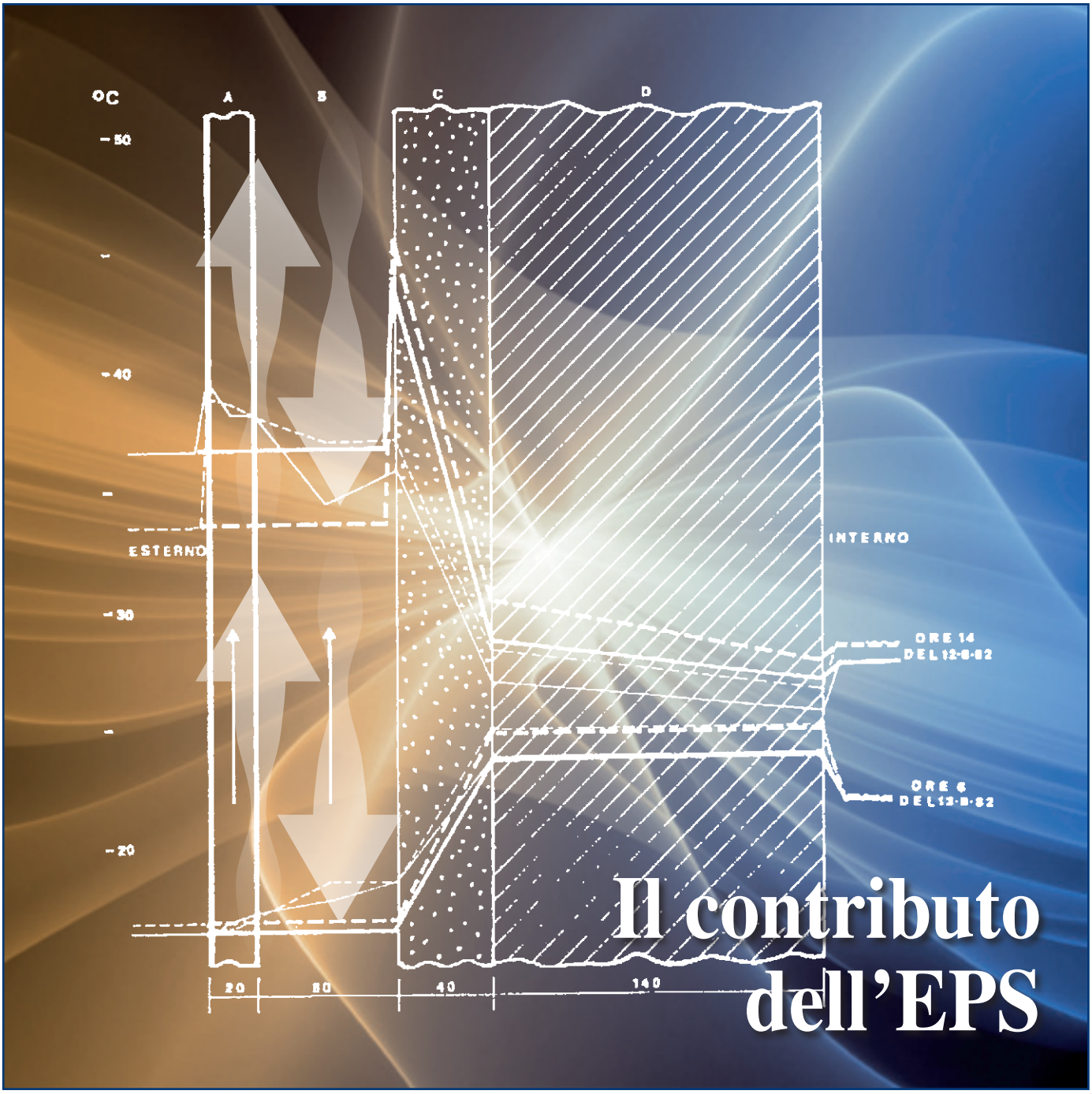
LE PARETI VENTILATE

Polistirene Espanso Sinterizzato in Edilizia



VOLUME 11

AIPE
Associazione Italiana Polistirene Espanso

INDEX

LE PARETI VENTILATE

Polistirene Espanso Sinterizzato in Edilizia

Il contributo dell'EPS

VOLUME 11

Quest'opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore. Tutti i diritti, in particolare quelli relativi alla traduzione, alla ristampa, all'uso di figure e tabelle, alla citazione orale, alla trasmissione radiofonica o televisiva, alla riproduzione su microfilm o in database, alla diversa riproduzione in qualsiasi altra forma (stampa o elettronica) rimangono riservati anche nel caso di utilizzo parziale. Una riproduzione di quest'opera, oppure di parte di questa, è anche nel caso specifico solo ammessa nei limiti stabiliti dalla legge sul diritto d'autore, ed è soggetta all'autorizzazione scritta dell'Editore. La violazione delle norme comporta le sanzioni previste dalla legge.

L'utilizzo di denominazioni generiche, nomi commerciali, marchi registrati, ecc, in quest'opera, anche in assenza di particolare indicazione, non consente di considerare tali denominazioni o marchi liberamente utilizzabili da chiunque ai sensi della legge sul marchio.

Editing editoriale a cura di Ing. Marco Piana
Progetto grafico e stampa Jona srl, Paderno Dugnano (MI)

SOMMARIO

Capitolo 1
La parete ventilata: tipologie e soluzioni tecniche **1**

Capitolo 2
La parete ventilata: corretta progettazione e realtà sperimentale **7**

Capitolo 3
Le materie plastiche nelle facciate ventilate.
L'utilizzo dell'isolante EPS e del rivestimento in PVC **13**

Capitolo 4
L'inerzia termica delle pareti ventilate **25**

Capitolo 5
Prove sperimentali **31**

Capitolo 6
Patologie, errori manutenzione **37**

Capitolo 7
Considerazioni tecniche conclusive per pareti ventilate **45**

Capitolo 8
Soluzioni di riferimento per realizzazioni di pareti ventilate **53**

NORMALE O VENTILATA

Le pareti perimetrali per rispettare le esigenze climatiche che risultano molto differenti nel nostro territorio sono state realizzate con diverse modalità intrecciando isolamento e protezione.

Le pareti ventilate oggi permettono di risolvere in modo adeguato quanto richiesto dal progettista e dall'utente finale.

L'utilizzo di elementi realizzati in EPS e in PVC permettono di realizzare pareti ventilate isolate, protette e durevoli.

LA PARETE VENTILATA: TIPOLOGIE E SOLUZIONI TECNICHE

capitolo 1

1.1 ▪ Descrizione della soluzione tecnica

La parete ventilata è un particolare sistema di chiusura costituito da uno strato di rivestimento esterno (con funzione di tenuta), un'intercapedine, uno strato di isolamento ed uno strato di supporto. L'applicazione di una facciata ventilata rappresenta un'ottima soluzione per il miglioramento delle prestazioni termiche dell'involucro.

L'applicazione di una facciata ventilata, se accuratamente progettata, rappresenta una buona soluzione per incrementare le prestazioni tecniche ed architettoniche dell'involucro. Principalmente impiegata per migliorare l'isolamento termico ed acustico e come barriera agli agenti atmosferici, può cambiare l'immagine architettonica di un edificio grazie all'uso di rivestimenti innovativi. Il sistema, interamente montato a secco, è composto da un rivestimento esterno che può essere di differenti forme (lastre, pannelli, piastrelle, doghe) e materiali (pietra, laterizio, ceramica, calcestruzzo, legno, metallo, plastica). Il rivestimento è aggrappato alla parete per mezzo di telai (montanti/traversi) che sostengono anche i pannelli isolanti. Tra il rivestimento e lo strato isolante un'intercapedine aerata permette la circolazione naturale dell'aria, attivata dalla differenza di temperatura fra la cima della cavità e l'aria in entrata dal basso (effetto camino). ll flusso dell'aria, regolato dalle condizioni climatiche esterne e dalle caratteristiche tecniche e dimensionali del sistema, permette la riduzione dell'apporto termico indesiderato durante la stagione estiva, la limitazione delle perdite di calore per ponte termico e la formazione di vapore d'acqua e di condensa interstiziale durante la stagione invernale.

Analizzando il comportamento termico di una facciata ventilata, vi sono diversi fattori che possono suggerire l'utilizzo di questa soluzione. In primo luogo la possibilità di ridurre, durante la stagione estiva, il trasferimento verso l'interno dell'energia incidente sulla facciata, grazie alla riflessione parziale della radiazione solare operata dal rivestimento e dalla ventilazione nell'intercapedine. Il fenomeno della riflessione solare è più elevato, quando per rivestimenti sono usati materiali chiari e lucidi. L'effetto di ventilazione è ottimizzato ed è efficiente, nel complesso, quando il dimensionamento dell'intercapedine è accurato e valuta le dimensioni delle bocchette di ventilazione in entrata e in uscita rispetto alle variabili termodinamiche. In secondo luogo va considerata la possibilità di realizzare uno strato di isolamento termico omogeneo e continuo, che copre interamente i nodi cruciali di dispersione termica della facciata

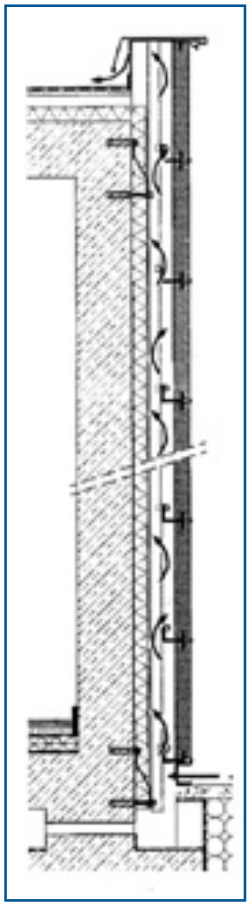


Fig. 1 · *Sezione parete ventilata tradizionale*

(ad esempio l'innesto trave/pilastro o in corrispondenza dei telai degli infissi). Il miglioramento del valore di trasmittanza termica della parete U (W/m^2K) è strettamente connesso allo spessore ed alla natura degli strati di cui è composta: l'incremento delle prestazioni termiche ottenibile dall'applicazione di una facciata ventilata cresce notevolmente, tenendo conto del potere isolante sia dei pannelli che della cavità d'aria. Lo strato isolante riveste la costruzione come un tradizionale cappotto; inoltre la presenza dell'intercapedine consente di proteggere i pannelli ed aggiunge uno strato isolante dinamico che assicura buone prestazioni sia d'estate che d'inverno.

1.2 ▪ Tipologie di rivestimenti

La funzione dello strato di rivestimento è di proteggere la facciata dagli agenti atmosferici oltre che migliorare la qualità architettonica globale. I materiali di rivestimento devono soddisfare i seguenti requisiti:

- resistenza a shock termici e meccanici;
- resistenza all'acqua;
- incombustibilità;
- inalterabilità fisica e meccanica;
- resistenza all'azione del vento.

Attualmente i materiali utilizzati come rivestimento sono di diversi tipi e possono essere: pietra naturale, laterizio, ceramica, cemento, metallo, materiali plastici, legno.

1.3 ▪ Parametri progettuali

L'utilizzo di un sistema di facciata ventilata è possibile in qualsiasi tipo di edificio.

Attraverso una progettazione specifica, che tenga conto della peculiarità della situazione, sarà possibile ottenere significativi miglioramenti delle qualità architettoniche e tecniche della facciata con costi ragionevoli.

La valutazione delle prestazioni termiche di una facciata ventilata rappresenta una problematica aperta, in quanto coinvolge una moltitudine di parametri variabili, principalmente basati sulle leggi fluidodinamiche che regolano il moto dell'aria nell'intercapedine. La radiazione solare raggiunge il muro retrostante essenzialmente attraverso la "mediazione" dell'aria contenuta nell'intercapedine. I fattori da cui può dipendere la prestazione del sistema possono essere classificati in tre categorie:

- le caratteristiche dei materiali. Sono da considerare principalmente i parametri che descrivono il comportamento rispetto alla radiazione: coefficiente di assorbimento e di trasmissione sia del rivestimento che del muro retrostante, conducibilità e capacita termica;
- la geometria del sistema, che influisce sulla portata di ventilazione nell'intercapedine e sulla velocità dell'aria. In particolare sono importanti: la dimensione delle aperture di ingresso e di uscita dell'aria, la conformazione dell'imbocco e dell'uscita e lo spessore dell'intercapedine;
- i parametri climatici e geografici come: intensità della radiazione solare, temperatura dell'aria, velocità e direzione del vento.

Il moto dell'aria all'interno di una parete ventilata è causato essenzialmente dal suo riscaldamento provocato dalla radiazione solare assorbita dalla parete e dall'azione

incidente del vento. L'effetto camino che si innesca all'interno della cavità è fortemente connesso all'incidenza della radiazione solare: più questa è intensa, più è significativo il moto dell'aria dal basso verso l'alto ed il conseguente effetto di raffrescamento sulla parete retrostante. Ne consegue che l'efficienza termica della facciata è massima nella condizione estiva, in corrispondenza delle ore centrali del giorno e per grandi superfici esposte a sud. Il contributo della radiazione solare estiva al flusso termico entrante è quindi tanto minore quanto maggiore è la portata d'aria nell'intercapedine, con conseguente riduzione dei carichi termici all'interno degli ambienti. Se il rivestimento esterno è realizzato con materiali metallici riflettenti, ciò attenua notevolmente l'influenza della radiazione solare ed il conseguente effetto di tiraggio, pertanto le migliori prestazioni sono ottenibili impiegando materiali di rivestimento ad elevata massa come laterizio, pietra e calcestruzzo. L'effetto della ventilazione diviene massimo quando questa riesce ad essere efficiente sull'intera facciata, cosa che richiede necessariamente un progetto dell'intercapedine accurato e tale da ottimizzare le dimensioni del cavedio e delle bocchette d'aerazione.

La pubblicazione della normativa UNI 11018/2003 "*Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione. Rivestimenti lapidei e ceramici*" fornisce alcune indicazioni per il calcolo della superficie delle aperture di ventilazione in funzione dell'altezza dell'edificio e della superficie di parete, al variare della velocità di ventilazione della lama d'aria nell'intercapedine. La normativa tecnica europea fornisce inoltre delle indicazioni di massima per il dimensionamento dei fori in relazione all'altezza dell'edificio.

Tipo di ventilazione	Tipo di disposizione	
	Pareti verticali o inclinate più di 60° sull'orizzontale s'/L (m^2/m)	*Pareti orizzontali o inclinate meno di 60° sull'orizzontale s'/A (m^2/m)*
Pareti debolmente ventilate	<0,002	<0,0003
Pareti medialmente ventilate	0,002/0,05	0,0003/0,003
Pareti fortemente ventilate	≥0,05	≥0,003

Altezza dell'edificio (m)	Superficie dei fori per metro lineare di parete (cm)
3	50
6	65
18	100

L'intercapedine d'aria deve essere dimensionata in relazione all'altezza dell'edificio ed alla portata d'aria che si vuole ottenere. In generale, l'altezza del cavedio è un fattore negativo per le prestazioni globali del sistema poiché contribuisce a diminuire la velocità dell'aria.

Il dimensionamento della larghezza del cavedio dipende essenzialmente dall'altezza dell'edificio, oltre che dai parametri climatici di progetto. In generale si può affermare che la ventilazione ottenibile con intercapedini di spessore inferiore a 5 cm, è quasi ininfluente: l'effetto raffrescante diviene considerevole e praticamente indipendente dallo spessore quando diviene superiore ai 10 cm. La valutazione delle prestazioni termiche durante la stagione invernale necessita di alcune considerazioni. La ventilazione del cavedio in condizioni invernali rappresenta un parametro negativo per il potere termoisolante della parete. Una parete ventilata in inverno, rispetto ad una configurazione identica ma con intercapedine chiusa, ha prestazioni termiche inferiori, direttamente proporzionali alla velocità dell'aria che, in questo caso, è fredda. Un sistema a configurazione dinamica, che consente cioè la chiusura e l'apertura delle griglie d'aerazione nelle differenti condizioni climatiche, può rappresentare una buona soluzione per l'aumento del potere isolante complessivo: in tal caso l'intercapedine chiusa diviene un aggiuntivo strato isolante riducendo notevolmente le dispersioni termiche della parete.

La circolazione dell'aria dietro al rivestimento di facciata favorisce inoltre l'evaporazione del vapore acqueo proveniente dall'ambiente interno e l'asciugatura dello strato isolante, evitando così gli stati di tensione interna tipici dei materiali bagnati che ne riducono le capacità isolanti. Adottando una parete ventilata è possibile ottenere buone prestazioni sia durante la stagione invernale che estiva.

1.4 ▪ Valutazioni economiche

Il costo di una facciata ventilata deve essere inteso come il costo dell'opera compiuta, ovvero del sistema tecnico comprendente la struttura di supporto, la tipologia e la messa in opera di ancoraggi, pannelli isolanti e rivestimenti. Il costo di costruzione può essere molto differente a seconda del sistema usato e dipende da una moltitudine di fattori, tra i quali:

- la preparazione dello strato di supporto;
- il fissaggio degli ancoraggi;
- l'installazione della sottostruttura;
- il posizionamento dell'isolante;
- il tipo di materiale, di elemento di rivestimento utilizzato ed il suo fissaggio.

Materiale	Costo medio euro/m^2
Pietra	200-300
Laterizio	150-200
Ceramici	100-200
Fibrocementi	120-150
Plastici	90-150

La varietà e la peculiarità di ciascuna situazione rendono molto difficile una valutazione unitaria; si può affermare comunque che il costo medio per la realizzazione di una facciata ventilata può variare da 100 euro/m^2

a 500 euro/m^2, considerando il materiale di rivestimento e la complessità della facciata (valori riferiti al 2010).

La valutazione di un intervento di riqualificazione utilizzando una facciata ventilata deve necessariamente tener conto del costo globale dell'edificio, comprensivo anche dei costi di gestione che giocano un importante ruolo nell'economia dell'intervento e la cui riduzione diviene un vero e proprio investimento a lungo termine. L'aggiunta di una facciata ventilata contribuisce ad aumentare il potere isolante della parete, riduce la trasmissione termica, raffresca e diminuisce l'apporto solare in estate: tutti questi fattori contribuiscono alla riduzione dei costi legati all'uso di impianti di riscaldamento e condizionamento. L'utilizzo di una facciata ventilata può ridurre il consumo energetico estivo/invernale del 20-25%. Deve essere considerato anche il costo di eventuali opere di manutenzione che risultano più facili e veloci di altri sistemi di finitura superficiale.

1.5 ▪ Il miglioramento dell'isolante acustico

Un intervento di rivestimento con parete ventilata è indicato quando al risanamento della facciata si vogliano unire i vantaggi di un isolamento termico dinamico, ed un isolamento acustico.

Il concetto di base delle facciate ventilate è quello di realizzare un involucro formato da due differenziati ed opportunamente distanziati pacchetti di parete, resi solidali tra di loro mediante una struttura e separati da un'intercapedine d'aria. L'intercapedine d'aria è in comunicazione diretta con l'ambiente esterno alla base e alla sommità, in modo da formare un effetto camino di risalita dell'aria. La possibilità di concepire l'involucro esterno come una pelle plasmabile e discostata dal supporto o addirittura dalle suddivisioni funzionali interne, libera ulteriormente il progettista da vincoli sviluppando, a volte con soluzioni estreme, progetti di facciata sempre più complessi, offrendo una grande versatilità nel campo della ristrutturazione.

Il paramento esterno può agire da schermo funzionale all'abbattimento dell'onda acustica aumentando quindi l'isolamento dell'intera parete.

1.6 ▪ La riduzione del carico termico: ombreggiamento e controllo solare

Un sistema di schermatura consente un significativo controllo degli apporti termici dovuti alla radiazione solare incidente sia su una superficie opaca che su una trasparente. Durante i periodi caldi dell'anno, diversi sono i fattori che concorrono a creare condizioni ambientali non confortevoli, tra i quali la temperatura esterna, la radiazione solare e i guadagni interni dovuti alle persone ed alle apparecchiature utilizzate negli edifici. Il tipo, la dimensione e il posizionamento di un sistema di schermatura dipenderanno dal tipo di radiazione solare diretta, diffusa o riflessa da schermare. In tale sede si tratteranno elementi frangisole tradizionali, pannelli o lamelle di diversi materiali, orientabili o fissi, impiegabili in interventi di rivestimento dell'involucro edilizio, a formare una cortina continua in grado di svolgere sia funzione di protezione termica e dalle intemperie sulla facciata esistente sia di conferire una nuova

immagine alla facciata. Tali elementi risultano molto efficaci per ridurre il carico termico sull'edificio, essendo in grado di dissipare all'esterno parte della radiazione solare assorbita e possono risultare ottimi strumenti di controllo termico migliorando il grado di comfort interno sia nei mesi invernali che estivi. Negli ultimi anni l'utilizzo delle schermature solari, grazie alla grande varietà di sistemi e di elementi in produzione, ha assunto un ruolo importante nella progettazione architettonica, in grado di caratterizzare e connotare la morfologia di un edificio: pertanto si è scelto di inserire nella trattazione anche un elemento che appartiene alla più antica tradizione del costruire, ma che è in grado di offrire elevate prestazioni tecnologiche ed architettoniche.

Verranno esaminati inoltre i sistemi di schermatura vetrata, componenti di ultima generazione per il controllo della luce. Nella concezione contemporanea l'elemento finestrato ha acquisito una nuova connotazione di elemento multifunzione integrato, composto da un insieme di elementi che separatamente assolvono diverse funzioni per soddisfare tutti i requisiti necessari, consentendo di operare in modo distinto sulle varie azioni: aerare, schermare, ecc. In tal modo è possibile dividere il controllo globale in una serie di funzioni autonome. Tale esigenza di controllo delle superfici vetrate ha indirizzato la ricerca verso componenti innovativi dal punto di vista tecnologico, che permettono di schermare la luce solare diretta ed allo stesso tempo non impedire la visione esterna, come vetri prismatici, fotocromatici, elettrocromici, a cristalli liquidi.

1.7 ▪ La captazione solare passiva e attiva

Un intervento di recupero edilizio può divenire una opportunità per l'integrazione di sistemi a guadagno solare diretto. I principi fondamentali su cui si basano le strategie passive per il riscaldamento solare sono sostanzialmente legati all'utilizzo del rivestimento esterno e dell'intercapedine utilizzando l'effetto camino della parete e iniettando in ambiente interno la relativa aria.

LA PARETE VENTILATA: CORRETTA PROGETTAZIONE E REALTÀ SPERIMENTALE

capitolo 2

2.1 ▪ Che cosa è la parete ventilata?

Con il nome di facciata ventilata si designa un sistema di rivestimento esterno delle pareti perimetrali di un edificio, caratterizzato dal fatto che fra il rivestimento vero e proprio e la parete retrostante viene lasciata una lama d'aria in comunicazione con l'esterno, sia in basso che in alto, cosicché in certe situazioni si instaura, per effetto camino, una ventilazione naturale fra rivestimento e parete, con conseguenze generalmente positive, che nel seguito verranno messe in evidenza.

Nelle realizzazioni tradizionali il rivestimento è fissato meccanicamente alla parete. Si tratta quindi di una tecnica strettamente apparentata a quella della copertura dei tetti e in effetti applicata dalle stesse maestranze.

2.2 ▪ Perché utilizzare la parete ventilata

L'introduzione di un'intercapedine ventilata nelle chiusure d'ambito si pensa possa risalire all'inizio del 1700 quando in alcune zone dell'Italia settentrionale nasceva l'esigenza di riparare e conservare i materiali da costruzione esposti alle intemperie metereologiche.

L'evoluzione del sistema, avvenuta in particolare modo nell'Europa continentale, ha ottimizzato le tecnologie di produzione dei materiali impiegati e le metodologie applicative.

Se da una analisi superficiale può sembrare un sistema facilmente progettabile ed altrettanto facilmente applicabile dopo attente considerazioni si può constatare come un semplice schermo, un'intercapedine ventilata ed un isolante possano concorrere per costituire una soluzione finalizzata alla risoluzione di molti di quei problemi che tanto preoccupano progettisti, costruttori ed utilizzatori finali.

Gli evidenti vantaggi offerti dal sistema in esame sono molteplici:

1. miglioramento del comportamento termoigrometrico della struttura esterna;
2. miglioramento del comfort interno;
3. riduzione delle spese di manutenzione e di gestione;
4. risanamento e ristrutturazione edilizia;
5. maggiore durata del manufatto.

Il primo vantaggio proposto risulta essere sicuramente il più complesso e riflette sui rimanenti un'influenza determinante.

Il miglioramento delle caratteristiche termoigrometriche presuppone la risoluzione dei seguenti problemi:

- eliminazione dei ponti termici
- aumento dell'inerzia termica a parità di massa
- protezione dagli agenti atmosferici

- eliminazione della condensa interna e superficiale.

Migliorando le condizioni operative delle chiusure esterne, varieranno, di conseguenza, i valori dei parametri che influenzeranno il comfort abitativo. Essendo questo l'unico elemento di giudizio da parte dell'utilizzatore finale dovrebbe essere di gran lunga l'argomento prescelto nelle discussioni.

L'introduzione del sistema a facciata ventilata provoca una variazione verso l'alto della temperatura superficiale interna delle partizioni esterne nella stagione invernale ed una variazione verso il basso durante il periodo estivo. Questo aumenta sensibilmente il comfort interno in quanto, è ormai noto che gli scambi radiativi fra uomo ed ambiente possono raggiungere valori del 40-50% del totale. Se la facciata ventilata rientrasse nei sistemi tecnologicamente avanzati sarebbe intrinseco, nella definizione di questi ultimi, che le spese manutentive risultassero le minori possibili.

Naturalmente questo fatto accade ogni giorno più frequentemente soprattutto per poter ammortare il maggior costo iniziale presente in quanto il sistema non è ancora entrato nella prassi usuale del rivestimento esterno.

Segue come logica conseguenza che, se un sistema migliorasse il comportamento termoigrometrico delle strutture, risulterebbe essere approppriato per risanamenti di degradi e patologie particolarmente recidive ai più tradizionali interventi.

Come soluzione innovativa per l'attuale edilizia italiana la facciata ventilata ripropone perentoriamente il problema della qualificazione sistematica sia di materiali che di soluzioni complete.

2.3 ▪ La protezione dalla pioggia battente

Come detto nella descrizione iniziale, è questa la protezione principale richiesta originariamente alla facciata ventilata. Alcune normative forniscono indicazioni circa il livello di questa protezione che può essere ottenuto con una facciata ventilata. Per esempio i D.T.U. Francesi (Documents techniques unifiès) considerano i seguenti tipi di muratura:

1. senza rivestimento stagno esterno e senza taglio di capillarità;
2. senza rivestimento stagno esterno ma con taglio di capillarità interno:
   a) costituito da pannelli isolanti non idrofili;
   b) costituito da una lama d'aria continua;
3. come 2b) con dispositivi di evacuazione dell'acqua dall'intercapedine;
4. con rivestimento stagno esterno:
   a) costituito da un rivestimento a scaglie sovrapposte su intercapedine;
   b) costituito da un rivestimento plastico continuo.

I pareri tecnici rilasciati dal CSTB francese (Centre Scientifique et Technique du Batiment), classificano le facciate ventilate e prescrivono per l'isolante un comportamento non idrofilo (verificato con prove di assorbimento d'acqua per gravità, per capillarità e per aspersione, che vengono normalmente superate dagli espansi plastici, mentre per quelli fibrosi soltanto se superano una certa densità e/o hanno avuto un trattamento idrorepellente).

Una prova di tenuta all'acqua analoga a quella correntemente eseguita sui serramenti può eventual-

mente ricreare una classificazione utilizzabile per analogia.

Anche le norme tedesche ammettono le pareti ventilate per il gruppo di sollecitazione più forte (forti precipitazioni e forti venti).

In generale si può dire che la tenuta alla pioggia battente è facilmente realizzata se il rivestimento è del tipo a sovrapposizione, come nei tetti, o con giunti ad incastro.

2.4 ▪ L'isolamento termico invernale

Si ammette in generale che la presenza dell'intercapedine ventilata e del rivestimento non influenzino la resistenza termica della parete, che risulterà quindi costituito dalla somma di quella propria del supporto, di quella dell'isolante (che tenga conto degli attraversamenti costituiti dall'ossatura e dagli ancoraggi) e delle consuete resistenze liminari. L'assenza di resistenze alla diffusione del vapore esterne all'isolante, mette questo al riparo da decadimenti delle sue prestazioni dovuti a condensazioni nel suo interno e quindi nelle migliori condizioni di esercizio. Nel caso degli isolanti va però considerata la possibilità che si instaurino moti convettivi fra l'interno e l'intercapedine con la conseguenza di ridurre la loro resistenza termica. Questo flusso fra isolante e intercapedine è in relazione alla differenza di pressione fra le bocche di comunicazione dell'intercapedine con l'esterno in alto e in basso; in assenza di radiazione solare (che provocherebbero un flusso verso l'alto), il vento, che aumenta la velocità all'aumentare della distanza dal suolo, crea una pressione maggiore in alto (valutabile, per edifici di 10-20 m, alle velocità medie nelle diverse zone di vento italiane, fra 0,2 e 1 Pa/m) e quindi un flusso d'aria discendente nell'intercapedine.

2.5 ▪ La protezione estiva dalla radiazione solare

Quando una parete è colpita da una radiazione di intensità I (più di 600 W/m^2 mezzogiorno per superfici verticali rivolte a Sud) la parete ne assorbe una frazione αI; il coefficiente di assorbimento varia da circa 0,6 per i colori molto chiari a 0,9 per quelli molto scuri. Di questa energia assorbita che provoca un innalzamento Δt_e rispetto alla temperatura esterna, una parte viene ceduta all'ambiente esterno e una parte penetra, attraverso la parete, nell'ambiente interno, rispetto al quale vi è un salto termico Δt_i secondo il bilancio

$$\alpha I = h_e \, \Delta t_e + \Delta t_i \, U'$$

dove h_e è il coefficiente di adduzione o liminare esterno (W/m^2 °C) e U' è la trasmettanza della parete con esclusione del contributo del fattore h_e.

Questa relazione, che vale a rigore soltanto in regime stazionario, serve comunque ad indicare che il surriscaldamento della superficie esterna sarà tanto più grande quanto più piccolo U'; l'esigenza di isolare la parete contrasta quindi con quella di non sottoporla a sollecitazioni termiche (quindi meccaniche e chimiche) che ne possono accelerare il degrado, almeno superficiale. Nel caso dell'isolamento posto all'esterno, la situazione è ancora peggiore perché nel regime effettivo, non stazionario, la superficie non può beneficiare dell'inerzia termica della massa della parete, dalla quale è se-

parata dallo strato coibente, di massa e quindi di inerzia minima.

La parete ventilata offre la soluzione di questo problema: infatti essa espone alla radiazione solare una parete di trasmittanza molto elevata, sia per il suo ridotto spessore e la sua elevata conducibilità, sia perché anche il coefficiente liminare interno è elevato come o più di quello esterno, per effetto del movimento d'aria che si crea nell'intercapedine in conseguenza della sua diminuita densità a seguito del riscaldamento. Come conseguenza il surriscaldamento del rivestimento della parete ventilata è minimo e quello della superficie dell'isolante che si affaccia sull'intercapedine è del tutto trascurabile. Una trattazione analitica dei fenomeni di scambio termico e di ventilazione in questo tipo di parete è al quanto complesso e viene rimandato al capitolo 4. La ventilazione dell'intercapedine ha anche lo scopo primario di asportare il vapore che traspira dall'interno; si prescrive quindi una larghezza minima (p. es. 20 mm secondo le norme tedesche) e un rapporto minimo fra le aperture dell'intercapedine e l'area rivestita p. es. 1÷3%.

2.6 ▪ La resistenza alle sollecitazioni meccaniche

Il sistema della facciata ventilata può essere sottoposto a diversi tipi di sollecitazione meccanica, per i quali valgono considerazioni differenti.

■ *Peso proprio e vento*: la risultante di queste due forze è la principale sollecitazione per la quale deve essere verificato il sistema.

Per il vento valgono le norme nazionali; in Italia esiste la norma Uni-CNR 10012, che definisce una pressione cinetica e funzione della zona di vento e dell'altezza dell'edificio; per le facciate sopravento occorre considerare una pressione sulla superficie pari a 0,8 q, mentre per quella sottovento si deve considerare una depressione pari a 0,4 q. Il fatto che la faccia interna del rivestimento è in contatto con l'aria esterna attraverso aperture di estremità ed eventualmente intermedie dovrebbe consentire di considerare sollecitazioni inferiori, ma mancano indicazioni precise in proposito. Generalmente la depressione è la condizione più pericolosa, perchè la sollecitazione si concentra nei punti di fissaggio. Come già accennato, la resistenza della copertura e del suo fissaggio all'ossatura devono ritenersi verificate una volta per tutte con prove statiche (eventualmente anche dinamiche) eseguite dal produttore del sistema; queste prove vengono eseguite applicando un sufficiente campione del sistema (rivestimento più ossatura più supporto) sulla bocca di un cassone in cui si può esercitare una pressione o depressione, in modo analogo a quello con cui si provano i serramenti.

La resistenza del fissaggio dell'ossatura al supporto dipende invece dalla resistenza dei singoli elementi di fissaggio al particolare supporto al quale si applica la facciata ventilata; se questa resistenza non è nota, occorre accertarsene di volta in volta con una serie di prove di strappo.

■ *Carichi accidentali*: si tratta essenzialmente della sollecitazione provocata da una scala con una persona, appoggiata alla parete; il comportamento può essere verificato con una prova di laboratorio, ricercando la situazione più sfavorevole per l'applicazione del carico.

Se il rivestimento è sensibile al calore, come è il caso dei termoplastici, la verifica viene eseguita anche alla massima temperatura raggiungibile, in relazione al calore del rivestimento.

■ *Urti*: come per i rivestimenti con intonaco sottile su isolante, le prove d'urto considerano soltanto il danneggiamento della facciata e non la sicurezza allo sfondamento, che deve essere assicurata dal supporto; la severità è poi in relazione alla diversa accessibilità o altezza del rivestimento; diversamente da quelli, non essendoci un supporto continuo, vengono presi in considerazione anche gli urti di corpo molle; d'altra parte si valuta anche la facile sostituibilità di un elemento danneggiato come fattore di riduzione della sollecitazione di prova.

2.7 ▪ Il comportamento al fuoco

Ad un rivestimento di facciata si richiede essenzialmente che non contribuisca a diffondere un incendio originato all'interno dell'edificio, le cui fiamme escano da un'apertura della facciata. Evidentemente il pericolo è maggiore, e quindi le restrizioni sono maggiori, per le costruzioni alte e con aperture.

Non esistono ancora norme precise in Italia, ma un'indicazione sui criteri da seguire può essere ricavata da alcune proposte redatte dagli organi competenti.

Le disposizioni vigenti in Germania per i diversi componenti della parete ventilata prescrivono un ampio spazio per le materie plastiche di tipo autoestinguente, nelle case a 1 o 2 piani con la prescrizione che l'intercapedine abbia una larghezza inferiore a 40 mm, per evitare che costituisca essa stessa una via di propagazioni del fuoco.

Anche in Francia sono ammessi nei rivestimenti di facciata materiali non facilmente infiammabili per case anche a schiera fino all'altezza di 8 m dell'ultimo piano e anche fino a 50 m di altezza se sufficientemente distanti dagli edifici fronteggianti, salvo il piano terra che deve essere difficilmente infiammabile. Per le case più alte sono prescritte esigenze particolari nell'intorno delle aperture, che devono essere verificate con prove di incendio a scala reale.

2.8 ▪ Normativa

La scarsa diffusione delle facciate ventilate spiega la scarsa di normative in proposito, se si eccettuano le norme particolari sui materiali costituenti utili riferimenti possono essere ritrovati in norme francesi e tedesche.

In Italia sono in fase di elaborazione norme e regolamenti che permettono di disciplinare il comportamento al fuoco delle facciate esterne degli edifici.

LE MATERIE PLASTICHE NELLE FACCIATE VENTILATE

L'UTILIZZO DELL'ISOLANTE EPS E DEL RIVESTIMENTO IN PVC

capitolo 3

Premessa

Si ritiene ormai acquisita la nozione dell'importanza, sia per il bilancio familiare, che per quello nazionale, del risparmio energetico nel riscaldamento degli edifici. Che questo risparmio debba essere realizzato in primo luogo con la riduzione delle dispersioni termiche dell'edificio, cioè con un suo buon isolamento, è abbastanza evidente.

Almeno fra i tecnici del ramo è ormai diffusa la consapevolezza che se non vi sono vincoli particolari, il miglior modo per realizzare l'isolamento delle pareti perimetrali è quello di applicare l'isolante sulla faccia esterna delle stesse, e ciò per svariate ragioni:

- vengono coperte e neutralizzate la maggior parte di quelle particolarità di facciata, in particolare corree e pilastri, spigoli, intersezioni, ecc., che costituiscono i così detti "ponti termici" (mentre con altre collocazioni dell'isolante la loro importanza si accentua);
- l'intera massa della parete è utile ai fini dell'inerzia termica dell'edificio;
- la parete è sottratta a gran parte degli sbalzi termici e igrometrici e spesso, negli edifici esistenti, si hanno effetti di risanamento delle strutture, estremamente apprezzabili;
- negli edifici di nuova concezione è possibile affidare alla parete le sole funzioni statiche, che possono essere soddisfatte con spessori ridotti e quindi con migliore sfruttamento dello spazio disponibile.

È pertanto comprensibile l'interesse dimostrato in questi ultimi anni per alcune tecniche di isolamento esterno delle pareti degli edifici, in modo particolare per quella detta "intonaco sottile su isolante" o popolarmente "cappotto".

Un procedimento di isolamento esterno che si rifà ad una esperienza tradizionale (anche se poco diffusa in Italia) e quindi già in partenza con maggiori garanzie di affidabilità, è la facciata ventilata.

La facciata ventilata

Con il nome di facciata ventilata si designa un sistema di rivestimento esterno delle pareti perimetrali di un edificio, caratterizzato dal fatto che fra il rivestimento vero e proprio e la parete retrostante viene lasciata una lama d'aria in comunicazione con l'esterno, sia in basso che in alto, cosicchè in certe situazioni si instaura, per effetto camino, una ventilazione naturale fra rivestimento e parete, con conseguenze generalmente positive, che nel seguito verranno messe in evidenza.

Nelle realizzazioni tradizionali il rivestimento (p. es. lastra di ardesia) è fissato meccanicamente ad una

ossatura in legno, a sua volta fissata meccanicamente alla parete. Si tratta quindi di una tecnica strettamente apparentata a quella della copertura dei tetti e in effetti applicata dalle stesse maestranze. Questa parentela non è soltanto formale; in realtà questo tipo di rivestimento è diffuso specialmente nelle regioni (in Italia nella Liguria, all'estero nelle zone a clima atlantico del Nord Europa) caratterizzate da problemi di tenuta delle pareti alla pioggia battente caratteristica delle zone molto ventose.

Il fatto di usare come rivestimento materiali impermeabili come le lastre di ardesia, successivamente di cemento fibrato o metalliche, richiedeva l'attuazione di disposizione che consentissero una via d'uscita al vapore d'acqua che si diffonde dall'interno all'esterno attraverso la parete; parimenti l'acqua che, per effetto della pressione del vento, fosse riuscita ad infiltrarsi fra le connessure delle lastre di rivestimento, doveva trovare una via d'uscita all'esterno senza poter raggiungere la parete. L'intercapedine ventilata è stata perciò sempre attuata con questo sistema di rivestimento e l'ossatura di supporto è disposta in modo da non ostacolare il movimento d'aria e il deflusso dell'acqua.

Per contro si deve rilevare che l'isolamento con parete ventilata risulta generalmente più costoso di quello con intonaco sottile su isolante, sia per l'incidenza dei costi di materiali e di posa in parte corrente, sia per la necessità di risolvere con pezzi speciali e con accorgimenti estemporanei tutti i problemi di contorno (spigoli, aperture, cornici, terminazioni).

Si deve poi riconoscere che le facciate così realizzate presentano in generale una struttura a vista non continua, che fino ad oggi è estranea alla maggior parte della nostra architettura; ciò può sconsigliare l'adozione per motivi ambientali, soprattutto negli interventi sull'esistente.

Caratteristiche morfologiche della facciata ventilata isolante

a) *Il rivestimento*

I rivestimenti tradizionali delle facciate ventilate sono quelli in pietra facilmente sfaldabile, come l'ardesia e quelli in legno, sia a liste sovrapposte che incastrate (perline) o in scaglie (scandole). I primi materiali artificiali ad essere impiegati a questo scopo, che possono ormai essere classificati "tradizionali" anch'essi, sono le lastre in laterizio e in cemento fibrato.

Montaggi simili a questi ultimi vengono realizzati anche con lastre metalliche, piane o variamente imbutite; lucide, anodizzate, smaltate, preverniciate, ecc., di alluminio o acciaio.

Le materie plastiche si sono naturalmente anch'esse inserite in questa applicazione, a causa sopra tutto della grande varietà di espressione che si può ottenere da esse. La tabella di pagina 15 riporta le caratteristiche essenziali di quelle proposte per questa applicazione.

Nel campo delle lastre di piccole dimensioni si hanno per lo più prodotti che imitano quelli naturali, come la pietra artificiale ottenuta con cariche minerali legate con resina poliestere. In questo campo si possono utilizzare anche pezzi stampati in PVC, sia nella versione rigido normale per esterni, sia nel tipo semiespanso.

Caratteristiche delle materie plastiche per rivestimento di facciate

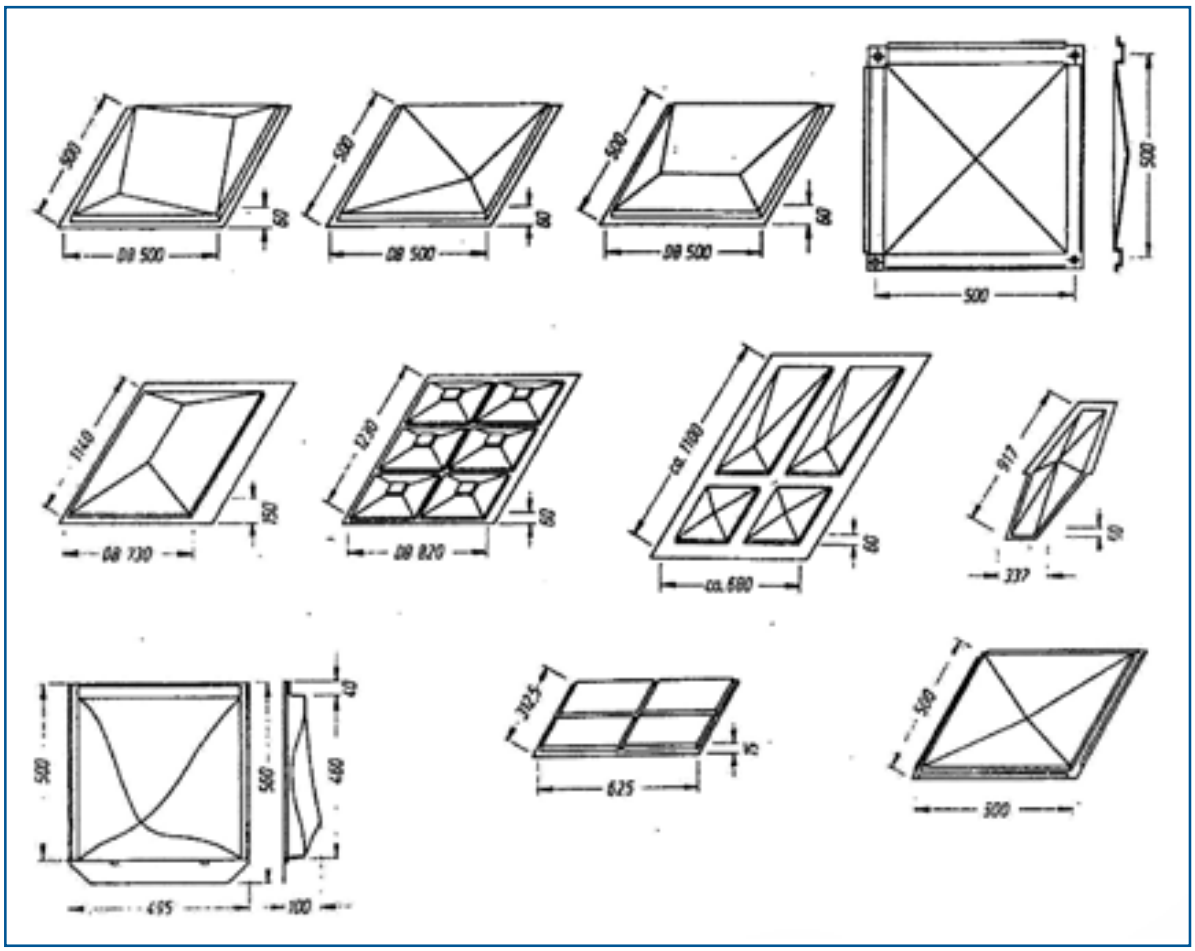
Caratteristica / Materiale	PVC rigido	PVC semiespanso	ABS	PMMA	PRFV 30% mat.	Poliestere caricato
Massa volumica (kg/m^3)	1400	700	1200	1200	1500	2200
Resistenza a trazione (kg/cm^2)	500	200	500	700	1000	1200 (°)
Modulo elastico a trazione ($kg/cm^2 \cdot 10^6$)	30	15	20	33	120	200 (°)
Coeff. di dilatazione ($°C^{-1} \cdot 10^{-6}$)	70	70	70	70	20	20
Tecnologie di trasformazione		Estrus. Termofor.	Estrus. Iniez.	Estrus. Termofor. Iniez.	Compress. Formatura manuale	Colata

(°) A compressione

L'aspetto dei manufatti di PVC rigido e semiespanso possono essere migliorati e variati con opportuni trattamenti superficiali.

La maggior parte dei tipi in PVC è in mescola antiurto; gli elementi si ottengono per termoformatura da lastre di 2-3 mm di spessore. La forma più comune è a cassettone con bordo piano di almeno 20 mm, ma non più di 150 mm, per evitare distorsioni, eventualmente conforma-

Fig. 2 · *Rivestimenti per facciata ventilata in lastra di PVC termoformati*



to in modo da canalizzare la pioggia. La forma a cassettone fornisce il necessario irrigidimento al rivestimento, tuttavia deve essere studiata in modo da assorbire le dilatazioni termiche senza creare distorsioni otticamente sgradevoli; ciò si ottiene in generale dando alle superfici qualche curvatura (fig. 2).

Alcuni manufatti hanno invece impronte multiple di piccole dimensioni, che facilitano l'inserzione del rivestimento nelle facciate esistenti.

Vi è infine il settore degli estrusi in PVC (fig. 3), che si giova di una tecnologia altamente industrializzata, collaudata dalla produzione di profilati per avvolgibili e quindi a costi ormai molto ridotti; anche per l'affidabilità si può fare riferimento tranquillamente a quella degli avvolgibili. Questo tipo di rivestimento sembra quindi destinato ad una buona diffusione. Il suo aspetto tuttavia, senz'altro accettato anche da noi in costruzioni commerciali, industriali, fieristiche, ecc. ha probabilmente ancora bisogno di essere meglio valorizzato esteticamente nell'edilizia abitativa.

A questo gruppo di manufatti si possono assimilare i profili in PVC e legno.

Di PVC sono poi spesso i profili speciali (angolari, terminali superiori e inferiori, coprifili, ecc.) necessari in tutti i tipi di facciata ventilata, anche con rivestimento di altra natura. Alcuni tipi si applicano a scatto, evitando così fissaggi a vista.

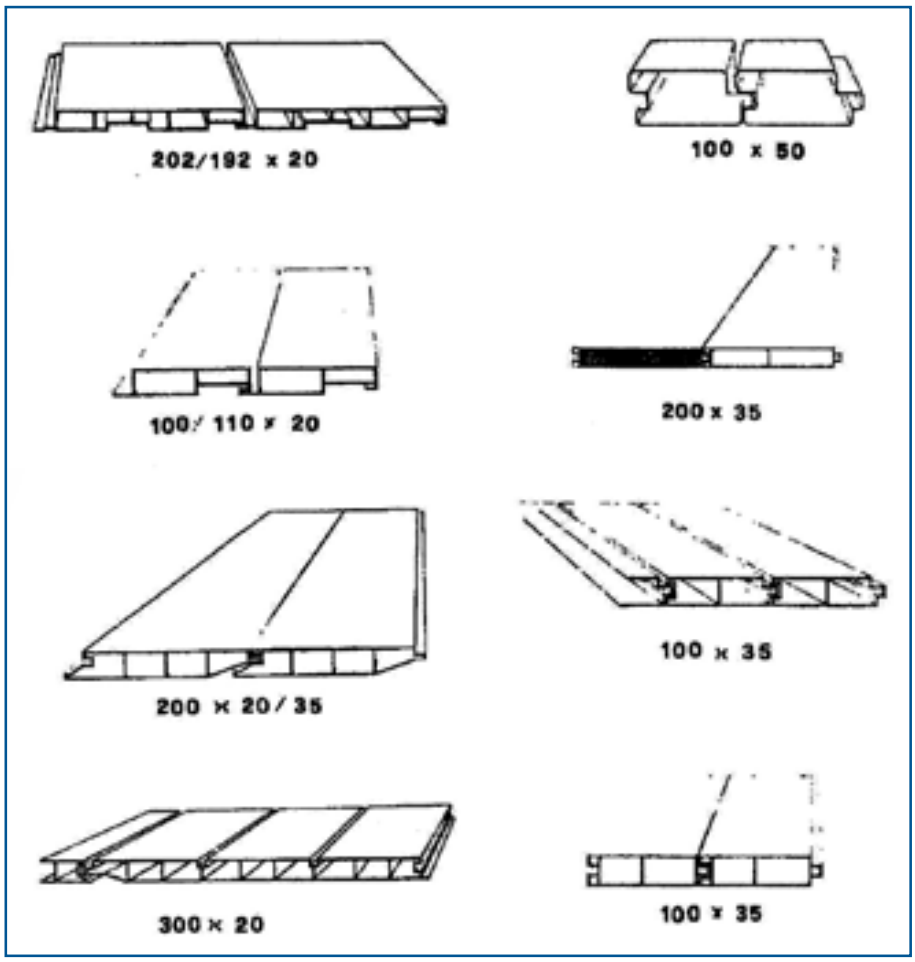


Fig. 3 · *Profilati in PVC italiani per rivestimento di facciate. Le cifre indicano, nell'ordine, il passo e l'altezza*

b) *L'ossatura*

L'ossatura tradizionale è quella realizzata con listelli di legno. Di solito vi è una orditura principale di listelli verticali, sulla quale è fissata quella orizzontale più fitta e minuta, che porta il rivestimento a piccole lastre. Se il rivestimento è a grandi lastre o a profilati l'orditura secondaria può mancare, oppure se i profilati sono disposti verticalmente, è orizzontale; in questo caso deve essere preso qualche accorgimento per garantire la circolazione d'aria in senso verticale dietro il rivestimento.

I sistemi più moderni di facciate ventilate fanno tuttavia uso quasi esclusivo di orditure in profilati di alluminio o acciaio zincato, ogni sistema ha sviluppato particolari profilati, studiati per il corretto montaggio del rivestimento previsto; precisione, stabilità, nessun contributo al carico di fuoco sono i pregi di queste ossature.

c) *Gli elementi di fissaggio*

Si devono distinguere gli elementi di fissaggio del rivestimento all'ossatura e quelli di fissaggio dell'ossatura e dell'isolante alla muratura. I primi sono specifici dei singoli sistemi (chiodi a legno in quelli tradizionali, oppure viti, ganci, incastri ecc.) e sono ovviamente concepiti e dimensionati in modo da resistere a tutte le sollecitazioni prevedibili per questo collegamento.

Gli elementi di fissaggio alla muratura richiedono invece una particolare considerazione per ogni singola applicazione, data la varietà e spesso l'incertezza delle caratteristiche dei supporti sui quali si deve di volta in volta operare e pertanto occorre farne una verifica ogni volta, come si vedrà più avanti. Questi elementi possono essere tradizionalmente sotto forma di zanche a murare o, in forma di tasselli ad espansione, vi sono tasselli adatti per murature piene e altri più lunghi per murature forate; le viti corrispondenti possono stringere l'armatura contro la muratura, oppure tenerla distanziata; in questo caso alcuni sistemi a lastre grandi di rivestimento prevedono il fissaggio diretto delle lastre sulle viti con distanziatore, senza bisogno di armatura, o riducendola a piccole piastre distanziali.

d) *L'isolante*

L'isolante tradizionale per la facciata ventilata, come per le costruzioni in legno, è il pannello o materasso di fibre di vetro o di roccia e ciò soprattutto per ragioni storiche, in quanto l'unico disponibile quando si è cominciato a pensare ad inserirlo nelle facciate ventilate (fig. 4).

Innegabilmente, se di opportuna qualità e posato con cura, si tratta di una applicazione corretta; in particolare può essere apprezzato il suo comportamento al fuoco, mentre la protezione del la facciata lo mette al riparo dalla cause di danno e degrado cui è più sensibile.

Tuttavia esistono buone ragioni per prendere in considerazione anche gli espansi plastici più comunemente usati in edilizia, nei tipi a miglior comportamento al fuoco: come l'EPS.

In generale valgono a favore dell'EPS le caratteristiche di impermeabilità all'aria e di comportamento non idrofilo.

Infine si può prevedere che l'EPS, per la peculiare caratteristica di assumere per stampaggio forme diverse dalla lastra piana e molto precise, saranno la scelta d'obbligo

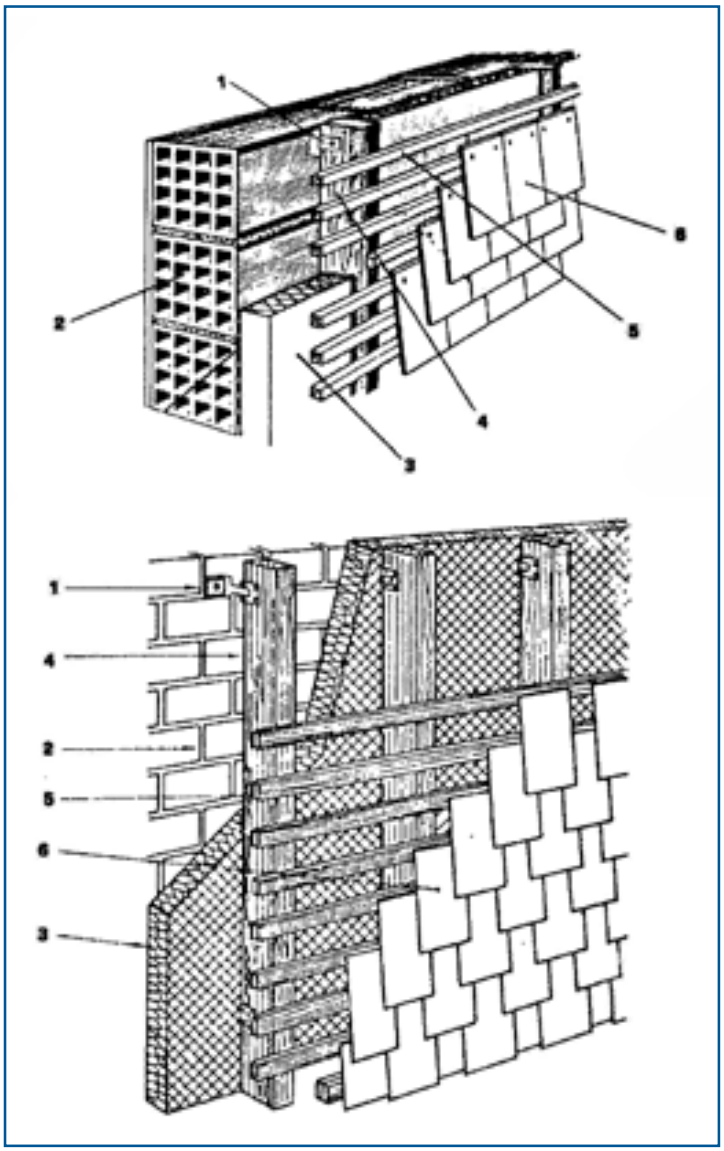


Fig. 4 · *Modi di inserzione dell'isolante nella facciata ventilata. In alto: fra gli elementi dell'ossatura; in basso: sotto l'ossatura.*
1: elementi di fissaggio dell'ossatura al supporto
2: supporto
3: isolante
4: montanti
5: correnti
6: rivestimento

per quei componenti complessi, rivestimento più isolante, prefabbricati, che si ritiene rappresenteranno nei prossimi anni l'evoluzione logica dell'isolamento esterno, oltre la facciata ventilata.

Caratteristiche funzionali della facciata ventilata isolante

a) *La protezione dalla pioggia battente*

Come detto nella descrizione iniziale, è questa la protezione principale richiesta originariamente alla facciata ventilata. Alcune normative forniscono indicazioni circa il livello di questa protezione che può essere ottenuto con una facciata ventilata.

b) *L'isolamento termico invernale*

Si ammette in generale che la presenza dell'intercapedine ventilata e del rivestimento non influenzino la resistenza termica della parete, che risulterà quindi costituita dalla somma di quella propria del supporto, di quella dell'isolante (che tenga conto degli attraversamenti costituiti dall'ossatura e dagli ancoraggi) e delle consuete resistenze liminari. Per la resistenza liminare esterna si potrebbe osservare che, essendo sopresse le perdite per irraggiamento, per essa potrebbe essere adottato un valore più elevato di quello convenzionale. L'assenza di resistenze alla diffusione del vapore esterne all'isolante, mette questo al riparo da decadimenti delle sue prestazioni dovuti a condensazioni nel suo interno e quindi nelle migliori condizioni di esercizio.

Nel caso degli isolanti va però considerata la possibilità che si instaurino moti convettivi fra l 'interno e l'intercapedine conia conseguenza di ridurre la loro resistenza termica.

Questo flusso fra isolante e intercapedine è in relazione alla differenza di pressione fra le bocche di comunicazione dell'intercapedine con l'esterno in alto e in basso; in assenza di radiazione solare (che provocherebbero un flusso verso l'alto), il vento, che aumenta di velocità all'aumentare della distanza dal suolo, crea una pressione maggiore in alto (valutabile per edifici di 10-20 m, alle velocità medie nelle

diverse zone di vento italiane, fra 0,1 e 1 Pa/m) e quindi un flusso d'aria discendente nell'intercapedine.

La riduzione di resistenza termica dipende dall'entità del gradiente di pressione e dalla presenza di discontinuità, nonché dalla permeabilità all'aria dell'isolante; questa può essere ridotta opportunamente applicandogli davanti uno strato poco permeabile all'aria (p. es. cartone catramato), ma sufficientemente permeabile al vapor d'acqua.

Per quanto riguarda gli espansi plastici, essi sono intrinsecamente impermeabili all'aria, quindi assimilabili ai pannelli fibrosi protetti e con l'isolamento disposto in modo continuo sul supporto, possibilmente con giunti battenti e l'ossatura applicata sopra di esso.

c) *La protezione estiva dalla radiazione solare*

Quando una parete è colpita da una radiazione di intensità I (più di 600 W/m^2 a mezzogiorno per superfici verticali rivolte a Sud) la parete ne assorbe una frazione aI; se essa non è di metallo lucido, il coefficiente di assorbimento a varia da circa 0,6 per i colori molto chiari a 0,9 per quelli molto scuri. Di questa energia assorbita che provoca un innalzamento Δt_e rispetto alla temperatura esterna, una parte viene ceduta all'ambiente esterno e una parte penetra, attraverso la parete, nell'ambiente interno, rispetto al quale vi è un salto termico Δt_i secondo il bilancio

$$\alpha I = h_e \, \Delta t_e + U' \, \Delta t_i$$

dove he è il coefficiente di adduzione o liminare esterno (W/m^2 °C) e U' è la trasmittanza della parete con esclusione del contributo del fattore h_e.

Questa relazione, che vale a rigore soltanto in regime stazionario, serve comunque ad indicare che il surriscaldamento della superficie esterna sarà tanto più grande quanto più è piccolo U'; l'esigenza di isolare la parete contrasta quindi con quella di non sottoporla a sollecitazioni termiche (quindi meccaniche e chimiche) che ne possono accelerare il degrado, almeno superficiale. Nel caso dell'isolamento posto all'esterno, per ogni altro verso preferibile, la situazione è ancora peggiore perché nel regime effettivo, non stazionario, la superficie non può beneficiare dell'inerzia termica della massa della parete, dalla quale è separata dallo strato coibente, di massa e quindi di inerzia minima.

La parete ventilata offre la soluzione di questo problema: infatti essa espone alla radiazione solare una parete di trasmittanza molto elevata, sia per il suo ridotto spessore e la sua elevata conducibilità, sia perché anche il coefficiente liminare interno è elevato come o più di quello esterno, per effetto del movimento d'aria che si crea nell'intercapedine in conseguenza della sua diminuita densità a seguito del riscaldamento. Come conseguenza il surriscaldamento del rivestimento della parete ventilata è minimo e quello della superficie dell'isolante che si affaccia sull'intercapedine è del tutto trascurabile.

Una trattazione analitica dei fenomeni di scambio termico e di ventilazione in questo tipo di parete è alquanto complesso e si rimanda al capitolo 4.

A sostegno delle considerazioni intuitive fatte sopra si riportano i dati soltanto come esempio di misure di temperatura effettuate in una giornata soleggiata di agosto su una

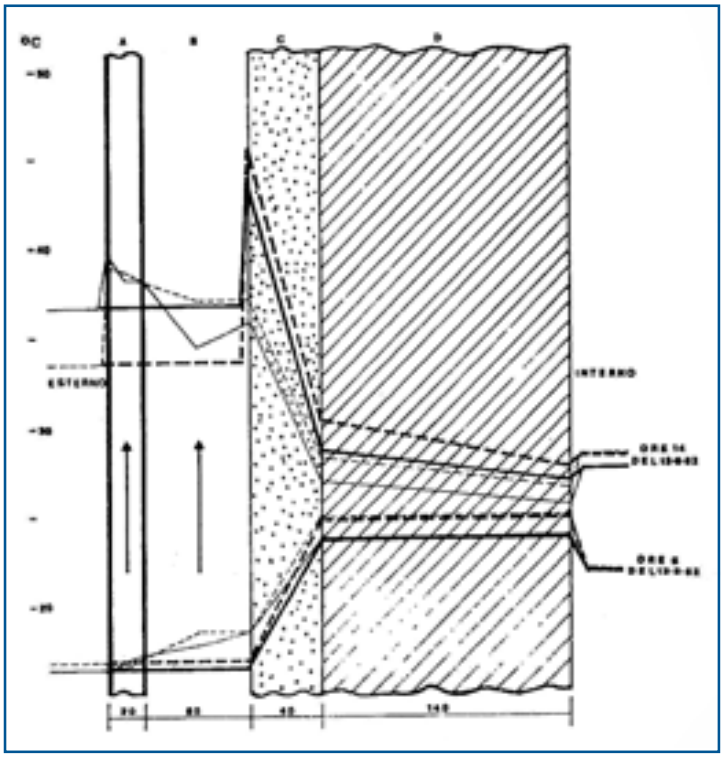
parete sperimentale esposta a Sud di Milano.

Oltre ad una riduzione di più di 10°C della temperatura superficiale massima rispetto alla stessa parete senza rivestimento ventilato, si ha anche, con il rivestimento, una temperatura superficiale notturna dell'isolante di circa 2°C superiore dovuta alla soppressione dell'irraggiamento notturno nelle notti serene. Si ha quindi un altro beneficio per la stagione di riscaldamento, che, come precedentemente notato, potrebbe esprimersi con l'adozione di un coefficiente liminare esterno ridotto (fig. 5).

La diminuita temperatura della superficie della parete si traduce in un ridotto flusso termico verso l'interno e quindi in un maggior benessere per gli occupanti, ovvero in un minor carico per un eventuale impianto di condizionamento.

La ventilazione dell'intercapedine ha anche lo scopo primario di asportare il vapore che traspira dall'interno; si prescrive quindi una larghezza minima e un rapporto minimo fra le aperture dell'intercapedine e l'area rivestita.

Fig. 5 · *Andamento della temparatura nella sezione del muro. Le linee sottili si riferiscono alla parete ventilata, quelle grosse alla parete con l'isolante direttamente esposto all'esterno. Le linee continue si riferiscono alle temperature a circa 1 m dal suolo, quelle a tratto all'altezza di circa 5 m.*
A: doghe in PVC
B: intercapedine
C: isolante EPS
D: muratura in mattoni pieni con intonaco



d) *La resistenza alle sollecitazioni meccaniche*

Il sistema della facciata ventilata può essere sottoposto a diversi tipi di sollecitazione meccanica, per i quali valgono considerazioni differenti.

■ *Peso proprio e vento*: la risultante di queste due forze è la principale sollecitazione per la quale deve essere verificato il sistema.

Per il vento valgono le norme nazionali; e gli eurocodici.

Il fatto che la faccia interna del rivestimento è in contatto con l'aria esterna attraverso aperture di estremità ed eventualmente intermedie dovrebbe consentire di considerare sollecitazioni inferiori, ma mancano indicazioni precise in proposito.

Generalmente la depressione è la condizione più pericolosa, perché la sollecitazione si concentra nei punti di fissaggio.

Come già accennato, la resistenza della copertura e del suo fissaggio all'ossatura devono ritenersi verificate con prove statiche e anche dinamiche eseguite dal produttore del sistema; queste prove vengono eseguite applicando un sufficiente campione del sistema (rivestimento più ossatura più supporto) sulla bocca di un cassone in cui si può esercitare una pressione o depressione, in modo analogo a quello con cui si provano i serramenti.

La resistenza del fissaggio dell'ossatura al supporto dipende invece dalla resistenza dei singoli elementi di fissaggio al particolare supporto al quale si applica la fac-

ciata ventilata; se questa resistenza non è nota, occorre accertarsene di volta in volta con una serie di prove di strappo.

■ *Carichi accidentali*: si tratta essenzialmente della sollecitazione provocata da una scala con una persona, appoggiata alla parete; il comportamento può essere verificato con una prova di laboratorio, ricercando la situazione più sfavorevole per l'applicazione del carico. Se il rivestimento è sensibile al calore, come è il caso dei termoplastici, la verifica viene eseguita anche alla massima temperatura raggiungibile, in relazione al colore del rivestimento.

■ *Urti*: come per i rivestimenti con intonaco sottile su isolante, le prove d'urto considerano soltanto il danneggiamento della facciata e non la sicurezza allo sfondamento, che deve essere assicurata dal supporto; la severità è poi in relazione alla diversa accessibilità o altezza del rivestimento; diversamente da quelli, non essendoci un supporto continuo, vengono presi in considerazione anche gli urti di corpo molle; d'altra parte si valuta anche la facile sostituibilità di un elemento danneggiato come fattore di riduzione della sollecitazione di prova. Le norme francesi considerano un urto del sacco da 50 Kg con l'energia di 400 Nm, del pallone da 3 Kg con l'energia di 60 Nm e della biglia di acciaio da 1 o 0,5 Kg con l'energia di 10 Nm per l'impiego a piano terra accessibile e soltanto 11 pallone con 10 Nm e la biglia con 3 Nm negli altri casi; tutte le energie possono essere ridotte a 1/3 se l'elemento singolo è facilmente sostituibile, ma la resistenza deve essere verificata a 0°C e a -15°C se il materiale si irrigidisce a freddo, come il PVC.

La norma tedesca considera invece soltanto l'urto di biglia di acciaio da 1 Kg da almeno 0,6 m, e attribuisce valore negativo soltanto alla caduta di parti di rivestimento.

e) *La resistenza alle variazioni climatiche*

Gli effetti di degrado che le variazioni di temperatura e di umidità e l'irraggiamento possono provocare sull'aspetto e sulla resistenza delle coperture dipendono in gran parte dalla natura dei materiali. A questo riguardo le ossature in legno devono essere protette contro l'attacco di muffe, termiti, ecc., quelle metalliche e gli elementi di fissaggio contro la corrosione, mentre gli isolanti sono da ritenere sufficientemente stabili, purché abbiano un minimo di consistenza meccanica.

Per i rivestimenti sono da considerare fra gli effetti delle alternanze di temperatura anche i movimenti periodici di dilatazione e contrazione termica, particolarmente accentuati nel caso delle materie plastiche, che hanno (salvo il poliestere rinforzato) un coefficiente di dilatazione termica di un ordine di grandezza superiore a quello degli altri materiali di rivestimento; a ciò si può aggiungere nei primi tempi dall'installazione anche un ritiro irreversibile.

I sistemi di rivestimento di facciate in materiale plastico devono perciò adottare sempre qualche accorgimento in proposito, salvo quelli a scaglie di piccole dimensioni, per i quali il problema non ha rilevanza. In genere per i profilati estrusi i fissaggi sono di tipo scorrevole lungo apposite sagomature del profilo, altrimenti si ricorre a fori

asolati; la lunghezza delle barre è poi limitata di solito a 3 m.

f) *Il comportamento al fuoco*

Ad un rivestimento di facciata si richiede essenzialmente che non contribuisca a diffondere un incendio originato all'interno dell'edificio, le cui fiamme escano da un'apertura della facciata.

Evidentemente il pericolo è maggiore, e quindi le restrizioni sono maggiori, per le costruzioni alte e con aperture.

Normative e prove sulle facciate ventilate

La scarsa diffusione delle facciate ventilate in generale e in Italia in particolare spiega la scarsezza di normative in proposito, se si accentuano le norme particolari sui materiali costituenti.

Alcune norme specifiche sono in fase di preparazione.

Evoluzioni e sviluppi possibili a partire dalla facciata ventilata

Si stanno delineando alcuni sviluppi della tecnica dell'isolamento esterno delle pareti verticale degli edifici, che,applicando il principio della facciata ventilata, potrebbero imporsi più facilmente all'attenzione del mercato edilizio. La prima di queste evoluzioni, presente già da qualche anno all'estero, è costituita dai rivestimenti isolanti prefabbricati (vêtures per i francesi), che, in un unico manufatto riuniscono i tre componenti della facciata ventilata isolante, cioè il rivestimento, l'ossatura e il coibente, disposti in modo che l'isolante vada sempre a contatto del supporto e fra esso e il rivestimento sia assicurata la circolazione d'aria (vanno tuttavia sotto questo nome anche complessi stagni, in cui si deve impedire la propagazione del vapore dall'interno o provvedere all'evacuazione all'esterno della condensa).

È evidente che il riunire più operazioni in stabilimento e ridurre quelle di cantiere ad una sola, può comportare una apprezzabile riduzione del costo finale, che in effetti si colloca nello stesso intervallo di quelli dei rivestimenti a cappotto, con l'aggiunta di una maggiore affidabilità, dovuta al fatto che, al contrario del cappotto, all'applicatore non è lasciata alcuna possibilità di

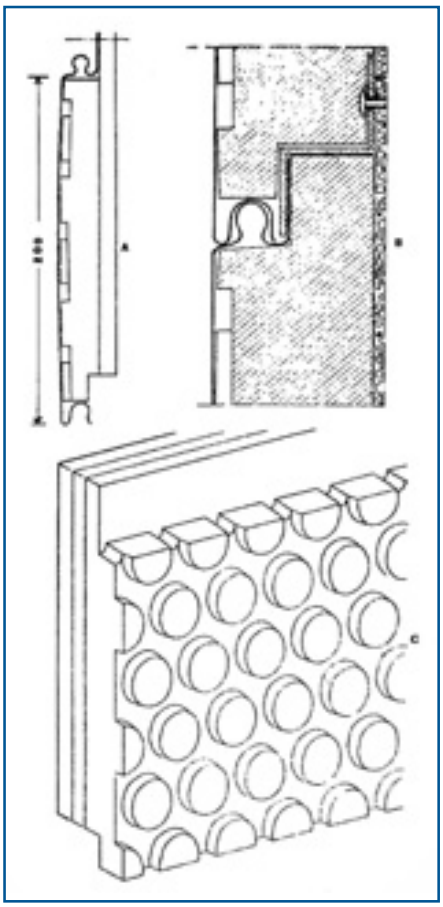


Fig. 6 · *Rivestimento isolante prefabbricato. A: sezione verticale di assieme. B: particolare del giunto orizzontale. C: isolante (EPS stampato)*

scelta di materiali e nemmeno gli è richiesta una particolare perizia per la posa (fig. 6).

Restano valide anche in questo caso le osservazioni fatte circa le esigenze di una buona integrazione architettonica, sia per quanto riguarda l'estetica, sia per la disponibilità di accessori per risolvere i problemi di contorno, sia infine per non avere dipendenze di tipo modulare.

Una seconda linea di sviluppo potrebbe dipartirsi dai sistemi di facciata ventilata quando vi si applichino i concetti, che si vanno maturando, di isolamento dinamico e di sfruttamento degli apporti solari.

Questa è una linea praticamente ancora tutta da sviluppare, ma che in futuro potrebbe risultare particolarmente attrattiva, in relazione ai risparmi energetici conseguibili.

I sistemi battezzati "paretodinamici" sono basati sul concetto di ricuperare il calore che dall'interno viene ceduto all'aria dell'intercapedine, facendo entrare quest'aria nell'edificio, invece di scaricarla all'esterno; il beneficio, espresso come coefficiente di riduzione delle perdite per ventilazione, è ovviamente tanto maggiore quanto maggiore è la trasmittanza della parete; occorre quindi trovare il compromesso più conveniente fra questo beneficio e la dispersione della parete.

Il rendimento promette di essere molto più consistente se l'aria per entrare è costretta a filtrare attraverso la parete, in questo caso la tecnologia, più che nuova, è ancora tutta da sviluppare e questo è essenzialmente un suggerimento.

I sistemi dinamici qui accennati si rivelano anche più favorevoli della pareti ordinarie per quanto riguarda il guadagno solare che queste pareti possono offrire; su questi guadagni è indirizzata l'attenzione dei sistemi solari passivi, che rappresentano forse la linea evolutiva più importante a medio termine per l'edilizia abitativa. Del resto è evidente l'analogia fra queste pareti ventilate a rivestimento opaco con quelle a rivestimento trasparente, come il muro di Trombe, ormai note fra i sistemi solari passivi; il rendimento di queste ultime è ovviamente superiore, ma le loro possibilità di inserzione in una facciata sono più limitate.

In generale i guadagni solari sono tanti maggiori, quanto più elevata è l'inerzia della parete; questa potrebbe essere elevata senza aumento di peso, con l'inserzione di materiali a cambiamento di fase.

È chiaro che a questo punto si sconfina dalla considerazione di un rivestimento isolante alla concezione di una parete completa che incorpora in qualche modo il principio della parete ventilata.

È pure chiaro che in queste direzioni si aprono molte strade interessanti e che in tutte le materie plastiche possono dare un contributo importante e forse determinante.

Aspetti innovativi della facciata ventilata

In un quadro evolutivo dei 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 parietodinarnici, cioè chiusure innovative ad isolamento dinamica In tale ottica la facciata ventilata può essere opportunamente impiegata sia come sistema di immissione diretta negli

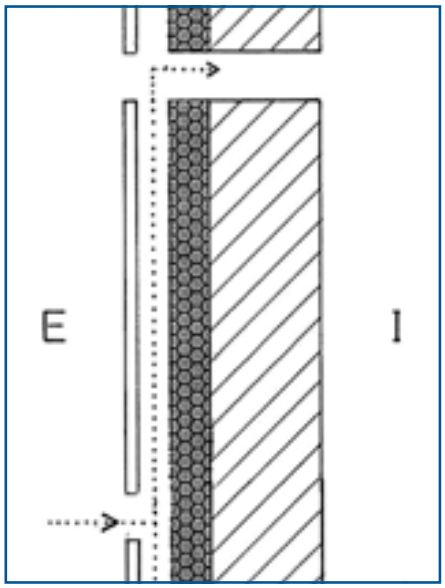


Fig. 7

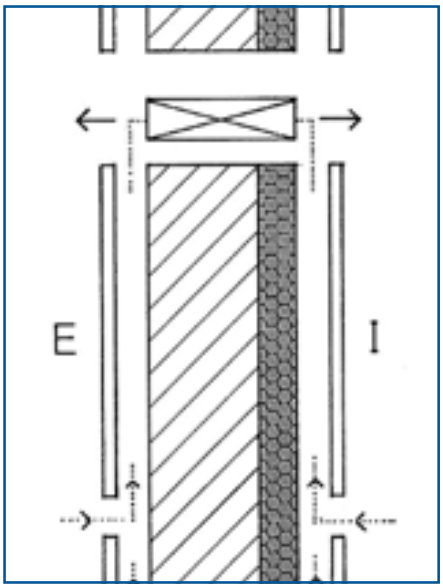


Fig. 8

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 guanto 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 surriscaldametno dello strato di rivestimento per effetto della radiazione solare Incidente; tale flusso d'aria viene immesso 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.). 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, possibile attivare il movimento dell'aria nello strato di ventilazione e all'interno dell'ambiente sia naturalmente (effetto camino) sia forzatamente con dispositivi meccanici (figg. 7 e 8).

L'INERZIA TERMICA DELLE PARETI VENTILATE

capitolo 4

La continua evoluzione della tipologia edilizia, finalizzata allo scopo di realizzare pareti perimetrali più rispondenti alla situazione energetica attuale e tendenti nel contempo ad ottenere, a parità di consumi energetici, più elevati livelli di benessere abitativo all'interno degli ambienti, ha portato allo studio di nuove soluzioni nella realizzazione delle pareti perimetrali degli edifici.

Tra le diverse soluzioni merita di essere presa in considerazione quella che prevedeva l'uso di intercapedini ventilate, poste in corrispondenza dello strato più esterno di dette pareti.

Durante la stagione estiva questo tipo di struttura consente di realizzare una barriera contro la radiazione solare in quanto, nella zona situata posteriormente allo schermo, circola l'aria che provvede ad asportare il calore raccolto dallo schermo stesso.

Nel periodo invernale l'intercapedine ventilata consente invece di operare un'azione di drenaggio del vapore acqueo nelle zone più esterne della struttura che, a causa della loro temperatura più bassa, sono più facilmente soggette alla condensazione del vapore acqueo che diffonde dall'interno degli ambienti.

In un'analisi di numerose tipologie costruttive si suddividono gli schermi esterni in "leggeri" e "pesanti", in relazione alle loro caratteristiche fisiche e dimensionali. Alla prima appartengono gli schermi in metallo, in plastica, ovvero in altri materiali purché di spessore contenuto, alla seconda appartengono le lastre di pietra, di cemento dello spessore di almeno 2 cm, ecc.

In una giornata estiva di cielo sereno, il flusso termico che passa attraverso una facciata ventilata è il 20% inferiore rispetto a quello che si stabilirebbe per una analoga parete non ventilata; in inverno, invece, si avrebbe una penalizzazione inferiore all'1% conseguente ad una diminuizione delle resistenze liminari, nel caso vengano utilizzati materiali isolanti non idonei.

Per quanto riguarda la valutazione della trasmittanza termica, si osserva che, essendo il suo valore influenzato dalla portata d'aria che fluisce all'interno dell'intercapedine, vengono usualmente introdotti opportuni coefficienti correttivi.

Nonostante la facciata ventilata rappresenti ormai un sistema noto, in particolare all'estero dove è realizzato da vari anni, la bibliografia disponibile riguarda solitamente gli aspetti connessi con la trasmissione di calore in regime permanente.

Nel caso in cui si tenga conto del regime variabile di temperatura, la facciata ventilata svolge un'ulteriore azione di notevole interesse tecnico e cioè l'effetto che essa produce sul regime di temperatura, all'interno degli ambienti è praticamente

quello di variare l'inerzia termica della parete perimetrale operando una azione globale di "isolamento" dell'ambiente interno nei riguardi delle variazioni della temperatura esterna aria-sole.

Viene utilizzato un modello di calcolo semplificato, che si riferisce al regime periodico sinusoidale, viene studiato il comportamento termico nei riguardi sopratutto di quest'ultimo aspetto.

Lo studio della trasmissione di calore attraverso pareti opache multistrato, munite di intercapedine ventilata, è stato affrontato considerando la temperatura variabile nel tempo.

La risoluzione del problema effettuata formulando alcune ipotesi semplificative, consente di ottenere utili indicazioni sul comportamento termico in regime variabile di ambienti muniti di intercapedini ventilate.

Nell'ipotesi di flusso termico unidirezionale, variazione sinusoidale della temperatura esterna e nel caso di materiali omogenei, l'equazione di Fourier è stata risolta in forma chiusa.

Attraverso l'intercapedine ventilata fluisce una portata di aria costante, con temperatura variabile sinusoidalmente ed in fase con la temperatura esterna all'ombra.

Sono state considerate quattro pareti perimetrali di differenti caratteristiche fisiche, in modo da realizzare diversi tipi di isolamento termico e cioè: distribuito, oppure concentrato all'interno od all'esterno di una struttra periferica.

In particolare si è considerata una parete con solo isolante (tipo 1), una in calcestruzzo con isolamento concentrato sull'esterno (tipo 2) o sull'interno (tipo 3), ed infine una parete in calcestruzzo alleggerito (tipo 4).

Tutte le suddette strutture sono protette, verso l'esterno, da una sottile lastra in cemento sistemata ad una certa distanza, in modo da realizzare un'intercapedine ventilata.

Si è supposto, infine, che eventuali strutture interne siano in conglomerato cementizio, ricoperto, verso l'ambiente interno, con uno strato di materiale leggero.

Le caratteristiche fisiche e dimensionali delle strutture periferiche ed interne sono riportate in tabella di pagina 27.

La variazione di temperatura esterna è stata valutata considerando l'oscillazione della temperatura dell'aria all'ombra nonchè il contributo dovuto all'irraggiamento solare.

In considerazione delle ipotesi semplificative assunte e tenendo

SIMBOLOGIA

a = Fattore di assorbimento alla radiazione solare
c' = Calore volumetrico, kj/kg °C
E = Portata termica, W/m² °C
Gv = Portata volumetrica. m³/s
h = Altezza dell'intercapedine, m
I = Intensità della radiazione solare W/m²
I = Spessore (in riferimento alla struttura), m
s = Spessore (in riferimento all'intercapedine), m
S = Superficie, m²
w = Velocità media, m/s
γ = Sfasamento, h
θ = Temperatura, °C
λ = Conduttività termica W/m °C
x = Fattore di riduzione $\theta i/\theta a$

Indici

a = In riferimento alla temperatura esterna all'ombra
e = In riferimento alla temperatura esterna aria- sole
i = In riferimento all'interno
v = In riferimento all'intercapedine
p = In riferimento alla parete perimetrale
t = In riferimento alla struttura interna

Caratteristiche termofisiche delle pareti periferiche ed interne

Parete esterna	Materiale	l [m]	γ [W/m °C]	α x 10^7 [n2/s]	Capacità termica [kJ/m^2 °C]
Tipo 1	Schermo esterno	0,003	0,35	2,1	50
	Isolante	0,06	0,04	8,7	8
Tipo 2	Schermo esterno	0,003	0,35	2,1	309
	Isolante	0,04	0,04	8,7	
	Calcestruzzo	0,15	1,99	9,9	
Tipo 3	Schermo esterno	0,003	0,35	2,1	309
	Calcestruzzo	0,15	1,99	9,9	
	Isolante	0,04	0,04	8,7	
Tipo 4	Schermo esterno	0,003	0,35	2,1	297
	Calcestruzzo alleggerito	0,3	0,38	3,9	
Finitura interna	Intonaco	0,15	1,2	9,0	243

presente il regime sinusolidale, si è considerata quale temperatura esterna, l'armonica fondamentale della effettiva variazione di temperatura aria - sole ottenuta considerando una giornata serena nel mese di luglio in zona climatica per una facciata esposta a sud e presentante un fattore di assorbimento pari a 0,8.

Per valutare l'effetto della ventilazione sul fattore di riduzione in assenza di impianto climatizzazione e di sorgenti termiche, tutti i calcoli sono stati sviluppati per diversi valori della portata termica E.

Questa grandezza, che rappresenta il flusso termico specifico per variazione unitaria di temperatura sottrato dall'aria che fluisce nell'intercapedine, può essere espressa dalla seguente relazione ricavabile dal bilancio energetico e di massa dell'intercapedine:

$$E=\frac{G_v c'}{S_p}=\bar{w}c'\frac{s}{h}$$

ove c' rappresenta il calore specifico volumetrico dell'aria, $\bar{w}$ la velocità media sulla sezione di ingresso, S_p la superficie esterna ed s/h il rapporto tra lo spessore e l'altezza dell'intercapedine. Ne segue pertanto che il valore di E, a parità di altre condizioni, aumenta con lo spessore e diminuisce con l'altezza dell'intercapedine

La portata termica può essere fortemente limitata diminuendo l'area libera di passaggio in corrispondenza delle sezioni di entrata e di uscita.

Allo scopo di avere un'indicazione circa il campo dei valori di E più facilmente riscontrabili, si è applicata la relazione di bernoulli al sistema in esame, supponendo lo schermo esterno sottoposto ad un flusso termico raggiante stazionario.

Per un'intercapedine ventilata dello spessore di 0,1 m e di altezza pari a 3 m, si sono ottenuti i valori della portata termica di 4,5 e 9 W/m^2°c per valori dell' irraggiamento rispettivamente a 60e a 500 W/m^2, nell'ipotesi che la frazione di aria libera in corrispondenza delle sezioni di ingresso e di uscita d'aria sia considerata uguale ad uno.

I risultati suddetti, pur tenendo conto delle semplificazioni introdotte nella schematizzazione analitica e limitatamente al caso in esame, mettendo in evidenza che sono sufficienti piccoli valori di irraggiamento solare per ottenere valori apprezzabili di E.

La ventilazione nell'intercapedine migliora le caratteristiche di inerzia termica dellle pareti perimetrali poichè attenua le escursioni termiche nell'ambiente interno e ciò in misura tanto maggiore quanto minore è la capacità termica della parete stessa. In particolare tale effetto è di notevole rilevanza per le pareti 2 e 4, che presentano elevate caratteristiche di accumulo termico, il suddetto effetto risulta di minore entità.

Se la capacità termica è alta, la variazione di f_e non varia e, cioè non si ha influenza(vedi 1 e 2 che sono due rette piane)

Se la capacità termica è bassa la variazione di E si ha variazioni di e cioè si ha influenza del parametro E sull'inerzia del sistema (infatti vedi1 all'aumentare di E diminuisce

$$\rho = \frac{\theta_i}{\theta_a}$$

Infine per le pareti che presentano piccola capacità termica, quale ad esempio la parete 1, la suddetta ventilazione, pur esercitando una marcata influenza sul fattore di riduzione, non consente di raggiungere valori di x sufficientemente piccoli nelle condizioni qui considerate.

Lo sfasamento tra le onde di temperatura è scarsamente influenzato dalla portata termica E mentre risulta fortemente dipendente dalla capacità termica E, mentre risulta fortemente dipendente dalla capacità termica della struttura, con valori massimi ottenuti in corrispondenza della parete ad isolamento distribuito (parete 4).

L'influenza della ventilazione dell'intercapedine sull'ampiezza di oscillazione di temperatura dell'interno, nel caso delle pareti perimetrali già considerate ed accoppiate a strutture interne, è stata esaminata sempre nell'ipotesi di assenza di sorgenti termiche interne.

I risultati dei calcoli effettuati e rappresentati in figura 4, sono stati ottenuti ponendo il rapporto S_t/S_p, tra l'area della superficie della struttura interna e quella della parete perimetrale, pari a 2.

Si osserva ancora una sensibile dipendenza del fattore di riduzione x dalla portata termica E, che opera cioè un miglioramento delle caratteristiche di inerzia termica del sistema parete perimetrale - strutture interne.

In questa condizione, all'effetto di termoregolazione passiva operato dalle strutture interne, si viene ad aggiungere l'influenza della ventilazione dell'intercapedine che, come già osservato, opera un'ulteriore diminuzione del fattore di riduzione x. Si osserva a tale riguardo che l'effetto in questione riveste un'importanza minore nel caso in cui il valore di x sia già sufficientemente ridotto dal sistema parete perimetrale - struttura interna.

Per quanto riguarda i valori dello sfasamento γ, si fa presente che essi sono poco influenzati dalla portata termica E e dalle strutture interne, mentre risultano dipendere principalmente dalle caratteristiche fisiche della parete perimetrale.

I risultati dell'analisi svolta in particolari condizioni di riferimento hanno messo in evidenza come

l'influenza dell'intercapedine ventilata sia quella di migliorare, in tutte le condizioni esaminate, gli effetti di inerzia termica delle strutture periferiche ed interne. Tali effetti risultano inoltre di particolare rilevanza per le pareti perimetrali che presentano piccola capacità termica di accumulo.

I valori dello sfasamento risultano influenzati principalmente dalle caratteristiche idrofisiche delle pareti perimetrali e solo in piccola misura dalla portata termica E.

PROVE SPERIMENTALI

5 capitolo

La ricerca è stata suddivisa in due azioni:

1. Verifica delle prestazioni funzionali
2. Verifica delle prestazioni termoclimatiche

Prestazioni funzionali

Per ciò che attiene alle prestazioni funzionali sono state programmate prove specifiche sia per quanto riguarda gli elementi singoli (rivestimento, isolamento, fissaggio) che per l'intero sistema.

È stata ad esempio prevista una prova di reazione al fuoco per ogni materiale singolo presente ed è in progetto una procedura di prova studiata appositamente per verificare il comportamento dell'insieme rivestimento-isolante.

Un importante settore della sperimentazione ha riguardato prestazioni meccaniche del sistema.

Le prove sono state eseguite registrando le deformazioni che subisce di volta in volta il rivestimento ed in funzione della deformazione si determinano i carichi di sollecitazione massimi sopportabili dal sistema.

Tutte le prove meccaniche sono eseguite utilizzando una camera studiata per la resistenza al vento dei materiali da costruzione, nelle quali si riescono a raggiungere pressioni e depressioni di circa 5000 Pa.

La cella ha un lato libero a cui viene affacciata la parete in prova.

Tutti i sistemi sperimentati sono stati montati su un supporto di muratura (mattori forati UNI) racchiuso in un telaio metallico di dimensioni 3x4 e posti di volta in volta di fronte alla cella.

Si riporta qui di seguito l'elenco delle prove eseguite per il rivestimento esterno:

a) ricerca del minor carico (in pressione o in depressione) provocante una faccia di 1/200 della luce (luce: distanza massima fra due punti di ancoraggio)
b) carico di sicurezza: il valore riscontrato nel punto a) deve essere moltiplicato per 1,75
c) carico a rottura (quando possibile), carico esercitato con incrementi di 200 Pa fino a rottura di una parte del sistema
d) azione della temperatura, prova di schok termico; la superficie esterna del rivestimento viene portata a 60°C per 8 ore e raffreddata con acqua per 8 ore, in seguito il rivestimento è sottoposto a cinque cicli di 15 minuti a 60°C e 5 minuti in acqua
e) resistenza agli urti: viene controllata mediante urti di corpi a caduta pendolare
   - corpo duro: energia di impatto 1 kg.m
   - corpo molle: energia di impatto 6 kg.m
   - urto accidentale: energia di impatto 75 kg.m

- urto di sicurezza: energia di impatto 100 kg.m

f) carico locale orizzontale
Prova simulante l'appoggio di una scala sul rivestimento: viene eseguita utilizzando martinetti pneumatici che agiscono su un manufatto in legno riproducente l'impronta della scala su una superficie verticale

g) comfort acustico:
- la prova ha solamente un carattere qualitativo
- l'introduzione della stessa è stata necessaria data la presenza di materiali che in presenza di pioggia o grandine possano provocare rumori indesiderati. Inoltre è stata proposta una prova di isolamento acustico secondo normativa ISO in quanto prove casuali condotte in opera hanno sottolineato che un rivestimento apporta un rilevante miglioramento del comportamento acustico della facciata.

In merito alla resistenza al vento e tenuta all'acqua, i riferimenti seguiti sono stati le direttive per i serramenti esterni che prevedono la classificazione dei manufatti esaminati a seconda del loro comportamento specifico.

La prova di resistenza al vento è da effettuarsi in pressione ed in depressione in funzione del risultato del punto a.

I giunti presenti nel rivestimento esterno sono stati sigillati ed inoltre durante le prove si è rilevato l'andamento della deformazione dello stesso rivestimento in punti di particolare interesse.

In funzione della resistenza presentata alla sollecitazione in pressione il sistema è catalogato mediante la seguente suddivisione:

Prova	Prove di deformazioni	Prove ripetute (50 cicli)	Prove di sicurezza
1	500 Pa	300	1000 Pa
2	1000 Pa	750	2000 Pa
3	1750 Pa	1250	3000 Pa

Inoltre la parte è stata caratterizzata anche a 1000 Pa e 2000 Pa in depressione se l'intera sperimentazione è avvenuta in pressione e viceversa avviene l'opposto. Le prove di azione del vento si sono effettuate fino alla pressione di 3000 Pa che equivale ad una velocità del vento di circa 250 Km/h.

Le prove di tenuta all'acqua hanno previsto il ricoprimento della parete sottoposta a sperimentazione con un film continuo d'acqua sulla superficie rivolta verso l'interno della cella di prova entro la quale si creano diverse condizioni di pressione.

In funzione della tenuta d'acqua il sistema viene valutato con la seguente suddivisione.

Prova	Pressione (Pa)
1	50÷150
2	150÷300
3	300÷500
4	500

La tenuta all'acqua viene verificata mediante un sistema che pone in evidenza la possibile bagnatura del muro retrostante il rivestimento e quindi anche l'isolante.

Questa particolare prova assume un notevole importanza qualora si procedesse a caratterizzazione di tenuta all'acqua con carattere ciclico.

Prestazioni termocinetiche

Le prove del tipo termocinetico

si sono svolte con l'ausilio di due celle termostatate, contrapposte, e divise da una parete in cemento armato.

Il programma di prova ha previsto due differenti condizioni di lavoro: una invernale e all'altra estiva.

Le due celle, separate dalla parete in cemento armato, sono dotate di sistema di termostazione tale da creare variazioni di temperatura di ± 0,5°C. Una sola delle due celle è dotata di una serie di piccoli ventilatori a velocità variabile in modo da creare un flusso d'aria costante nell'intercapedine.

Nella stessa cella è stato inoltre messo a punto un sistema di regolazione dell'irraggiamento solare incidente sul rivestimento, simulato da resistenze a film applicate in superficie dello stesso.

Con tali accorgimenti è possibile simulare sia la temperatura dell'aria esterna che l'irraggiamento solare incidente con regolazione oraria dei parametri, effettuata mediante l'uso di un piccolo elaboratore elettronico che ne controlla gli andamenti.

Le prove termocinetiche sono indirizzate allo studio teorico dei parametri principali caratterizzanti il funzionamento della parete ventilata e della loro ottimizzazione.

I parametri indagati sono: larghezza dell'intercapedine d'aria, velocità dell'aria, materiale isolante utilizzato, emissività dell'intercapedine d'aria, temperatura superficiale degli strati di materiale costituente il sistema.

Fondamenti teorici

Le basi teoriche di partenza dello studio si fondano sia su conoscenza di provenienza nazionale che estere.

A) Prestazioni funzionali

Questa prima fase è rivolta essenzialmente al comportamento meccanico dei componenti del rivestimento esterno della facciata ventilata. A tale scopo le prove sono state scelte in modo da simulare il più realmente possibile, il funzionamento di questi componenti in opera. Le fonti utilizzate sono le norme UNI sulle ipotesi di carico delle strutture e le rispettive direttive utilizzate in paesi quali Germania e Francia. Le deformazioni dei rivestimenti sono state misurate mediante due comparatori centesimali ad asta (denominati C_A e C_B).

I valori riportati nelle schede sono sempre le medie dei valori letti su C_A e C_B; si intendono per deformazioni del rivestimento gli spostamenti rispetto al piano verticale misurati a metà della distanza masima (luce) tra 2 punti di fissaggio adiacenti.

I cicli igrotermici sono stati eseguiti riscaldando il rivestimento con un pannello radiante e simulando l'effetto della pioggia mediante un opportuno dispositivo, utilizzato anche per le prove di tenuta all'acqua.

Le temperature sono state rilevate mediante termocopie.

Nelle prove a carico locale orrizzontale, per simulare l'appoggio di una scala contro il rivestimento, si è utilizzato un manufatto in legno munito di 2 punte triangolari, collegato ad un pistone pneumatico.

B) Prestazioni termocinetiche

Le esperienze effettuate in diversi laboratori sembrano concordare sul giudizio positivo affidato ai rivestimenti ventilati esterni.

La parete ventilata crea al perimetro dell'edificio un isolamento

ben differente da quello apportato da un tradizionale tamponamento.

La notevole differenza risiede proprio nelle caratteristiche di funzionamento termodinamico dei due sistemi: il primo pur essendo di massa inferiore al secondo dimostra un comportamento analogo in quanto l'intercapedine ventiltata supplisce a tale differenza.

La simulazione matematica del funzionamento della parete ventilata può essere eseguita con il metodo delle differenze finite.

Naturalmente non è qui il luogo opportuno per ampliare una trattazione simile e quindi si propone, solo sinteticamente, un procedimento semplificato che utilizza il parametro T_v (temperatura dell'aria nella intercapedine ventilata).

Per esprimere al meglio le caratteristiche della facciata ventilata vengono proposti due parametri che saranno definiti come "trasmittanza termica totale" (U_T) e "trasmittanza termica equivalente" (U_E). Questa distinzione è neccessaria per differenziarne il comportamento.

La U_T considera la facciata ventilata come un sistema costituito da muro di sostegno, isolante termico, intercapedine ventilata e rivestimento esterno, mentre la U_E viene calcolata come se la parete fosse composta da muro e isolante.

In altri termini viene utilizzato per il calcolo di U_T e di U_E una differenza di temperatura data da:

$(t_i - t_e)$ per U_T
$(t_i - t_v)$ per U_E

dove:
t_i = temperatura ambiente interno
t_e = temperatura ambiente esterno
t_v = temperatura intercapedine
Questa distinzione impone che nel primo caso il valore di trasmittanza termica dipenda dalla temperatura esterna mentre nel secondo dalla temperatura dell'aria in intercapedine.

La facciata ventilata, non essendo un sistema attivo, svolge la propria funzione sfruttando le radiazioni solari, il grado di emissività dei materiali utilizzati ed il relativo spessore, il tipo di isolante e la velocità dell'aria in intercapedine.

Tutti questi parametri influiscono sul funzionamento del sistema ed il termine che meglio li rappresenta e li sintetizza è la temperatura dell'aria in intercapedine.

Le celle condizionata e di condizionamento sono state suddivise da un setto realizzato con un materiale molto conducente il calore (quale l'alluminio) per impedire una eccessiva turbolenza dell'aria nella zona di misura e nello stesso tempo per strasferire nel tempo più breve le variazioni di temperatura. Il sistema in prova divide l'ambiente interno dall'ambiente esterno.

Si sono naturalmente ripristinati i coefficienti liminari esterni ed interni introducendo anche un sistema meccanico per la ventilazione dell'aria nell'intercapedine.

Le prove per la condizione invernale ed estiva sono state svolte nell'apparecchiatura descritta precedentemente; l'unica differenza riguardante la seconda situazione è rappresentata da resistenza a film, simulanti l'irraggiamento solare, posizionate sulla superficie esterna del rivestimento.

Mentre per la condizione invernale la cella da misura garantisce una valutazione esatta della quantità di calore che viene riprodotta, in codizione estiva, invece, questa non assolve più la stessa funzione

in quanto il flusso di calore risulta essere di senso opposto alla precedente situazione.

Questi fatti implicano che per la prova in condizione invernale si ottengono dei risultati a norma e, a tutti gli effetti, a proprie e vere trasmittanze termiche, mentre per le prove in situazione estiva i risultati sono delle resistenze termiche che corredate da opportuni coefficienti liminari vengono trasformate anch'esse in trasmittanze termiche.

Per le prove in condizione invernale ed estiva, è stato utilizzato il campione avente la seguente composizione: isolante, rivestimento (lastre a base cemento fibrato), listellatura in legno a spessori variabili.

Per la caratterizzazione termica degli isolanti, questi sono stati installati mantenendo un unico rivestimento esterno, mentre per i rivestimenti è stato mantenuto un unico isolante e sono stati variati i differenti rivestimenti.

La parete di ancoraggio è stata realizzata con calcestruzzo armato avente le seguenti caratteristiche:

- spessore: 10 cm
- dimensione: 264,0 x 352,0 cm
- armatura: rete elettrosaldata ∅ 0,4 passo 15 cm

La prova di trasmittanza termica della sola parete ha fornito un valore di:

$U = 4{,}5 W/m^2\ °C$

6. Risultati sperimentali

6.1 Prestazioni funzionali

1) Descrizione del sistema

- Rivestimento in doghe di PVC doppia parete spessore 23 mm
- Orditura a traversine orizzontali in legno con interasse 900 mm

2) Sistema di fissaggio

- Tassello in nylon con barre filettate M6 x 165 in acciaio INOX

3) Carico di sicurezza

- Pressione 1100 Pa
- Deformazione rivestimento: 4,50 mm

4) Resistenza al vento

- Superata prova 3.

5) Resistenza agli urti

- Corpo duro (1 Kgm): nessun effetto
- Corpo molle (6 Kgm): nessun effetto
- Urto accidentale (75 Kgm): nessun effetto

6) Carico locale orrizzontale

- Carico a 140 Kg: deformazione puntuale al carico

7) Tenuta all'acqua

- Superata prova 4.

8) Isolamento acustico

- Parete (172 Kg/mq) + isolamento + rivestimento
- Indice ISO: 51,5 dB

6.2 Prestazioni termocinetiche

I risultati ottenuti da questa seconda parte di sperimentazione sono stati suddivisi in uno studio del funzionamento della ventilazione in intercapedini ed in una caratterizzazione del sistema costruttivo.

Per la sperimentazione il parametro qualificante è rappresentato dalla quantità di calore che attraversa il sistema.

Le differenze di temperature fra ambiente interno ed ambiente esterno (ΔT_T) e fra intercapedine ed ambiente interno (ΔT_E) permettono di ricavare il parametro seguente:

$q/A = U - \Delta T$ (W/m²)

dove:
q = quantità di calore
A = superficie
U = trasmittanza termica
ΔT = differenza di temperatura
che calcolato per ogni situazione prevista, ne risulta:

- spessore isolante: 5 cm
- spessore intercapedine: 4 cm
- velocità aria 0,5 m/s
- T aria interna 20°C
- T aria esterna 0°C

Le verifiche strumentali sono state condotte in condizioni invernali per evidenziarne l'effetto del cosiddetto "rilevamento tecnico".

Spessore intercapedine (cm)	Ventilazione	U_T (W/m²K)	U_E (W/m²K)	q/A_T (W/m²)	q/A_E (W/m²)
2	no	0,559	0,586	5,03	12,31
4	no	0,559	0,586	5,59	9,43
6	no	0,559	0,586	6,70	10,66
2	si	0,613	0,613	6,31	7,48
4	si	0,613	0,613	7,23	8,39
6	si	0,613	0,613	7,97	9,01
Velocità dell'aria in intercapedine di V= 0.5 m/s					

Isolanti termici

Sono stati confrontati materiali isolanti fibrosi ed espansi.

La natura del materiale è stata scelta in modo da verificare le prestazioni in condizioni estive ed invernali in modo da evidenziarne il relativo comportamento.

È stato verificato che la ventilazione dell'intercapedine modifica i parametri tecnici del materiale isolante in funzione della propria natura. Alcuni esempi sono risultati significativi:

I dati riportati sono solo una parziale sintesi di tutta la sperimentazione realizzata.

La relazione completa non è divulgata in quanto riporta valori riferiti a componenti con marchi commerciali riscontrabili nel mercato nazionale.

Rivestimenti esterni e materiali isolanti sono stati sottoposti a verifica sperimentale secondo le procedure precedentemente descritte e risultano di competenza diretta dalle aziende produttrici.

	Intercapedine non ventilata		Intercapedine ventilata	
	UT	UE	UT	UE
Fibroso rivestito	0,59	0,65	0,59	0,60
Espanso	0,52	0,55	0,52	0,54

PATOLOGIE, ERRORI MANUTENZIONE

capitolo 6

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, fessurazioni, 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

■ **ERRORI**
Progettazione:
- mancata prescrizione di trattamenti idrorepellenti o di accessori di tenuta

Esecuzione:
- errati trattamenti protettivi

■ **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

■ **ERRORI**
Progettazione:
- errato controllo dei giunti di accoppiamento

Esecuzione:
- errata realizzazione dei giunti di accoppiamento

■ **EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI**
- imbibizione dello strato isolante e perdita delle caratteristiche (non è il caso dell'EPS, isolante non idrofilo)
- infiltrazioni idriche attraverso il supporto

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 (dilatazione termica, ecc.) o permanenti (dilatazione per imbizione, ritiri, ecc.) 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

■ **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

REQUISITO DISATTIVATO
Isolamento termico

■ **REQUISITO DISATTIVATO IN CONSEGUENZA**
- controllo della condensazione

■ **CAUSE**
- mobilità dello strato isolante

■ **EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI**
- distacco dell'isolamento
- possibile disattivazione dello strato di ventilazione
- discontinuità dello strato isolante

■ **ERRORI**

Progettazione:
- errata prescrizione del sistema di ancoraggio: collante non chimicamente compatibile, tasselli non idonei e 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

AGENTE: 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
- termo-ossidazione degli elementi di rivestimento in materiali plastici
- degrado degli elementi in cemento-armato

■ **EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI**
- colature di ruggine e/o macchiature a danno del rivestimento
- corrosione degli elementi di rivestimento in metallo

■ **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

AGENTE: BIOLOGICI

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

■ **CAUSE**
- attacco di microorganismi allo strato di rivestimento

■ **EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI**
- degrado superficiale con alterazioni di aspetto a colore

■ **ERRORI**

Progettazione:
- mancata prescrizione di trattamenti anticrittogamici degli elementi di rivestimento in legno
- trattamenti inadeguati degli elementi di rivestimento in legno

Esecuzione:
- trattamenti inadeguati degli elementi di rivestimento

AGENTE: RADIAZIONE SOLARE

REQUISITO DISATTIVATO
Aspetto

■ **CAUSE**
- meccanismo fotochimico di degrado degli elementi di rivestimento in materiali plastici
- essicazione degli elementi di rivestimento in legno
- degrado della pigmentazione di finitura in presenza di rivestimento continuo in intonaco

■ **EFFETTI E DEGRADI FUNZIONALI**
- macchiatura
- screpolatura
- alterazioni del colore

■ **ERRORI**

Progettazione:
- scelta di colori scuri su un rivestimento in intonaco con esposizione diretta sud e ovest
- scelta diretta di materiali plastici non stabili

Esecuzione:
- mancato trattamento degli elementi in legno dello strato di rivestimento

AGENTE: TEMPERATURA

REQUISITO DISATTIVATO
Isolamento termico

■ **CAUSE**
- degrado della proprietà isolanti dei panelli
- 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 i idrofilo (non è il caso dell'EPS)

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
- ordinatura verticale dello strato di collegamento di spessore inferiore a quello dell'isolamento
- mancato trattamento degli elementi in legno dello strato di rivestimento

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 condizione 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 addittivata 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.

È comunque opportuno effettuare detti interventi con tempestività non appena individuatane 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 manu-

tenzione alla pulitura superficiale in rapporto al grado di inquinamento presente nell'aria.

3. *Rivestimento continuo in intonaco*
   Le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria sono del tutto analoghe a quelle previste per i rivestimenti in intonaco tradizionale.

CONSIDERAZIONI TECNICHE CONCLUSIVE PER PARETI VENTILATE

capitolo 7

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 disperdimenti 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;
2. limitando l'immissione di energia radiativa dovuta all'irraggiamento solare, grazie all'effetto ventilazione che si realizza con la lama d'aria.

Comportamento 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:

1. ventilazione nulla (intercapedine chiusa: rapporto fra sezione delle aperture di ventilazione e larghezza di facciata, in cm²/m $\sigma = 0$): la trasmittanza U_o della parete vale:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_v + R_e + \frac{1}{h_e} = R_i + R_e + 0{,}33 \left(\frac{m^2\,°C}{W}\right) \quad (1)$$

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 considerate gli strati di ventilazione e di rivestimento e $\frac{1}{h_i}$, $\frac{1}{h_e}$ sono i coefficienti liminari interno ed esterno;

2. 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 U_1 della parete vale:

$$\frac{1}{U_1} = \frac{1}{h_e} + R_i + \frac{1}{h_i} = R_i + 0{,}17 \left(\frac{m^2\ °C}{W} \right) \qquad (2)$$

ove i simboli hanno il significato sopradetto.

3. Nelle situazioni intermedie (intercapedine debolmente ventilata) il valore della trasmittanza μ è fornito dalla relazione:

$$U = U_o + \alpha(U_1 - U_o)\ (W/m^2\ °C) \quad (3)$$

Il coefficiente α è funzione di σ e del rapporto R_e/R_i, come risulta dalla tabella seguente.

σ (cm²/m) R_e/R_i	0÷10	10÷100	100÷200	200÷400
<0,050	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 box di approfondimento è riportato un esempio di calcolo della trasmittanza di parete ventilata.

Comportamento 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 radiativa suddetta, creando condizioni di comfort ambientale maggiori rispetto a quelle determinate da una differente disposizione della stratificazione funzionale.

Ciò è dovuto esenzialmente al concorso dei seguenti fattori:

a) maggiore smorzamento dell'onda termica, dovuto alla posizione esterna dello strato isolante;
b) possibile attenuazione del coefficiente di assorbimento, 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 funzionameto 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. 9), con isolamento interno con barriera al vapore (fig. 10) e con isolamento esterno e ventilazione (facciata ventilata) (fig. 11) 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.

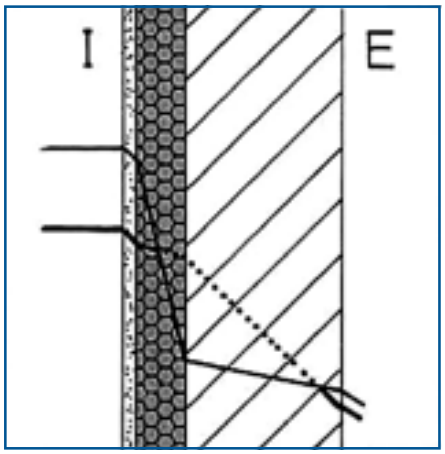


Fig. 9

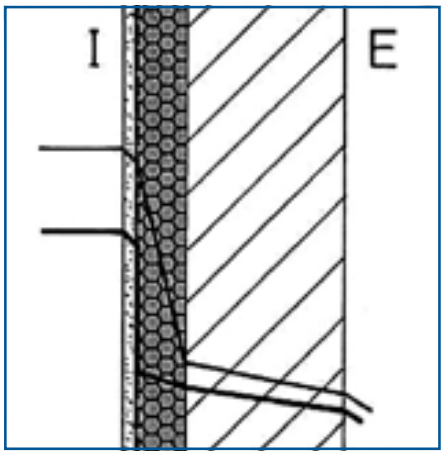


Fig. 10

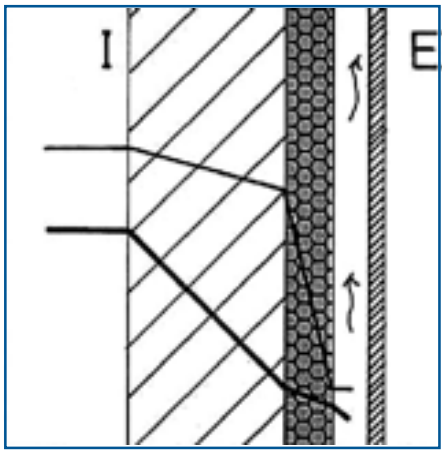


Fig. 11

La presenza della ventilazione inoltre accelera l'asportazione del vapore proveniente dallo strato isolante.

I valori minimi consigliati della superficie σ degli orifizi tali da assicurare una ventilazione sufficiente all'asportazione dell'umidità sono:

- per altezze H di parete fino a 3 m
  $\sigma = 50\ cm^2/m$
- per altezze H di parete superiori a 3m
  $\sigma = (H/3)^{0,4}.50 = 32.H^{0,4}$

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 sovrapressione 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.

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 metallicci 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).

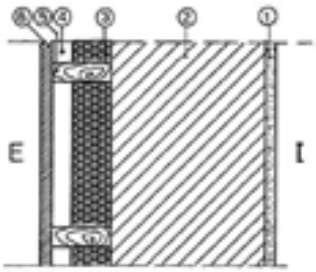
Al fine di permettere le mobilità inerenti, i meccanismi di ancoraggio degli elementi di rivestimento allo strato di collegamento devono prevedere fori asolati o applicazioni a scatto; le doghe, inoltre, devono avere lunghezza non superiore a 3 m, mentre i pannelli è bene abbiano superficie non piana, 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.

Esempio di calcolo della trasmittanza



1. Intonaco interno	s_1= 0,02 m	λ_1 = 0,87 W/mK	R_1= 0,023 m² K/W
2. Supporto in calcestruzzo	s_2= 0,20 m	λ_2 = 2,10 W/mK	R_2= 0,095 m² K/W
3. Strato isolante EPS 100	s_3= 0,04 m	λ_3 = 0,041 W/mK	R_3= 0,076 m² K/W
4. Strato di ventilazione	s_4= 0,02 m		Rv= 0,16 m² K/W
5. Strato di collegamento l arghezza = 0,04 passo i = 0,50 m	s_5= 0,06 m	λ_5= 0,15 W/mK	R_5= 0,4 m² K/W
6. Strato di rivestimento	s_6= 0,015 m	λ_6= 0, 58 W/mK	R_6= 0,026 m² K/W

Per effetto del ponte termico dovuto alla discontinuità dello strato isolante, la resistenza termica di detto strato vale:

$$\bar{R}_3 = \frac{1}{K_3} = \frac{1}{\dfrac{\left(\dfrac{1}{R_5} \times 0{,}04\right) + \left(\dfrac{1}{R_3} \times 0{,}46\right)}{i}} = \frac{1}{\dfrac{\dfrac{0{,}04}{0{,}4} + \dfrac{0{,}46}{0{,}976}}{0{,}50}} = 0{,}875 \frac{m^2\,K}{W}$$

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

$$R_i = \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \bar{R}_3 = \frac{0{,}02}{0{,}87} + \frac{0{,}20}{2{,}10} + 0{,}875 = 0{,}99 \frac{m^2\,K}{W}$$

Si ottiene:

$$\frac{1}{U_o} = 0{,}33 + 0{,}026 + 0{,}99 = 1{,}35 \text{ m}^2\text{ K/W}$$

e quindi

U_o = 0,741 W/m² K

segue

continua

- *Ventilazione abbondante* (intercapedine in condizioni d'ambiente esterno) - Formula (2)

$$\frac{1}{U_1} = 0{,}17 + 0{,}99 = 1{,}16 \frac{m^2\,K}{W}$$

e quindi

$$U_1 = 0{,}862\ W/m^2\,K$$

- *Ventilazione debole* - Formula (3)
Nell'ipotesi progettuale di realizzare aperture di ventilazione con superficie pari a 100 cm^2 per ogni m di rivestimento, si ha per α il valore di 0,25. Pertanto la trasmittanza vale

$$U = 0{,}741 + 0{,}25\,(0{,}862 - 0{,}741) = 0{,}771\ W/m^2\,K$$

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:

$$\frac{U_1 - U}{U_1} \times 100 = \frac{0{,}862 - 0{,}771}{0{,}862} \times 100 \simeq 10{,}5\%$$

SOLUZIONI DI RIFERIMENTO PER REALIZZAZIONI DI PARETI VENTILATE

capitolo 8

RIVESTIMENTO IN FIBROCEMENTO

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

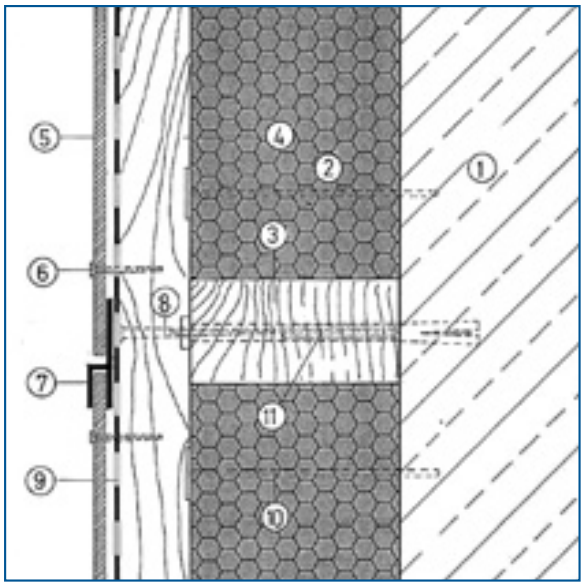


Fig. 13 · *Sez. corrente verticale - giunto orrizzontale*

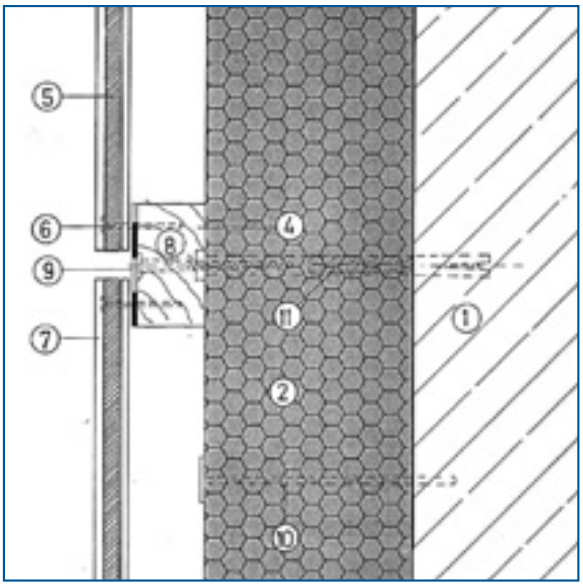


Fig. 14 · *Sez. corrente orrizzontale - giunto verticale*

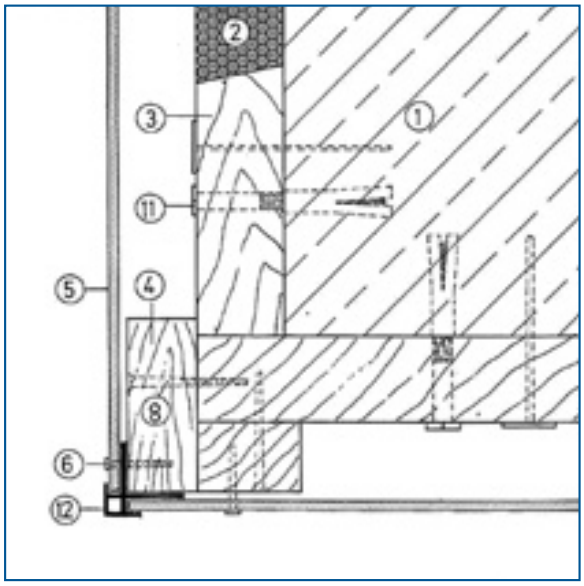


Fig. 15 · *Angolo esterno - sez. orizzontale*

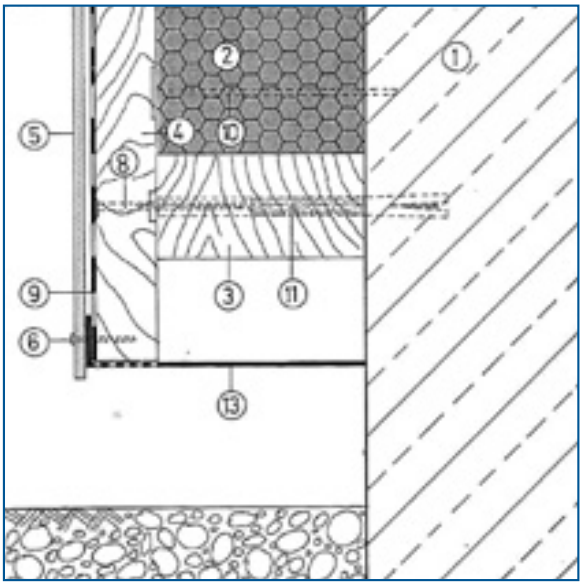


Fig. 16 · *Partenza alla base - sez. verticale*

Strato di collegamento metallico
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** serramento • **10** profilo metallico di chiusura

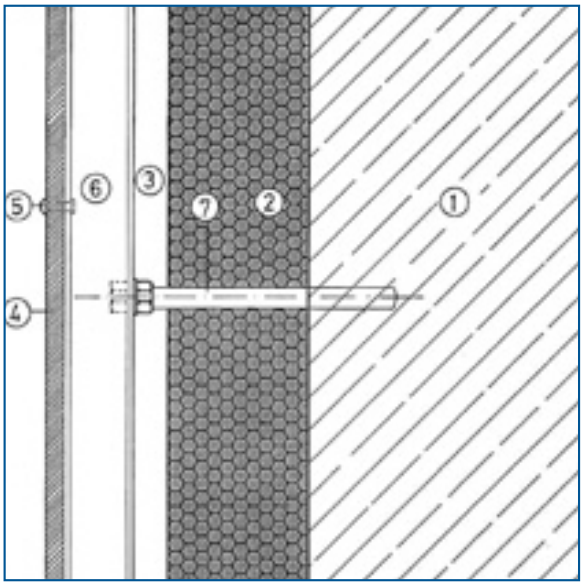


Fig. 17 · *Sez corrente verticale*

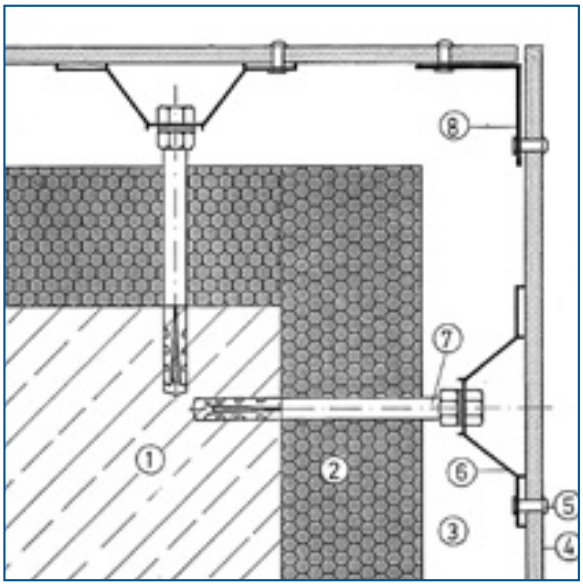


Fig. 18 · *Angolo esterno - sez. orizzontale*

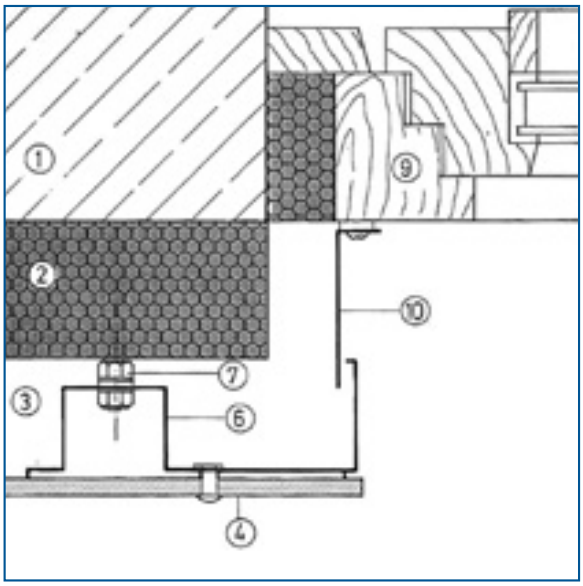


Fig. 19 · *Raccordo con serramento - sez. orizzontale*

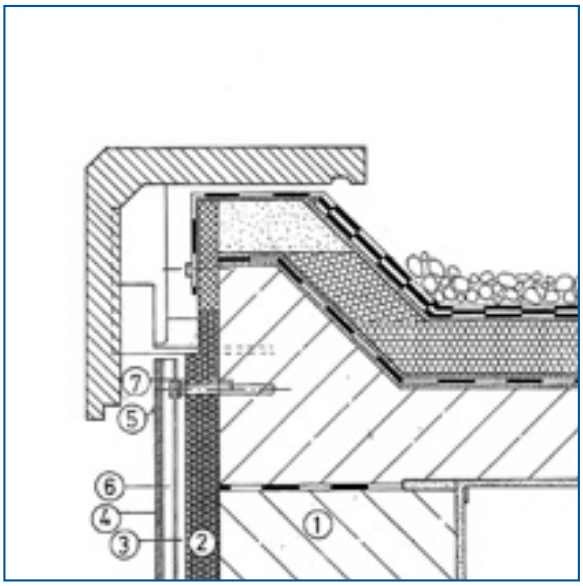


Fig. 20 · *Raccordo con copertura - sez. verticale*

RIVESTIMENTO IN DOGHE DI CALCESTRUZZO

1 Supporto • **2** EPS • **3** profilo metallico continuo • **4** listello di legno orizzontale • **5** vite di ancoraggio • **6** tasello di ancoraggio • **7** doghe di calcestruzzo • **8** davanzale • **9** serramento

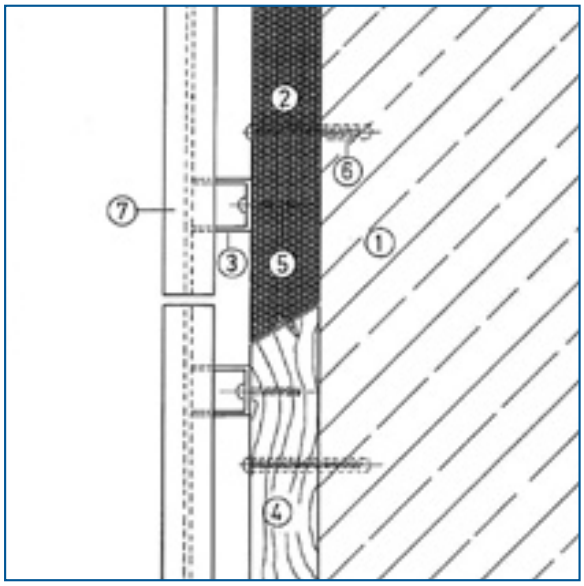


Fig. 21 · *Sez. corrente orizzontale - giunto verticale*

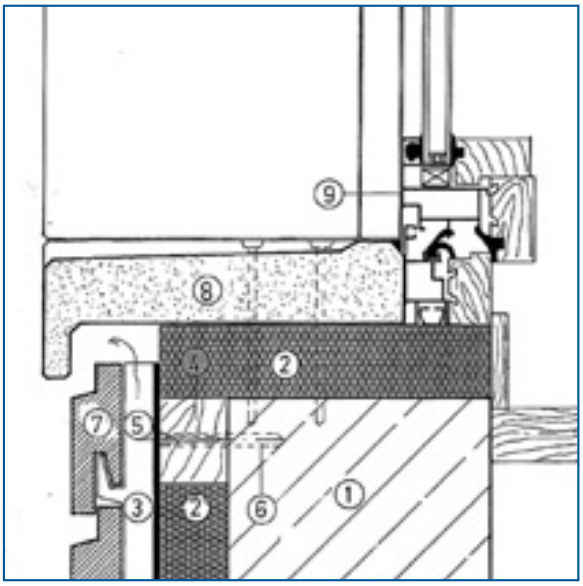


Fig. 22 · *Raccordo con davanzale - sez. verticale*

RIVESTIMENTO IN PIETRA

1 Supporto • **2** EPS • **3** struttura metallica discontinua • **4** bulloni di fissaggio e regolazione • **5** strato di ventilazione • **6** lastra di pietra

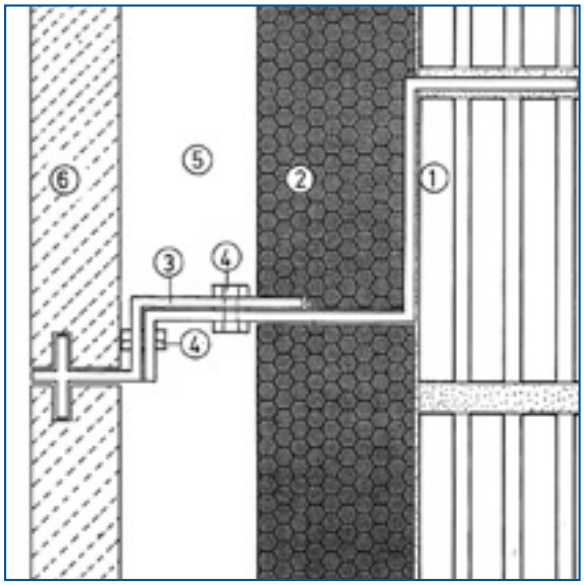


Fig. 23 · *Sez. corrente verticale*

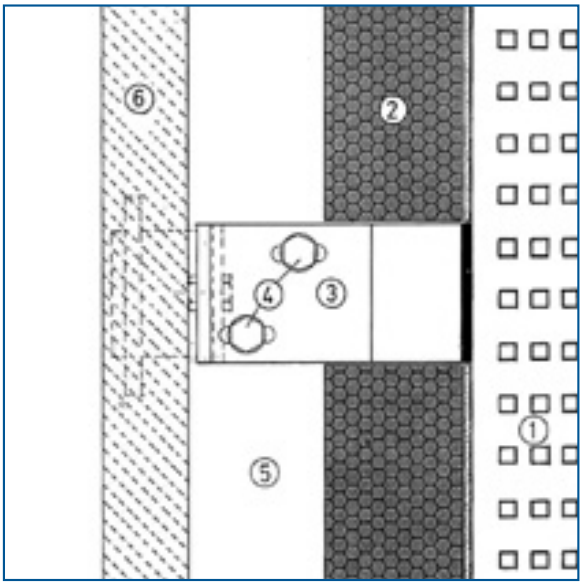


Fig. 24 · *Sez. corrente orizzontale*

RIVESTIMENTO IN ALLUMINIO

1 Supporto • **2** EPS • **3** profilo metallico verticale continuo • **4** elemento metallico discontinuo • **5** strato di ventilazione • **6** panello di 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** coprigiunto in metallo o PVC • **17** distanziatore metallico • **18** guarnizione in neoprene

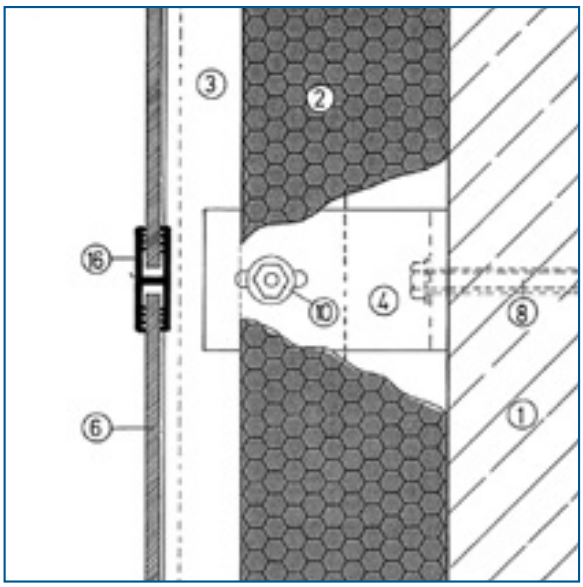


Fig. 25 · *Sez. corrente verticale - giunto orizzontale*

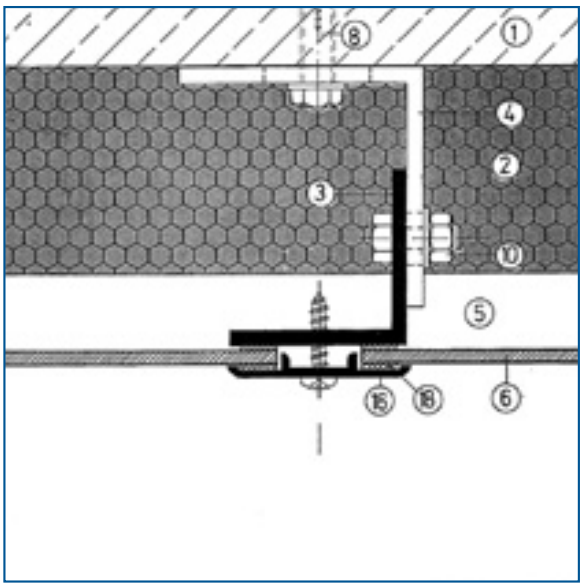


Fig. 26 · *Sez. corrente orizzontale - giunto verticale*

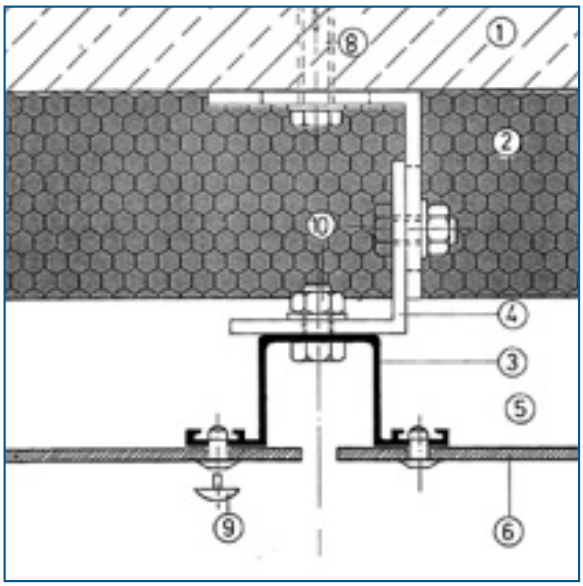


Fig. 27 · *Sez. corrente orizzontale - giunto verticale*

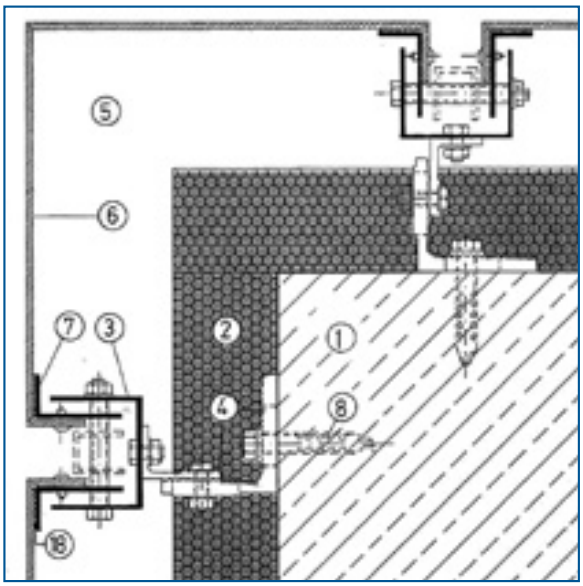


Fig. 28 · *Angolo esterno - sez. orizzontale*

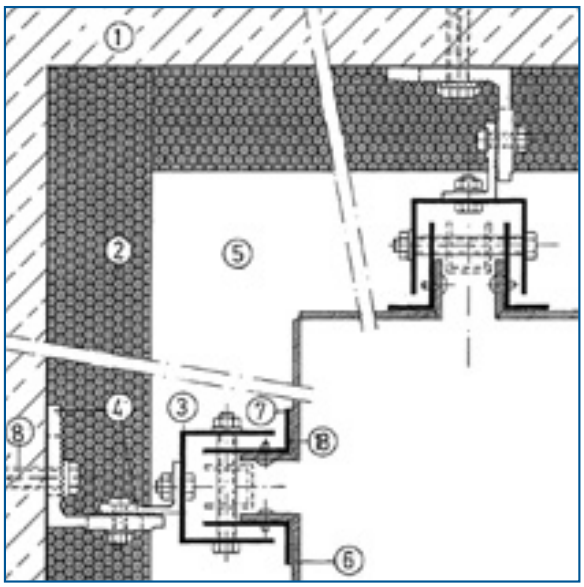


Fig. 29 · *Angolo interno - sez. orizzontale*

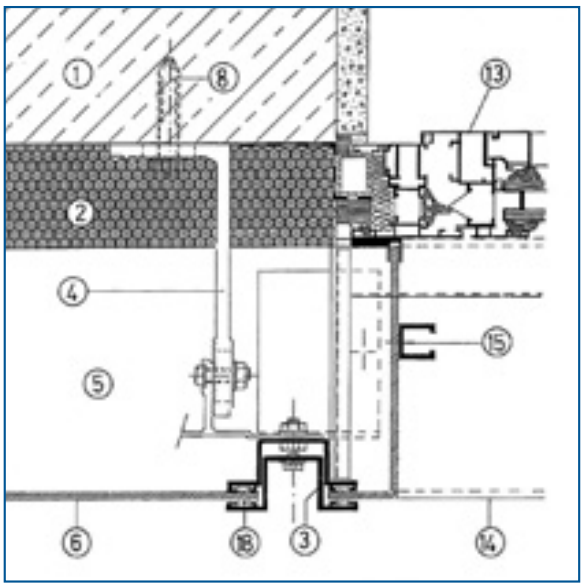


Fig. 30 · *Raccordo con serramento - sez. orizzontale*

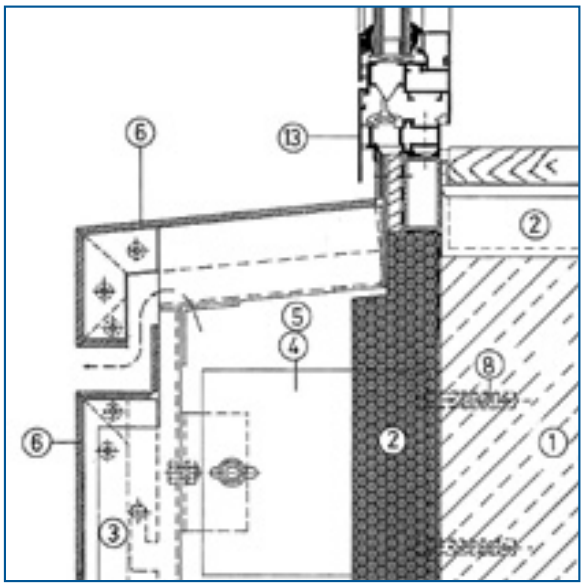


Fig. 31 · *Raccordo con davanzale - sez. verticale*

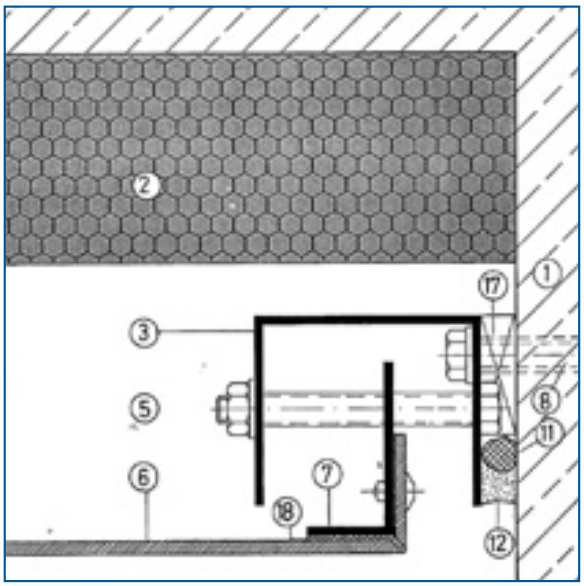


Fig. 32 · *Giunto di dilatazione - sez. orizzontale*

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

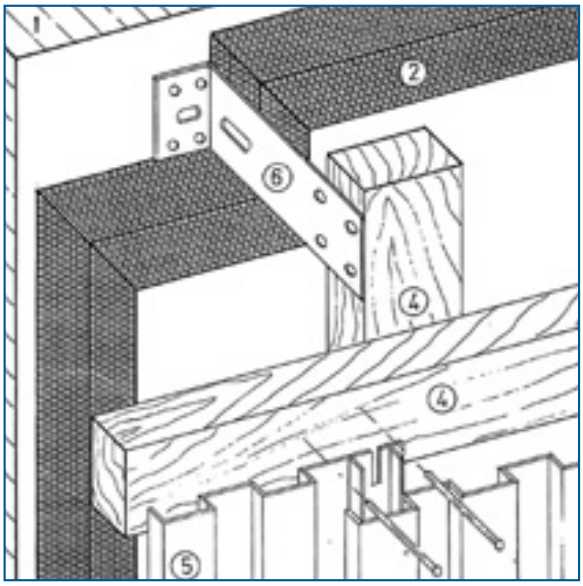


Fig. 33 · *Sez. corrente*

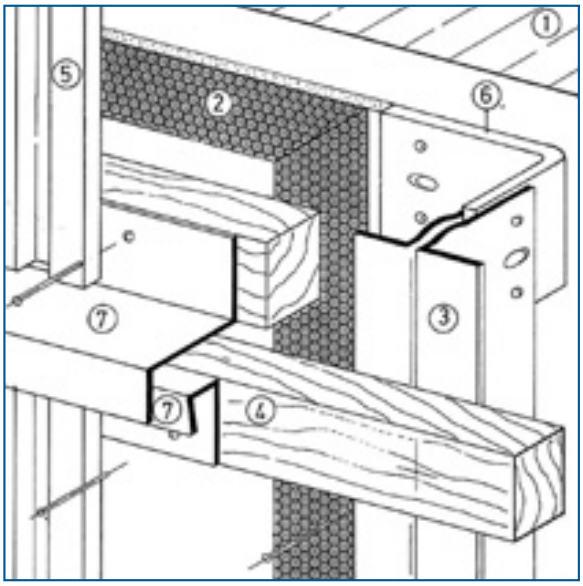


Fig. 34 · *Giunto di dilatazione*

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

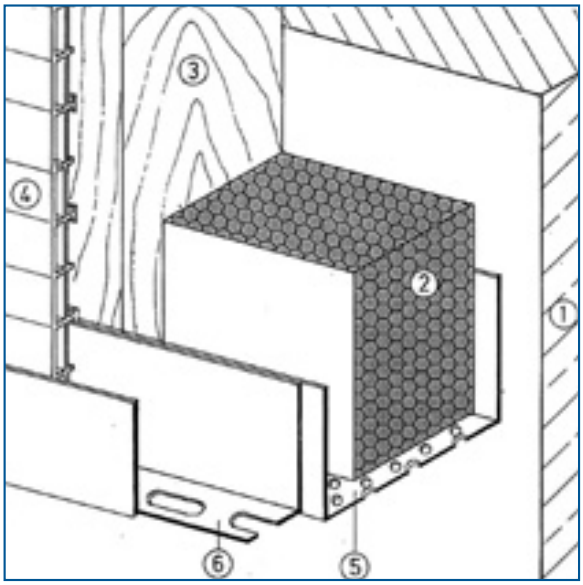


Fig. 35 · *Partenza alla base*

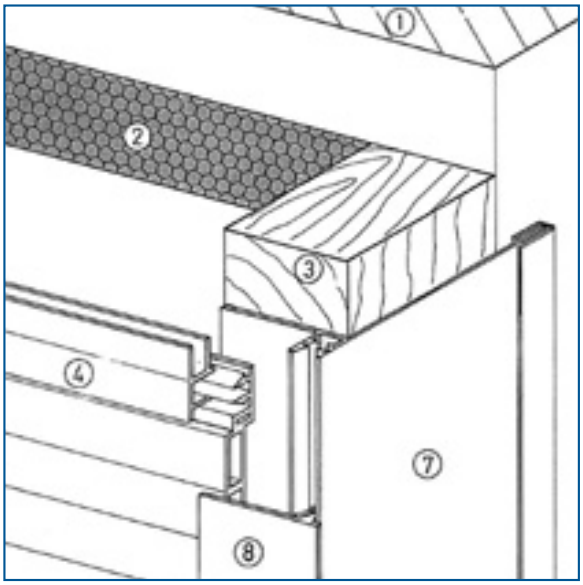


Fig. 36 · *Arresto laterale*