto riscaldato. A tal proposito, è opportuno prevedere l'impiego di accessori fermaneve i quali, oltre ad evitare lo scivolamento repentino con pericolo di incolumità per mezzi e persone, impediscono l'accumulo di neve in corrispondenza dello sporto di gronda e le conseguenti sollecitazioni anomale allo sbalzo stesso, al canale di gronda e agli elementi terminali. Al fine di evitare l'accumulo di neve e la formazione di ghiaccio in situazioni critiche (ad esempio converse, gronde, bocchettoni, ecc.) è possibile impiegare sistemi di sbrinamento elettrico.

4. L'importanza della ventilazione sotto gli elementi di tenuta (microventilazione) è già stata evidenziata in precedenza. C'è inoltre da sottolineare come l'impiego di strati aggiuntivi di tenuta all'aria o all'acqua (lastre, membrane impermeabili, ecc.) non deve in alcun modo impedire la circolazione naturale sottotegola in misura tale che essa possa evitare la condensazione intradosale, ridurre l'umidità e migliorare il comportamento termigrometrico della copertura in situazione estiva ed invernale Figura 17.

5. I materiali impiegati per la realizzazione dei vari strati funzionali devono essere fra loro compatibili e congruenti alla soluzione tecnologica prevista. In particolare, è da evitare l'interazione di prodotti metallici tale da originare corrosione elettrolitica, come nel caso di contatto fra zinco e rame oppure fra rame e alluminio, fra ferro e acciaio inossidabile, fra piombo e

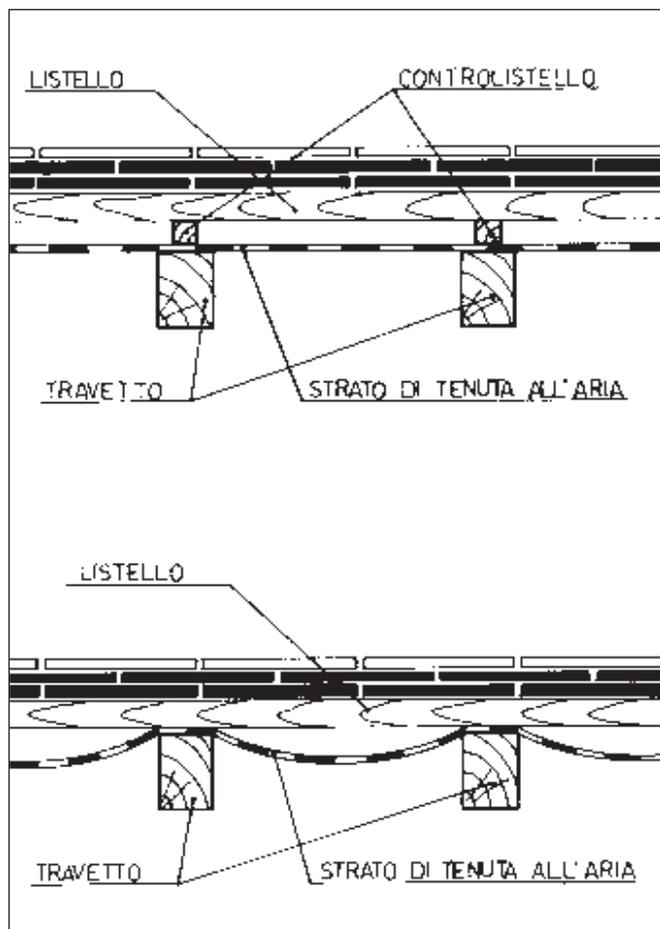


Fig. 17

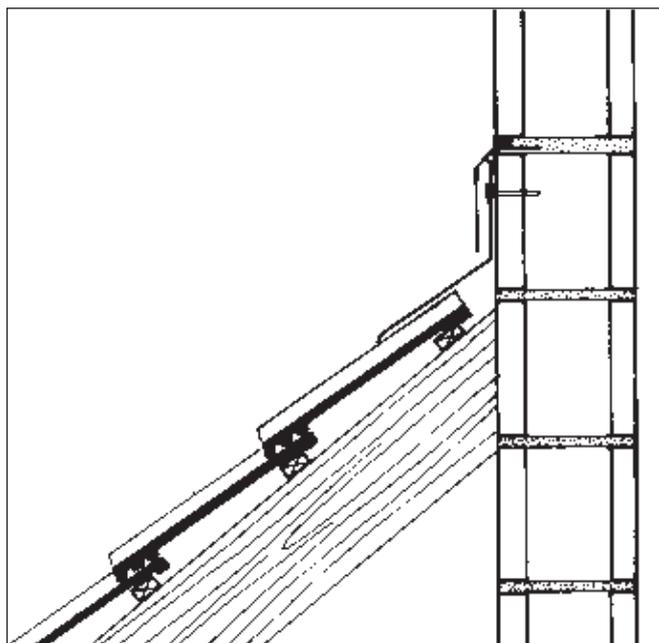


Fig. 18

prodotti cementizi. Qualora risultasse impossibile evitarne l'interconnessione, è bene prevedere l'impiego di strato separatore (foglio di polietilene, cartonfeltro bitumato, tessuto non tessuto, vernici, ecc.). Infiltrazioni idriche, ristagni prolungati di umidità o reiterati fenomeni condensativi possono indurre situazioni di degrado agli elementi lignei e metallici costituenti la copertura non adeguatamente protetti.

6. Per effetto dell'irraggiamento solare e degli shocks termici, gli elementi di tenuta subiscono dilatazioni che, nel caso di prodotti metallici di grande dimensione caratterizzati da elevati coefficienti di dilatazione possono risultare considerevoli. Queste deformazioni devono essere tenute in conto nella progettazione degli ancoraggi delle lastre al supporto, onde evitare tensionamenti anomali che producono imbozzamenti, strappi, lesioni tali da compromettere la tenuta e la stabilità del tegumento; i fissaggi devono pertanto permettere i movimenti differenziali tra elementi di tenuta e supporto. C'è da notare come la collocazione dello strato termoisolante subito a ridosso dello strato di tenuta esalta i suddetti fenomeni di dilatazione termica dello strato di tenuta.

7. La posa in opera degli elementi di supporto (listelli, arcarecci, ecc.) deve garantire l'ancoraggio meccanico degli stessi alla struttura sottoposta e la costanza dell'interasse.

I listelli lignei possono essere applicati:

- su struttura discontinua: mediante chiodatura;
- su struttura continua: mediante chiodatura o adesivo cementizio.

Impiegando taluni elementi di tenuta (ad esempio tegole in cemento o in laterizio) i listelli possono essere sostituiti da cordoli in malta su struttura continua; questi devono essere complanari, a spigolo vivo e dovranno risultare ben asciutti prima di ricevere la posa degli elementi del tegumento, per evitare adesioni e deformazioni anomale.

8. La realizzazione dei punti singolari deve essere molto accurata, essendo possibili vie di infiltrazione d'acqua. In particolare le converse dei compluvi, i raccordi con muri perimetrali e pareti in genere, i risalti dei bordi devono essere consegnati in modo che l'acqua in essi convogliata deve poter scorrere verso i canali di gronda senza provocare infiltrazioni al di sotto del tegumento. L'adozione di scossaline può essere utile in situazione di raccordo verticale. (Figura 18).

Gli elementi speciali di colmo devono essere assicurati alla copertura mediante incollaggio cementizio o staffatura metallica o, se il colmo è di tipo ventilato, opportuna chiodatura o bullonatura; la posa dei colmi deve avvenire con sovrapposizione nel verso oppo-

sto ai venti dominanti. Al fine di evitare infiltrazioni dovute ad acqua di fusione è conveniente disporre uno strato di tenuta supplementare in corrispondenza dello sporto di gronda. I raccordi con torrini, esalatori, antenne, camini, ecc., devono essere realizzati possibilmente impiegando pezzi speciali predisposti, quali grembiuline, faldali, ecc.

9. L'isolamento termico della copertura, oltre che imposto dalla vigente normativa in materia, in realtà apporta un contributo significativo all'isolamento globale dell'edificio tanto più quanto maggiore è l'incidenza dello sviluppo superficiale della copertura rispetto al volume totale sottoposto. Così, ad esempio, in costruzioni basse provviste di tetto a falde a media o forte pendenza e sottotetto abitabile l'insufficienza o l'errata posa in opera di prodotti coibenti determina, oltre alla riduzione del comfort ambientale interno, anche notevoli disperdimenti energetici con aggravio di costi di esercizio degli impianti di riscaldamento.

A seconda dello schema funzionale adottato (copertura non ventilata o ventilata), dalla destinazione d'uso del volume sottotetto (non praticabile, praticabile, abitabile) e della tipologia e caratteristiche costruttive dell'elemento strutturale (solaio continuo a base lignea o cementizia, struttura discontinua lignea o metallica, ecc.) la modalità di posa e la collocazione della stratificazione isolante può differire anche notevolmente. L'impiego di pannelli in EPS, grazie alla versatilità del prodotto e alle notevoli proprietà chimico-fisiche, meccaniche e termiche, tende a semplificare le procedure in molte applicazioni concrete.

È consigliabile posare i pannelli EPS il più possibile verso l'estradosso della copertura, al di sopra dello strato di supporto, per i guadagni di carattere igrotermico e di trasmissione del calore già descritti. L'anigroscopicità e la stabilità dimensionale di EPS ne consente la collocazione anche in presenza di eventuale umidità e di sollecitazioni termiche rilevanti. Laddove lo richiedano le condizioni termogrometriche può essere necessario posizionare una barriera al vapore verso il lato caldo dello strato coibente. I pannelli EPS dovranno essere possibilmente posati in duplice strato e a giunti sfalsati nel caso in cui presentino bordi lisci; viceversa se ne può predisporre un solo strato se essi hanno bordi battentati. Nel caso in cui le lastre EPS siano collocate al di sopra degli elementi strutturali, esse vengono inserite fra una listellatura con funzione distanziatrice; in questo caso, si sottolinea che l'altezza dei listelli deve essere almeno uguale a quella dell'isolante previsto affinché non sia impedita la microventilazione sottotegola; qualora si renda necessario

disporre di una lama d'aria più consistente, è opportuno che detta altezza superi di 3-5 cm quella del coibente. L'impiego di EPS consente anche di applicare la listellatura direttamente sullo strato isolante qualora si utilizzino pannelli sandwich o pannelli autoportanti con notevole resistenza a compressione e flessione; la posa di queste lastre permette anche di evitare la realizzazione di uno strato portante continuo di supporto (assito ligneo, solaio laterocementizio, ecc.). In tal caso occorre osservare che:

- i giunti fra i pannelli devono essere perfettamente chiusi onde attuare un'efficace barriera all'aria e all'acqua;
- un eventuale strato superiore continuo di tenuta impedisce la diffusione del vapore e pertanto richiede necessariamente una barriera al vapore sotto il coibente;
- le prescrizioni specifiche di posa, ancoraggio, fissaggio, ecc. fornite dai produttori devono essere scrupolosamente seguite.

Nel caso di strato portante discontinuo (punti delle coperture alla piemontese, terzere di quelle alla lombarda, arcarecci metallici, ecc.) i pannelli EPS possono essere applicati anche sotto gli elementi strutturali, oppure nell'interspazio. In entrambi i casi si può evidenziare quanto segue:

- le lastre di EPS con elevata rigidità e resistenza a flessione sono preferibili ad altri prodotti con bassa resistenza meccanica;
- i giunti fra i pannelli devono essere stagni all'aria così come le connessioni fra pannelli ed elementi di contorno (struttura, muri, elementi tecnici);
- se possono prevedersi infiltrazioni idriche attraverso lo strato di tenuta, occorre proteggere lo strato isolante mediante interposizione di strato impermeabile aggiuntivo. In questa circostanza, comunque, occorre garantire la microventilazione sottotegola e, possibilmente, la ventilazione della superficie esterna dell'isolante, nonché la posa di barriera al vapore qualora la suddetta ventilazione sia irrealizzabile o insufficiente.

Se il volume di sottotetto non è abitabile, le lastre di EPS possono essere collocate sopra l'ultimo solaio piano: esse dovranno essere coperte da pannelli di compensato (8-10 mm) o truciolare (16-20 mm), che oltre a proteggerle, consentiranno il calpestio per manutenzione; particolare cura andrà posta alla battentatura delle interconnessioni e alla continuità dello strato isolante. Si fa notare come questa soluzione tecnica, a fronte della semplicità esecutiva, soprattutto in situazioni di recupero del patrimonio edilizio esistente e adeguamento alla normativa sul contenimento energetico, risulti la meno affidabile dal punto di vista igrotermico e richieda generalmente l'impiego di barriera al vapore.

PARTICOLARI APPLICAZIONI DELL'EPS

In virtù della particolare tecnologia produttiva di stampaggio dell'EPS, mediante la quale è possibile preformare manufatti di geometrie diverse dalla semplice lastra piana a superfici parallele, e grazie alla possibilità di preassemblare in stabilimento pannelli multistrato a funzioni integrate, il mercato dei prodotti in EPS da impiegare nella realizzazione dello strato isolante di coperture discontinue si è notevolmente ampliato e diversificato; esiste, così, una vasta gamma di manufatti, interessanti dal punto di vista della concezione, mirata ad ottimizzare le prestazioni di un materiale alquanto versatile: questi manufatti consentono soluzioni tecnologiche avanzate e la possibilità di correlare la risoluzione del problema igrotermico a quella di alcuni aspetti costruttivi propri delle coperture a falde tra cui la realizzazione del supporto dello strato di tenuta e della finitura interna di sottotetti abitabili, la peditività di sottotetti non abitabili, la perfetta tenuta delle interconnessioni, sia dei pannelli stessi, sia tra pannelli ed elementi di contorno. Tra gli impieghi più significativi del EPS stampato, in relazione alla integrazione di funzioni diverse in un unico elemento, si possono menzionare i seguenti.

Pannello drenante

È possibile realizzare un tetto-giardino anche su coperture a falde utilizzando quale strato drenante speciali pannelli in EPS sinterizzato; tale strato deve favorire l'eliminazione rapida dell'acqua meteorica e nel contempo poterne trattenere una quantità sufficiente ad evitare operazioni di innaffio nei periodi non piovosi. I pannelli in EPS stampato assolvono a questa funzione grazie ad una particolare conformazione: all'intradosso presentano una maglia ortogonale di canali di drenaggio, all'estradosso sono dotati di canali di raccolta dell'acqua i cui argini sono caratterizzati da denti spazati; le protuberanze sostengono le stratificazioni sovrapposte, mentre negli spazi sono ricavati i fori di drenaggio dell'acqua in eccesso e di aerazione della terra di coltivo (Figg. 19-20).

Pannello sottotegola

Viene posato appena al di sotto degli elementi di tenuta (tegole, coppi, lastre ondulate) con funzione di supporto degli stessi, oltre che di isolamento termico: il pannello presenta una particolare sagomatura all'intradosso per l'applicazione alla listellatura di appoggio e all'estradosso per l'ancoraggio dei manufatti del tegumento, con un sistema di drenaggio dell'umidità di infiltrazione e di condensa: i bordi sono battentati per interconnessione ad incastro (Fig. 21). Grazie all'anigroscopicità del materiale, questi pannelli costituiscono ulteriore tenuta all'acqua. Tale sistema unisce alla rapidità e semplificazione delle operazioni

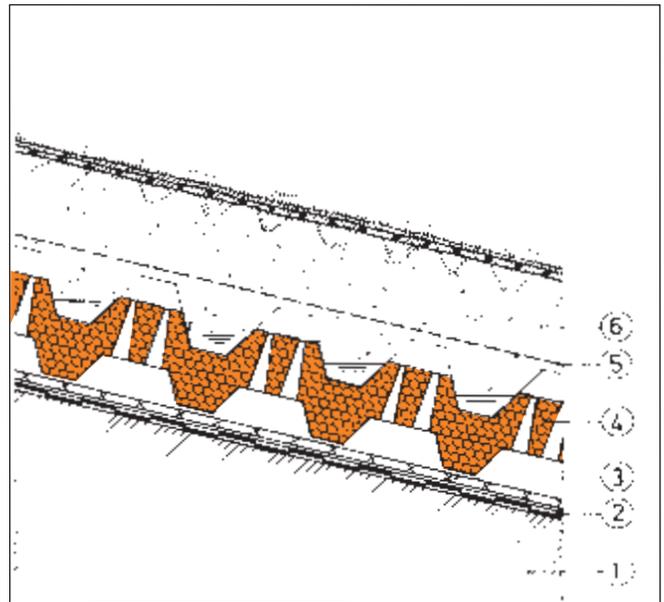


Fig. 19

1. Solaio; 2. Strato di tenuta; 3. Strato di protezione; 4. Drenaggio in pannelli di EPS; 5. Strato filtrante; 6. Terreno di

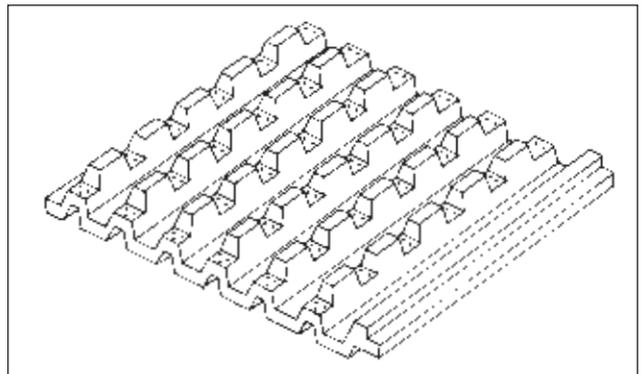


Fig. 20

costruttive la possibilità di realizzare un isolamento esterno senza soluzione di continuità e di protezione completa degli elementi e strati sottoposti. È bene, comunque, che la conformazione dei manufatti garantisca la microventilazione sottotegola.

Qualora sia richiesto un livello di impermeabilità particolarmente elevato, esistono pannelli sottotegola provvisti di idoneo contenitore a vaschetta in materiale plastico (PVC), a giunti battentati, che garantisce la perfetta tenuta all'acqua della stratificazione ed inoltre si configura come possibile finitura interna qualora non sussistano particolari esigenze formali (ad esempio per volumi adibiti a locale gioco, ripostiglio, ecc.). Se il sottotetto è inaccessibile, pur in modo saltuario, è sempre da verificare che l'inerzia termica e la resistenza acustica del sistema siano compatibili con livelli di comfort accettabili. Un'interessante variante

ISOLAMENTO DEI TETTI A FALDE CON EPS

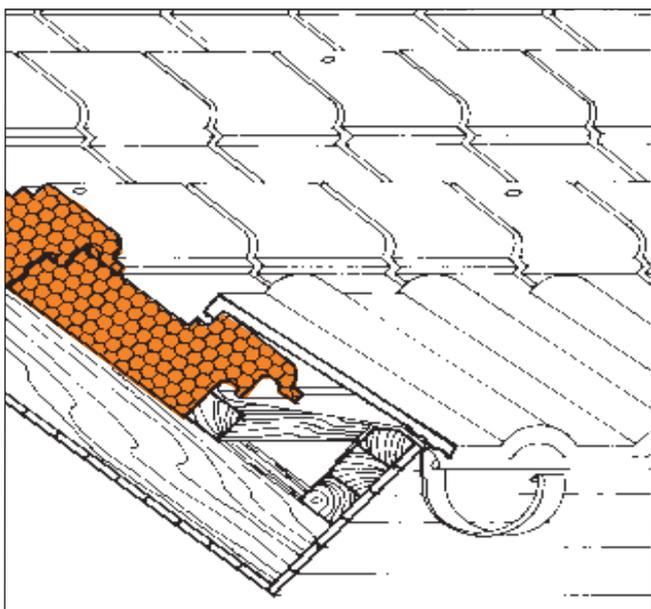


Fig. 21

di questi prodotti è rappresentata da elementi di EPS autoportanti di lunghezza fino a m 6, armati con listelli di acciaio incorporati, idonei ad essere applicati su orditura con interasse fino a cm 120 senza bisogno di listellatura aggiuntiva di supporto (Fig. 22).

Pannello autoprotetto

Offre la possibilità di evitare lo strato di supporto all'isolante e finitura interna e l'eventuale barriera al vapore, essendo le rispettive funzioni integrate nel medesimo elemento. Inoltre, come nel caso precedente, il pannello consente l'isolamento esterno continuo ed attua la protezione agli agenti atmosferici e agli shock termici di tutte le stratificazioni sottoposte. Al di sopra della pannellatura viene realizzata la listellatura di supporto degli elementi di tenuta con microventilazione (Fig. 23).

Un particolare tipo di pannelli è impiegato per l'applicazione a pavimento in sottotetti non abitabili ma comunque pedonabili (per manutenzione o utilizzo del vano ad uso di sgombero, ripostiglio, stenditoio, ecc.): si tratta di manufatti bistrato autoprotetti, caratterizzati dalla presenza di una lastra rigida in legno pressato o laminato plastico preincollata all'estradosso del EPS con funzione di ripartizione dei carichi (Fig. 24).

Pannello "elastico"

La lastra di EPS è provvista di strette scanalature longitudinali alternate sulle due superfici, le quali imprimono una certa elasticità in direzione ad esse perpendicolare consentendo l'applicazione del pannello entro le luci dello strato portante discontinuo, senza fissaggio meccanico o supporto continuo e con perfetta chiusura dei giunti. I bordi possono presentare battentatura per connessione ad incastro (Fig. 25).

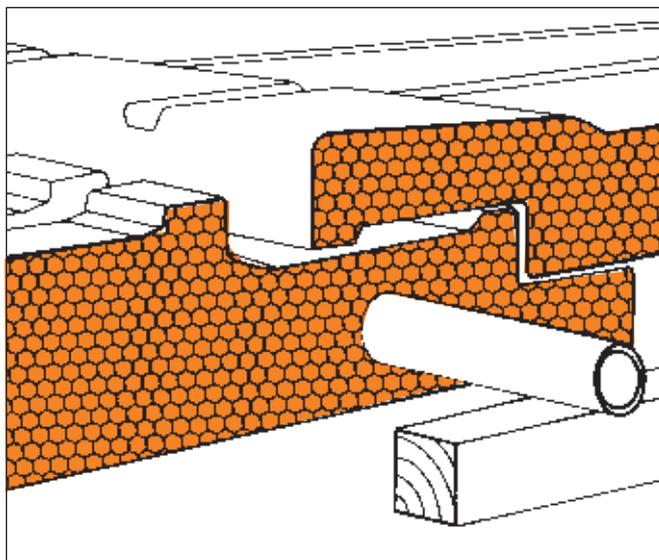


Fig. 22

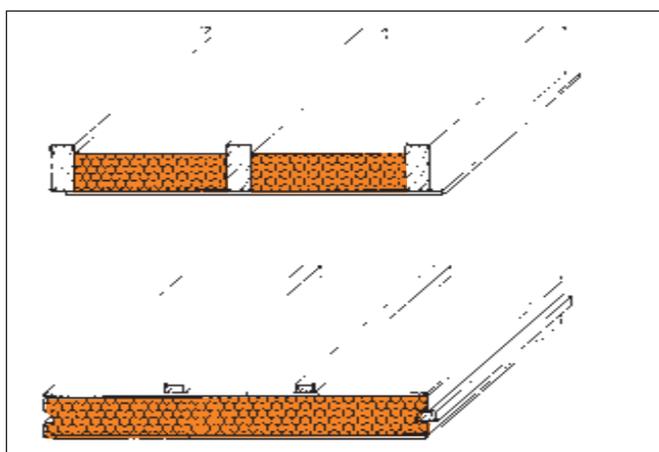


Fig. 23

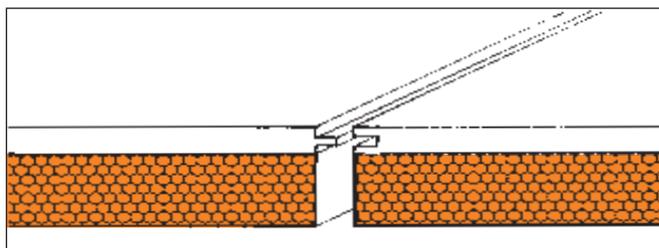


Fig. 24



Fig. 25

DETTAGLI COSTRUTTIVI

Di seguito vengono riportati alcuni dettagli costruttivi relativi ai più comuni e diffusi sistemi di copertura inclinata con riferimento alla sezione corrente e ai principali punti singolari (Figg. 26 a 45).

Il panorama delle soluzioni presentato non può e non deve ritenersi esaustivo, ma può orientare ad

un'analisi di un sistema, la cui progettazione e realizzazione ancor oggi troppo spesso è affidata al caso o, alla meglio, alla perizia artigiana di carpentieri e posatori, senza che siano stati approfonditi tutti quegli aspetti funzionali e quelle implicazioni di carattere scientifico e tecnologico che garantiscono qualità, affidabilità e durata al prodotto edilizio.

COPERTURA ISOLATA - NON VENTILATA

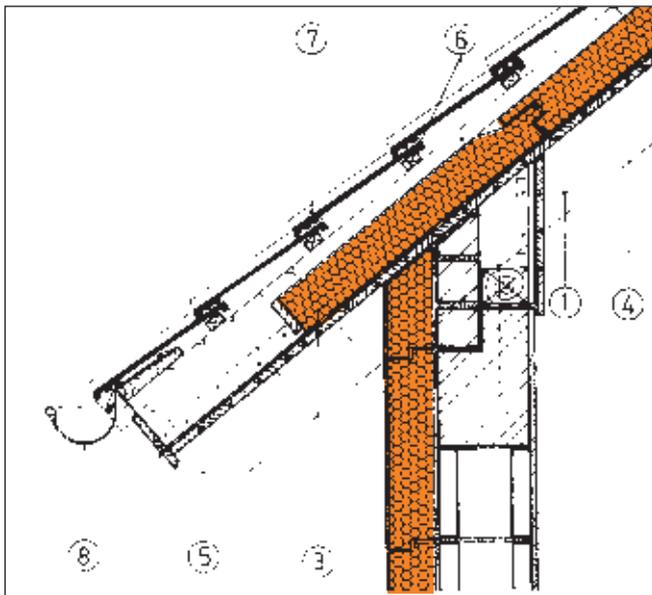


Fig. 26 - Sez. verticale in corrispondenza dello sporto di gronda frontale

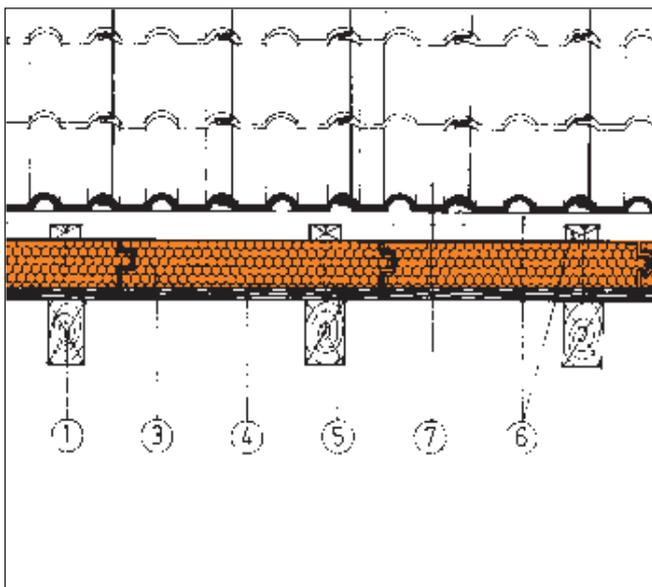


Fig. 27 - Sez. corrente perpendicolare alla falda

- 26-30 • Strato isolante al di sopra della struttura
- Strato di tenuta all'aria
- Struttura in vista
- 31-32 • Strato isolante al di sopra della struttura
- Strato di tenuta all'aria
- Struttura non in vista
- 33-34 • Strato isolante tra gli elementi strutturali
- Strato di tenuta all'acqua aggiuntivo

LEGENDA

1. Struttura discontinua in legno
2. Solaio
3. EPS
4. Supporto continuo in legno
5. Elemento di tenuta aggiuntivo
6. Listellatura
7. Tegole
8. Canale di gronda
9. Strato di finitura interna
10. Strato di protezione
11. Elementi metallici per convesa
12. Volume emergente
13. Camino
14. Scossalina di raccordo
15. Colmo
16. Cuffia di ventilazione
17. Barriera al vapore

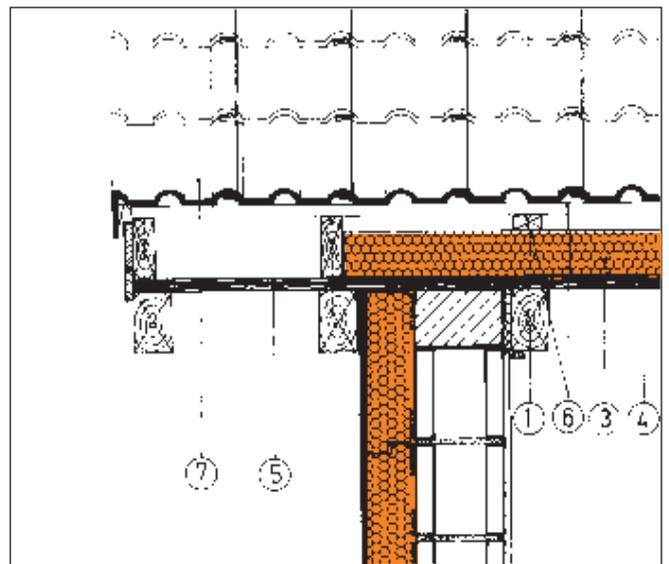


Fig. 28 - Sez. perpendicolare alla falda in corrispondenza dello sporto di gronda laterale.

ISOLAMENTO DEI TETTI A FALDE CON EPS

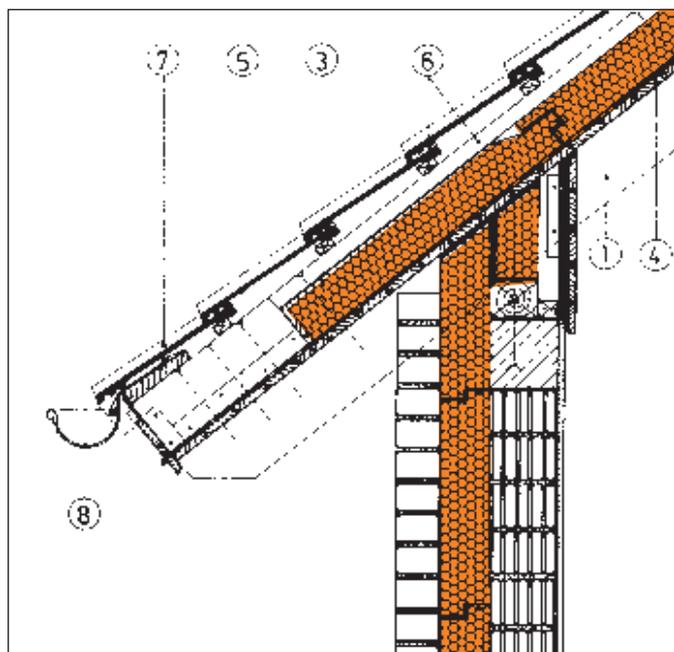


Fig. 29 - Sez. verticale in corrispondenza dello sporto di gronda frontale

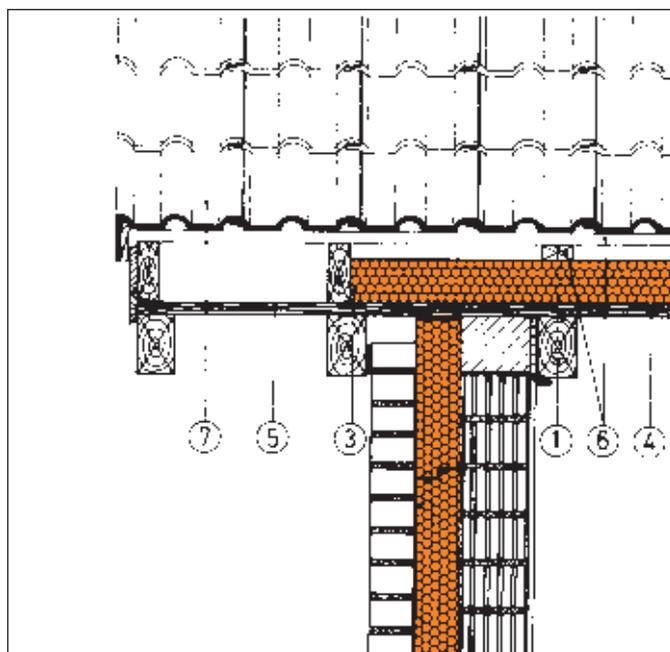


Fig. 30 - Sez. perpendicolare alla falda in corrispondenza dello sporto di gronda laterale

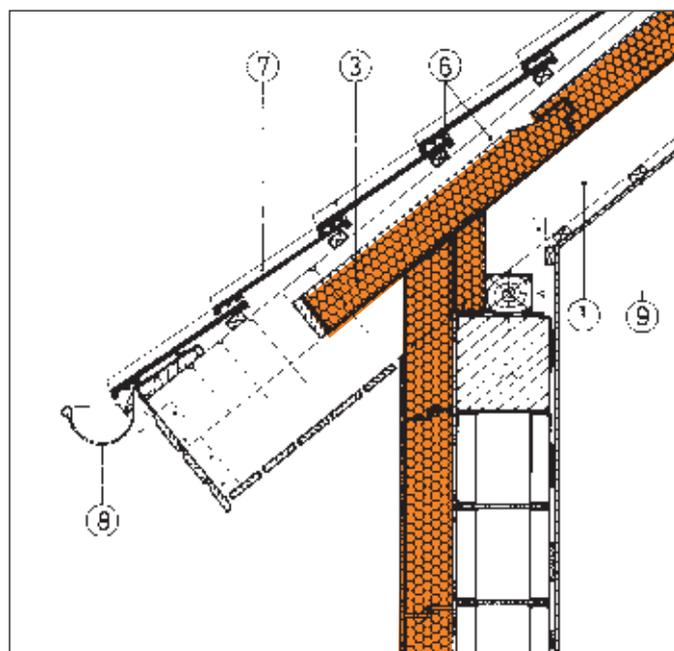


Fig. 31 - Sez. verticale in corrispondenza dello sporto di gronda frontale

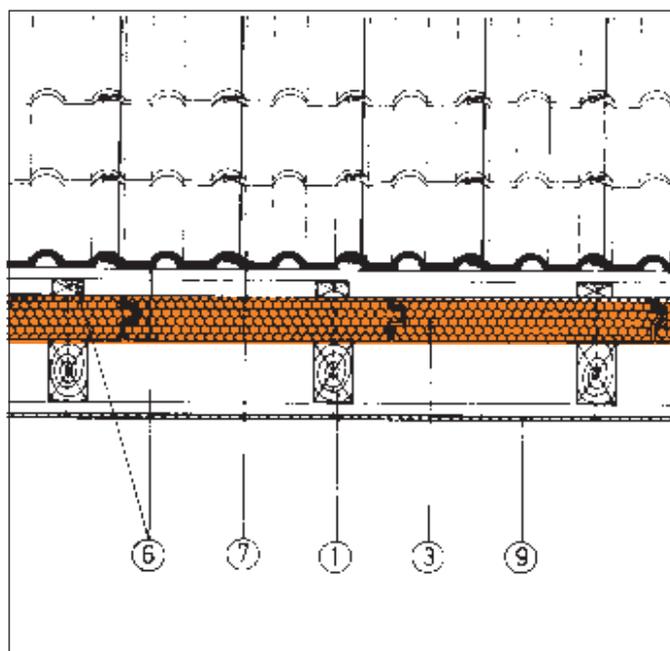


Fig. 32 - Sez. corrente perpendicolare alla falda



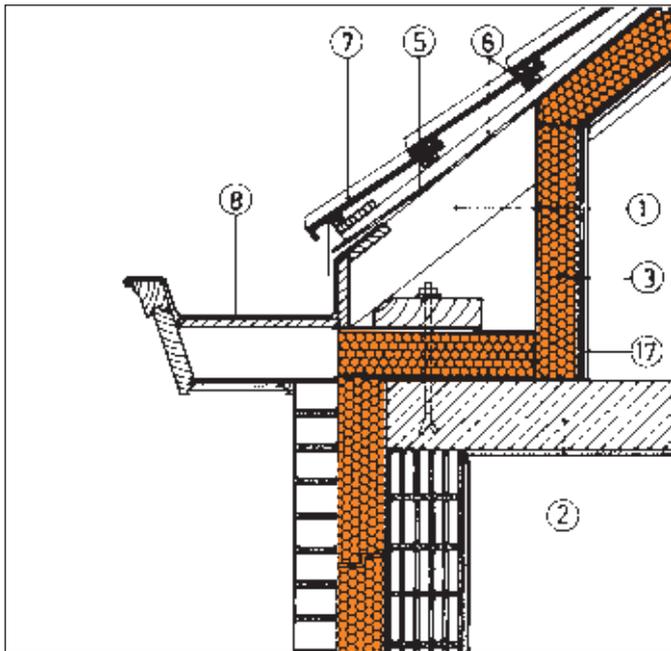


Fig. 33 - Sez. verticale in corrispondenza dello sporto di gronda frontale

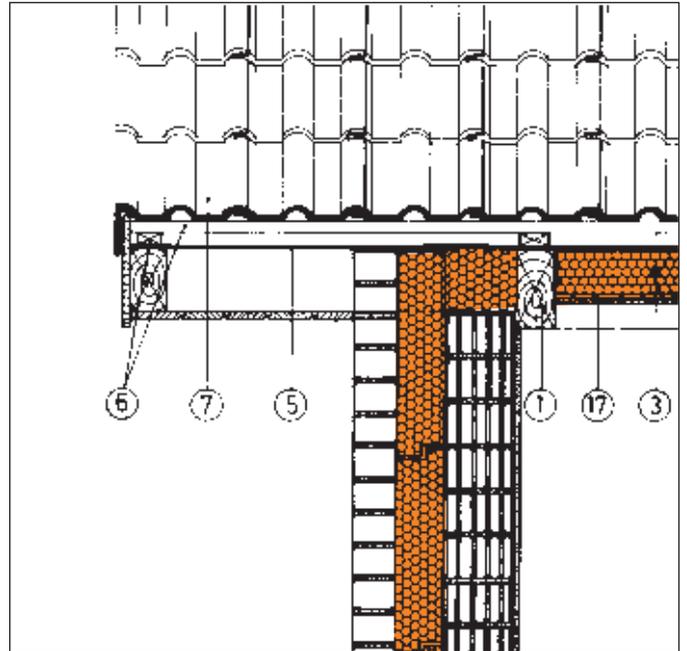


Fig. 34 - Sez. perpendicolare alla falda in corrispondenza dello sporto di gronda laterale

COPERTURA ISOLATA - VENTILATA

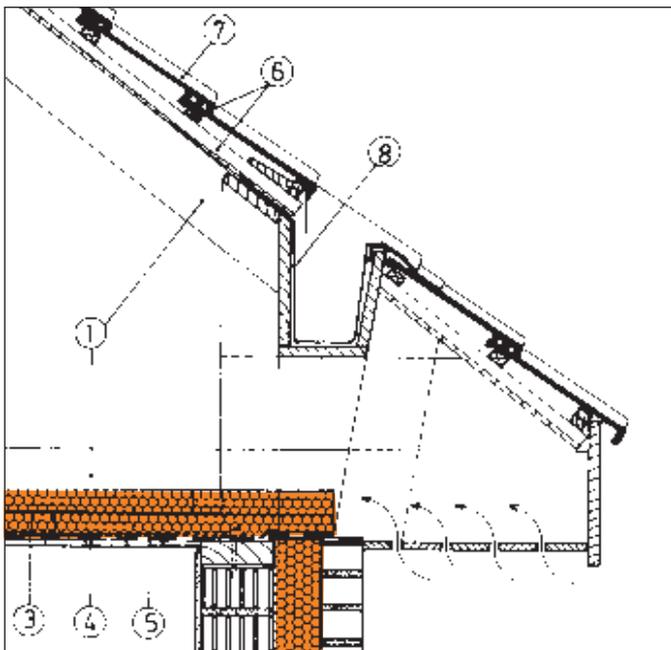


Fig. 35 - Sez. verticale in corrispondenza dello sporto di gronda laterale

- 35 • Sottotetto non abitabile
• Strato di tenuta all'aria
- 36 • Sottotetto non abitabile
• Strato isolante protetto
- 37 • Sottotetto non abitabile
• Strato isolante protetto
• Strato di tenuta all'aria

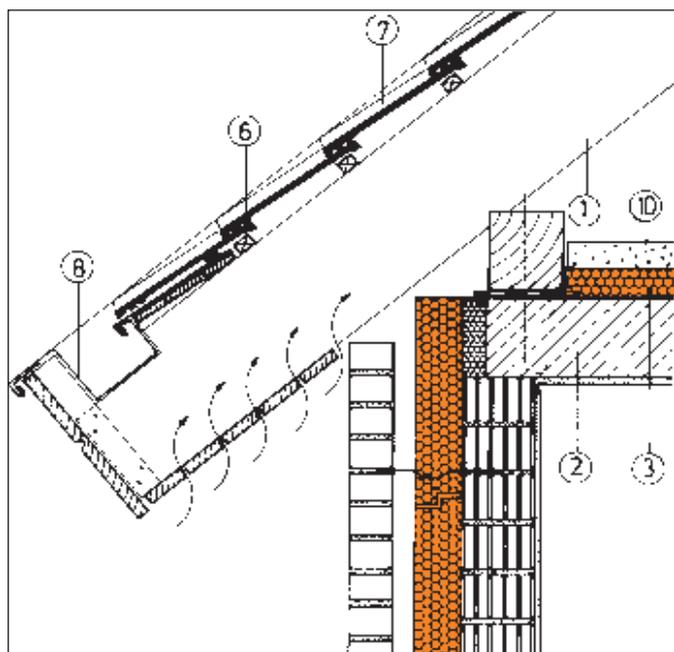


Fig. 36 - Sez. verticale in corrispondenza dello sporto di gronda frontale

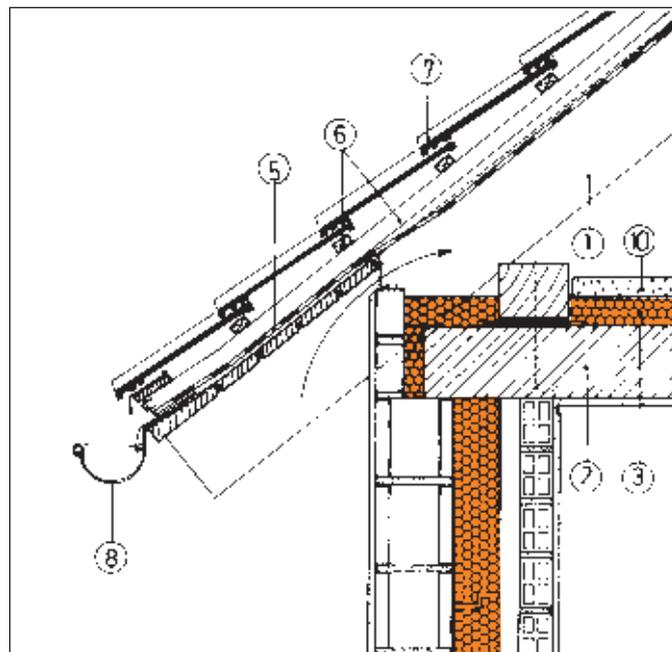


Fig. 37 - Sez. verticale in corrispondenza dello sporto di gronda frontale

PUNTI SINGOLARI

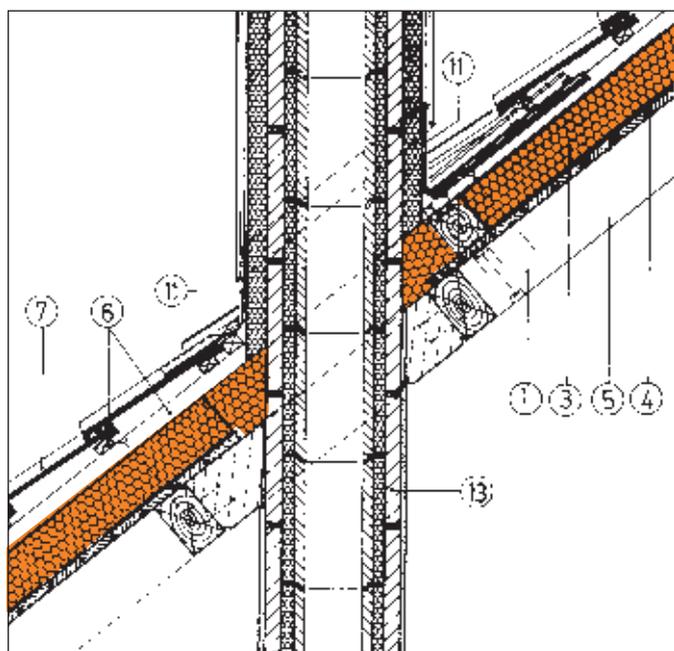


Fig. 38 - Raccordo con camino
Sez. verticale

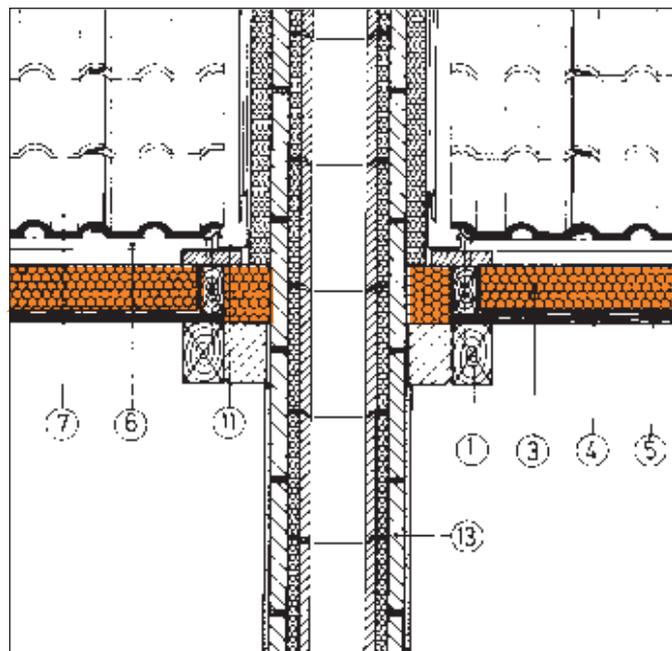


Fig. 39 - Raccordo con camino
Sez. perpendicolare alla falda

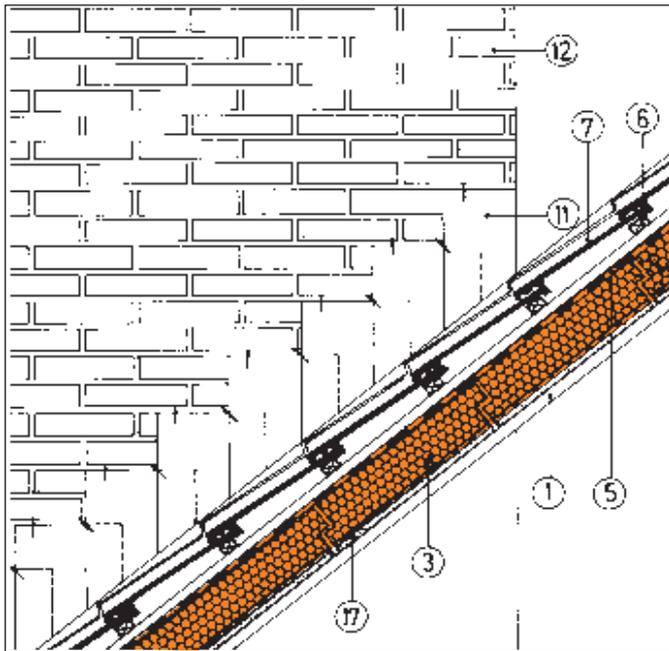


Fig. 40 - Raccordo con volume emergente
Sez. verticale/prospetto

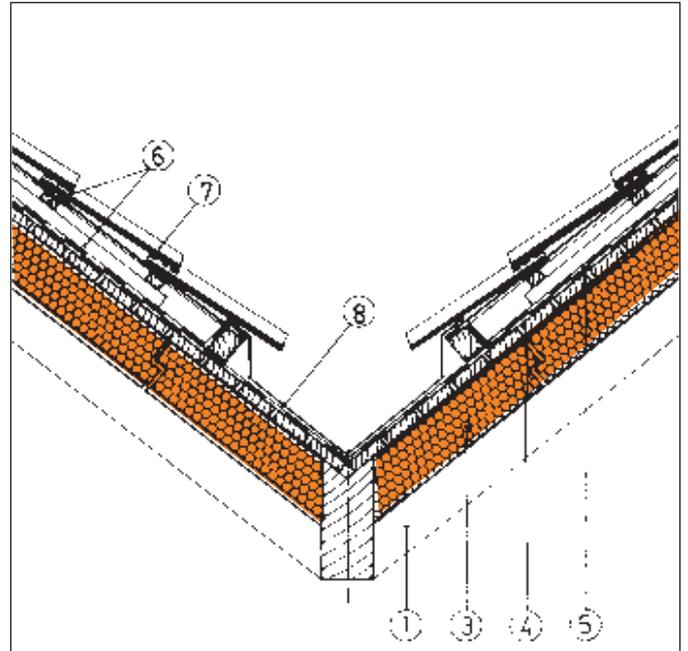


Fig. 41 - Conversa
Sez. verticale

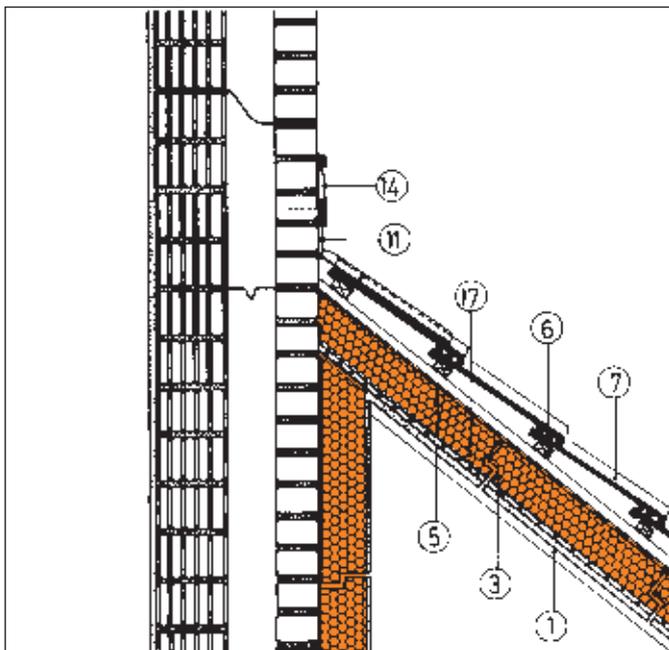


Fig. 42 - Raccordo con muratura perimetrale
Sez. verticale superiore

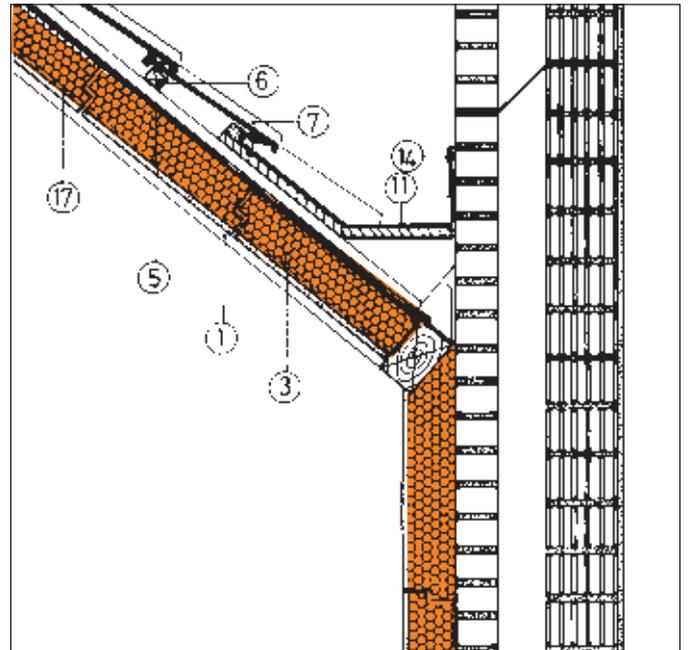


Fig. 43 - Raccordo con muratura perimetrale
Sez. verticale inferiore

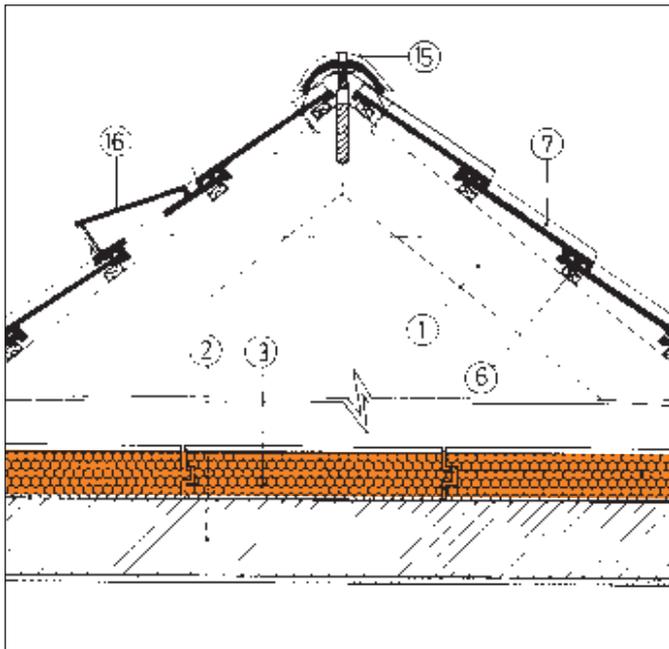


Fig. 44 - Colmo di copertura ventilata
Sez. verticale

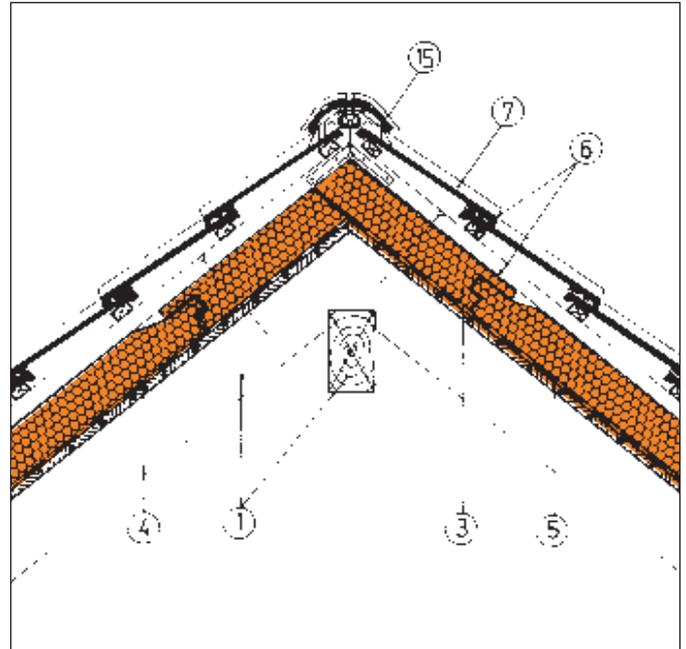


Fig. 45 - Colmo di copertura non ventilata
Sez. verticale

PATOLOGIE ED ERRORI

La presunta semplicità progettuale e la pratica costruttiva delle coperture discontinue, in relazione alla molteplicità delle soluzioni tecniche adottabili e dei materiali innovativi impiegabili, inducono spesso alla sottovalutazione di fenomeni che viceversa è bene analizzare preventivamente e compiutamente: la conoscenza delle prestazioni dei prodotti e dei loro limiti di impiego, dei requisiti di comportamento, delle condizioni meteoriche e termoigrometriche, delle tecnologie costruttive e del funzionamento delle tipologie

impiegabili, può evitare il degrado precoce e accelerato del sistema e delle sue parti. A guasto avvenuto, la diagnosi delle cause concorrenti e le successive soluzioni di ripristino devono essere attuate con molta attenzione onde evitare l'inefficacia della riparazione o, peggio, l'incremento della patologia dovuto ad intervento inadeguato. Di seguito è riportata una sintesi dei più frequenti errori di progettazione, esecuzione e gestione che originano, in rapporto a specifici agenti, effetti e degradi funzionali anche molto significativi: la conseguente disattivazione di uno o più requisiti rimanda il più delle volte a concause di non sempre immediata individuazione.

AGENTE: VENTO	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> REQUISITO DISATTIVATO Tenuta all'aria </div>	
REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA Isolamento termico	ERRORI Progettazione: <ul style="list-style-type: none"> - errata valutazione della permeabilità all'aria dei prodotti di tenuta - errata valutazione del contesto ambientale - errata valutazione dei movimenti differenziali degli elementi costruttivi - errata prescrizione dello strato di tenuta all'aria integrativo Esecuzione: <ul style="list-style-type: none"> - non corretta esecuzione dei giunti di tenuta all'aria Gestione: <ul style="list-style-type: none"> - lacerazione dello strato di tenuta in operazioni di manutenzione
CAUSE <ul style="list-style-type: none"> - permeabilità all'aria dei prodotti di tenuta - infiltrazione fra i giunti dello strato preposto - assenza o lacerazione dello strato di tenuta all'aria 	
EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI <ul style="list-style-type: none"> - disperdimento energetico e alterazione del microclima interno - insorgenza di moti convettivi a livello di isolante con riduzione delle proprietà termiche 	

AGENTE: CARICHI E SOVRACCARICHI

REQUISITO DISATTIVATO
Stabilità e Resistenza Meccanica

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA
Tenuta all'acqua

CAUSE

- pedonamento diretto su copertura non predisposta
- urto di oggetti pesanti proiettati
- eventi meteorici eccezionali
- insufficiente inerzia degli elementi di tenuta a grande dimensione
- elasticità non controllata del supporto o dello strato portante
- morfologia degli elementi di tenuta
- pendenza della falda

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- deformazione plastica, fessurazione, rottura degli elementi di tenuta
- tensionamento e strappo degli ancoraggi
- traslocazione e scivolamenti dei prodotti
- rottura del supporto o dello strato portante
- infiltrazione idrica

ERRORI**Progettazione:**

- scelta di prodotti non idonei al contesto meteorico
- errato controllo della distribuzione della neve
- errata previsione dell'azione della grandine
- errata valutazione dei carichi e sovraccarichi
- errato dimensionamento del supporto o dello strato portante
- mancanza o errata scelta degli elementi di ancoraggio
- pendenza elevata rispetto all'ancoraggio previsto
- mancata possibilità di movimenti relativi degli elementi di tenuta

Esecuzione:

- pedonamento diretto
- impiego di prodotti non idonei
- errata realizzazione dei meccanismi di vincolo strutturale
- errata realizzazione e distribuzione del sistema di ancoraggio
- fissaggio dei prodotti non a regola d'arte
- stoccaggio improprio di materiale sovrapposto ad elementi già in opera

Gestione:

- mancata adozione di provvedimenti atti ad evitare danneggiamenti
- urti per proiezione accidentale di attrezzi
- pedonamento diretto o comunque non compatibile
- adozione di prodotti di ripristino non confacenti
- errate operazioni di manutenzione

AGENTE: RADIAZIONE SOLARE

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA
Tenuta all'acqua

CAUSE

- elementi di tenuta fotosensibili
- assenza o carenza di strato di protezione

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- alterazione del colore, della finitura, della composizione chimico-fisica degli elementi di tenuta
- fessurazioni, deformazioni plastiche e rotture
- infiltrazione idrica

ERRORI**Progettazione:**

- errata scelta dei prodotti
- mancata prescrizione di trattamenti protettivi superficiali
- errata valutazione del contesto climatico

Esecuzione:

- impiego di prodotti non idonei
- errata esecuzione dei trattamenti protettivi

Gestione:

- adozione di prodotti di ripristino non conformi
- danneggiamento del trattamento protettivo in fase di manutenzione

AGENTE: TEMPERATURA

REQUISITO DISATTIVATO
Tenuta all'acqua

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

Stabilità e resistenza meccanica
Aspetto

CAUSE

- mobilità impedita tra elementi di tenuta e supporto
- rigonfiamento degli elementi in fase di disgelo
- scarsa resistenza dei materiali alle deformazioni cicliche

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- rottura degli ancoraggi
- deformazione, fessurazione e rottura degli elementi di tenuta
- infiltrazioni idriche

ERRORI

Progettazione:

- errata valutazione del contesto climatico
- errata previsione delle mobilità relative
- errata adozione del sistema di ancoraggio
- impiego di prodotti sensibili al gelo
- assenza di microventilazione

Esecuzione:

- impiego di materiali non idonei
- errata collocazione degli elementi di tenuta
- errata realizzazione degli ancoraggi
- otturazione della microventilazione

Gestione:

- adozione di prodotti di ripristino non conformi
- ancoraggi non conformi al contesto

AGENTI: CHIMICI

REQUISITO DISATTIVATO
Tenuta all'acqua

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

Stabilità e resistenza meccanica
Aspetto

CAUSE

- interazione di prodotti chimicamente incompatibili
- aggressione chimica prodotta da atmosfera inquinata o salina

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- infiltrazione idrica
- corrosione galvanica
- delaminazioni, microfessurazioni, rotture
- alterazione superficiale e intrinseca

ERRORI

Progettazione:

- errata scelta dei prodotti
- errata valutazione dell'aggressività atmosferica
- errata valutazione dei fenomeni elettrolitici
- mancata prescrizione di trattamenti protettivi e di strati separatori

Esecuzione:

- impiego di prodotti non idonei
- mancata o errata esecuzione di trattamenti protettivi e di eventuali strati separatori

Gestione:

- adozione di prodotti di ripristino non conformi
- cattiva manutenzione degli impianti adduttori di aeriformi (camini, esalatori, ecc.)

AGENTI: BIOLOGICI**REQUISITO DISATTIVATO**

Tenuta all'acqua

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

Aspetto

CAUSE

- attacco di microorganismi, insetti, animali

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- degrado superficiale con alterazione di aspetto e colore
- depositi di materiale

ERRORI**Progettazione:**

- errata scelta dei prodotti
- mancata prescrizione di trattamenti anticrittogamici

Esecuzione:

- impiego di prodotti o trattamenti non idonei

Gestione:

- manutenzione non conforme o eseguita non a tempo debito

AGENTE: ACQUA**REQUISITO DISATTIVATO**

Tenuta all'acqua

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

Stabilità e resistenza meccanica

Isolamento termico

Controllo della condensazione

Aspetto

CAUSE

- porosità non controllata dell'elemento di tenuta
- caratteristiche geometriche della copertura non conformi agli elementi di tenuta adottati
- lunghezza e pendenza della falda
- insufficiente sovrapposizione degli elementi di tenuta
- complessità geometrica delle falde con elementi di completamento (converse, raccordi perimetrali, ecc.) non conformi
- degrado degli elementi di convogliamento e raccolta vento
- elementi di tenuta con profili inadeguati al contesto meteorico
- alternanza di gelo e disgelo in condizioni anomale di accumulo di massa nevosa in corrispondenza dell'imposta di gronda
- assenza o lesione dello strato di tenuta idrica integrativo
- scarsa ventilazione sottotevola
- alterazione funzionale del sistema di drenaggio ed evacuazione dell'acqua meteorica
- nidificazione in corrispondenza dei canali e dei pluviali

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- infiltrazioni idriche interessanti le stratificazioni sottoposte agli elementi di tenuta, gli ambienti e i sottosistemi edilizi protetti dalla copertura
- fenomeni di gelività, delaminazione, efflorescenze del materiale di tenuta
- ossidazione degli elementi ed accessori metallici protetti
- marcescenza, muffe, sfoliazioni, ecc. di pareti verticali, intradosso di gronda, orizzontamenti sottoposti
- riduzione del grado di isolamento termico in presenza di prodotto isolante igroscopico

ERRORI**Progettazione:**

- errata valutazione delle caratteristiche chimico-fisiche, del disegno del profilo, del sistema di accoppiamento e della lunghezza di sovrapposizione degli elementi di tenuta in relazione al contesto meteorico.
- geometria eccessivamente complessa, tale da comportare difficoltà di esecuzione dei punti singolari
- caratteristiche geometriche della falda non compatibili con gli elementi di tenuta e il contesto meteorico
- errata concezione, dimensionamento e morfologia del sistema di drenaggio dell'acqua meteorica
- errata valutazione e soluzione tecnica di dettaglio delle zone di possibile accumulo di neve e formazione di ghiaccio
- mancata previsione di strato di tenuta all'acqua integrativo
- impiego di isolante idrofilo
- errata concezione dei punti singolari (interconnessione con sottosistemi edilizi, con elementi passanti, sovrapposizioni, ecc.)

Esecuzione:

- impiego di prodotti non idonei
- elementi di tenuta posati con sovrapposizioni nella direzione dei venti dominanti o di lunghezza insufficiente
- fissaggio improprio degli elementi di tenuta
- errata posa o dislocazione degli accessori paraneve
- errata posa dello strato di tenuta aggiuntivo
- errata esecuzione delle sovrapposizioni e risvolti in corrispondenza dei punti singolari

Gestione:

- adozione di prodotti di ripristino o integrazione non compatibili o non congruenti
- mancate periodiche operazioni di pulizia e rimozione dei depositi nei canali, nelle converse e in corrispondenza dei pluviali
- mancata sostituzione tempestiva di elementi ed accessori degradati

AGENTI: VAPORE ACQUEO

REQUISITO DISATTIVATO

Controllo della condensazione

REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA

Stabilità e resistenza meccanica

Isolamento termico

Aspetto

CAUSE

- tipo, localizzazione e dimensionamento dello strato isolante non consoni alla problematica termoigrometrica
- presenza di ponti termici non controllati
- diminuzione della temperatura superficiale interna dovuta a permeazioni idriche
- permanenza di acqua di costruzione (con strati portanti e supporto in conglomerato cementizio)
- assenza o discontinuità dell'eventuale strato di barriera al vapore
- localizzazione dello strato di barriera al vapore all'estradosso dello strato isolante
- presenza di strato di tenuta all'aria e/o all'acqua integrativo non permeabile in assenza di barriera al vapore
- permeabilità al vapore e resistenza termica delle stratificazioni
- mancanza o insufficienza della microventilazione sottotegola
- carenza dello strato di ventilazione in copertura isolata e ventilata
- strato isolante a ridosso degli elementi di tenuta senza interposizione di microventilazione

EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI

- formazione anomala di condensa all'interno e sulla superficie delle stratificazioni, con manifestazione di fenomeni di gelività, delaminazione, efflorescenza, marcescenza, ossidazione, ecc. (in relazione ai materiali interessati)
- riduzione delle proprietà dell'isolante termico
- variazione dimensionale degli elementi (rigonfiamento) e tensionamenti relativi
- formazione di muffe e macchiature a livello di strato di finitura interno
- maggior consumo di combustibile
- riduzione del comfort ambientale interno con alterazione del microclima

ERRORI

Progettazione:

- mancato controllo e correzione dei ponti termici
- errata valutazione o insufficienza dello strato di ventilazione in situazioni ad alto rischio condensativo
- insufficienza della ventilazione per errato dimensionamento della intercapedine o degli orifici predisposti
- errata stima della conduttività e della permeabilità dei materiali impiegati
- erroneo dimensionamento e posizionamento dello strato isolante
- mancata prescrizione o errata collocazione della barriera al vapore
- impiego di strato di tenuta impermeabile integrativo senza adeguato controllo igrotermico
- impiego di manufatti sottotegola (supporto) che impediscono la microventilazione
- supporto dello strato di tenuta che non prevede la ventilazione sottotegola, in assenza di barriera al vapore sottoposta allo strato isolante
- mancata o errata valutazione del carico igrotermico interno

Esecuzione:

- impiego di materiali non idonei
- errata posa dello strato isolante (giunti non perfettamente chiusi, doppia stratificazione con giunti filanti, ecc.)
- errata posa della barriera al vapore e realizzazione dei giunti di continuità
- spessore dell'isolante diverso da quello prescritto
- impiego di isolante idrofilo e non stabile
- errata realizzazione della intercapedine di ventilazione e della microventilazione

Gestione:

- collocazione di strato di tenuta impermeabile integrativo in epoca successiva alla realizzazione della copertura, senza preventivo controllo igrotermico
- mutamento incontrollato della destinazione d'uso degli ambienti sottoposti, con incremento sensibile della produzione di vapore
- adozione di prodotti di ripristino o integrazione non compatibili
- occlusione accidentale dello strato di ventilazione e microventilazione
- alterazione delle caratteristiche igrotermiche e del microclima interno, ad es. per sostituzione dei serramenti con elementi a perfetta tenuta, cessazione di funzionamento di aspiratori nei locali umidi, ecc.
- rottura dello strato di barriera al vapore
- manomissione dello strato isolante

MANUTENZIONE

Il sistema di copertura è direttamente e costantemente sottoposto alle notevoli e variabili sollecitazioni derivanti da pressoché tutti gli agenti che interessano un organismo edilizio (atmosferici, chimico-biologici, meccanici, igrotermici, ecc.); conseguentemente, esso evidenzia nel corso della durata utile dei prodotti stessi comportamenti anomali che possono nel tempo comprometterne l'affidabilità. Molte gravi patologie riscontrabili sia a livello di copertura (ad es. il degrado irreversibile della struttura) sia il degrado delle finiture interne agli ambienti sottoposti o quello degli elementi di facciata sono da attribuire a guasti trascurati di alcuni elementi o interconnessioni del tegumento: questi, originati da cause differenti, magari di modesta consistenza sono in grado di indurre danni difficilmente riparabili se non a costo di interventi massicci di ristrutturazione caratterizzati da investimenti notevoli.

Pertanto, è buona norma eseguire periodicamente operazioni manutentive che, se anche possono risultare elementari e a prima vista anche superflue, tuttavia possono evitare l'apparizione di anomalie; queste procedure di controllo dello stato di fatto vanno determinate in termini di entità, accuratezza e frequenza in relazione alla soluzione tecnica adottata e alle condizioni ambientali e climatiche, ben sapendo che alcune tipologie di copertura e certi materiali e morfologie necessitano di attenzione maggiore rispetto ad altri.

Manutenzione ordinaria

È per lo più a carattere conoscitivo, con funzione ricognitiva di verifica che le condizioni iniziali costruttive della copertura e intrinseche dei prodotti siano sostanzialmente inalterate; consta di ispezioni periodiche con frequenza annuale, biennale o comunque dopo eventi meteorici straordinari, seguita dall'eventuale sostituzione o integrazione di elementi danneggiati, ammalorati o scomposti, nonché di operazioni

di pulizia. Attraverso la manutenzione ordinaria è possibile verificare che:

- non siano intervenute rotture o fessurazioni dei prodotti (per urto da grandine, masse nevose mal distribuite, ecc.);
- non ci siano state traslocazioni degli elementi di tenuta (per vibrazioni aeree, vento, rottura di ancoraggi meccanici, ecc.);
- non si siano prodotte piegature o strappamenti degli elementi di tenuta o dei pezzi speciali di raccordo e convogliamento acqua (per vento);
- non siano intervenute corrosioni per contatto accidentale di prodotti chimicamente incompatibili (per rottura o spostamento dello strato separatore);
- l'acqua meteorica non trovi impedimenti ad essere smaltita (per depositi di sporcizia e accumulo di detriti all'interno degli elementi di convogliamento e in corrispondenza dei pluviali);
- gli strati ed elementi funzionali sottoposti a quello di tenuta siano ben conservati.

Manutenzione straordinaria

Si effettua in genere dopo qualche decennio di vita della copertura (in funzione della durabilità dei materiali impiegati e del verificarsi di eventi meteorici eccezionali) e comporta la sostituzione sistematica di porzioni anche consistenti di componenti che per usura o invecchiamento risultano degradati al punto da compromettere l'affidabilità dell'intero sistema.

Questo tipo di manutenzione richiede in genere l'intervento di manodopera specializzata e l'ausilio di opere provvisorie e attrezzature di cantiere consistenti. In considerazione di ciò si può osservare come l'impiego di prodotti particolarmente durevoli e resistenti agli agenti aggressivi, a fronte di un maggior investimento iniziale, possa ritardare anche di molto il rifacimento delle parti ammalorate; così come l'attenzione progettuale e la corretta esecuzione del sistema allunga la periodicità degli interventi manutentivi.

Finito di stampare nel mese di Giugno 2004

Jona S.r.l. 20037 Paderno Dugnano (Milano)