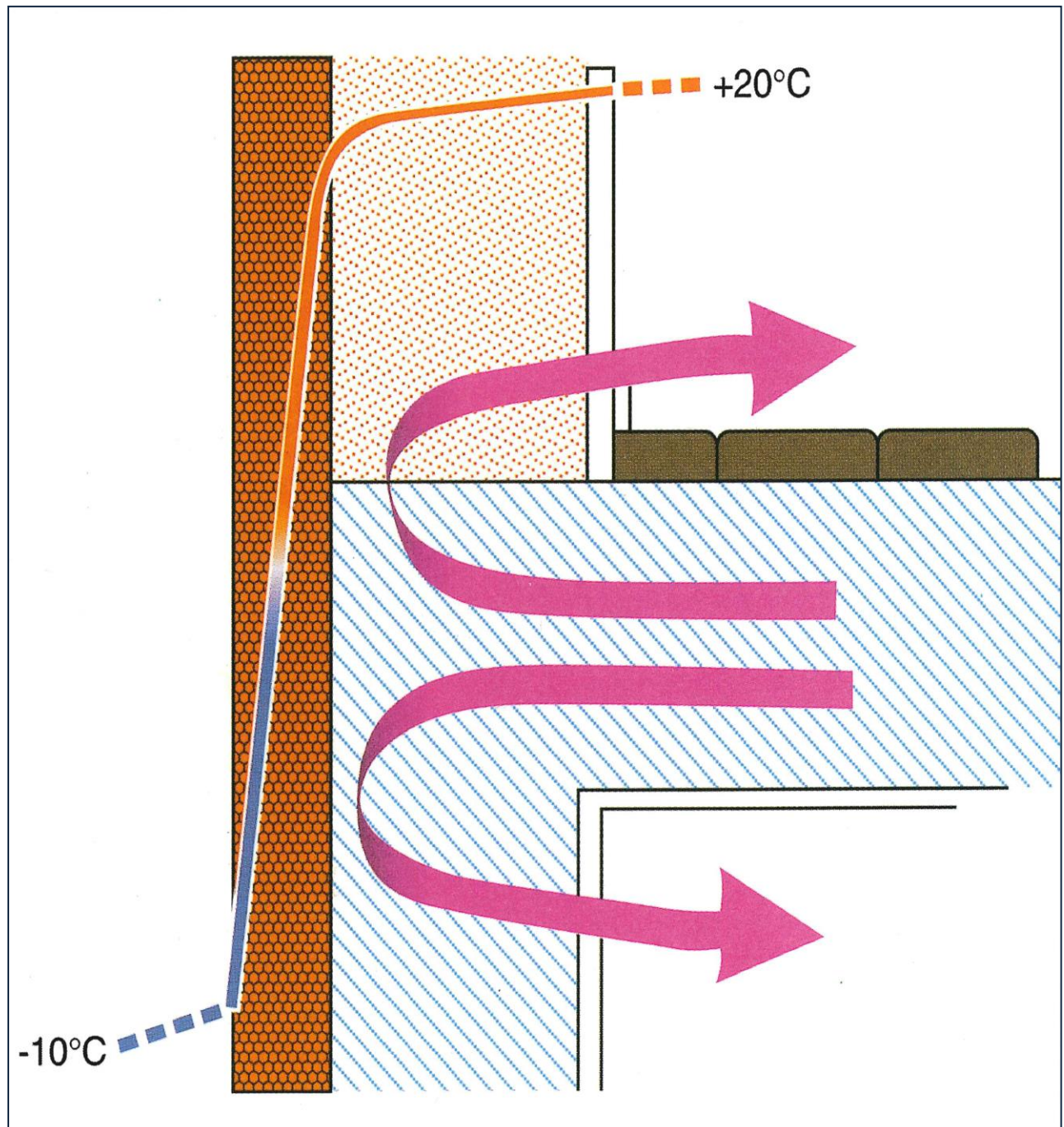


ISOLAMENTO ESTERNO A “CAPPOTTO”

Sistema di rivestimento esterno
con intonaco sottile su isolante



VOLUME 14



Via M. A. Colonna, 46 – 20149 Milano
Tel + 39 02 33 60 65 29 – Fax + 39 02 33 60 66 04

e-mail: aipe@epsass.it – www.aipe.biz

ISOLAMENTO ESTERNO A “CAPPOTTO”

**Sistema di rivestimento esterno
con intonaco sottile su isolante**

VOLUME 14



Documentazione specifica sull'EPS

può essere ritrovata nel sito

dell'Associazione

www.aipe.biz

Sommario

01. Isolamento esterno delle pareti verticali a “cappotto”	06
02. Manuale di applicazione	20
03. La condensa nella massa dei tamponamenti perimetrali esterni	32
04. Comportamento al fuoco dell’EPS e del sistema “cappotto”	44
05. L’isolamento acustico di facciata	53
06. La marcatura CE dei sistemi a cappotto	81
07. L’AIPE	82
08. L’EPS FOR GREEN	83

1.

Isolamento esterno delle pareti verticali a “cappotto”

1. Che cosa è il cappotto

Denominazione e identificazione

Il “cappotto”, più precisamente denominato “isolamento termico dall’esterno, per pareti verticali, con intonaco sottile su isolante” è il sistema oggi più utilizzato in Europa per la coibentazione degli edifici civili, industriali, di servizio, nuovi o preesistenti.

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

- **Lastre isolanti** in polistirene EPS (noto anche come polistirolo) sinterizzato, a ritardata propagazione alla fiamma, dimensioni 1000x500 mm, con spessori a seconda delle necessità, squadrate a spigolo vivo, di qualità controllata e certificata in base alle normative vigenti UNI EN 13499;
- **Collante – rasante** per l’incollaggio delle lastre isolanti al supporto e per la formazione del primo strato di intonaco (armato) sopra le lastre stesse;
- **Rete di armatura**, tessuta in fibra di vetro, per il rinforzo del primo strato di intonaco;
- **Eventuale primer**, quale prima protezione dell’intonaco rinforzato;
- **Finitura con rivestimento continuo sottile**, di protezione dell’intero sistema agli agenti atmosferici;
- **Sagome** in lega leggera o in PVC per profili verticali e orizzontali;
- Ove necessari, **tasselli** di fissaggio profondo delle lastre isolanti.

Dopo l’installazione del sistema sono necessarie **sigillature** di tenuta ai contorni con le altre strutture. L’installazione del sistema è semplice ma richiede esperienza e professionalità e attenzione alle chiare istruzioni della sequenza di montaggio, con il rispetto di tempi e modi.

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

2. Funzioni e campi di impiego del sistema a “cappotto”

Le funzioni tipiche insostituibili del “cappotto” sono:

- **Isolare senza discontinuità** dal freddo e dal caldo,
- **Utilizzare il volano termico** costituito dalle pareti isolate,
- **Proteggere** le facciate dagli agenti atmosferici,
- **Fornire** interessanti e sensibili risparmi
- **Porre in condizioni stazionarie termo-igrometriche** l’involucro e la struttura degli edifici,
- Rendere ottimali, confortevoli e igieniche le condizioni degli spazi abitativi, di attività, servizio, ecc.,
- Contribuire sensibilmente alla riduzione delle immissioni inquinanti nell’atmosfera.

Campi di impiego:

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

Il sistema a “cappotto” serve per isolare in modo sicuro e continuo pareti costituite anche da materiali diversi. La diversità può riguardare il comportamento alle sollecitazioni termiche, le caratteristiche meccaniche, la conformazione superficiale.

Queste diversità sono molto frequenti nelle costruzioni edili (tipico esempio: cemento armato e laterizio) e sono causa di diverse deformazioni alle sollecitazioni termiche, con possibile formazione di crepe, distacchi, infiltrazioni; formano ponti termici attraverso i quali parte del calore viene dispersa; provocano deturpamento e disgregazione dei materiali. Con l’installazione del sistema a “cappotto” tutti questi fenomeni vengono annullati o comunque fortemente attenuati: tutta l’apparecchiatura muraria viene posta in condizioni termiche e igrometriche stazionarie, nonostante grandi differenze di temperatura e/o umidità tra l’esterno e l’interno abitativo.

In progettazione, per costruzioni nuove, l’installazione del sistema a “cappotto” procura i seguenti vantaggi:

- **Riduzione dello spessore delle pareti perimetrali**, quindi genera maggiori aree abitative, con indiscutibile aumento della remunerazione di tutto il fabbricato;
- **Semplificazione progettuale**, in particolare per rispondere razionalmente e semplicemente alle prescrizioni sul risparmio energetico attinente il riscaldamento degli edifici, senza dover ricorrere a soluzioni complesse;
- **Possibilità d’impiego di materiali tradizionali ed economici per la costruzione della struttura e dei tamponamenti**, senza artifici per eliminare i ponti termici;
- Conseguente maggior facilità operativa in cantiere, con riduzione sensibile dei tempi e quindi dei costi;
- **Snellimento della tipologia dei capitolati** per i materiali e l’esecuzione, quindi maggiori possibilità di controllo;
- **Il sistema a “cappotto” fornisce con il suo inscindibile pacchetto l’isolamento e la finitura.**

Per il recupero e la manutenzione straordinaria di edifici esistenti, **l’installazione del sistema a “cappotto” genera i seguenti vantaggi:**

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

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

Le stesse murature, non dissipando più il calore all’esterno, svolgono l’importante funzione di volano termico. Ciò corrisponde a disporre di una massa calda, che attraverso le sue superfici interne, scambia calore con i locali, negli intervalli e interruzioni di riscaldamento. anche in pieno inverno il sano ricambio d’aria può essere svolto senza poi dover intensificare il riscaldamento: il calore accumulato dalla massa muraria rigenera rapidamente e omogeneamente le condizioni più confortevoli. Gli involucri e le strutture sottostanti il “cappotto”, non ricevendo più sollecitazioni termomeccaniche intense e subitane, si conservano inalterati. Anche in presenza pregressa di crepe non si ve-

rificano più le continue dilatazioni (caldo) e contrazioni (freddo), evitando il peggioramento statico degli intonaci e nel caso del calcestruzzo anche parzialmente dinamico.

Vantaggio non ultimo: il forte risparmio di combustibile destinato al riscaldamento, liquido, solido o gassoso corrisponde a un altrettanto cospicua diminuzione delle immissioni nell'atmosfera di CO₂, SO₂ e ossidi di azoto. Il sistema a "cappotto" contribuisce validamente alla soluzione dei problemi di inquinamento e smog.

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

3. Caratteristiche del sistema a "cappotto"

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

Isola senza discontinuità

L'installazione delle lastre isolanti in EPS avviene all'esterno dell'involucro dell'edificio, formando superfici continue. Sono annullati i ponti termici, tipici degli edifici non isolati, dovuti alla differente conducibilità termica dei diversi materiali da costruzione: valga per tutti la differenza tra una struttura in cemento armato e le chiusure vicinali in laterizio. L'isolamento è generato nella maggioranza dei casi dalle lastre in polistirene espanso sinterizzato, a ritardata propagazione di fiamma in quanto altri materiali non hanno dimostrato una pari efficacia e sicurezza di utilizzo. Vengono qui richiamati i concetti essenziali per la comprensione qualitativa del sistema a "cappotto".

- A. **Conduttività termica λ** (lambda), espressa in **W/m °K** è il parametro che identifica il comportamento dei vari materiali nella trasmissione del calore
- B. **Conduttanza termica unitaria **C**** espressa in **Wm² °K** si ottiene dividendo lambda per lo spessore (in metri) del materiale in oggetto della trasmissione di calore.
- C. **L'inverso della conduttanza termica unitaria 1/C** si indica come **resistenza termica unitaria interna** del materiale **R** espressa in **m² K/W**. Attraverso le resistenze termiche dei vari materiali costituenti la parete, essendo valida la relazione: **R totale = R1+RR2+R3+...+Rn** si possono facilmente individuare sia la R totale, sia le temperature a ogni interfaccia dei vari materiali costituenti la parete. A questa sommatoria vengono aggiunte le resistenze termiche liminari, interna ed esterna, della parete.
- D. **La trasmittanza totale U** si ottiene infine calcolando l'inverso della resistenza termica totale: **U = 1/R** ed è espressa in **W/m² °K**.

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

	Conduttività	
	a +10°C	a +23°C
EPS 80	0,037	0,040
EPS 100	0,035	0,037

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

Resistenza termica R m²°K/W + 10°C

Tipo	EPS 80	EPS 100
Spessore lastra 4 cm	1,082	1,143
Spessore lastra 5 cm	1,351	1,429
Spessore lastra 6 cm	1,622	1,714

Da cui la trasmittanza U espressa in W/m² °K risulta:

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

Questi valori si riferiscono all'isolamento fornito dalle **sole lastre**. Considerando una parete cieca, costituita da: 2 cm d'intonaco interno, 12 cm di laterizio forato per i tamponamenti oppure da 13 cm di calcestruzzo per la struttura e attribuendo una resistenza liminare (valori d'uso) di 0,123 m³°K/W per l'interno e di 0,043 m²°K/W per l'esterno si ottengono i seguenti valori di trasmittanza U:

Spessore lastre	EPS 80		EPS 100	
	laterizio	calcestruzzo	laterizio	calcestruzzo
4 cm u =	0,560	0,718	0,542	0,688
5 cm u =	0,487	0,602	0,469	0,575
6 cm u =	0,430	0,517	0,414	0,494
Senza cappotto:				
	1,422	3,215	1,422	3,215

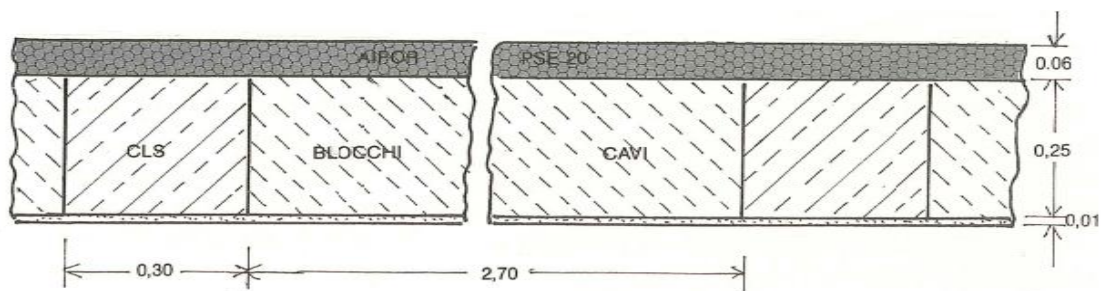
4. Trasmittanza media di pareti con eterogeneità semplici

Le relazioni fin qui trovate si riferiscono a pareti piane illimitate e servono a definire il flusso termico che ne attraversa 1 m², in condizioni da salto termico stazionario. Il flusso in questo caso è in ogni punto perpendicolare alla superficie della parete e si dice **flusso unidirezionale**. Tali relazioni si usano però anche per le pareti effettive, che hanno dimensioni limitate; ciò è accettabile finché la parete è delimitata da superfici parallele alle facce e l'insieme è tale che non esistono flussi di calore importanti tra le parti eterogenee. In questo caso si dice che la parete ha **eterogeneità semplice** e la sua trasmittanza media U_m è la media ponderale (rispetto alle aree S delle singole parti omogenee) delle trasmittanze U delle parti omogenee.

$$u_m = \frac{\sum (uS)}{\sum S} (W / m^2 \cdot K)$$

L'esempio mostra un'applicazione di queste relazioni.

Esempio: Determinare la trasmittanza media della parete costituita da un tamponamento in blocchi cavi in cls a pareti sottili da 250 mm, compreso fra pilastri di cls da 250 x 300 mm con interasse di 3 m. Il tutto è rivestito esternamente a "cappotto" con EPS 100 per 60 mm e internamente con intonaco a gesso da 10 mm. Si trascura il contributo della finitura esterna del cappotto.



Resistenza del tamponamento:

	Spessore (m)	Conduttività (W/m.K)	Resistenza (m ² .K/W)
Resistenza superficiale interna 1/h _i			0,123
Intonaco di gesso	0,01	0,35	0,029
Blocchi cavi in cls	0,25		0,340
EPS 100	0,06	0,041	1,463
Resistenza superficiale esterna 1/h _e			0,043
			R ₁ = 1,998

Trasmittanza del tamponamento U_t= 1/1,998= 0,50 Wm²K

Resistenza dei pilastri:			
Resistenza superficiale interna 1/h _i			0,123
Intonaco di gesso	0,01	0,35	0,029
Cls da 2200 Kg/m ³	0,25	1,48	0,169
EPS 100	0,06	0,041	1,463
Resistenza superficiale esterna 1/h _e			0,043
			R ₂ = 1,827

Trasmittanza dei pilastri u₂= 1/1,827= 0,55 W/m²K

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

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

5. Utilizza il volano termico delle pareti isolate

È noto che i vari materiali rilasciano il calore acquisito più o meno rapidamente secondo la loro **inerzia termica**. La quantità di calore trasmessa è inoltre funzione della superficie di scambio (nel caso di pareti a "cappotto" è quella tra la faccia interna della parete verso il locale abitativo) e della differenza di temperatura tra i due mezzi oggetto della trasmissione di calore. La **capacità di accumulo di calore "S"** espressa in **W/m²°K** dipende dalla massa volumica, dal calore specifico e dalla conduttività termica del materiale. **Il prodotto tra la "S" e la resistenza "R" è l'inerzia termica "D"** (adimensionale). Quando le pareti perimetrali sono termicamente isolate dall'esterno, il valore "R" è alto, a parità di materiale costitutivo della struttura murale e quindi di "S" aumenta l'inerzia termica "D". Quando la temperatura interna del locale si abbassa (interruzione, temporizzazione del riscaldamento, apertura di finestre, ...) è la parete a fornire calore al locale. Si può inoltre sviluppare l'interessante calcolo che dimostra come il volano termico delle pareti isolate con il **"cappotto" agisce attenuando proprio la tipica fluttuazione di temperatura notte-giorno della temperatura esterna**. In pratica l'inerzia della parete sviluppa il massimo apporto di calore ai minimi della temperatura esterna. Assimilando le oscillazioni di temperatura a sinusoidi, l'onda di ritorno di calore, per inerzia termica della parete isolata, risulta sfasata (ritardata) rispetto a quella della temperatura esterna: **all'interno la temperatura rimane omogenea**.

6. Protegge le facciate dagli agenti atmosferici

Il rivestimento continuo di finitura del sistema a “cappotto” costituisce una valida difesa verso gli eventi atmosferici. Sono caratteristiche essenziali e vincolanti la sua quantità, la **contemporanea idrorepellenza**, identificata come basso assorbimento capillare di acqua (“A”) e la **diffusività**, identificata come bassa resistenza alla diffusione del vapore d’acqua (**Sd**). I **pigmenti** utilizzati per le coloriture del rivestimento continuo sono **resistenti alla luce e all’irraggiamento solare**. Essendo lo spessore del rivestimento sottile e, verso la parete, isolata dalle lastre in EPS, è soggetto a rapido e intenso surriscaldamento dall’irraggiamento solare e ad altrettanto rapidi e intensi raffreddamenti in mancanza di sole o per precipitazioni. La sua qualità deve quindi essere tale da rispondere a grandi e rapide sollecitazioni di variazione termica, senza manifestare difetti. Proprio il fenomeno del **surriscaldamento** per azione solare impone un **limite ai toni scuri** delle coloriture: è ben noto che i colori chiari riflettono meglio luce e calore, mentre i più scuri li assorbono. Per evitare il raggiungimento di temperature superficiali pericolose (oltre + 60°C) sia per contatto, sia per la stabilità del materiale isolante stesso, vengono applicate **tinte con un grado di riflessione della luce (albedo) superiore al 40%**, in pratica questa limitazione esclude l’utilizzo solo di coloriture particolarmente scure o intense e lascia quindi una vastissima scelta di tinte. Il rivestimento continuo di finitura, risponde inoltre a precise e severe norme di **resistenza** a cicli misti di **surriscaldamento-bagnatura-gelo, di resistenze meccaniche e allo strappo**.

7. Corrisponde ad interessanti e immediati risparmi

Da quanto già indicato precedentemente si evince che la quantità di **calore dissipata all’esterno** nei periodi di riscaldamento **viene, con l’installazione del sistema a “cappotto” drasticamente ridotta**. Dati pratici consuntivi su una formidabile casistica di anni e di tipologia edile, permettono di indicare con certezza che il **“cappotto” comporta una riduzione tra il 25% e il 35% del consumo di combustibile necessari per il riscaldamento e il raffrescamento estivo**.

Si riporta la formula generale di calcolo, che esplicita la quantità di combustibile risparmiata in funzione della trasmittanza al calore “u” prima e dopo l’installazione dell’isolamento termico.

$$G = \frac{24S(u_0 - u)D_i}{Hn} \text{ essendo:}$$

G la quantità di combustibile risparmiata, in Kg/anno o, per combustibili gassosi, in Nm³/anno

S l’area delle pareti in m²

U₀ e U le trasmittanze della parete prima e dopo l’isolamento, espresse in W/m²°K

D i gradi-giorno corretti della località considerata

I il coefficiente di intermittenza del riscaldamento

H il potere calorifico inferiore del combustibile espresso in Wh/Kg o in Wh/Nm³

n il rendimento globale dell’impianto

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

$$G = \text{cost} (u_0 - u)$$

Come indicato nel calcolo schematico la differenza **u₀-u** è ben significativa del risparmio ottenibile.

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

8. Pone in condizioni stazionarie termoigrometriche l’involucro esterno e la struttura dell’edificio

Questa stabilizzazione è molto importante ai fini del mantenimento nel tempo dei materiali costruttivi, al di sotto del sistema a “cappotto”. Particolarmente significativi sono i risultati ottenuti nel ripristino e nel recupero di edifici esistenti. Gli effetti dinamici causati dagli sbalzi termici su materiali di-

versi, sono spesso dirompenti. Si formano crepe e spacchi profondi, che interessano spessori anche molto alti dei materiali. In pratica queste fenditure e lesioni lavorano come giunti di dilatazione aperti e convogliano le acque meteoriche nel tessuto profondo delle pareti. Poiché con l'abbassamento della temperatura i materiali edili si contraggono, **le crepe risultano più aperte proprio in occasione delle più avverse condizioni metereologiche.** Le infiltrazioni comportano i ben noti (e ampiamente visibili) fenomeni di disgregazione, di macchie, di muffe e l'impregnazione della massa muraria: questa per poter asciugare ha bisogno, per tempi lunghi, di forti quantità di calore, che vengono sottratte (ma pagate) al riscaldamento dei locali. A volte non si pone la necessaria attenzione su questa fonte di spesa infruttifera: **per ogni aumento del 10% di umidità contenuta nelle pareti, il loro potere isolante intrinseco (leggasi la loro "R") diminuisce del 50% circa.** Come esempio schematico viene qui considerato un apparato murario senza e con isolamento a "cappotto": si determinano le temperature alle interfacce dei vari strati, in diverse condizioni climatiche.

Costituzione della parete tipo	Spessore m	Λ w/m ² K	R m ² °K/W	n (-)	Res.dif.vap. m
Strato liminare i.			0,123		
Intonaco interno	0,025	0,35	0,071	30	0,75
Laterizio doppio	0,160	0,25	0,640	15	2,40
Intonaco esterno	0,035	9,35	0,100	40	1,40
Strato liminare e.			0,043		
Totale non isolato	0,220	-	0,977	-	4,55
+ il "cappotto"	0,05	0,04	1,250	35	1,75
Totale a "cappotto"	0,270	-	2,227	-	6,30

da cui:
 U_0 senza isolamento = 1,024
 U con "cappotto" = 0,449

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

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

Superfici e interfacce della parete	Senza isolam. °C	Con "cappotto" °C
Aria interna del locale	+20	+20
Superficie intonaco interno	+16,2	+18,4
Interfaccia intonaco-lateriz.	+14,0	+17,4
Interfaccia lateriz.-inton.est.	-5,7	+8,8
Interfaccia inton.est EPS	-	+7,5
Superficie intonaco esterno	-8,7	-
Superficie del "cappotto"	-	-9,4
Aria esterna	-10	-10

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

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

Le temperature alle varie interfacce sono:

Superfici e interfacce della parete	Senza isolam. °C	Con "cappotto" °C
Aria interna del locale	+20	+20
Superficie intonaco interno	+18,1	+19,2
Interfaccia intonaco-lateriz.	+17,0	+18,7
Interfaccia lateriz.-inton.est.	+7,2	+14,4
Interfaccia inton.est EPS	-	+13,7
Superficie intonaco esterno	+5,7	-
Superficie del "cappotto"	-	+5,3
Aria esterna	+5	+5

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

Gli sforzi provocati dalle escursioni termo-igrometriche sul pacchetto del sistema a "cappotto" sono da questo assorbiti grazie alle sue caratteristiche di qualità isolante e meccanica. In particolare sia il potere di adesione del collante, che vincola le lastre di EPS al supporto, sia lo strato d'intonaco armato con la rete in fibra di vetro, soprastante le lastre isolanti, svolgono le funzioni specifiche di resistenza meccanica.

Le caratteristiche di adesione del collante sono normalmente tali da provocare la rottura coesiva del supporto (se laterizio) o dell'isolante (su cemento armato).

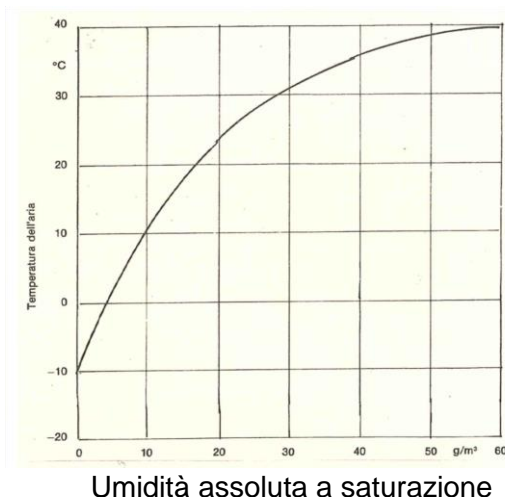
La rete di armatura in fibra di vetro presenta maglie regolari (~ 4x4 mm), una massa areica superiore a 150 g/m² e una resistenza allo strappo, sia per trazione secondo trama, che secondo ordito, superiore a 140 daN. Ciò vale sia in condizioni di prove a secco, che dopo invecchiamento in soluzioni alcaline. La deformazione della rete, come allungamento % alla rottura è attorno al 2% - 2,5% (minimo). Lo strato completo dell'intonaco armato presenta normalmente resistenze alla trazione superiori a 170 daN, con allungamento alla rottura attorno al 2,5%-3% (medio). Anche dopo prolungate immersioni in acqua, le caratteristiche di resistenza rimangono congrue. Alla rottura non si verificano comunque fenomeni di distacco tra l'intonaco e la rete di armatura. Pertanto su edifici già progettati con il sistema a "cappotto" o per i recuperi funzionali di edifici esistenti, il sistema fornisce oltre agli indubbi vantaggi economici diretti sul risparmio di combustibile e di condizioni estremamente confortevoli, anche quelli della conservazione durevole dell'involucro e della struttura stessa degli edifici, che risultano quindi ben rivalutati.

9. Realizza condizioni ottimali, confortevoli e igieniche nei locali interni

Secondo noti studi sulle condizioni del microclima ambientale più confortevole, si dimostra che un gradiente termico, tra l'aria interna di un locale e la superficie del suo intonaco, superiore a 2°C genera disagio. Questa pur piccola differenza di temperatura innesca già moti convettivi fastidiosi, nell'aria interna del locale. In condizioni di elevata umidità dell'aria interna (es. 90 %) tipiche di bagni e cucine, dove inoltre la temperatura dell'aria è più alta (es. +25°C) una differenza di temperatura di 2°C tra l'aria e la superficie delle pareti provoca già condensa. Gli intonaci interni risultano impregnati d'acqua e ciò favorisce l'attecchimento e l'infestazione di muffe, microfunghi e batteri. È tipico di edifici non isolati il fenomeno dell'annerimento da muffe delle fasce sotto le solette superiori, in particolare dei locali d'angolo; il ponte termico, oltre alla grande dissipazione di calore, si manifesta con la bruttura delle muffe. Con il sistema a "cappotto" queste situazioni negative per le condizioni confortevoli e igieniche non si possono verificare, neppure con formidabili sbalzi termici e igrometrici tra l'aria interna dei locali e l'esterno.

10. Isolamento termico e umidità

L'isolamento termico degli edifici è negativamente influenzato dall'umidità. Questa può provenire sia dall'esterno (pioggia, neve, aria umida, suolo), sia dall'interno (umidità propria delle nuove costruzioni, perdite di condotti vari e soprattutto produzione da parte degli occupanti e in relazione alla loro attività di cucina e pulizia: si valuta che per ogni persona si producono 2-4 Kg/giorno di vapore d'acqua). La maggior parte dei materiali da costruzione ha grande affinità per l'acqua, che può penetrarvi sia come liquido per capillarità, sia come vapore per effetto di differenze di pressione di vapore. La presenza dell'acqua può alterare prestazioni importanti delle pareti, come la durata, la resistenza strutturale, il grado di isolamento, le finiture superficiali. Fra i materiali isolanti specifici l'EPS è a questo riguardo in una posizione fra le migliori, per la sua bassissima capacità di assorbimento d'acqua ed elevata permeabilità, ed è perciò particolarmente consigliabile in ogni situazione; tuttavia è sempre necessario studiare il comportamento della parete nel suo complesso nei confronti dell'umidità. Per quanto riguarda l'effetto diretto sull'isolamento, la presenza di acqua liquida aumenta la propria conduttività apparente, per la conduzione vera e propria dell'acqua (25 volte quella dell'aria) e per convezione, oltre che per diffusione del vapore con evaporazioni e condensazioni successive. Il fenomeno è quindi molto complesso e in pratica se ne tiene conto maggiorando la conduttività dei materiali. Il fenomeno più pericoloso è quello della condensazione interna (ancor più pericoloso se seguito da gelo) o superficiale; il suo studio richiede alcune conoscenze sulle caratteristiche dell'aria umida. L'aria contiene sempre vapore d'acqua; la quantità di questo, espressa in g per Kg (o per m³) di aria secca, si dice **umidità assoluta**. Questa quantità ha un limite, tanto più elevato, quanto più alta è la temperatura. Quando tale limite viene raggiunto, l'aria si dice satura di vapore. La figura seguente mostra l'andamento della quantità di vapore di saturazione al variare della temperatura.



In queste condizioni al vapore contenuto nell'aria compete una ben definita porzione P_s (P_a) della pressione atmosferica, detta **pressione parziale di saturazione**. Di seguito si riportano i valori. Normalmente però l'umidità assoluta contenuta nell'aria è soltanto una frazione di quella a saturazione e quindi anche la pressione parziale p del vapore è una frazione di quella di saturazione:
 $p = \varphi P_s$

La frazione viene solitamente espressa in % e chiamata **umidità relativa** (U.R.) dell'aria. Se la temperatura dell'aria non satura viene abbassata, si giunge ad una temperatura t_s detta **temperatura di saturazione o temperatura di rugiada**, alla quale il contenuto, e quindi la pressione di vapore dell'aria, corrisponde al limite di saturazione.

ESEMPIO: Si abbia aria a 20°C e 70% U.R. Si desidera conoscere la temperatura di rugiada relativa. Dai grafici dell'aria si ricava:

- per 20°C $p_s = 2340 P_a$
- per 70% U.R.: $p = 2340 \cdot 0,7 = 1638 P_a$

a cui corrisponde una temperatura di rugiada $t_s = 14,4$ °C

L'esempio mostra che l'aria interna a 20°C e 70 U.R. (condizione che viene presa di solito come termine di riferimento in edilizia) comincia a formare condensa superficiale su pareti con temperature superficiali di 14,4°C.

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

11. Condensazione superficiale

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

$$h_i (t_i - t_p) = u (t_i - t_e)$$

E quindi:

$$t_p = t_i - \frac{u}{h_i} (t_i - t_e) (°C)$$

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

$$t_s > t_p \quad (°C)$$

In presenza di modeste quantità di condensazione, questa può non essere percepita come tale se la finitura interna, come gli intonaci ordinari o le tappezzerie di carta, è porosa e quindi assorbente. Tuttavia tale condensa è sufficiente a fissare sulla superficie la polvere, che con tempo farà apparire il disegno di tutte le zone più fredde (angoli, contorni di finestre, travetti dei solai a pignatte, ecc.). Nei casi più consistenti, su questo substrato si formano muffe, che, oltre ad aggravare il degrado estetico, iniziano quello fisico della superficie (sfarinature, distacchi, decomposizione di tappezzerie, ecc.) e compromettono sia l'igiene che il benessere ambientale.

12. Condensazione interna

La condensazione interna ad una parete dipende dalle leggi che governano il processo di diffusione del vapore attraverso la parete. In una trattazione semplificata si ammette che la quantità di vapore l che nell'unità di tempo attraversa l'unità di superficie di una parete, espressa quindi in Kg/m^2s è

proporzionale alla differenza (in Pa) della pressione di vapore $p_i - p_e$ fra le due facce della parete e ad un coefficiente δ caratteristico del materiale, detto **permeabilità**, espresso in Kg.m/N.s, e inversamente proporzionale allo spessore s (m) della parete.

$$I = \frac{\delta}{s} (p_i - p_e) \quad (\text{Kg/m}^2\text{s})$$

Esempio:

- Clima esterno $t_e = 0^\circ\text{C}$, 70% U.R.; $p = 428 \text{ Pa}$; $4,84 \text{ g vap./m}^3$
- Clima interno $t_i = 20^\circ\text{C}$, 60% U.R.; $p = 1404 \text{ Pa}$; $17,29 \text{ g vap./m}^3$
- Fenditura profonda 100 mm e lunga 1 m
- Quantità di vapore d'acqua in g/h trasportata attraverso la fenditura in funzione della differenza di pressione Δ_p dell'aria fra interno ed esterno.

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

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

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

$$I = (p_i - p_e)/\rho \quad (\text{Kg/m}^2\text{s})$$

e, per una parete a più strati:

$$I = (p_i - p_e)/\Sigma \rho \quad (\text{Kg/m}^2\text{s})$$

$$\eta = \delta_{\text{aria}}/\delta \quad (\text{adimensionale}) \text{ fra la permeabilità dell'aria e quella del materiale.}$$

La permeabilità dell'aria è in funzione della temperatura, ma per le temperature medie della parete intorno a 10°C si può assumere passando da secondo a ore come unità di tempo:

$$\rho/\delta_{\text{aria}} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Pa.m.h/Kg}$$

Si potrà quindi scrivere:

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

$$\Sigma p = 1,5 \cdot 10^6 \Sigma (\mu\text{s})$$

Il prodotto s può quindi essere visto come lo spessore d'aria equivalente, ai fini del passaggio di vapore, alla resistenza offerta dalla parete o dal singolo strato. Dette p_1, p_2, \dots , i valori di pressione parziale esistenti alle interfacce fra i vari strati, si potrà scrivere, in modo formalmente analogo a quello usato per trovare le temperature alle interfacce:

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

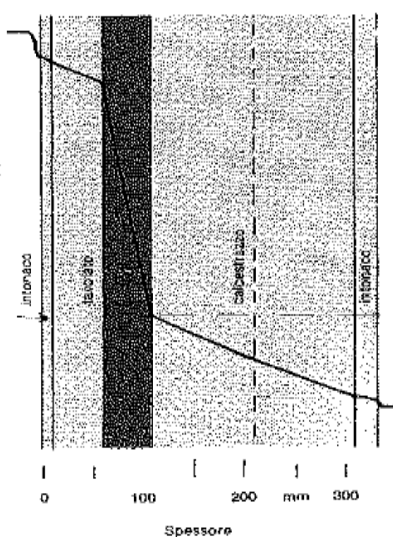
Ciò permette di tracciare l'andamento della pressione di vapore nella parete con lo stesso procedimento grafico usato per le temperature; nel grafico le ascisse sono ora proporzionali alle resistenze s anziché alle resistenze termiche e nelle ordinate vi sono le pressioni parziali, anziché le temperature. In corrispondenza delle interfacce fra gli strati si riportano anche le pressioni di saturazione corrispondenti alle rispettive temperature. La retta che congiunge i valori delle pressioni parziali p_i e p_e sulle superfici della parete, è il diagramma delle pressioni di vapore all'interno della parete, se questa retta non interseca la linea che congiunge i punti segnati dalla pressione di saturazione. In caso contrario si tracciano, invece della congiungente $p_i - p_e$, le tangenti, da p_i e da p_e a alla linea della pressione di saturazione; nel punto o nella zona di tangenza si ha condensazione. Questa costruzione è nota come "**diagramma di Glaser**".

La condensazione è tollerabile se la quantità di acqua che si ferma nella parete in una stagione invernale può diffondersi di nuovo all'esterno nella successiva stagione estiva. Per verificare ciò si calcola il flusso di vapore **per le condizioni medie stagionali** e lo si moltiplica per numero H di ore della stagione. Sono considerati positivi i flussi diretti dell'interno verso l'esterno; in estate quindi si hanno anche flussi negativi (della parete verso l'interno); parimenti sono considerate positive le differenze di pressione in cui quella interna è maggiore.

Esempio – Determinare l'andamento delle pressioni di vapore nella parete in sezione, per le condizioni seguenti (medie della Pianura Padana):

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

Si prendono, prudenzialmente, i valori più bassi per gli strati interni e i più alti per quelli esterni. Il prospetto seguente riporta tutti i dati, in base ai quali si costruisce il diagramma di Glaser.



	Spessore S m	λ W/mK	R M ² K/W	μ -	μs m	Inverno				Estate		
						Δt °C	t °C	Press. Vap. (Pa)		t °C	Press. Vap. (Pa)	
								Sat.	Parz.		Sat.	Parz.
Condizioni interne Res. Superficiale int.		0,123				1,2	20,00 18,8	2340 2171	1638	22	2645	1852
Intonaco	0,01	0,35	0,029	10	0,1	0,3	18,5	2132				
Forati	0,05		0,100	5	0,25	1,35	1,0 17,5	2001				
EPS 15	0,05	0,045	1,111	20	1,0	11,1	6,4	961				
Calcestruzzo	0,10	0,50	0,200	150	15 15	1,9 1,9 2,6	737			22	2645	2645
Intonaco di calce e cemento	0,02	0,90	0,022	35	0,7	0,2	2,4	727				
Res. Superficiale ester. Condizioni esterne	0,35	1,810	0,043	32,05		0,4 2	705	564	22	2645	1852	

L'andamento invernale delle pressioni di vapore deve passare per il punto in cui la linea di saturazione traversa l'interfaccia. Si ha quindi condensazione.

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

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

e quello dal piano di condensazione all'esterno:

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

Per una stagione invernale di $90 \cdot 24 = 2160$ ore, si avrà in totale una condensazione nella parete:

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

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

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

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

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

Che è superiore alla condensazione invernale.

La situazione di condensazione invernale può essere eliminata inserendo fra intonaco interno e forati uno strato di elevata resistenza al vapore (barriera vapore), ma di resistenza termica trascurabile, per esempio un foglio di cartone bitumato da 3 mm di spessore ($\mu = 20.000: \mu\text{s} = 60 \text{ m}$).

Il grafico si modifica come in fig. (attenzione alla scala delle ascisse). Ora non esiste più il pericolo di condensazione.

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

13. Contribuisce fortemente alle riduzioni delle immissioni inquinanti nell'atmosfera

È stata dimostrata in merito ai risparmi di combustibili per il riscaldamento, apportati dal sistema a "cappotto", una contrazione, comprovata da dati reali, tra il 25% e il 35%. Considerando un condominio con un fabbisogno di 50 t/anno di gasolio, lo stesso, dopo l'installazione del sistema a "cappotto" richiede solo 35 t/anno.

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

Analogo discorso vale anche per caldaie a metano: l'immissione è certamente meno inquinante essendo molto basso il tenore di composti dello zolfo, ma l'immissione di CO₂ è praticamente pari.

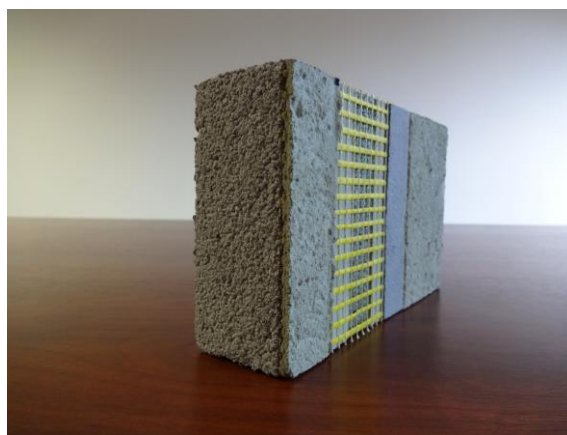
È immediato calcolare che relativamente pochi edifici isolati con il sistema a "cappotto" comportino riduzioni dell'inquinamento atmosferico dell'ordine di centinaia di migliaia-milioni di m³/anno.

2.

Manuale di applicazione

1. Che cos'è l'isolamento a cappotto

L'isolamento a cappotto consiste nell'applicazione, sull'intera superficie esterna verticale di un edificio, di pannelli isolanti che vengono poi coperti da uno spessore protettivo e di finitura realizzato con particolari intonaci. Esistono diversi sistemi in commercio che forniscono l'insieme di tutti i componenti necessari alla posa in opera. E' importante ricordare che tutti i materiali di un sistema a cappotto devono essere reciprocamente compatibili; la sostituzione anche di un solo materiale o la realizzazione "fai da te" di un isolamento a cappotto, anche se vengono utilizzati ottimi prodotti, può comportare un insuccesso.



2. Elementi che costituiscono il sistema

Il sistema di isolamento a cappotto è costituito dai seguenti elementi:

1. Collante e/o tasselli. La **funzione** affidata a questi elementi è quella di **fissare l'isolante alla muratura** di supporto. Il fissaggio può avvenire tramite semplice incollaggio o, dove le condizioni del supporto murario lo rendano necessario, può essere effettuato tramite tasselli di materiale plastico o metallico. In alternativa per un migliore fissaggio dell'isolante ai supporti è possibile ricorrere alla combinazione di collante e tasselli che garantiscono una maggiore stabilità dell'isolante sia durante la presa della colla sia durante la fase di esercizio.

2. Isolamento termico. L'isolante deve presentarsi in forma di pannello con superfici regolari e con adeguate caratteristiche di resistenza meccanica.

3. Rete di armatura. La rete di armatura è un elemento dello strato di armatura la cui funzione è quella di conferire al sistema una adeguata capacità di resistere agli urti e ai movimenti dovuti a escursioni termiche o a fenomeni di ritiro. La realizzazione dello strato avviene mediante una rete in filo di vetro apprettato antialcale.

4. Malta rasante. Ha la funzione di proteggere il pannello isolante e di creare la superficie adatta alla stesura degli strati successivi di finitura. All'interno di questo strato viene annegata la rete di armatura.

5. Sottofondo stabilizzante (o primer-fissativo). Viene utilizzato per ottenere migliori condizioni di adesione e compatibilità dello strato di finitura con lo strato di intonaco sottile armato già realizzato.

6. Rivestimento di finitura. Ha la funzione di realizzare la finitura dell'intervento e di proteggere gli strati sottostanti dalle intemperie e dalle radiazioni solari; deve possedere una buona elasticità alle sollecitazioni meccaniche e deve essere sufficientemente permeabile al vapore d'acqua. Si tratta di un rivestimento o di una particolare pittura a base sintetica o minerale che si può realizzare con varie finiture speciali: rustico, rasato, graffiato, spugnato o spruzzato.

7. Accessori. Elementi utilizzati per realizzare giunzioni con strutture diverse (ad esempio finestre) e proteggere, o sostenere, il sistema in punti particolarmente critici.

3. Condizioni per la messa in opera

L'intervento di isolamento a cappotto può essere effettuato sul patrimonio edilizio nuovo ed esistente in moltissimi casi, sfruttando una molteplicità di supporti differenti come, ad esempio:

- pareti intonacate
- murature piene
- rivestimenti in klinker
- rivestimenti ceramici
- rivestimenti in laterizio
- pareti in cls a vista.

L'intervento risulta invece poco percorribile o problematico nel caso di edifici sotto tutela storico-ambientale.

Primi sopralluoghi: elementi da osservare

Prima di programmare ed effettuare l'intervento occorre procedere ad una attenta ed accurata osservazione dell'edificio su cui intervenire mediante lo svolgimento di alcune operazioni fondamentali, riassume nella tabella sottostante:

ELEMENTI DA OSSERVARE	SCOPO
Caratteristiche dei supporti come natura, età, solidità e stato di conservazione	Prevedere eventuali trattamenti da effettuare preventivamente per permettere un'aderenza efficace del sistema di isolamento
Dimensioni pareti (Lunghezza, Larghezza, Altezza)	Evidenziare punti particolari, segnalare eventuali rifacimenti parziali della muratura prima dell'intervento
Dimensioni aperture come forme dei vuoti davanti finestre, fermi persiane	Verificare misura sbalzo e posizionamento del gocciolatoio per consentire l'inserimento sistema e l'eventuale spostamento dei fermi persiane
Tipo, genere di fissaggio, posizione e misure tubature di scolo acque meteoriche quali pluviali, collari. Tipo genere di fissaggio, posizione e misure di griglie di areazione e ventilazione tubature varie, rubinetti, collegamenti elettrici, apparecchi di illuminazione.	Verificare possibilità di inserimento del sistema, in funzione dello spessore scelto.
Posizione e misure giunti di dilatazione	Prevedere adeguati giunti elastici sul sistema, in corrispondenza di giunti di dilatazione già esistenti.

4. Mezzi d'opera

Per l'installazione del sistema di isolamento a cappotto sono necessarie alcune attrezzature e mezzi d'opera specifici che solitamente vengono ulteriormente suggeriti dal produttore del sistema in funzione delle sue peculiarità e caratteristiche.

Attrezzi necessari per la messa in opera del sistema a cappotto

Di seguito viene riportato un elenco di mezzi d'opera e di attrezzi la cui presenza in cantiere viene ritenuta necessaria:

- agitatore elettrico per miscelare cemento, colla, polvere e acqua, ecc...
- cazzuola e spatola dentata per l'incollaggio dei pannelli isolanti
- dosatore per le miscele (ad esempio il cemento)
- frattazzo (acciaio, plastica o legno) per la lisciatura del sottofondo, staggia per verificare la complanarità dei pannelli durante la posa
- squadra, bolla o livello, ecc...
- sega e/o taglierino (a seconda del materiale isolante scelto) per tagliare pannelli, carta vetrata per eventuali levigature...
- forbici o cutter per tagliare la rete di armatura
- spatola in acciaio liscia per posare l'armatura e rasare lo strato di base, spatola in plastica e rullo per la posa e la rasatura del rivestimento.

Mezzi d'opera accessori

Deve essere utilizzato un ponteggio stabile e con basamento (non appeso) così come viene prescritto dalle norme antinfortunistiche in vigore.

I ponteggi volanti, instabili, possono portare a delle imperfezioni nella fase dell'incollaggio dei pannelli (cattivo posizionamento dell'isolante, rotture eventuali sulle piastre appena incollate con disgregazione del collante, ecc....).

Apertura del cantiere e operazioni preliminari all'applicazione del sistema

Nello svolgimento e realizzazione di un intervento di isolamento a cappotto si possono individuare delle operazioni di installazione del cantiere e preparazione dei lavori che risultano comuni a tutti i tipi di sistemi, indipendentemente dalle loro caratteristiche specifiche, come ad esempio:

- montaggio del ponteggio ed installazione di eventuali protezioni specifiche, in corrispondenza di situazioni particolari
- rimozione degli elementi fissati alla facciata e che sono da modificare (come ad esempio colari, eventuali davanzali particolari da non ricoprire...)
- smontaggio dei pluviali adottando accorgimenti tali per cui durante l'esecuzione dei lavori, in caso di pioggia, l'evacuazione dell'acqua piovana avvenga lontano dalle facciate
- lavori di muratura e preparazione del supporto per la posa dei pannelli
- posizionamento dei profili di supporto ed eventuale contenimento dei pannelli (supporti di base...)

Consigli per l'applicazione

Prima di descrivere le modalità di applicazione di un generico sistema di isolamento a cappotto con intonaco sottile si devono sottolineare alcune precauzioni che devono essere rispettate in fase di realizzazione al fine di evitare problemi o imperfezioni che si possono riflettere sulla funzionalità del sistema e sulla durata nel tempo. La messa in opera del sistema di isolamento, a cominciare dall'incollaggio delle lastre isolanti, non deve essere mai realizzata in presenza di umidità residua di costruzione (ad esempio, nel caso di nuova costruzione, prima che le pareti interne intonacate a

gesso siano completamente asciutte). La messa in opera non deve essere realizzata in condizioni di temperatura inferiori a + 5 gradi centigradi o superiori a + 30°C. Inoltre l'applicazione dello strato di rasatura e del rivestimento di finitura non deve essere realizzata sulle superfici esposte al sole o a forte vento per evitare problemi di rapida evaporazione dell'acqua di impasto e conseguenti cavillature e fessurazioni. A tale fine risulta dunque opportuno organizzare il cantiere in maniera tale da lavorare all'ombra. In caso di pioggia si devono prevedere delle protezioni sul bordo superiore scoperto del cappotto al fine di evitare possibili infiltrazioni di acqua al di sotto dello strato isolante.

5. Lo strato di supporto

Con il termine strato di supporto si intende identificare il "sottofondo" del sistema che deve fornire allo stesso una adeguata azione di sostegno e di aggrappaggio nei confronti dei carichi che agiscono sul sistema (vento, peso proprio, urti,...). Nella tabella seguente si fornisce una esemplificazione, sicuramente non esaustiva, di possibili tipologie di supporti sui quali può essere effettuato l'intervento di isolamento a cappotto; le tipologie sono state classificate in base alla loro localizzazione in edifici di nuova costruzione o in edifici esistenti.

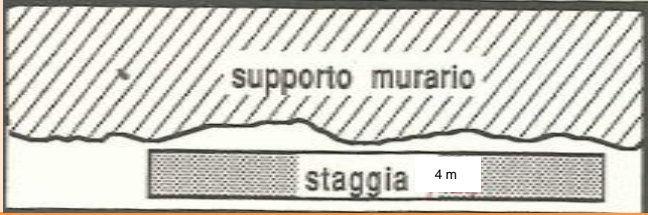
NUOVE COSTRUZIONI	EDIFICI RESISTENTI
Murature in pietrame	Pannelli prefabbricati in cls.
Muratura in mattoni pieni	Muratura in cls.
Muratura in mattoni forati	Intonaco in calce e cemento privo di pitture
Muratura mista	Intonaco in calce e cemento dipinto, con residui di vecchie pitture e calce
Blocchi cavi in cemento	
Pannelli prefabbricati in cls.	Intonaco rifinito con scrollatura o lamatura di polveri di marmo miscelate (tipo "Terranova")
Muratura in cls.	Intonaco in calce e cemento trattato con idropitture
Tufo	
Pannelli in fibra di legno legati con cemento	Intonaco in calce e cemento trattato con RPAC (Rivestimenti Plastici Continui) Rivestimenti con piastrelle o mattoncini in cotto poroso Rivestimenti in piastrelle o tessere ceramiche, clinker, grès, vetrose

Analisi dello stato di fatto del supporto

Una corretta analisi e una conseguente buona conoscenza della costituzione e dello stato di conservazione del supporto su cui intervenire sono di fondamentale importanza ai fini della realizzazione di un sistema che garantisca le prestazioni per le quali è stato certificato e soprattutto le mantenga inalterate nel tempo. L'operazione di analisi e verifica del supporto si rende indispensabile soprattutto nel caso di interventi sull'esistente dove spesso una analisi frettolosa e superficiale può non essere sufficiente a valutare appieno lo stato del supporto e le garanzie che esso può fornire per un buon aggrappaggio del sistema di isolamento.

Prima dell'applicazione si rende quindi necessario verificare la qualità del supporto esistente a ricevere il sistema; per tale verifica occorre accertarsi in sito che le superfici:

- siano il più possibile complanari, anche se ruvide e non presentino quindi asperità eccessive o dislivelli apprezzabili in superfici ristrette;
- siano asciutte e non siano registrabili fenomeni permanenti di risalita di umidità dal terreno che possano danneggiare il materiale isolante;
- siano pulite (quindi esenti da polvere, da eventuali residui organici, da tracce di disarmanti in pareti di cls. a vista, non vi siano zone di intonaco scrostato o staccato o pitture sfogliantesi).

DISTANZA TRA I PUNTI DI CONTATTO	Metri	4	
DIFFERENZE DI LIVELLO	mm.	8	
 <p>Il diagramma mostra un supporto murario con una superficie irregolare. Una staggia di 4m è posata sul supporto. Una linea orizzontale indica una differenza di livello di 8mm tra il piano di posa e la superficie irregolare del supporto.</p>			8

Interventi per la preparazione dei supporti

Una adeguata preparazione del supporto si rispecchia in un aumento della facilità di posa del sistema, con conseguenti vantaggi di organizzazione del cantiere e in una migliore realizzazione finale.

L'operazione risulta ovviamente molto diversificata e dipende sia dal tipo di supporto sia dal tipo di materiale previsto dal sistema per la posa in opera.

Supporti nuovi

Nel caso di edifici di nuova costruzione ricordiamo alcune cautele fondamentali:

- il supporto deve essere pulito, spolverato, e non deve presentare alcuna irregolarità importante sulla sua superficie, dove con questo termine si intendono irregolarità superiori a 8 mm;
- nel caso di pannelli o murature in calcestruzzo armato occorre attendere da un mese a 45 giorni dalla gettata del calcestruzzo prima di poter spatolare il collante per la posa dei pannelli isolanti;
- può essere consigliabile accertarsi che sulle pareti molto lisce o con parecchie irregolarità il collante abbia effettivamente aderito;
- nel caso si sia riscontrata la presenza di tracce di disarmante sulle superfici in cls a faccia a vista occorre procedere alla loro eliminazione mediante, ad esempio, idrolavaggio a pressione (120 atm) ed acqua calda con eventualmente l'aggiunta di diluenti.

Edifici esistenti

La preparazione del supporto di posa nel caso di edifici esistenti diventa una operazione sicuramente molto importante, con alcune attività che devono essere effettuate per qualsiasi tipologia di supporto ed altre che invece dipendono dalla sua natura.

Nel seguito si riporta un elenco di tali attività:

- per tutte le patologie di supporto, le crepe di una certa rilevanza devono essere eliminate mediante stuccatura per regolarizzare il più possibile il piano di posa;
- se il supporto consiste in una superficie di calcestruzzo a faccia a vista, la preparazione del supporto si effettua come per il caso di nuove costruzioni.
Se il calcestruzzo risulta particolarmente rovinato (affioramento dei ferri di armatura con disgregazione locale del materiale, ecc.) allora si rende necessario un preventivo intervento di ripristino della superficie con apposite malte speciali.
- Per pareti rivestite con malta di leganti idraulici (intonaco di calce e cemento) non ricoperta da pitture il rivestimento deve essere prima spazzolato e lavato accuratamente a pressione e, successivamente, controllato per tutta la superficie e picconato dove presenta delle crepe che devono essere stuccate.

La superficie deve essere infine lavata. Se l'intonaco è in cattivo stato di conservazione si deve procedere alla rimozione delle parti ammalorate in fase di distacco, e in seguito, si deve ripristinare la planarità della superficie con intonaco rustico;

- nel caso di pareti rivestite con malta di leganti idraulici (intonaco di calce e cemento) e ricoperte da vecchie pitture parzialmente scrostate si deve spazzolare e lavare con idropulitrice a pressione e acqua calda fino alla totale asportazione della tinta esistente. Se la pittura è in buono stato di conservazione si può trattare la superficie con un apposito fissante ed effettuare una prova di aderenza. Comunque, in tali casi è assoluta buona norma coadiuvare il fissaggio dei pannelli con l'utilizzo di tasselli.
- Nel caso di rivestimenti in piastrelle tipo grès, klinker, ceramica o pasta di vetro il rivestimento deve essere sondato per tutta la superficie al fine di individuare eventuali parti che suonino "vuote" e che devono essere rimosse e successivamente riempite con l'aiuto di malta cementizia. In seguito si devono abrasivare con sabbiatrice o idrosabbiatrice le superfici smaltate o vetrose del rivestimento per renderle leggermente porose e facilitare l'aggrappaggio del collante. Anche in tali casi è assoluta buona norma coadiuvare il fissaggio dei pannelli con l'utilizzo di tasselli.

6. Ciclo applicativo del sistema

Strato isolante

In questa sede lo strato isolante viene considerato insieme allo strato di incollaggio in considerazione del fatto che la loro posa avviene, di fatto, nello stesso istante.

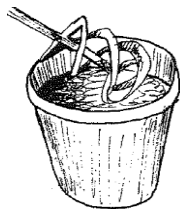
Malta adesiva

La malta che viene utilizzata per l'incollaggio dei pannelli al supporto è solitamente costituita da:

- un prodotto in pasta pronto all'uso o da additivare in cantiere con legante idraulico
- (oppure) da un prodotto in polvere da additivare con sostanze in fase acquosa con acqua

queste malte vengono fornite dal produttore del sistema, e la miscela deve essere sempre preparata seguendo scrupolosamente le specifiche indicazioni fornite dal produttore del sistema isolante in tema di dosaggio dei componenti.

La miscelazione deve essere eseguita con un miscelatore meccanico, preferibilmente ad azionamento elettrico, al fine di ottenere un prodotto omogeneo, senza grumi, bolle d'aria inglobata e senza zone secche. Dopo la miscelazione il prodotto ottenuto deve essere lasciato a riposo per un tempo limite in cui mantiene attiva la sua capacità. Prima dell'utilizzo vero e proprio è sempre opportuno, in special modo se il prodotto è stato preparato molto tempo prima della posa, verificare la presenza di parti secche o già indurite che devono essere eliminate dall'impasto.



Applicazione sulla superficie dei pannelli isolanti:

- *per punti*: questo tipo di incollaggio, che presenta le stesse caratteristiche di quello a strisce per quanto riguarda la capacità di compensare piccole carenze di planarità del supporto, si effettua posizionando sulla superficie del pannello una serie di placche di diametro pari a circa 8 cm. Le placche devono essere posizionate in numero di 14-16 per ogni pannello.



In generale, per qualsiasi tipo di incollaggio adottato, occorre adottare alcune precauzioni come:

- non applicare mai la malta sul contorno del pannello per evitare problemi di insufficiente accostamento dei pannelli;
- osservare sempre scrupolosamente il quantitativo di collante previsto dal produttore del sistema ed espresso in Kg/m^2 .

Pannelli isolanti

Il materiale isolante deve presentarsi in forma di pannello con superfici regolari e con adeguate caratteristiche di resistenza meccanica.

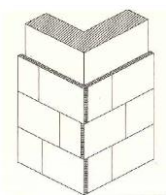
Le caratteristiche del materiale EPS scelto devono essere valutate in funzione delle prestazioni che deve fornire e che sono, ovviamente, quelle di risparmio energetico, di sicurezza in caso di incendio, di non nocività. Le caratteristiche proprie del materiale isolante devono essere dichiarate dal produttore e conformi al capitolato del cappotto, e comunque devono corrispondere alle normative UNI vigenti per ogni singolo materiale.

Dal punto di vista operativo occorre sempre seguire le indicazioni del produttore del sistema per quanto riguarda il corretto stoccaggio in cantiere del materiale proteggendolo dalle intemperie e da eventuali danneggiamenti meccanici. La posa dei pannelli, da effettuare sempre dal basso verso l'alto, deve essere preceduta dal posizionamento di un apposito elemento di supporto o "profilo di partenza" da posizionare in bolla con tasselli ad espansione.



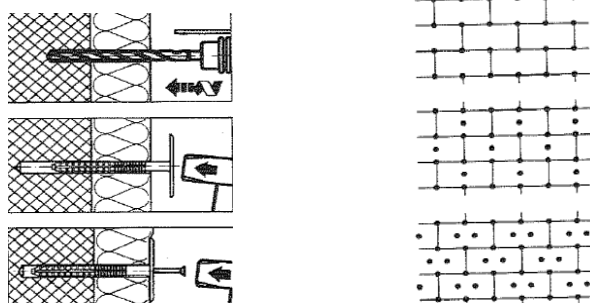
I pannelli vanno applicati subito dopo aver posizionato il collante e devono essere attaccati al supporto mantenendo il lato lungo del pannello stesso in posizione orizzontale. La posa va effettuata a giunti verticali sfalsati (come per le murature di mattoni) e i pannelli devono essere compressi al supporto mediante un frattazzo evitando di utilizzare direttamente le mani per questa operazione.

E' opportuno controllare con una certa frequenza la planarità del sistema durante la posa, e per tale operazione si può utilizzare una staggia. La posa deve essere effettuata in maniera tale da evitare la presenza di fessure tra i giunti. Eventuali aperture vanno chiuse con pezzi di isolante opportunamente sagomati. E' fondamentale che tra pannello e pannello non ci siano dislivelli $\geq 0,5$ mm. nel caso si dovrà operare con raschiatura per ripianare il dislivello stesso.



Tasselli

In aggiunta, ma non in alternativa all'incollaggio, può essere previsto un fissaggio meccanico dei pannelli con appositi tasselli costituiti da un disco e da un gambo. Il disco ha la funzione di pressare l'isolante contro il supporto senza danneggiarlo per punzonamento mentre il gambo è l'elemento che deve garantire la presa al supporto. L'utilizzo dei tasselli dipende in linea di massima dal tipo di sistema adottato ma si può rendere particolarmente utile in presenza di supporti che presentano in superficie uno strato di rivestimento in cattive condizioni sul supporto "strutturale"; in questo caso la tassellatura aggiuntiva permette di evitare possibili sfaldamenti tra lo strato strutturale e il rivestimento esistente, con conseguenti danneggiamenti del sistema di isolamento a cappotto. Per quanto riguarda il tempo di posa della tassellatura è necessario attenersi alle specifiche del sistema adottato che devono essere fornite dal produttore: si può andare da una attesa di 24 ore a una posa immediata in concomitanza con l'incollaggio. Il numero e la tipologia di tasselli dipendono dalle caratteristiche del supporto e da quelle del sistema e ci si deve attenere alle indicazioni del fornitore (comunque devono essere minimo 4 al m²).



I tasselli andranno inseriti in ogni giunto di lastra, ed eventualmente, per rinforzare il fissaggio, aggiungendone 1 o 2 al centro.

Subito dopo la posa dei pannelli, e prima della realizzazione dello strato di rasatura, si devono applicare gli elementi di rinforzo in corrispondenza degli spigoli; questi elementi (metallici) non devono essere applicati mediante tasselli o chiodi ma devono essere incollati all'isolante utilizzando la malta adesiva, premendoli contro lo spigolo e facendo defluire l'adesivo in eccesso all'esterno, attraverso i fori già predisposti nel profilo.

Strato di rasatura (o strato di intonaco sottile armato)

Lo strato di rasatura è costituito sostanzialmente da due elementi fondamentali:

- la malta rasante; applicata in una o più riprese è il prodotto che deve proteggere il pannello isolante dalle azioni atmosferiche e, in associazione con la rete di armatura, deve realizzare uno strato monolitico per resistere alle azioni meccaniche che agiscono sul sistema (urti, vento, movimenti di origine termica)
- la rete di armatura; deve assorbire e distribuire le sollecitazioni provocate dal ritiro della malta rasante durante l'essiccazione e le sollecitazioni trasmesse dall'isolante alla malta indurita in conseguenza di movimenti provocati da variazioni di temperatura e di umidità. La ripartizione delle sollecitazioni su tutta la superficie della malta evita la concentrazione degli sforzi e la conseguente formazione di fessurazioni.

La malta rasante viene fornita dal produttore del sistema che indica anche le modalità da seguire per una corretta preparazione del prodotto e per la sua messa in opera. In linea generale le malte rasanti vengono classificate in due categorie:

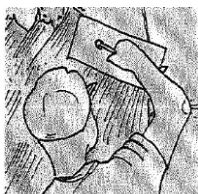
- prodotti in pasta pronti all'uso da additivare in cantiere con legante idraulico;
- prodotti in polvere da additivare con sostanze in fase acquosa o con acqua.

Spesso la malta di rasatura coincide con lo stesso prodotto utilizzato per l'incollaggio dei pannelli e, di conseguenza, per la sua preparazione vale quanto già detto per lo strato di incollaggio.

L'applicazione della malta di rasatura deve essere effettuata solo dopo la completa asciugatura dello strato di collante, si deve quindi verificare tale situazione soprattutto in caso di periodi di posa fre-

schii e umidi; il tempo da lasciare tra la posa dei pannelli e la rasatura può quindi variare mediamente da un minimo di due ad un massimo di dieci giorni.

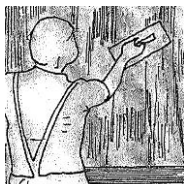
La malta rasante viene applicata con una spatola liscia in acciaio per uno spessore uniforme di circa 2 mm. seguendo le indicazioni fornite dal produttore del sistema (kg di malta al m² di parete). Dopo la formazione dello strato (omogeneo e uniforme) di malta rasante si procederà alla posa della rete di armatura che viene annegata nello strato di malta in maniera completa fino alla sua scomparsa; in questa fase non deve essere asportato alcun quantitativo di rasatura ma si deve eventualmente procedere ad una sua uniforme redistribuzione sulla superficie.



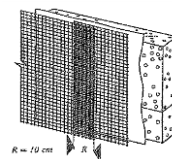
L'armatura, che viene annegata nello strato di rasatura è generalmente costituita da una rete di vetro a maglia quadrata e può essere:

- *armatura normale*: rete in filo di vetro del peso superficiale di circa 150 g/m². Questa armatura viene utilizzata normalmente per le parti della facciata che non sono soggette a azioni meccaniche particolari.
- *armatura rinforzata*: rete di vetro semirigida del peso di circa 300 g/m² che viene utilizzata in situazioni di utilizzo gravose (ad esempio un basamento di un fabbricato in prossimità di una zona a traffico veicolare) in cui è richiesta una prestazione di resistenza meccanica del sistema superiore al normale.

L'armatura normale, che è commercializzata in forma di rotoli, viene posata in verticale annegandola con l'ausilio di una spatola e prevedendo un sormonto tra le strisce adiacenti di almeno 10 cm; è importante in questa fase che la rete sia posata con attenzione e cura, al fine di evitare la formazione di bolle o pieghe che non devono essere assolutamente eliminate ricorrendo al taglio della rete stessa.



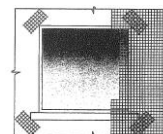
In corrispondenza degli spigoli la rete non deve essere tagliata ma si deve prevedere un risvolto con una sovrapposizione di almeno 10 cm. (solo utilizzando l'armatura rinforzata semirigida è consentita la posa a "spigolo vivo" dell'armatura).



In corrispondenza delle aperture delle finestre si deve prevedere un rinforzo aggiuntivo dell'armatura posizionando dei pezzi di rete (dimensioni di circa 35x20 cm) in direzione obliqua rispetto alle aperture al fine di evitare la formazione di fessurazioni in corrispondenza degli spigoli dove si concentrano gli sforzi del sistema.

Per i basamenti che non siano adiacenti a zone di traffico o soggetti ad azioni meccaniche particolari (ad esempio nel caso di villette) al posto dell'armatura rinforzata si può prevedere la posa di un doppio strato di armatura normale.

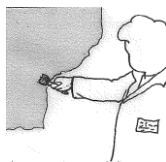
Dopo aver terminato la fase di posa della rete di armatura e prima che la malta di rasatura si asciughi, può essere realizzato, qualora le condizioni lo rendessero necessario, un ulteriore strato di rasatura per regolarizzare la superficie e renderla il più possibile liscia.



Strato di finitura

La realizzazione dello strato di finitura rappresenta la fase finale del lavoro ed è, soprattutto,

la fase che contribuisce a rendere il sistema resistente agli agenti atmosferici (vento, sole, acqua, ...) e gradevole all'aspetto (colore, brillantezza). Occorre però che lo strato di rasatura sia completamente asciutto prima di iniziare la finitura; il periodo di asciugatura del sottofondo può durare da alcuni giorni a diverse settimane. Prima della posa del rivestimento finale può essere necessario, se espressamente richiesto dalle modalità di realizzazione del sistema, applicare uno strato di pittura o vernice di fondo (primer) la cui funzione essenziale è quella di garantire una adeguata adesione del rivestimento di finitura allo strato sottile di rasatura armata precedentemente realizzato.



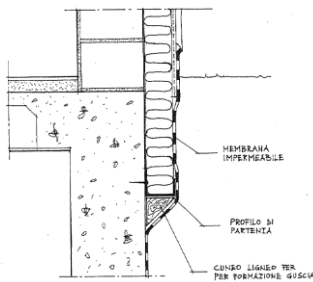
L'applicazione dei prodotti di fondo viene effettuata in maniera tradizionale utilizzando attrezzi quali pennello e rullo o mediante applicazione a spruzzo rispettando le indicazioni del produttore del sistema sia per i tempi sia per le quantità da utilizzare al metro quadrato.



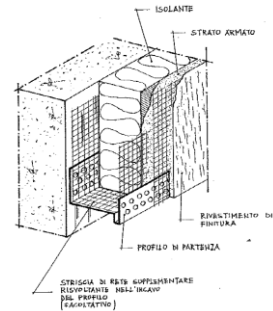
Per la realizzazione dello strato di finitura si utilizza solitamente l'applicazione a spatola in ragione della migliore capacità di eliminare e compensare eventuali difetti di regolarità dello strato di rasatura. Anche per questo strato risulta di fondamentale importanza il pieno rispetto delle indicazioni e istruzioni fornite dalla scheda tecnica del sistema sia per quanto riguarda i tempi, sia per quanto riguarda i metodi e le quantità da utilizzare; il rispetto delle indicazioni permetterà di assicurare in maniera completa tutte le importanti prestazioni che il sistema è in grado di fornire. In accordo con il progettista e la direzione dei lavori deve essere effettuata la scelta della tonalità di colore da utilizzare per la finitura; questa scelta per il sistema di isolamento a cappotto risulta molto importante non solo, come solitamente si pensa, dal punto di vista estetico ma soprattutto dal punto di vista funzionale. L'irraggiamento solare durante la stagione estiva può infatti portare, se il colore della superficie è molto scuro, al raggiungimento di temperature superficiali molto elevate, dell'ordine dei 70°C; il calore assorbito dalla superficie scura infatti non viene trasmesso all'interno della parete proprio per la presenza dello strato isolante a diretto contatto e, di conseguenza, la superficie dell'intonaco raggiunge temperature molto elevate. Per evitare il raggiungimento di temperature superficiali troppo elevate, che potrebbero danneggiare la funzionalità dell'isolante e del suo rivestimento esterno, si consiglia dunque di adottare su superfici esposte al sole dei colori sufficientemente chiari. Si consiglia inoltre di evitare, sempre su superfici particolarmente esposte al sole, i forti contrasti dovuti all'accostamento di colori chiari vicino a colori molto scuri poiché le differenti temperature superficiali che si raggiungerebbero in zone adiacenti porterebbero a movimenti differenziali di origine termica molto accentuati con la formazione di numerose fessure.

8. Sigillature e profili di protezione

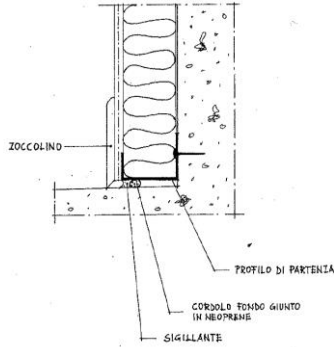
Al fine di impedire il passaggio di acqua meteorica, aria o polvere nei giunti di interconnessione tra il sistema a cappotto a altre parti o elementi dell'edificio si dovrà provvedere alla "protezione" con manufatti metallici (alluminio preverniciato o acciaio inox) o con opportuni sigillanti (siliconici o acrilici). Vengono di seguito riportati alcuni schemi di queste particolari situazioni con le relative soluzioni applicative.



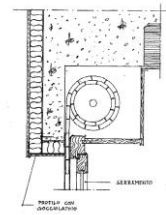
Isolamento interrato: sezione verticale



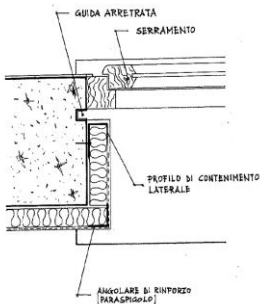
Profilo di partenza: assometria



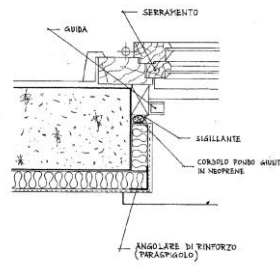
Zoccolatura su balconi: sezione verticale



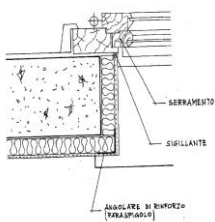
Cassonetto con voltino isolato: sezione verticale



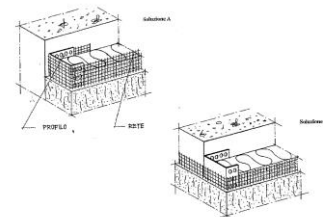
Spalla finestra con guida scorrimento avvolgibile arretrata: sezione orizzontale



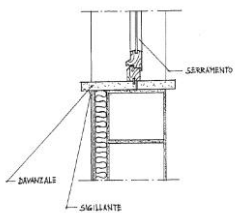
Spalla finestra con guida scorrimento avvolgibile avanzata: sezione orizzontale



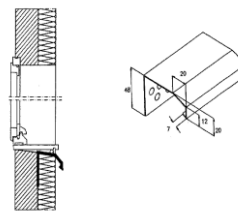
Spalla finestra senza guida scorrimento: sezione orizzontale



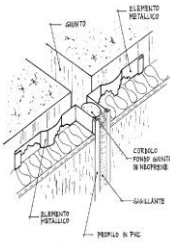
Profilo contenimento laterale vano finestra: assometrie



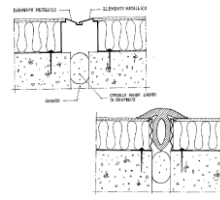
Davanzale finestra: sezione verticale



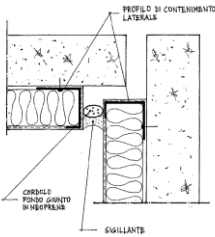
Davanzale finestra con scatolato protettivo: sezione verticale



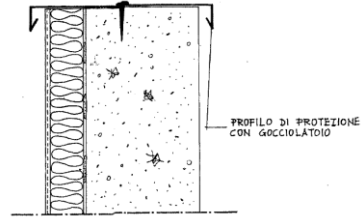
Giunto di dilatazione con profilo composito: Assonometria



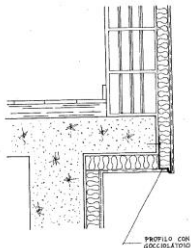
Giunto di dilatazione con profilo metallico, giunto di dilatazione con profilo elastico plastico: sezioni orizzontali



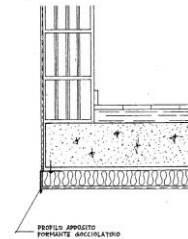
Giunto di dilatazione d'angolo: sezione orizzontale



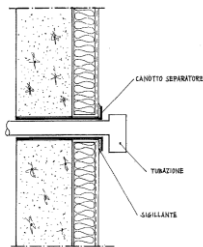
Testata parapetti e muri di contenimento: sezione orizzontale



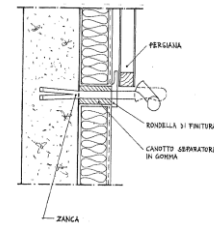
Piano piloti: sezione verticale



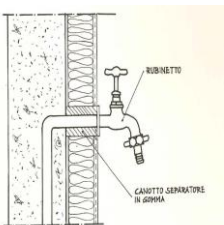
Piano piloti: isolamento del solo plafone sezione verticale



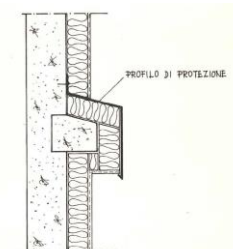
Preso d'aria con tubazione: sezione verticale



Battente (ferma-persiane): sezione verticale



Rubinetto: sezione verticale



Fascia marcapiano: sezione verticale

3.

La condensa nella massa dei tamponamenti perimetrali esterni

1. Il fenomeno della diffusione del vapore acqueo

Le differenze di temperatura, di umidità relativa e quindi di pressione di vapore determinano un movimento di vapore nella direzione delle pressioni decrescenti (diffusione).

Il vapore acqueo migra dall'ambiente a pressione parziale maggiore (generalmente a temperatura superiore) all'ambiente a pressione minore (generalmente a temperatura inferiore), filtrando attraverso la parete divisoria. La maggior parte dei materiali isolanti e da costruzione sono più o meno permeabili al vapore acqueo a seconda della loro porosità.

La temperatura e quindi la pressione di saturazione decrescono lungo lo spessore della parete nel senso che va dall'ambiente più caldo a quello più freddo.

Avviene allora che se la pressione di saturazione all'interno della parete si abbassa in qualche punto fino a raggiungere il valore della pressione parziale di vapore esistente nella parete stessa si ha formazione di condensa sulla o sulle superfici verticali isoterme corrispondenti e nella fascia di parete fra esse comprese.

Nell'attraversare una parete multistrato la corrente di vapore incontra strati caratterizzati da una resistenza che è direttamente proporzionale non solo allo spessore della parete, ma anche alle sue caratteristiche di impermeabilità.

Attraversando vari strati di resistenza R_v la pressione del vapore decresce in modo diverso divenendo, in determinate circostanze, maggiore di quella di saturazione.

Se il valore della pressione del vapore risulta superiore o pari a quello della pressione di saturazione si ha formazione di condensa.

Nel campo di temperature che prevalentemente interessano l'edilizia (fino a circa 40 °C) la diffusione del vapore attraverso un setto piano (parete, solaio ecc.) può essere calcolata mediante una relazione analitica che è formalmente simile a quella relativa alla propagazione dell'energia termica attraverso una parete piana in regime termico stazionario e monodimensionale.

Il flusso di vapore che attraversa l'unità di superficie di una parete è quantizzabile con una legge del tipo

$$\frac{G}{A} = \left(\frac{1}{\beta_i} + \epsilon \frac{1}{\mu_j} + \frac{1}{\beta_e} \right)^{-1} \times (p_i - p_e) \quad [\text{g/hm}^2]$$

dove:

G	portata di vapore acqueo (g/h)
A	superficie interessata dal fenomeno (m ²)
$p_i - p_e$	differenza di pressione del vapore tra interno ed esterno (Pa)
β_i e β_e	coefficienti di adduzione superficiale del vapore all'interno e all'esterno (g/hm ² Pa)
μ_j	permeanza dei singoli strati costituenti la parete (g/hm ² Pa)

Il simbolo μ indica il coefficiente di resistenza al passaggio del vapore definito come il rapporto tra la permeabilità del materiale considerato e dell'aria.

I RISCHI DELLA FORMAZIONE DI CONDENSA

- Raggiungimento di elevati valori di U.R. sul lato interno dell'involucro edilizio

RISCHIO



CONDENSA SUPERFICIALE

- Bassa temperatura all'interno delle strutture perimetrali

RISCHIO



CONDENSA INTERSTIZIALE

Alcune regole di validità generale

1. Posizionare gli strati di materiale con maggior resistenza termica dall'esterno verso l'interno (isolamento a cappotto);
2. Posizionare gli strati di materiale con maggior resistenza al passaggio di vapore dall'interno verso l'esterno lato caldo);
3. Evitare il ricorso alle barriere vapore (cercare prima di correggere la posizione degli strati); altrimenti disporre la b.v. a monte dell'isolante termico;
4. Le coperture con guaina di impermeabilizzazione devono essere dotate di b.v. verso il lato caldo con resistenza al passaggio di vapore da 5 a 7 volte maggiore di quella della guaina;
5. La resistenza termica degli strati sottostanti la b.v. non deve superare il 20% della resistenza termica globale.

CARATTERISTICHE IGROMETRICHE

- **Permeabilità δ [kg/msPa]** \Rightarrow attitudine a trasmettere per diffusione il vapor d'acqua contenuto nell'aria
- **Resistenza al flusso di vapore $z_v = d/\delta$ [sm²Pa/kg]** \Rightarrow si ottiene come rapporto tra lo spessore d dello strato e la permeabilità del materiale
- **Coefficiente di resistenza al passaggio del vapore $\mu = \delta_p^{aria}/\delta_{mat}$**
 \Rightarrow Resistenza al passaggio del vapore riferita all'aria; il fatto di essere adimensionale semplifica i calcoli
- **Spessore equivalente d'aria $s_d = \mu \cdot d$ (m)** \Rightarrow spessore d'aria avente la stessa resistenza alla diffusione del vapore del materiale con spessore d (m); consente la verifica grafica
- **Per strati d'aria** (intercapedini) si assume $s_d = 0,01$ m.

TRASMISSIONE DEL VAPORE

Analogia con la trasmissione del calore

“Legge di Fourier” Trasmissione del calore	“Legge di Fick” Trasmissione del vapore
$t_i > t_e$	$p_i > p_e$
λ (J/smK)	δ (kg/smPa)
$R_t = s/\lambda$ (m ² s K /J)	$z_v = s/\delta$ (m ² s Pa/kg)
$Q = (t_i - t_e) / R_t$ (J/m ² s)	$g = (p_i - p_e)/z_{vt}$ (kg/m ² s)
$T_n = T_{n-1} - Q \cdot R_n$	$P_n = P_{n-1} - g \cdot z_v$

Il gradiente di pressione

La portata in massa di vapore acqueo che si diffonde in un materiale poroso in una certa direzione è proporzionale al

gradiente di pressione parziale del vapore nella direzione normale a quella considerata.

$$q = - \lambda \text{ grad } T \quad g = \delta \text{ grad } P$$

$$g = \delta_p^{\text{aria}} \frac{(p_i - p_e)}{\sum S_d} \quad (\text{Kg/m}^2\text{s})$$

Coefficiente di resistenza al passaggio del vapore

$$\mu = \delta_p^{\text{aria}}/\delta_{\text{materiale}}; \quad S_d = \mu \cdot d; \quad \delta_{\text{aria}} \sim 200 \cdot 10^{-12} \quad (\text{kg/smPa})$$

MATERIALE	δ (kg/smPa)	μ
Fibre di vetro	150,00 10^{-12}	1,3
Laterizi (densità 600 kg/m³)	37,5 10^{-12}	5
Laterizi (densità 2000 kg/m³)	18,75 10^{-12}	10
Intonaco tradizionale	18,75 10^{-12}	10
Intonaco plastico	1,25 10^{-12}	150
Calcestruzzo (densità 1600 kg /m³)	9,38 10^{-12}	20
Calcestruzzo (densità 2400 kg /m³)	1,88 10^{-12}	100
Calcestruzzo cellulare (densità 400 kg /m³)	31,25 10^{-12}	6
Calcestruzzo cellulare (densità 800 kg /m³)	18,75 10^{-12}	10
Polistirene espanso (densità 30 kg/m³)	3,13 10^{-12}	60
Polistirene estruso con pelle (densità 30 kg/m³)	1,042 10^{-12}	180
Poliuretano espanso	2,34 10^{-12}	80
Bitume	9,38 10^{-12}	20000
Foglio di alluminio (spessore 0,025-0,05 mm)	268 10^{-18}	700000

REQUISITI DI IDONEITA'

$$1. Q_{\text{condensa}} + Q_{\text{evaporata}} \leq 0$$

2. $Q_{\text{condensa}} \leq Q_{\text{ammissibile}}$

3. in ogni caso $Q_{\text{ammissibile}} \leq 500 \text{ g/m}^2$

Quantità limite di condensa ammissibile alla fine del periodo di condensazione

Materiale	Densità (Kg/m ³)	Q _{amm} (g/m ²)
Laterizi	600 – 2000	≤ 500
Calcestruzzi	400 – 2400	≤ 500
Legnami e derivati	500 - 800	≤ 30 pd
Intonaci e malte	600 – 2000	≤ 30 pd
Fibre di natura organica:		
con collanti resistenti all'acqua	300 – 700	≤ 20 pd
con collanti non resistenti all'acqua	300 – 700	≤ 5 pd
Fibre minerali	10 -150	≤ 5000 pd ($\lambda/(1 - 1,7\lambda)$)
Materie plastiche cellulari	10 - 80	≤ 5000 pd ($\lambda/(1 - 1,7\lambda)$)

DIAGRAMMA DI GLASER
Metodo grafico

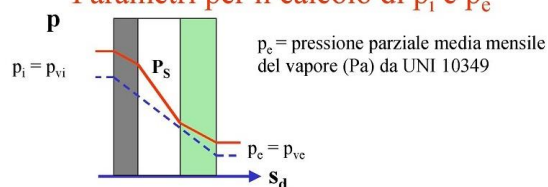
Temperatura interna

Per edifici destinati ad abitazione e simili, in assenza di più specifiche informazioni, si adottano i seguenti valori di temperatura interna:

$t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ nei mesi in cui è in funzione l'impianto di riscaldamento;
 $t_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ nei mesi in cui l'impianto di riscaldamento non è in funzione, ma la temperatura esterna media mensile è $< 18 \text{ }^\circ\text{C}$;

$t_i = t_e$ nei mesi in cui la temperatura esterna media mensile è $\geq 18 \text{ }^\circ\text{C}$.
 Per edifici destinati ad altri utilizzi la temperatura interna deve essere valutata caso per caso, coerentemente con le condizioni d'uso prevedibili o accertabili.

Parametri per il calcolo di p_i e p_e

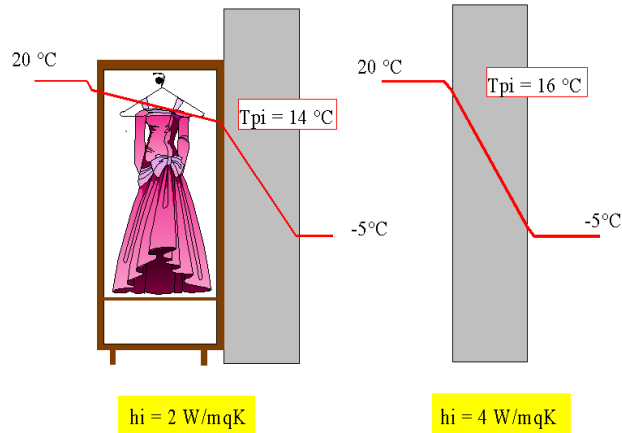


$$p_i = p_e + \Delta p \quad \Delta p = \Delta^* p \cdot 1,25 \quad 1,25 \text{ coeff. cautelativo}$$

$$\Delta^* p = G \cdot Rv \cdot T / (n \cdot V) \quad V = \text{volume ambiente (m}^3) \quad T = \text{temp. Aria interna}$$

Dove: G = produzione interna di vapore (kg/h)
 $n = 0,2 + 0,04 T_e$ ricambi d'aria orari (h^{-1}) T_e temp. Aria esterna
 per $T_e \leq 0$ si assume $n = 0,2$
 Rv = costante del vapore ($462 \text{ Pa m}^3/\text{kgK}$)

Coefficienti liminari h_i



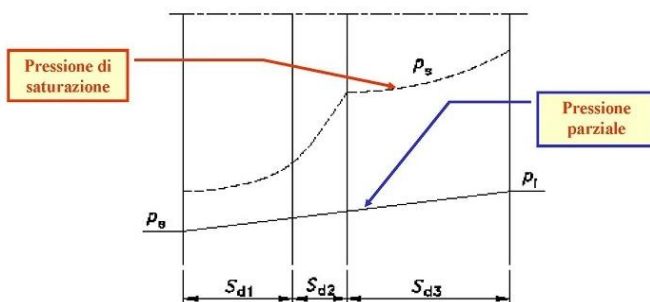
Verifica del rischio di condensa superficiale

Procedimento di calcolo

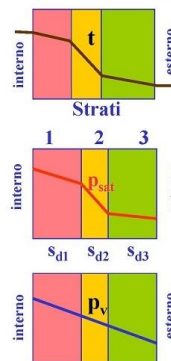
Si definiscono le necessarie proprietà dei materiali e i coefficienti superficiali e le temperature interna ed esterna e l'umidità relativa. Si calcola lo spessore s_d di ogni singolo strato della struttura e si eseguono i calcoli seguenti per ciascun mese dell'anno a partire dal mese di ottobre:

- si calcola il profilo di temperatura attraverso la sezione trasversale del componente edilizio;
- si calcola il profilo della **pressione di saturazione p_s** del vapore in funzione della temperatura;
- si disegna una sezione trasversale della struttura edilizia sostituendo gli spessori effettivi dei materiali con gli spessori equivalenti di ogni strato s_d e si riporta il profilo di p_v del vapore come un segmento di retta tra il valore interno e quello esterno. Se le rette di p_s e p_v si incrociano si ha condensa altrimenti no.
- mese per mese si calcola la quantità di condensa o di acqua evaporata e alla fine si esprime il giudizio di idoneità.

Diffusione di vapore in struttura multistrato senza condensatione



Procedimento di calcolo



•Andamento della temperatura:

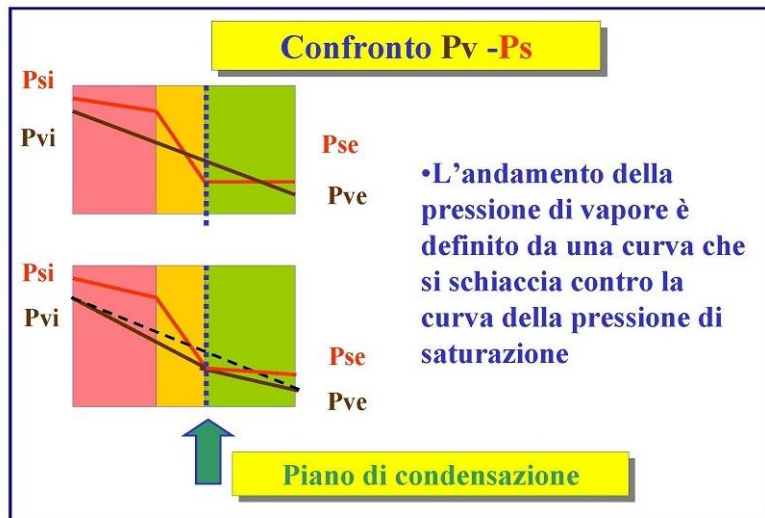
$$t_n = t_{n-1} - (t_i - t_e) R_i / R_t$$

•Andamento della pressione di saturazione:

$$p_{sat} = f(t_n)$$

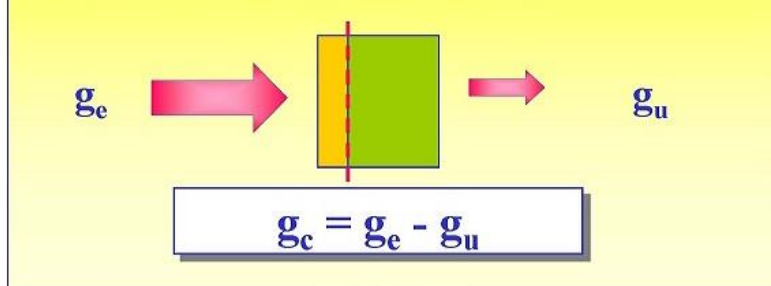
•Andamento della pressione di vapore:

$$p_{vn} = p_{vn-1} - (p_i - p_e) z_{vi} / z_{vt} \\ = p_{vn-1} - g \cdot s_{dn} / \delta_p^{aria}$$



CONDENSA ACCUMULATA

- Noto il valore della pressione di vapore nel piano di condensazione calcolo le portate di vapore entranti g_e ed uscenti g_u



Calcolo della portata di vapore condensata

$$g_{vu} = \delta_p^{aria} \left(\frac{p_c - p_e}{s_{d1}} \right)$$

$$g_{ve} = \delta_p^{aria} \left(\frac{p_1 - p_c}{s_{d2} + s_{d3}} \right)$$

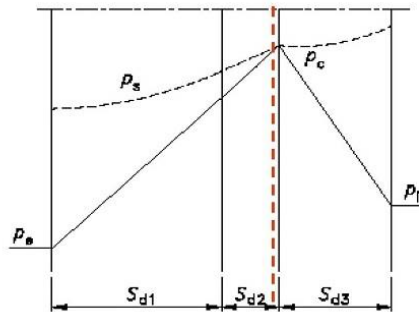
Zona di condensa

$$s_{di} = \delta_p^{aria} \cdot d_i / \delta_i = \delta_p^{aria} \cdot z_{vi}$$

$$g_{cond} = \delta_p^{aria} \left(\frac{p_1 - p_c}{s_{d2} + s_{d3}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d1}} \right) \quad g_{cmensile} = g_{cond} \cdot t \quad (\text{kg/m}^2)$$

$t = n^\circ$ di secondi nel mese

Calcolo della portata di vapore evaporata

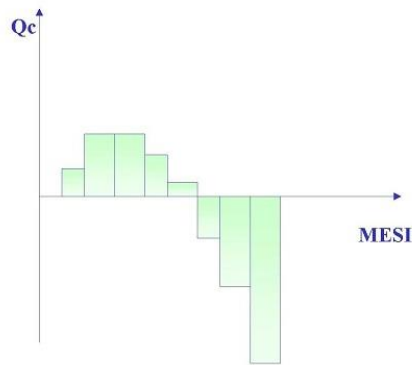


$$g_{\text{evap}} = \delta_p^{\text{aria}} \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d3}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d1} + s_{d2}} \right)$$

Nota Le espressioni che rappresentano il flusso di acqua evaporata e condensata sono le stesse. Per convenzione si ha condensazione se il risultato dell'espressione è positivo, altrimenti, se è negativo, si ha evaporazione.

Valutazione della quantità di condensa accumulata

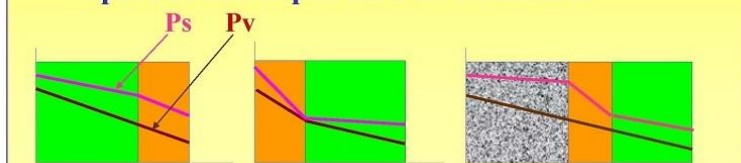
MESE	Qc/e
ott	0
nov	0,03
dic	0,06
gen	0,06
feb	0,04
mar	0,01
apr	-0,05
mag	-0,1
giu	-0,14
lug	0
ago	0
set	0



$Q_t = -0,09 < 0$ la condensa è evaporata

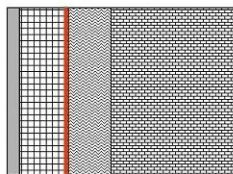
CRITERI D'INTERVENTO

- Disposizione verso il lato esterno degli strati a maggiore resistenza termica
- Disposizione verso il lato interno degli strati a maggiore resistenza al passaggio del vapore
- Disposizione verso l'interno di uno strato barriera vapore se non si può fare diversamente



Esercizio con eliminazione di condensa

b.v.



- 1 - intonaco $\lambda_1 = 0,9$ $d = 1$ cm $\delta = 18 \cdot 10^{-12}$ $s_{d1} = 0,11$ m
- 2 - forati $\lambda_2 = 0,5$ $d = 8$ cm $\delta = 27 \cdot 10^{-12}$ $s_{d2} = 0,56$ m
- b.vapore $d = 1$ mm $\delta = 0,0187 \cdot 10^{-12}$ $s_{d3} = 10,7$ m
- 4 - lana di vetro $\lambda_3 = 0,04$ $d = 5$ cm $\delta = 150 \cdot 10^{-12}$ $s_{d4} = 0,063$ m
- 5 - mattoni $\lambda_4 = 0,8$ $d = 30$ cm $\delta = 18 \cdot 10^{-12}$ $s_{d5} = 3,2$ m



Condizioni di progetto

$\Phi_i = 50\%$ $T_i = 20^\circ\text{C}$ $p_{s1} = 2336$ Pa $p_{vi} = 0,5 \cdot 2336 = 1168$

$\Phi_e = 90\%$ $T_e = 0^\circ\text{C}$ $p_{se} = 611$ Pa $p_{ve} = 0,9 \cdot 611 = 550$

$h_i = 8$ $h_e = 23$ $p_{vn} = p_{vn-1} - g \cdot s_{dn} / \delta_{paria}$

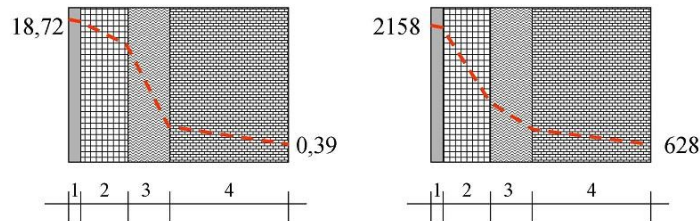
Valori di p_s in funzione di T

t °C	P _s mm Hg	P _s bar
-10	1,95	0,00256
-5	3,01	0,00396
0	4,58	0,00600
+2	5,29	0,00705
+4	6,10	0,00812
+6	7,01	0,00934
+8	8,05	0,01072
+10	9,21	0,01277
+12	10,05	0,01401
+14	12,00	0,01596
+16	13,60	0,01816
+18	15,50	0,02062
+20	17,50	0,02336
+22	19,80	0,02642
+24	22,40	0,02982
+26	25,30	0,03300
+28	28,40	0,03778
+30	31,80	0,04241
+32	35,30	0,04753
+34	39,50	0,05318
+36	44,20	0,05940

$$P_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,2699}{237,3+\sigma}} \quad \text{a temperature } \geq 0^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,8759}{265,5+\sigma}} \quad \text{a temperature } < 0^\circ\text{C}$$

Calcolo andamento di Temp. e p_s



T1= 18,72 °C	p _{s1} = 2158	s _{d1} = 0,11 m
T2= 18,60 °C	p _{s2} = 2142	s _{d2} = 0,56 m
T3= 16,97 °C	p _{s3} = 1933	s _{d3} = 0,063 m
T4= 4,22 °C	p _{s4} = 825	s _{d4} = 3,2 m
T5= 0,39 °C	p _{s5} = 628	

Calcolo andamento pressioni parziali

$$g_v = \delta_p^{aria} \frac{(p_1 - p_e)}{\sum s_d} = 200 \cdot 10^{-12} (1168 - 550) / (0,11 + 0,56 + 10,7 + 0,063 + 3,2)$$

$$g_v = 200 \cdot 10^{-12} (1168 - 550) / 14,63 = 0,84 \cdot 10^{-8}$$

$$p_{vn} = p_{vn-1} - (g_v s_{dn} / 0,02 \cdot 10^{-8})$$

$$p_{vi} = 1168 < p_{s1} = 2158$$

$$p_{v1} = 1168 - (0,84 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,11 / 0,02 \cdot 10^{-8} = 1163 < p_{s2} = 2142$$

$$p_{v2} = 1163 - (0,84 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,56 / 0,02 \cdot 10^{-8} = 1139 < p_{s3} = 1933$$

$$p_{bv} = 1139 - (0,84 \cdot 10^{-8}) \cdot 10,7 / 0,02 \cdot 10^{-8} = 690 < p_{s4} = 825$$

$$p_{v4} = 690 - (0,84 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,063 / 0,02 \cdot 10^{-8} = 687 < p_{s4} = 825$$

$$p_{v5} = 687 - (0,84 \cdot 10^{-8}) \cdot 3,2 / 0,02 \cdot 10^{-8} = 553 < p_{s5} = 628$$

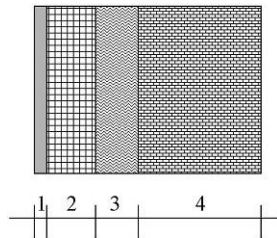
Calcolo g_c condensata

$$g_{\text{cond}} = \delta_p^{\text{aria}} [(p_i - p_c) / \sum s_{d1-c} - (p_c - p_e) / \sum s_{dc-e}]$$

$$g_{\text{cond}} = 200 \cdot 10^{-12} [(1168 - 825) / (0,11 + 0,56 + 0,063) - (825 - 550) / 3,2] = 7,64 \cdot 10^{-8} \text{ g/m}^2\text{s}$$

$$g_{\text{cond}} = 7,64 \cdot 10^{-8} \times 3600 \times 24 \text{ h} \times 30 \text{ giorni} = 0,2 \text{ g/m}^2$$

Esercizio con formazione di condensa



- 1 - intonaco $\lambda_1 = 0,9$ $d = 1 \text{ cm}$ $\delta = 18 \cdot 10^{-12}$ $s_{d1} = 0,11 \text{ m}$
- 2 - forati $\lambda_2 = 0,5$ $d = 8 \text{ cm}$ $\delta = 27 \cdot 10^{-12}$ $s_{d2} = 0,56 \text{ m}$
- 3 - lana di vetro $\lambda_3 = 0,04$ $d = 5 \text{ cm}$ $\delta = 150 \cdot 10^{-12}$ $s_{d3} = 0,063 \text{ m}$
- 4 - mattoni $\lambda_4 = 0,8$ $d = 30 \text{ cm}$ $\delta = 18 \cdot 10^{-12}$ $s_{d4} = 3,2 \text{ m}$

Calcolo s_{d1} intonaco: $\mu = 200/18 = 11$

$S_{d1} = 11 \cdot 0,01 \text{ m} = 0,11 \text{ m}$

Condizioni di progetto

$\Phi_i = 50\%$ $T_i = 20^\circ\text{C}$ $p_{s1} = 2336 \text{ Pa}$ $p_{vi} = 0,5 \cdot 2336 = 1168$

$\Phi_e = 90\%$ $T_e = 0^\circ\text{C}$ $p_{se} = 611 \text{ Pa}$ $p_{ve} = 0,9 \cdot 611 = 550$

$h_i = 8$ $h_e = 23$ $p_{vn} = p_{vn-1} - g \cdot s_{dn} / \delta_{paria}$

Calcolo andamento pressioni parziali

$$g_v = \delta_p^{\text{aria}} \frac{(p_i - p_e)}{\sum s_d} = 200 \cdot 10^{-12} (1168 - 550) / (0,11 + 0,56 + 0,063 + 3,2) = 3,2 \cdot 10^{-8}$$

$$p_{vn} = p_{vn-1} - (g_v s_{dn} / 0,02 \cdot 10^{-8})$$

$p_{v1} = 1168 < p_{s1} = 2158$

$p_{v2} = 1168 - (3,2 \cdot 10^{-8}) 0,11 / 0,02 \cdot 10^{-8} = 1152 < p_{s2} = 2142$

$p_{v3} = 1152 - (3,2 \cdot 10^{-8}) 0,56 / 0,02 \cdot 10^{-8} = 1062 < p_{s3} = 1933$

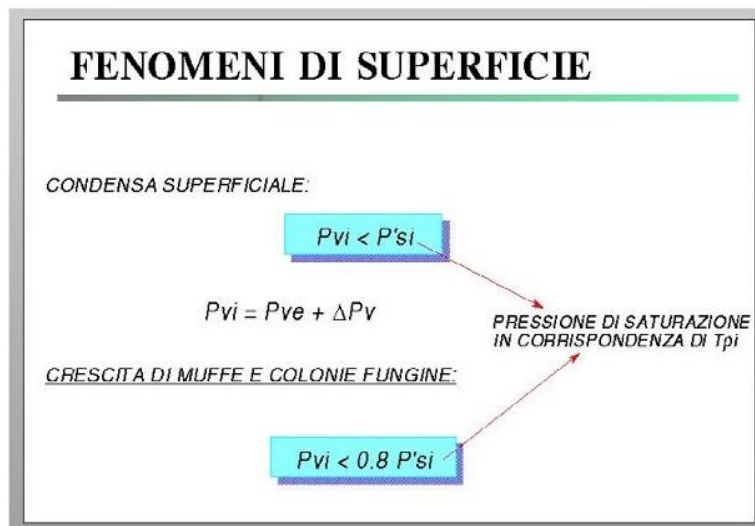
$p_{v4} = 1062 - (3,2 \cdot 10^{-8}) 0,063 / 0,02 \cdot 10^{-8} = 1052 > p_{s4} = p_c = 825$

$p_{v5} = 1052 - (3,2 \cdot 10^{-8}) 3,2 / 0,02 \cdot 10^{-8} = 550 < p_{s5} = 628$

strato	descrizione	T	p _s	P _v barriere vapore	p _v
	Aria interna	20	2338		
	Strato liminare	18,72	2158	1168	1168
1	intonaco	18,6	2142	1163	1152
2	forati	16,97	1933	1139	1062
2	b.v.	16,97	825	690	-
4	isolante	4,22	825	687	1052
5	Mattoni pieni	0,39	628	553	550
	Strato liminare	0	611	553	550
	Aria esterna	-	-	-	-

Condizione critica senza b.v. nello strato 4 con p_c = 825

CONDENSA SUPERFICIALE



FATTORE DI TEMPERATURA

fattore di temperatura in corrispondenza alla superficie interna, f_{Rsi} : Differenza tra la temperatura della superficie interna del componente o struttura edilizia (calcolata con una resistenza superficiale interna R_{si}) e dell'aria esterna, diviso per la differenza tra la temperatura dell'aria interna e dell'aria esterna:

$$f_{Rsi} = \frac{\vartheta_{si}^{\min} - \vartheta_e}{\vartheta_i - \vartheta_e}$$

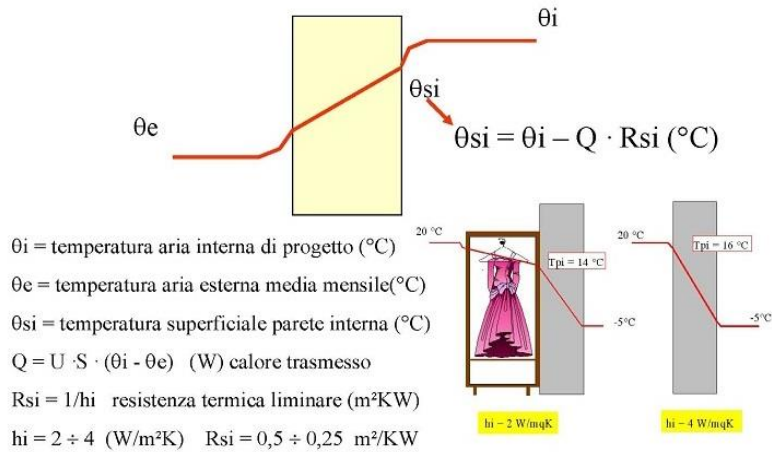
→ $f_{Rsi} \text{ (progetto)} > f_{Rsi}^{\max}$

f_{Rsi}^{\max} = valore max. mesi ottobre-aprile

R_t = resistenza termica parete

$$R_t \geq R_{si} / (1 - f_{Rsi}^{\max})$$

Fattore di temperatura



Con i limiti di legge non c'è il rischio di condensa superficiale

Tabella 2. Valori limite della trasmittanza termica utile U delle strutture componenti l'involucro edificio espressa in ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) - in vigore dal 14 marzo 2010

Zona climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali o inclinate		Chiusure apribili e assimilabili (**)
		Coperture	Pavimenti (*)	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

(*) Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno.

(**) Conformemente a quanto previsto all'articolo 4, comma 4, lettera c), del decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 che fissa il valore massimo della trasmittanza (U) delle chiusure apribili e assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi.

Il simbolo μ indica il coefficiente di resistenza al passaggio del vapore definito come il rapporto tra la resistenza del materiale considerato e la resistenza dell'aria, che varia fra un valore di $0,1425 \cdot 10^6$ alla temperatura di 30°C ed un valore di $0,1761 \cdot 10^6$ alla temperatura di -40°C ed è mediamente pari a $0,160 \cdot 10^6$ (Kg/m^2) h/Kg.

4.

Comportamento al fuoco dell'EPS e del sistema "Cappotto"

Sicurezza all'incendio degli edifici realizzati con EPS

Un incendio può iniziare e continuare ad ardere in presenza di tre fattori essenziali. Questi tre fattori, che costituiscono il triangolo del fuoco, sono: la disponibilità di un materiale combustibile, ossigeno ed energia di innesco. Normalmente, il materiale combustibile e l'ossigeno sono sempre disponibili. Il terzo fattore, l'energia di innesco, può essere fornito volontariamente o involontariamente, es. tramite una fiamma, scintilla, sigaretta o tramite corto circuito.

L'attività più importante è la "prevenzione" per evitare che gli incendi si inneschino e si propaghino. Limitare l'innesco di un incendio è possibile e servono semplici attenzioni per evitare danni enormi.

1. suddividere gli edifici in comparti omogenei e progettare gli spazi in modo da poter intervenire rapidamente
2. eseguire le opere di costruzione in modo professionale; l'esecuzione dei lavori con estrema superficialità e poca capacità ha causato i più importanti incendi nelle opere edili
3. Progettare edifici con carichi di incendio programmati in aree di facile accesso e con poche probabilità di interazione con gli utilizzatori
4. Eseguire le manutenzioni necessarie non solo relative agli elementi strutturali, ma anche agli impianti ed accessori
5. Per l'EPS vi sono tre clausole da rispettare:
 - usare sempre un materiale di rivestimento
 - curare le rifiniture, spigoli, giunti e collegamenti con materiali idonei
 - utilizzare sempre EPS autoestinguente

FASI DI COSTRUZIONE DI UN INCENDIO

Quando un edificio è usato quotidianamente a temperature normali c'è un equilibrio naturale fra materiale infiammabile e ossigeno. Comunque, quando il materiale infiammabile entra in contatto con una quantità di energia sufficiente, questo equilibrio è falsato. Si può innescare un incendio che passa attraverso un certo numero di fasi: innesco, crescita/sviluppo, pieno sviluppo ed estinzione.

I materiali solidi non bruciano direttamente, ma quando vengono riscaldati emanano gas combustibili. Sono i gas che bruciano. Nella prima fase di un incendio si sviluppano e si accumulano i gas combustibili, mentre la temperatura è ancora relativamente bassa. Dopo un certo periodo di tempo può verificarsi un rapido sviluppo dell'incendio: il flashover. Un numero di elementi sempre maggiore raggiunge la temperatura di ignizione; a questo punto la temperatura aumenta rapidamente da circa 100 °C fino a 750 °C. I gas accumulati si infiammano e l'incendio si estende all'intera stanza.

Dopo l'insorgenza di un flashover l'incendio raggiunge le sue piene dimensioni e un ulteriore sviluppo è limitato dalla disponibilità di ossigeno attraverso la ventilazione.

Se lo si lascia ardere, un incendio alla fine si spegnerà a causa della mancanza di materiale infiammabile. L'EPS inizia a rammollire ad una temperatura di circa 100 °C. In questa fase dell'incendio rimane pochissimo ossigeno e l'aria è tossica a causa di elevati livelli di anidride carbonica e monossido di carbonio. Durante la fase dello sviluppo rapido dell'incendio, il flashover, il legno sarà soggetto ad autoaccensione ad una temperatura di circa 340 °C, l'EPS a una temperatura di circa 450 °C.

CLASSIFICAZIONE AL FUOCO DELL'EPS

Dal maggio 2003, la marcatura CE di prodotti isolanti è obbligatoria secondo la Direttiva Prodotti da Costruzione (CPD). La marcatura CE può essere considerata come il "passaporto" per il libero commercio dei prodotti da costruzione all'interno dell'Unione Europea. Parte dell'etichetta CE è la dichiarazione della classificazione di reazione al fuoco del prodotto. Questa classificazione si applica al prodotto nudo quando viene immesso sul mercato. Per l'EPS nudo questa classificazione è l'Euroclasse D o E nel caso di materiali autoestinguenti e dell'Euroclasse F in caso di materiale non autoestinguente (che è spesso utilizzato per gli imballi). In realtà, questa classificazione ci dice poco della prestazione al fuoco dell'elemento da costruzione in cui viene usato il prodotto isolante.

Come la maggior parte dei materiali organici, la schiuma di polistirene è combustibile.

Comunque, in pratica, il suo comportamento al fuoco dipende dalle condizioni in cui viene usata, così come dalle proprietà insite nel materiale. Tali proprietà dipendono dal fatto che la schiuma sia fatta di materiale autoestinguente o no. La maggior parte dei prodotti isolanti in EPS è stata realizzata nel tipo autoestinguente per decenni, che si ottiene aggiungendo una piccolissima quantità (max 0,5%) di agente autoestinguente al materiale.

L'autoestinguente è polimerizzato nella struttura molecolare ed è insolubile in acqua, il che garantisce che non vi siano perdite di autoestinguente dal materiale nell'ambiente. Le ricerche mostrano che l'effetto autoestinguente rimane efficace per decenni.

Il comportamento al fuoco dell'EPS autoestinguente è notevolmente diverso dall'EPS non autoestinguente. Esposto al calore, l'EPS autoestinguente si ritira dalla fonte di calore. La probabilità di accensione del materiale è significativamente ridotta e scintille di saldatura o sigarette normalmente non lo infiammano.

Un altro effetto dell'autoestinguente è che i suoi prodotti di decomposizione provocano l'estinzione della fiamma: non appena la fonte di calore viene allontanata, la fiamma si estingue.

Si dovrebbe valutare la reazione al fuoco non sul materiale o sul prodotto, ma sull'elemento strutturale o sul livello di elemento da costruzione. Una regola di progettazione fondamentale con l'EPS e altri materiali isolanti è di non usare mai il materiale scoperto. Poiché l'EPS non dovrebbe essere mai il materiale che verrà a contatto col fuoco, la classificazione di reazione al fuoco del materiale o del prodotto nudo in EPS riveste solo un'importanza formale. Lo strato che determina realmente la reazione del comportamento al fuoco è lo strato superficiale della costruzione, che si troverà di fronte al fuoco e ricopre il materiale isolante in EPS. Utilizzando una combinazione di isolante in EPS e specifici strati di copertura è sempre possibile progettare una costruzione che soddisfi i requisiti al fuoco. Correttamente applicato e installato l'EPS non influenzerà l'insorgenza e lo sviluppo di un incendio in un edificio.

L'eccellente comportamento dell'EPS in ambito edilizio è stato confermato da studi recenti realizzati da AIPE ed EUMEPS. Testati in conformità alla EN 13501-1, i modelli di prova standardizzati dell'EPS coperto con gesso e acciaio danno come risultato finale una classificazione B-s₁d₀.

La parte di fumo di questa classificazione, la s₁, è la migliore possibile classificazione per una costruzione, il che significa che c'è poco o nessun apporto alla produzione di fumo. Di conseguenza si può concludere che quando l'EPS viene usato correttamente nelle applicazioni raccomandate non porta ad un aumento del rischio di fumo.

CALORE DI COMBUSTIONE

Come la maggior parte dei materiali organici, la schiuma di polistirene è combustibile. Il calore prodotto dal materiale che brucia è uno dei fattori che determina il tipo di sviluppo di un incendio. Ecco perché il carico d'incendio è spesso uno dei criteri presenti nelle normative e deve essere calcolato durante la fase di progettazione. Il valore calorifico dell'EPS per chilogrammo è di 40 MJ/Kg cioè due volte maggiore rispetto ai prodotti in legno con circa 20 MJ/Kg. Comunque il 98% del volume di EPS consiste di aria ad una densità di uso tipica di 15-20 Kg/m³, che ha come risultato un basso apporto al carico d'incendio totale.

L'EPS è vantaggioso anche paragonato ad altri materiali isolanti.

TOSSICITA' DEL FUMO DERIVANTE DA COMBUSTIONE DI EPS

La tossicità del fumo di combustione derivante da EPS è stata studiata da TNO nel 1980. I risultati hanno provato che l'EPS produce molto meno fumi tossici rispetto ai materiali naturali come legno, lana o sughero. L'EPS è un idrocarburo puro (C₈H₈) che si scompone in CO, CO₂ e H₂O.

L'influenza dell'autoestinguente utilizzato nell'EPS è molto limitata poiché si raggiunge l'effetto desiderato solo con un contenuto di carica dello 0,5%, mentre per altri materiali è necessario un contenuto fino al 30% di autoestinguente.

L'influenza dell'autoestinguente sulla tossicità è quindi minima nel caso dell'EPS.

Ricerche su vasta scala da APME secondo la DIN-53436 a temperature da 330 °C a 600 °C hanno provato anche che l'EPS autoestinguente produce meno fumi tossici rispetto ai materiali naturali senza gas come il cloro o il cianuro.

Nella tabella qui sotto Prager mostra che c'è poca differenza nell'apporto al carico d'incendio dei vari materiali isolanti se paragonati ad un uguale valore d'isolamento.

MATERIALE	Conducibilità termica λ (W/mK)	Densità ρ(Kg/m ³)	Calore di combustione H (MJ/Kg)	Carico d'incendio/m ³ Q _v (MJ/m ³)	Carico d'incendio/m ³ Valore R identico Q (ML/m ²)
EPS	0,035	20	39,6	792	92
XPS	0,040	32	39,6	1.267	169
MW	0,045	170	4,2	714	107

LA TOSSICITA' DEI FUMI PROVENIENTI DA EPS E DA ALCUNI MATERIALI "NATURALI"

CAMPIONE	Gas di fumo in un incendio	Frazioni emesse (v/v) in ppm a diverse temperature			
		300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
EPS (tipo standard)	Monossido di carbonio	50*	200*	400*	1.000**
	Stirene monomero	200	300	500	50
	Altri composti aromatici	Frazioni	10	30	10
	Bromuro di idrogeno	0	0	0	0
EPS-SE (tipo autoestinguente)	Monossido di carbonio	10*	50*	500*	1.000*
	Stirene monomero	50	100	500	50
	Altri composti aromatici	Frazioni	20	20	10
	Bromuro di idrogeno	10	15	13	11
Asse di legno	Monossido di carbonio	400*	6.000*	12.000*	15.000**
	Composti aromatici	-	-	-	300
Truciolato	Monossido di carbonio	14.000*	24.000**	59.000**	69.000**
	Composti aromatici	Frazioni	300	300	1.000
Sughero espanso	Monossido di carbonio	1.000*	3.000**	15.000**	29.000**
	Composti aromatici	Frazioni	200	1.000	1.000

Nota: le condizioni di prova specificate in DIN 53 436, tasso di flussi d'aria 1/h; 300 mmx15mm 20 mm campioni di prova paragonati a *brucia senza fiamma/arde **come fiamma – non identificato

Ricerca APME secondo DIN-53436

INFIAMMABILITA' DELL'EPS

Per espandere i granuli di polistirene durante la produzione dell'EPS fino a ottenere la nota struttura alveolare viene utilizzato un propellente privo di CFC detto pentano.

- L'applicazione a cui viene destinato un materiale da costruzione influisce sulle probabilità che tale materiale si infiammi e sulla propagazione del calore: sebbene la maggioranza dei

materiali da costruzione sia infiammabile, la possibilità che si sviluppi un incendio consistente dipende dalla presenza o meno di ossigeno.

- La potenziale infiammabilità di molti materiali da costruzione e isolamento in EPS viene ridotta al minimo dal tipo di applicazione a cui sono destinati: questi prodotti vengono infatti schermati da lastre di calcestruzzo, installati all'interno dei muri, collocati sotto il pavimento o nel terreno e risultano quindi particolarmente protetti.
- In caso di incendio, i gas emessi dall'EPS non sono sostanzialmente diversi da quelli liberati da altri materiali organici e hanno come componente primario l'anidride carbonica. Sebbene venga emesso anche monossido di carbonio, numerosi studi hanno dimostrato che i gas liberati dalla combustione rapida o lenta dell'EPS non sono più dannosi di quelli prodotti da materiali come il sughero o il legno.
- Qualora si verificasse un incendio, non sono necessarie misure particolari per il trattamento dei residui o dell'acqua utilizzata a scopo di spegnimento: entrambi possono essere smaltiti in normali installazioni municipali.
- L'EPS è disponibile anche a ritardata propagazione di fiamma, aumentando ulteriormente la protezione offerta durante l'installazione.

RECUPERO DI ENERGIA DALL'EPS

Il riciclaggio come metodo per la gestione degli scarti non è sempre attuabile, e a volte non è neppure consigliabile sotto un profilo ecologico. In questi casi, lo studio dei bilanci ecologici ha dimostrato che per numerose materie plastiche una combustione pulita con recupero di energia rappresenta una valida alternativa, in grado di ridurre la quantità di scarti destinata alla discarica. Dopo aver consentito un risparmio di combustibile grazie alle sue proprietà isolanti, l'EPS diventa quindi esso stesso un combustibile quando viene incenerito con conseguente recupero energetico.

GUIDA TECNICA "INCENDIO FACCIATE"

A completamento si riporta la sintesi della Guida tecnica in fasi di definizione da parte dei Vigili del Fuoco in merito al comportamento al fuoco di facciate.

COMPORAMENTO AL FUOCO DI FACCIATE

Guida Tecnica "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili"

Con lettera-circolare n°5043 del 15 aprile 2013 il Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Ministero dell'Interno ha approvato la nuova Guida Tecnica sul comportamento al fuoco delle facciate, revisando e sostituendo la prima versione pubblicata poco più di tre anni (riferimento lettera circolare 5643 del 31 marzo 2010).

La prima versione della Guida Tecnica prevedeva un periodo sperimentale di due anni (terminato formalmente il 31 marzo 2012) durante il quale è stato avviato un processo di revisione presso il gruppo di lavoro ministeriale competente per apportare modifiche e adattamenti coinvolgendo i comandi provinciali dei VF, l'industria nazionale delle facciate e i professionisti che si occupano specificamente di questa materia.

Considerando prioritario tutelare gli interessi del comparto industriale degli isolanti in EPS, AIPE ha avanzato alcune proposte di modifica e commenti volti a superare alcuni aspetti che "penalizzavano" il materiale isolante EPS.

Riportiamo di seguito gli aspetti salienti della nuova guida pubblicata e alleghiamo al presente documento il testo completo del nuovo provvedimento.

- L'applicazione della nuova Guida Tecnica, che sostituisce la precedente, continua a essere volontaria (per cui non è cogente e prescrittiva, seppur i VVFF ne raccomandano l'utilizzo).
- Come per la precedente, è da riferirsi a facciate di edifici con altezza antincendio > 12 m (ovvero nel caso in cui l'edificio abbia un'altezza antincendio maggiore di 12 m, l'intera facciata deve rispettare la guida tecnica se richiesta).

(Con "altezza antincendio" s'intende, praticamente, la quota, rispetto al suolo, del davanzale della finestra più alta di un edificio, come definito nel D.M. Int. 30/11/1983 n.339 "altezza massima misurata dal livello inferiore dell'apertura più alta dell'ultimo piano abitabile e/o agibile, escluse quelle dei vani tecnici, al livello del piano esterno più basso")

- Introduzione del concetto di KIT : (viene ripresa la definizione del CPR e meglio dettagliata)

Definizione "Kit": nell'accezione della Direttiva prodotti da costruzione (DPD) e nel nuovo Regolamento prodotti da costruzione, un kit è equivalente a un prodotto da costruzione. Un prodotto da costruzione è kit quando è costituito da una *serie di almeno 2 componenti separati che necessitano di essere uniti per essere installati permanentemente nelle opere (per es. per diventare un sistema assemblato)*. Per rientrare nello scopo del CPR, un kit deve soddisfare le seguenti condizioni:

- Il kit deve essere collocato sul mercato consentendo all'acquirente di comperarlo in un'unica transazione da un singolo fornitore;
- Il kit deve possedere le caratteristiche che consentono alle opere nelle quali è incorporato di soddisfare i requisiti essenziali, quando le opere sono soggette a regole che prevedano detti requisiti

Esistono due possibili tipi di kit: quelli in cui il numero e il tipo dei componenti sono predefiniti e rimangono costanti e quelli in cui il numero, il tipo e la disposizione dei componenti varia in relazione a specifiche applicazioni.

- **REQUISITI DI RESISTENZA AL FUOCO - Regole generali:**

- Requisiti non necessari per gli elementi di facciata che appartengono a compartimenti con C.I. ≤ 200 MJ/mq (con C.I. = carico d'incendio)
- Requisiti necessari per gli elementi di facciata che appartengono a compartimenti con C.I. > 200 MJ/mq (con C.I. = carico d'incendio)
- Requisiti non necessari se compartimenti con C.I. > 200 MJ/mq e presenza di un sistema spegnimento automatico

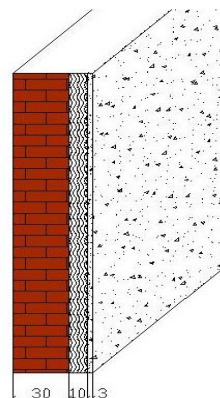
Introduzione del chiarimento secondo cui C.I. > 200 MJ/mq si riferisce al netto del materiale isolante (quindi il contributo dell'EPS non viene conteggiato e non concorre nel determinare il limite imposto di 200 MJ/mq)

- **REQUISITI DI REAZIONE AL FUOCO**

MATERIALI ISOLANTI

- Prodotti isolanti presenti in una facciata: B S3 d0 o migliore
- Nel caso in cui la funzione isolante della facciata sia garantita da un sistema commercializzato come kit, la classe di reazione al fuoco Bs3d0 è riferita al kit nelle sue condizioni finali di esercizio (come posto in opera)

Esempio applicazione CAPPOTTO
commercializzato come KIT:
kit in classe B s3 d0 (ovvero classe riferita al sistema KIT nella reale condizione di esercizio)

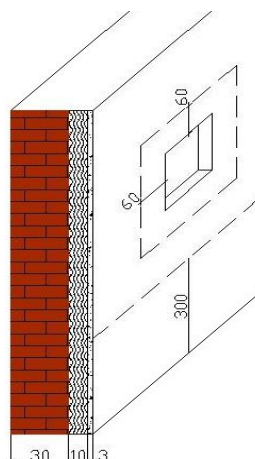


- I materiali isolanti, con esclusione di quelli posti a ridosso di vani finestra e porta-finestra per una fascia di larghezza di 60 cm e di quelli posti alla base della facciata fino a 3 metri fuori terra, possono non rispettare il requisito BS3d0 purché siano installati protetti, anche all'interno di intercapedini o cavità, secondo le indicazioni seguenti:

- Isolante in classe C S3 d2 se protezione almeno A2
- Isolante non inferiore a classe E se protezione almeno A1 con spessore minimo 15 mm
- Soluzioni protettive ulteriori possono essere adottate purché supportate da specifiche prove di reazione al fuoco su combinazione di prodotti (supporti, isolanti, protettivi) rappresentativi della situazione in pratica che garantiscano una classe non inferiore a B S3 d0

fascia di 60 cm attorno a porte e finestre
Bs3d0

3 m fuori terra alla base facciata B S₃ d0



- Limitatamente alle pareti verticali non ispezionabili (cioè con intercapedine < 60 cm) le protezioni sopra definite possono non essere applicate se la parete rispetta le prescrizioni di cui al punto 3.3 (Requisiti di Resistenza al fuoco e compartimentazione – Facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili)

“3.3 Requisiti di Resistenza al fuoco e compartimentazione – Facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili:

Nel caso di facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili con parete esterna chiusa, se l'intercapedine è dotata in corrispondenza di ogni vano per finestra e/o porta-finestra e in corrispondenza di ogni solaio di elementi di interruzione non combustibili e che si mantengono integri durante l'esposizione al fuoco, la parete interna deve obbedire alle stesse regole delle facciate semplici. Non sono richiesti gli elementi orizzontali di interruzione in corrispondenza dei solai se nell'intercapedine è presente esclusivamente materiale isolante classificato almeno Bs3d0 ovvero se la parete ha, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco EI30.”

ALTRI COMPONENTI DELLA FACCIATA

Per quanto riguarda gli altri componenti della facciata, se occupano più del 40% dell'intera superficie della facciata dovranno avere stessi requisiti di reazione al fuoco indicati per gli isolanti.

Per cui:

- ➔ Persiane, avvolgibili, scuri, frangisole e componenti: se occupano più del 40% della superficie della facciata: **B S3 d0**
- ➔ Telaio per finestre: **B S3 d0**

Per i vetri, non viene richiesta una specifica classe di reazione al fuoco.

ALLEGATO

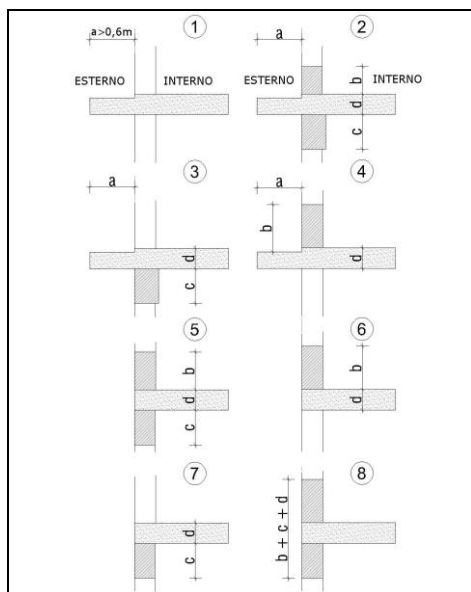
1. Fascia di separazione orizzontale tra i compartimenti (propagazione verticale dell'incendio)

La porzione della facciata (fascia) avente uno o più elementi costruttivi resistenti al fuoco è costituita da (Schemi A e B):

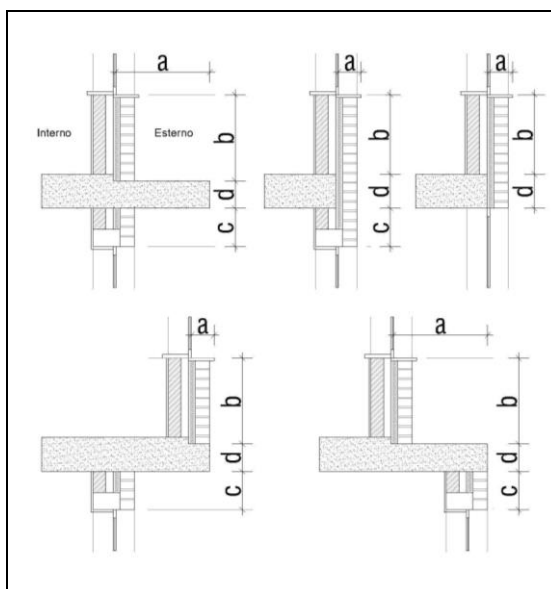
- a) una sporgenza orizzontale continua a protezione della parte della facciata situata al di sopra del solaio, di larghezza "a" uguale o superiore a 0,6 m, raccordata al solaio ovvero:
- b) un insieme di elementi come di seguito descritti:
 - una sporgenza orizzontale continua a protezione della parte della facciata situata al di sopra del solaio di larghezza "a", raccordata al solaio;
 - un parapetto continuo di altezza "b" al piano superiore, raccordato al solaio;
 - un architrave continuo di altezza "c", raccordato al solaio.

La somma delle dimensioni a, b, c e d (spessore del solaio) deve essere uguale o superiore ad un metro; ciascuno dei valori a, b o c può eventualmente essere pari a 0.

Schema A



Schema B

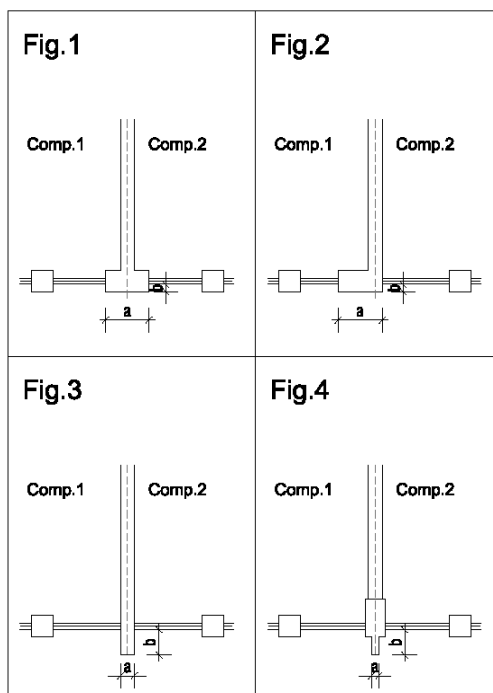


2. Fascia di separazione verticale tra i compartimenti (propagazione orizzontale dell'incendio)

La porzione della facciata (fascia) avente uno o più elementi costruttivi resistenti al fuoco è costituita da una sporgenza di profondità "b" rispetto alla superficie esterna della facciata e larghezza "a", quest'ultima uguale, inferiore o superiore alla larghezza del muro di separazione tra i compartimenti e comunque ad esso raccordata (Schema C).

La somma delle dimensioni "2b + a" deve essere uguale o superiore ad un metro.

Schema C



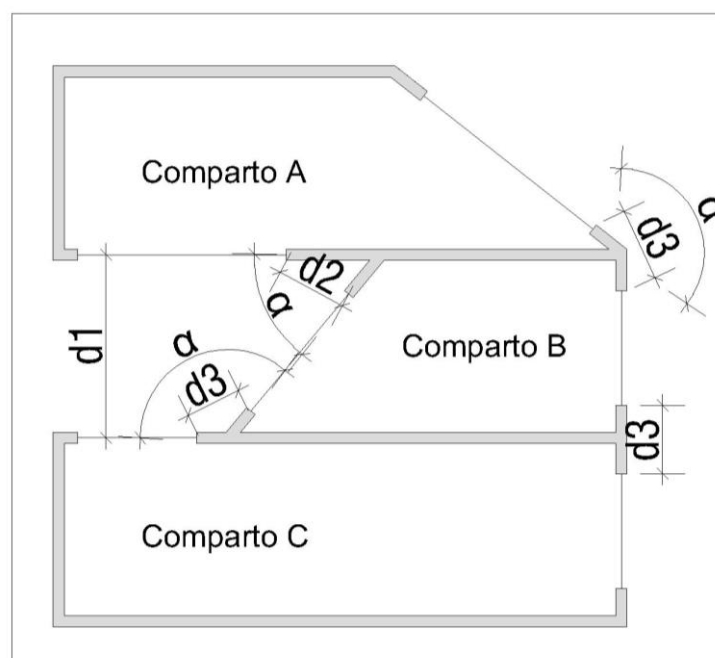
3 Facciate formanti un diedro (a contatto o no)

Quando l'angolo α formato dalle superfici esterne di due facciate o parti di facciate è compreso tra 0° (facciate una davanti all'altra) e 180° (facciate allineate), la minima distanza (in metri), misurata tra le porzioni che non presentano requisiti di resistenza al fuoco almeno pari a E60ef (o→i) in conformità alle specifiche modalità di valutazione previste, deve essere pari a quella indicata nella seguente tabella:

α	Distanza minima
0°	d_1
$0^\circ \div 90^\circ$	$d_2 = 1 + (d_1 - 1) \cdot \cos \alpha$
$90^\circ \div 180^\circ$	$d_3 = 1 \text{ m}$
$> 180^\circ$	$d_3 = 1 \text{ m}$ (applicato alla sviluppo)

dove d_1 assume i seguenti valori in relazione all'altezza antincendio h dell'edificio:

Altezza antincendio [m]	d_1 [m]
$h \leq 24$	3,5
$24 < h \leq 54$	8
$h > 54$	12



5.

ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA

1. ISOLAMENTO ACUSTICO. GLI ASPETTI FISICI

Se si pone una sorgente sonora in un locale (emittente) separato da un altro (ricevente) mediante una parete divisoria, una parte dell'energia sonora emessa dalla sorgente colpisce la parete divisoria.

Dell'energia incidente la parete (W_1), una parte viene riflessa all'indietro verso la sorgente, una parte viene assorbita dalla parete durante il suo attraversamento ed una parte viene trasmessa (W_2) al locale adiacente. La trasmissione avviene in quanto la parete, investita da onde successive di pressione e depressione, viene da queste posta in vibrazione diventando essa stessa un generatore sonoro, capace di trasmettere energia nel locale ricevente. Naturalmente la quantità di energia trasmessa sarà tanto minore, quanto maggiore è la resistenza opposta dalla parete ad essere posta in vibrazione, ossia quanto maggiore è la sua capacità isolante. Il rapporto fra energia trasmessa ed energia incidente viene definito coefficiente o fattore di trasmissione:

$$1) \tau = \frac{W_2}{W_1}$$

La capacità di isolare acusticamente posseduta dalla parete è invece il potere fonoisolante espresso in decibel dalla relazione:

$$2) R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} = 10 \log \frac{l}{\tau}$$

La trasmissione quindi dell'energia sonora da un locale all'altro attraverso la parete comune viene definita **trasmissione diretta** (vedi Figura 1, linea 1) e dipende sia dal potere fonoisolante della stessa che dalle sue dimensioni; cioè, a parità di potere fonoisolante, una superficie divisoria doppia di un'altra trasmette il doppio dell'energia sonora nel locale ricevente. Tuttavia nei casi più comuni la trasmissione dell'energia sonora da un locale ad un altro ad esso adiacente non avviene soltanto attraverso la parete di separazione, ma anche attraverso le pareti laterali o le solette dei locali (vedi Figura 1, linee 2,3,4); si parla allora di **trasmissione laterale o secondaria**.

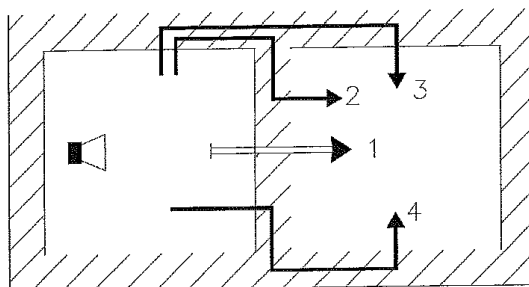


Figura 1: Vie di trasmissione diretta e laterale del rumore

Tale tipo di trasmissione dipende dalla natura delle pareti stesse e dai collegamenti fra queste e la parete di separazione.

Pertanto quello che normalmente si misura fra due locali è un **potere fonoisolante apparente** pari a:

$$3) R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3}$$

Essendo W_1 potenza sonora incidente sulla parete
 W_2 potenza sonora trasmessa attraverso il divisorio
 W_3 potenza sonora trasmessa attraverso gli elementi laterali

In entrambi i casi esaminati tuttavia il livello sonoro che si determina nell'ambiente ricevente non dipende soltanto dal potere fonoisolante e dalle dimensioni della parete divisoria, ma anche dalle caratteristiche di assorbimento acustico delle superfici interne del locale stesso.

Il parametro strettamente correlato all'assorbimento acustico interno di un locale è il tempo di riverberazione T_{60} .

Se l'emissione della sorgente è infatti prolungata nel tempo, e la durata della riverberazione nel vano ricevente è elevata, l'energia direttamente trasmessa attraverso il divisorio si somma a quella trasmessa poco prima, e ancora in parte presente per effetto delle riflessioni interne delle pareti del locale ricevente.

Quanto minore è quindi il tempo di riverberazione, o analogamente, quanto maggiore è l'assorbimento acustico del locale ricevente tanto minore è l'energia riflessa e di conseguenza minore è il livello sonoro nel locale ricevente.

Si ricorda che il tempo di riverberazione in un ambiente è per definizione, quello necessario perché il livello sonoro in esso esistente, decresca di 60 dB a partire dall'istante in cui cessa la causa che lo determina.

Tale tempo di riverberazione, espresso in secondi, secondo la formula di Sabine è pari a:

$$4) T_{60} = 0,16 \frac{V}{A}$$

Essendo:

V volume dell'ambiente ricevente (m^3)

A area di assorbimento acustico equivalente dell'ambiente ricevente in (m^2)

A sua volta:

$$5) A = \alpha_m \cdot S$$

dove:

α_m coefficiente di assorbimento acustico medio del locale ricevente

S superficie complessiva delle pareti interne del locale in m^2

Nel caso le misure per la determinazione del potere fonoisolante di pareti divisorie o componenti di edifici (finestre o porte) vengano effettuate in laboratorio, qui, mediante particolari accorgimenti (realizzazione di

camere acustiche con strutture murarie non rigidamente collegate fra loro), viene reso minimo l'effetto delle trasmissioni secondarie.

In tale caso il potere fonoisolante dell'elemento in prova viene definito dalla quantità R espressa in decibel e normalmente fornita in bande di frequenza di ottava o terzi di ottava:

dove:

$$6) R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

L_1 livello medio di pressione sonora nell'ambiente emittente (d_B)

L_2 livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente (d_B)

S superficie della parete o dell'elemento in prova (m^2)

A area di assorbimento acustico equivalente nella camera ricevente (m^2)

Quest'ultima grandezza viene determinata tramite la 4) mediante la misura del tempo di riverberazione.

Nel caso invece che vi siano anche trasmissioni secondarie, si ha, come si è visto, un potere fonoisolante apparente pari a:

$$7) R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

con le stesse notazioni dei simboli.

È evidente dal confronto della 6) con la 7), che se le trasmissioni secondarie non sono nulle

($W_3 \neq 0$), il livello nell'ambiente ricevente L_2 è più elevato che nel primo caso e quindi il potere fonoisolante apparente è, a parità di tutte le altre considerazioni (superficie in prova e assorbimento equivalente), inferiore a quello del caso precedente.

Ciò spiega perché le prestazioni di fonoisolamento misurate in laboratorio sono sempre più elevate di quelle rilevate sul campo.

In proposito si pone in evidenza che il D.P.C.M. del 5/12/1997 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici", stabilisce, insieme ad altri parametri (*isolamento acustico standardizzato di facciata e livello di rumore di calpestio di solai normalizzato*) i valori del potere fonoisolante apparente R' minimo richiesto per le pareti di separazione fra due distinte unità immobiliari, a seconda delle categorie di edifici (residenze; uffici; alberghi e pensioni; ospedali e case di cura; attività scolastiche; attività ricreative e di culto; attività commerciali) cui esse appartengono.

In base alle considerazioni sopra riportate si definisce **isolamento acustico**, la grandezza D espressa in decibel (calcolata in bande di ottava o terzi di ottava):

$$8) D = L_1 - L_2$$

dove:

L_1 livello medio di pressione sonora nell'ambiente emittente (d_B)

L_2 livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente (d_B)

Si definisce **isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento acustico**, la grandezza D_n , espressa in decibel e normalmente fornita in bande di ottava o terzi di ottava:

$$9) \quad D_n = D - 10 \log \frac{A}{A_0} d_B$$

dove:

D isolamento acustico in decibel

A tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente in secondi

A_0 tempo di riverberazione di riferimento (per ambienti di abitazioni viene assunto $A_0 = 10 \text{ m}^2$).

Si definisce **isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione**, la grandezza D_{nT} , espressa in decibel e normalmente fornita in bande di ottava o di terza di ottava:

$$10) \quad D_{nT} = D + 10 \log \frac{T}{T_0} d_B$$

dove:

D isolamento acustico in decibel

T tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente in secondi

T_0 tempo di riverberazione di riferimento (per ambienti di abitazioni viene assunto $T_0 = 0,5 \text{ s}$)

INDICE DI VALUTAZIONE

- Indice di valutazione del potere fonoisolante R_w
- Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente R'_w
- Indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato $D_{2m,nT,w}$
- Indice di valutazione dell'incremento di potere fonoisolante Δ_{RW}

La determinazione del potere fonoisolante apparente R'_w è definita dalla procedura standardizzata che individua un valore in dB sulla frequenza di riferimento a 500 Hz.

I certificati delle prove di laboratorio riportano anche dei coefficienti di adattamento spettrale (spettro rosa e rumore da traffico) che permettono di valutare il potere fonoisolante in d_B (A) per rumore rosa e per rumore da traffico. D_{2m} indica che l'altoparlante posto all'esterno della parete da verificare è posto a 2 m di distanza da questa.

LEGGE DI MASSA E FREQUENZA

Come si è già visto in precedenza, quando un'onda sonora colpisce una parete divisoria, una parte dell'energia da esso posseduta viene trasmessa al di là della parete ed essa è tanto minore quanto più grande è la resistenza che la parete oppone ad essere posta in vibrazione. Tale resistenza è proporzionale alla massa per unità di superficie (Kg/m^2) della parete. Quindi una parete pesante, a parità di onda sonora incidente, trasmette meno energia, (o in maniera analoga ha un potere fonoisolante superiore), rispetto ad una parete più leggera. Come si vedrà in seguito non esiste solo l'aumento della massa per migliorare l'isolamento acustico, ma si possono adottare altri sistemi. Un'altra caratteristica del potere fonoisolante di una parete è che esso, a parità pressione sonora (livello sonoro in decibel), è tanto maggiore quanto più elevata è la frequenza dell'onda incidente; le frequenze gravi vengono cioè trasmesse più facilmente che non le frequenze acute. Il potere fonoisolante di una parete è quindi tendenzialmente crescente con la frequenza del suono incidente. Questa doppia dipendenza dalla massa e dalla frequenza è espressa nella re-

lazione del potere fonoisolante di una parete per incidenza normale (direzione di propagazione dell'onda sonora perpendicolare alla parete):

$$11) \quad R_0 \cong 20 \log \frac{\pi \cdot f \cdot m}{\rho \cdot c} d_B$$

dove:

- R_0 potere fonoisolante (d_B)
- f frequenza del suono (Hz)
- m massa superficiale (Kg/m^2)
- ρ densità dell'aria (Kg/m^3)
- c velocità del suono nell'aria (m/s)

La 11) può essere scritta in maniera semplificata assegnando alle costanti il loro valore, sotto la forma:

$$11') \quad R_0 \cong 20 \log(f \cdot m) - 42.3 d_B$$

La relazione 11) indica che a parità di massa, il potere fonoisolante di un pannello cresce di 6 dB per ogni raddoppio di frequenza del suono incidente, ed analogamente, a parità di frequenza del suono incidente, il potere fonoisolante di un pannello cresce di 6 dB per ogni raddoppio della sua massa.

La relazione 11) rappresentata su un diagramma semilogaritmico è una retta avente pendenza di 6 dB/ottava. Se l'incidenza dell'onda sonora è invece diffusa, e la parete può essere quindi colpita da tutte le possibili angolazioni, si ha invece:

$$12) \quad R = R_0 - 10 \log(0,23 R_0) d_B$$

Stime sul potere fonoisolante R_w (senza trasmissioni laterali)

Pareti in laterizio

$$13) \quad R_w = 20 \log m \quad (d_B)$$

Se $50 < m < 400 \text{ Kg/m}^2$

Pareti doppie in laterizio (con intercapedine di almeno 10 cm):

$$14) \quad R_w = 20 \log m + 20 \log d - 10$$

d = spessore in intercapedine (cm)

Pareti doppie in laterizio ($s = 8 \text{ cm}$) con intercapedine riempita da materiale fonoassorbente:

$$15) \quad R_w = 20 \log m + 2 \quad (d_B)$$

Pareti in cemento armato:

$$16) \quad R_w = 23,2 \log m - 4,5 \quad (d_B)$$

Potere fonoisolante di una parete composta da elementi con diverso R_i

$$17) \quad R = -10 \log \left[\frac{1}{S} \sum S_i \cdot 10^{-\frac{R_i}{10}} \right] [d_B]$$

- S superficie totale della parete (m^2)
- R_i potere fonoisolante dei singoli componenti (d_B)
- S_i area dei singoli componenti la parete (m^2)

In alternativa:

$$18) \quad R = 10 \log \left[\frac{\sum_j S_j}{\sum_j t_j S_j} \right] (d_B)$$

Pareti doppie o non omogenee.

Ipotizzando di avere due pareti con diverso R poste a distanza d una dall'altra:

$$19) \quad R = R_1 + R_2 + 10 \log \left(\frac{4\pi f \rho_o c_o}{K_s} \right)^2 (d_B)$$

Dove con K_s è indicata la rigidità del materiale, di spessore d, posto tra i due elementi rigidi.

$$K_s = \frac{\rho_o c_o^2}{d} \text{ perf } < f_d = \frac{c_o}{2\pi d}$$

$$K_s = 2 \pi f \rho_o c_o$$

ρ_o = densità

c_o = velocità di propagazione

DEVIAZIONI DALLA LEGGE DI MASSA

In accordo con la teoria, l'isolamento di una parete omogenea dovrebbe aumentare di 6dB per ogni raddoppio della frequenza; tuttavia, da misure sperimentali, si osserva che questo risultato teorico è valido solo entro un certo campo di frequenze intermedie (regione III), come mostrato in fig. 2.

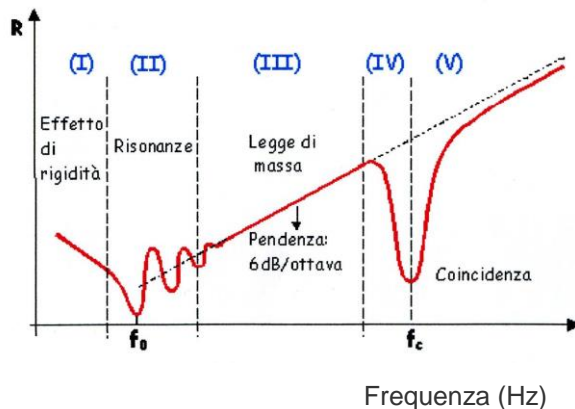


Fig. 2: Curva rappresentativa dell'andamento del potere fonoisolante, in funzione della frequenza, per una parete omogenea singola. Le deviazioni dalla legge di massa, chiaramente visibili nelle regioni (I), (II), (IV) e (V), relative alle frequenze molto basse e molto alte, sono dovute ad effetti particolari, che sono di seguito brevemente illustrati.

■ Effetto di rigidità

Questo effetto si manifesta nel caso di pareti sottili molto rigide e di peso trascurabile. In tali condizioni, il potere fonoisolante segue l'andamento della linea indicata in Fig. 2 (regione I), ossia cresce al diminuire della frequenza. Tale fenomeno si verifica nel caso delle pareti (o pavimenti) reali per valori della frequenza inferiori ad una **frequenza fondamentale naturale** f_0 , compresa normalmente entro l'intervallo 10 ÷ 20 Hz. Per tale motivo questo effetto, dal punto di vista dell'attenuazione del suono, non ha importanza pratica.

■ Effetto di risonanza

Si consideri una parete piana incastrata ai bordi, eccitando in un modo qualunque tale parete, essa entra in vibrazione ad una frequenza particolare, detta frequenza fondamentale naturale (f_0 oppure f_r), che dipende sia dalla massa sia dalla rigidità flessionale della struttura. Gli effetti di queste due grandezze agiscono in direzioni opposte, nel senso che la frequenza fondamentale decresce all'aumentare della massa e cresce al crescere della rigidità flessionale. La frequenza f_0 per la quale l'effetto della massa e l'effetto della rigidità flessionale assumono la stessa importanza, annullandosi quindi reciprocamente, rappresenta la "frequenza di risonanza". A parità di ogni altra condizione, la frequenza di risonanza cresce proporzionalmente con lo spessore (rigidità) e inversamente al peso per unità di superficie (massa). La f_0 ha generalmente valori compresi tra 1 e 100 Hz. Quando la frequenza del suono incidente è uguale a quella di risonanza della parete, quest'ultima entra in vibrazione con oscillazioni di ampiezza maggiore che alle altre frequenze. In tali condizioni, la parete diventa sostanzialmente trasparente al suono ed il suo potere fonoisolante, di conseguenza, raggiunge un valore minimo. La frequenza f_0 rappresenta la prima (e la più importante) di una serie di frequenze proprie di risonanza dovute, come è noto, a ciascuno dei modi naturali di vibrazione di cui è dotata ogni piastra vibrante. In corrispondenza a ciascuna di tali frequenze, f_n il potere fonoisolante passa per dei minimi, ossia, come nel caso della frequenza fondamentale, la parete diviene pressoché trasparente al suono. Questa situazione è rappresentata nella regione (II) di fig. 2 dalle successive alternanze che caratterizzano il primo tratto della retta che esprime la legge di massa.

■ Effetto di coincidenza

Quest'effetto è mostrato nella zona (IV) di fig. 2; ciò che accade è che in una parete, opportunamente eccitata da un'onda sonora incidente, si formano onde flessionali, la cui velocità non è costante, ma è proporzionale alla radice quadrata della frequenza. Quando l'onda generata (flessionale) ha velocità pari alla velocità del suono nel particolare materiale che forma la parete, quest'ultima risulta "trasparente" all'onda incidente. Questa situazione è illustrata in fig. 3, in cui i parametri indicati sono tali da verificare la relazione:

$$\lambda_f = \frac{\lambda_a}{\sin \alpha}$$

Tale fenomeno si verifica ad una particolare frequenza, detta appunto Frequenza di coincidenza f_c .

Per i materiali impiegati nell'edilizia il valore di f_c può variare entro un intervallo assai ampio di valori (da alcune decine ad alcune migliaia di Hz), dipendentemente dallo spessore della parete, dalla natura e dalle caratteristiche del materiale.

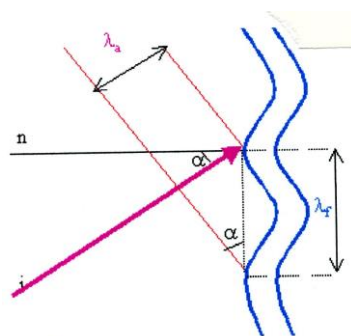


Fig. 3: Effetto di coincidenza

Nella zona (V) è difficile stabilire cosa accade, dipende dal tipo di materiale scelto; tipicamente, per tutto il restante intervallo di frequenze, si osserva che il potere fonoisolante si mantiene circa $5 \div 10 \text{ dB}$ al di sotto del valore previsto dalla legge di massa.

Le relazioni per calcolare la frequenza di risonanza e di coincidenza sono le seguenti:

FREQUENZA DI RISONANZA

Parete omogenea

$$f_r = \frac{\pi h}{4} \sqrt{\frac{Y}{3\rho[1-\eta^2]}} \left[\left(\frac{r}{a}\right)^2 + \left(\frac{r}{b}\right)^2 \right]$$

h = spessore della parete (m)

Y = modulo di elasticità (N/m^2)

ρ = densità (Kg/m^3)

η = rapporto di Poisson

a, b = dimensioni della parete (m)

r = modo di risonanza della parete = 1, 2, 3,

FREQUENZA DI RISONANZA

Parete doppio strato

$$f_r = 84 \sqrt{\frac{K}{d} \left(\frac{r}{M_1} + \frac{r}{M_2} \right)} \text{ (Hz)}$$

d = spessore dello strato d'aria (m)

r = ordine del modo di risonanza = 1, 2, 3, ...

M_1 = massa per unità di superficie del primo pannello (Kg/m^2)

M_2 = massa per unità di superficie del secondo pannello (Kg/m^2)

K = modulo di compressione del materiale posto nell'intercapedine (N/m^2) (aria: $K = 1$)

FREQUENZA DI COINCIDENZA

Parete omogenea

$$f_c = \frac{c^2}{1,8h} \sqrt{\frac{\rho}{Y}} \text{ (Hz)} \quad f_c = \sqrt{\frac{3\rho[1-\eta^2]}{Y}} \left(\frac{c^2}{\pi h} \right) \text{ (Hz)}$$

c = velocità del suono nell'aria (m/s)

h = spessore del pannello (m)

ρ = densità della parete (Kg/m^3)

Y = modulo di elasticità del materiale componente il pannello (N/m^2)

2. IL SISTEMA A “CAPPOTTO”

Il sistema di isolamento termico dall'esterno viene definito a livello europeo con la sigla ETICS (External Thermal Insulation Composite System – Sistemi compositi di isolamento termico per l'esterno).

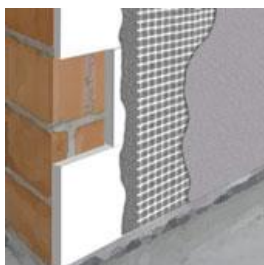
Per realizzare un cappotto devono essere impiegati materiali isolanti idonei all'applicazione e ad oggi solo due materiali possiedono una norma dedicata a tale scopo:

UNI EN 13499:2005

Isolanti termici per edilizia – Sistemi compositi di isolamento termico per l'esterno (ETICS) a base di polistirene espanso.

UNI EN 13500:2005

Isolanti termici per edilizia – Sistemi compositi di isolamento termico per l'esterno (ETICS) a base di lana minerale.



Il sistema a cappotto è costituito dai seguenti elementi essenziali:

1. Collante - adesivo
2. Isolante termico
3. Rasatura
4. Armatura in fibra di vetro
5. Rivestimento esterno
6. Accessori – angolari, profili, tasselli, ecc. ecc.

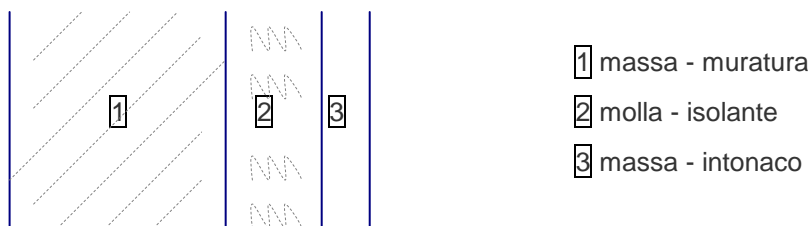
IL FUNZIONAMENTO ACUSTICO DEL SISTEMA

Il cappotto permette di realizzare un sistema molto particolare di isolamento se analizzato dal punto di vista acustico.

Il sistema è composto da tre elementi distinti:

- la muratura di supporto considerata rigida e continua, normalmente di massa molto più elevata degli altri due strati
- l'isolante che funge da elemento “molla”, ovvero rappresenta il materiale che deve assorbire l'onda d'urto del rumore
- l'intonaco esterno che rappresenta l'elemento di rivestimento “a pelle”; inoltre l'intonaco viene armato con rete e può essere realizzato con spessori da 3 mm fino a 20÷30 mm. L'intonaco quindi funge da elemento rigido ripartitore dell'energia meccanica che l'onda sonora provoca sulla superficie di impatto.

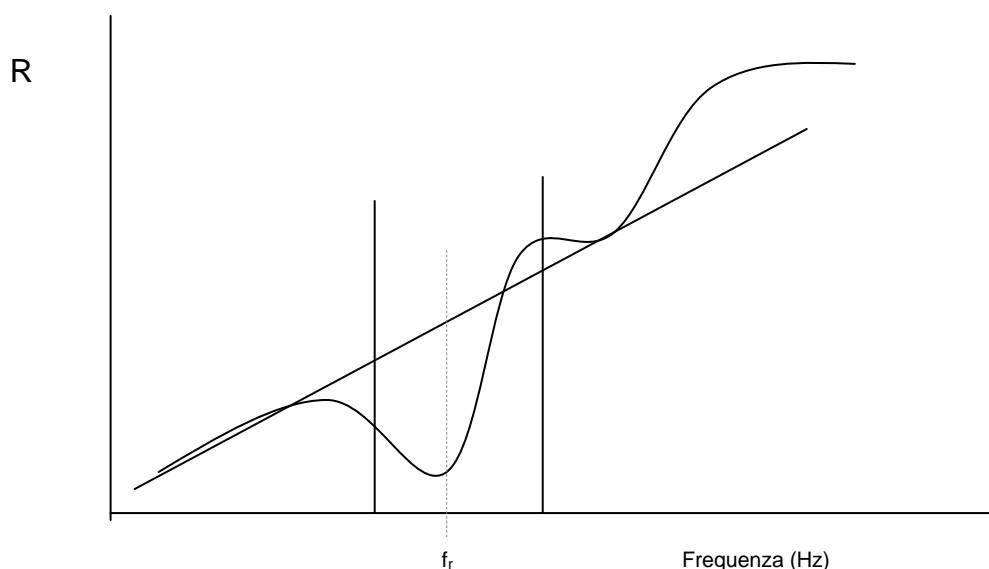
L'intero sistema quindi può essere inteso come composto da massa – molla – massa



che permette di assorbire più o meno energia sonora in base ai parametri della molla del rivestimento esterno e dei mutui fissaggi dei differenti strati.

Il sistema massa, molla, massa, funziona molto bene se l'onda ovvero il rumore presenta frequenze lontane dalla frequenza di risonanza.

Un tipico esempio di comportamento di parete composto come sopra ricordato è il seguente:



Si identificano tre zone distinte del comportamento della parete:

1. Prima della f_r , l'azione viene effettuata dalla parte del suono composta dalle basse frequenze. Le masse 1 e 3 oscillano normalmente in fase. La parete si comporta come una massa totale pari alla somma delle due masse, ovvero si segue la cosiddetta legge della massa: aumento di 6 dB dell'isolamento al raddoppio della frequenza. In altre parole è l'inclinazione della retta del grafico. È ovvio che la massa 1 è di gran lunga più elevata della 3, a livello indicativo di riferimento la 1 vale 200 Kg/m², la 3 ne vale 10 Kg/m². Ma vi sono casi estremi in cui la parete 1 arriva a 400 Kg/m² e la 3 a 30 Kg/m². Nei casi comuni chi realizza il vero isolamento acustico è la parete 1 dato che offre una massa molto più elevata.
2. Intorno di f_r . Nelle frequenze dell'intorno di f_r (frequenza di risonanza) avviene un fenomeno molto interessante. Le due pareti di massa 1 e 3 proprio perché fra di loro esiste un mezzo elastico vibrano in

controfase. Lo stesso effetto avviene anche nei vetri doppi. Controfase significa che le due pareti mentre vibrano si spostano in senso opposto ad un ventre, mentre dell'onda su di $\boxed{1}$ corrisponde una cresta in $\boxed{2}$. Questo effetto provoca un'amplificazione dell'onda incidente e delle oscillazioni delle pareti, provocando un "buco" di isolamento acustico (minimo della curva). La f_r dipende dalle masse e dall'elasticità della molla che le divide. Quindi nell'intorno della f_r si ha una netta diminuzione del potere fonoisolante della parete proprio come se ci fosse un buco da cui passi quell'intervallo di frequenze ben determinato.

3. Oltre la f_r . Le frequenze aumentano e permettono solo alle masse più piccole di vibrare. La massa $\boxed{1}$ è troppo elevata e non può vibrare con frequenze elevate e quindi solo il rivestimento con massa $\boxed{3}$ interviene in questa zona del rumore incidente. In questa zona ciò che crea il miglioramento dell'isolamento acustico è il rivestimento a cappotto che vibra, assorbe l'energia dell'onda d'urto e ne smorza gli effetti. Il rivestimento vibra meglio se è "attaccato" ad una molla (l'isolante) che ne permette tale vibrazione. Quindi la massa $\boxed{3}$ rappresenta un isolante con caratteristiche elastiche adeguate per ottenere un'efficiente valore finale di isolamento.

Conclusione

Il cappotto formato da una parete con massa elevata $\boxed{1}$ un isolante $\boxed{2}$ che presenta caratteristiche di elasticità definite ed un rivestimento che presenta massa $\boxed{3}$ si comporta come un sistema complesso in cui la parete interviene isolando dalle basse frequenze, il rivestimento alle medie /alte frequenze, mentre l'isolante interviene proprio nella zona critica (f_r) per limitare i danni dell'attenuazione.

Obiettivo

Creare un sistema che abbia la f_r più bassa possibile in modo che il "buco" di risonanza esca dalla zona di influenza del campo sensibile. Più la f_r è bassa, meglio è. E questo si ottiene mediante le caratteristiche dei tre componenti il sistema.

La molla

L'elemento "molla" è rappresentato dal materiale isolante posto fra due elementi rigidi. La molla è fondamentale per il funzionamento del sistema e la sua caratteristica più importante è senza alcun dubbio la rigidità dinamica. Nel caso di un sistema a cappotto la frequenza di risonanza f_r si calcola in modo semplificato con la relazione:

$$f_r = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

s' = rigidità dinamica dell'isolante (MN/m³)

m_1 = massa parete di supporto

m_2 = massa superficiale rivestimento esterno (Kg/m²)

La f_r , come detto in precedenza, deve presentare un valore basso e per ottenere ciò due sono le vie:

- isolanti con S' di valore basso
- rivestimenti esterni con massa superficiale alta

La s' dell'isolante determina la f_r , con i seguenti riferimenti orientativi:

$s' \approx 100$ crea $f_r \sim 1000$ Hz

$s' \approx 10$ crea $f_r \sim 100$ Hz

Vi è un parametro poco noto ed utilizzato che però influenza il valore di s' , questo parametro prende il nome di modulo elastico dinamico E_d [KN/m^2] che dell'EPS risulta essere

EPS normale 4500 – 5000 KN/m^2

EPS elasticizzato 400 – 700 KN/m^2

I fissaggi

Il tipo di fissaggio adottato e di incollaggio degli strati del cappotto influenza in modo determinante il comportamento acustico finale. Ad es. le lastre di isolante possono essere incollate – incollate + tassellate. Inoltre l'incollaggio e la tassellatura possono essere eseguiti in molti modi. Sia l'imbollaggio, sia la tassellatura, provocano un punto di contatto rigido fra gli elementi. Ad es. ogni tassello provoca inevitabilmente un ponte acustico. Un'elevata superficie di incollaggio ed un elevato numero di tasselli provoca un aumento di f_r e quindi peggiora il comportamento generale del sistema. Deve essere quindi definito in modo preciso e mediante verifiche sperimentali (per via analitica è praticamente impossibile) la % di incollaggio del pannello di isolante al muro ed il numero di tasselli ottimale. Per i motivi sopra riportati non è ottimale incollare su tutta la superficie la lastra di isolante ed in modo analogo porre tasselli in numero superiore a quello meccanicamente necessario.

Il rivestimento esterno

Il rivestimento esterno viene realizzato mediante materiali inerti, colle ed additivi; composto da uno strato con spessori differenti in funzione del risultato desiderato ma vi è sempre presente una rete in fibra di vetro che realizza l'armatura e ne determina il funzionamento a "lastra" sottile. La lastra formata dal rivestimento ha un funzionamento positivo nel sistema dalla f_r alla f_c (frequenza di coincidenza) oltre alla quale il rivestimento perde la sua capacità di assorbire l'onda d'urto e quindi di isolare. La f_c è la frequenza alla quale la massa (ovvero il rivestimento) vibra in fase con l'onda d'urto ovvero più il rivestimento è leggero più la f_c è alta. Per i normali rivestimenti a cappotto le f_c si posizionano fra i 3000 – 4000 Hz quindi fuori dallo spettro contemplato per il calcolo dell'isolamento acustico R della parete e quindi non influente.

3. L'EPS E L'ISOLAMENTO ACUSTICO

La trasmissione del suono può giungere dall'esterno dell'edificio e dai locali adiacenti mediante due modalità:

- trasmissione per via aerea
- trasmissione per impatto.

Un buon isolamento dai rumori è quindi importante; chi va ad occupare un appartamento dovrebbe poter ottenere, dal costruttore o dal locatario, l'assicurazione di abitarci indisturbato.

Le nuove normative europee e le direttive italiane impongono un miglioramento delle caratteristiche acustiche degli edifici mediante una riduzione dei livelli di rumore ammessi.

Il **POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (EPS)** si è rivelato uno dei più utili materiali per combattere i rumori, se adoperato in forma particolare, l'**EPS elasticizzato**, derivato da quella più nota, ampiamente impiegata per l'isolamento termico.

EPS CON SPECIFICHE PROPRIETA' ACUSTICHE

Materiale di partenza: normali blocchi di EPS, $\rho \sim 13-15 \text{ Kg/m}^3$
 (ottenuti però con granulometrie e condizioni di stampaggio e maturazione opportunamente controllate e definite)

“Processo di elasticizzazione”

- Si applica una pressione fino a 1/3 dello spessore originario, tolta la compressione essi ritornano all'85% circa dello spessore originario acquistando così una $\rho \sim 15-18 \text{ Kg/m}^3$
- Taglio dei blocchi in lastre secondo il piano perpendicolare alla direzione della pressione applicata

↓
 Proprietà termiche inalterate (tra cui λ)
 Modulo elastico più basso **BASSA Rigidità dinamica**

EPS ELASTICIZZATO

L'utilizzo principale dell'EPS elasticizzato risiede nel solaio e riveste lo strato che fa “galleggiare” la soletta. La caratteristica più idonea per caratterizzare le proprietà acustiche dell'EPS elasticizzato è la rigidità dinamica, la cui norma di riferimento è la EN 29052-1.

Ordini di grandezza delle principali prestazioni

	EPS normale	EPS con specifiche proprietà acustiche
Rigidità dinamica [MN/m³]	60 < s' < 200	12 < s' < 60
Attenuazione del livello della pressione sonora da calpestio	13 dB < ΔL < 18 dB	20 dB < ΔL < 32 dB

Spessore senza carico d_L mm	Spessore sotto carico d_B mm	Rigidità dinamica MN/m^3	Indice di attenuaz. ΔL_W con massetto da 70 Kg/m^3	
			con pavim. rigida d_B	con pavim. resiliente d_B
17	15	30	26	27
22	20	20	28	30
27	25	15	29	33
33	30	15	29	33
38	35	10	30	34
44	40	10	30	34

L'EPS elasticizzato è caratterizzato da:

- modulo elastico dinamico inferiore a 450 KN/m^2
- spessore sotto carico che è circa il 10% di quello libero.

RIGIDITA' DINAMICA

La rigidità dinamica S' è data dalla somma:

- della rigidità dinamica $S'G$ della struttura solida dell'espanso
- e di quella $S'L$ dell'aria racchiusa nelle sue celle

$$S' = S'G + S'L \text{ [MN/m}^3\text{]}$$

La rigidità dinamica $S'G$ della struttura è data dalla relazione:

$$S'G = 4 \cdot 10^{-5} m' f R^2 \text{ [MN/m}^3\text{]}$$

dove:

m' [Kg/m^3] è la massa areica della piastra oscillante (comprendente quella dell'eccitatore).

La rigidità dinamica $S'L$ dell'aria è data dalla relazione:

$$S'L = 113 / d_B \text{ [mm]}$$

dove:

d_B [mm] è lo spessore sotto carico della provetta.

La rigidità dinamica dipende dallo spessore di un prodotto: $Edyn \approx s' \times d_B$

Se il prodotto possiede differenti livelli di rigidità dinamica a spessori differenti, è sufficiente controllare la rigidità dinamica allo spessore che in combinazione con la rigidità dinamica dà il più basso valore di modulo di elasticità dinamica, $Edyn$.

Se viene soddisfatto il requisito della più rigorosa combinazione di spessore e rigidità dinamica, tutte le altre combinazioni per lo stesso prodotto sono parimenti soddisfatte.

d_B	s'	E_{dyn}
20 mm	20 MN/m ³	400 kN/m ²
30 mm	15 MN/m ³	450 kN/m ²
35 mm	10 MN/m ³	350 kN/m ²

NORMATIVA PER L'EPS

Il **POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (EPS)** è uno dei più importanti materiali per l'isolamento termico in edilizia, il primo fra gli espansi plastici cellulari.

La norma europea di riferimento per l'EPS è la UNI EN 13163 che per il settore "acustica" prevede alcune specifiche caratteristiche.

CLASSIFICAZIONE DEI PRODOTTI IN EPS

I prodotti sono divisi in classi di cui **EPS T presenta specifiche proprietà di isolamento acustico:**

Tipo	Comprimibilità	Rigidità dinamica
EPS T	Livello da prospetto della norma	Livello da prospetto della norma

- L'EPS T è un **isolante termico che presenta specifiche proprietà di isolamento acustico da impatto**

In relazione alle caratteristiche di rigidità dinamica e comprimibilità, è particolarmente adatto alla protezione dai rumori d'urto e da calpestio.

Questo però non preclude la possibilità di utilizzo per applicazioni differenti dai solai-pavimenti.

- Essendo regolamentato dalla **UNI EN 13163** si prevede:
 - Marcatura CE (sistema di attestazione della conformità: 3)
 - Prove iniziali di tipo **(ITT)** e Controllo di produzione in fabbrica **(FPC)**

(tra cui controllo della rigidità dinamica S' EN 29052-1 e della comprimibilità C EN 12431)

EPS T SECONDO UNI EN 13163

LIVELLI DI COMPRIMIBILITA'

Spessore d_L : determinato in accordo con la EN 12431 sotto un carico di 250 Pa.

Spessore d_B : deve essere determinato in accordo con la EN 12431 con una pausa di 300 s prima di misurare d_B .

La comprimibilità, C , deve essere determinata come differenza tra d_L e d_B .

Livello	Carico applicato sullo strato di rivestimento kPa	Requisito (mm)	Tolleranza (mm)
CP5	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 2 per $d_L < 35$ ≤ 3 per $d_L ≥ 35$
CP4	≤ 3,0	≤ 4,0	
CP3	≤ 4,0	≤ 3,0	
CP2	≤ 5,0	≤ 2,0	≤ 1 per $d_L < 35$ ≤ 2 per $d_L ≥ 35$

CLASSI PER LE TOLLERANZE SULLO SPESSORE

Classe	Tolleranze	
T3	- 5 % oppure - 1 mm	+ 15% oppure + 3 mm
T4	0	+ 10% oppure + 2 mm per dL < 35 mm + 15% oppure + 3 mm) per dL ≥ 35 mm

LIVELLI DI RIGIDITA' DINAMICA

Determinata in accordo con la EN 29052-1 senza precarico

Livello	Requisito MN/m ³
SD 50	≤ 50
SD 40	≤ 40
SD 30	≤ 30
SD 20	≤ 20
SD 15	≤ 15
SD 10	≤ 10
SD 7	≤ 7
SD 5	≤ 5

4. LE NORME DI RIFERIMENTO

Vengono riportati alcuni valori sperimentali divulgati da aziende operanti nel settore specifico a livello europeo e supportati da prove di laboratorio.

Norme di riferimento:

EN ISO 140 – 1: Parte 1: Requisiti per le attrezzature di laboratorio con soppressione della trasmissione laterale

EN ISO 140 – 3: Parte 3: Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio

UNI EN ISO 140-16: Parte 16: Misurazione in laboratorio dell'incremento del potere fonoisolante mediante rivestimento addizionale

UNI EN ISO 717 – 1: Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 1: Isolamento acustico per via aerea

UNI EN 29052 – 1: Acustica. Determinazione della rigidità dinamica. Materiali utilizzati sotto i pavimenti galleggianti negli edifici residenziali

UNI 11367: Acustica in edilizia. Classificazione acustica delle unità immobiliari. Procedura di valutazione e verifica in opera.

UNI 11444: Acustica in edilizia. Classificazione acustica delle unità immobiliari. Linee guida per la selezione delle unità immobiliari in edifici con caratteristiche non seriali.

UNI EN 12 ... : Serie di norme per la valutazione delle prestazioni acustiche di edifici.

Parametri di riferimento:

RW:

C:

Ctr:

ΔR:

m': massa superficiale Kg/m²

s': rigidità dinamica MN/m³

Resistenza al flusso d'aria:

Comprimibilità:

analisi nel campo di frequenza: 100 – 3150 Hz

Misure in laboratorio:

UNI EN 29053: Acustica. Materiali per applicazioni acustiche. Determinazione della resistenza al flusso d'aria.

UNI EN ISO 717-1: Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 1: Isolamento acustico per via aerea

UNI EN 29052-1: Acustica. Determinazione della rigidità dinamica. Materiali utilizzati sotto i pavimenti galleggianti negli edifici residenziali

UNI EN 12431: Isolanti termici in edilizia. Determinazione dello spessore degli isolanti per pavimenti galleggianti

UNI EN ISO 140: Acustica. Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio

UNI EN ISO 140-1: Parte 1: Requisiti per le attrezzature di laboratorio con soppressione della trasmissione laterale

UNI EN ISO 140-3: Parte 3: Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio

UNI EN ISO 140-16: Parte 16: Misurazione in laboratorio dell'incremento del potere fonoisolante mediante rivestimento addizionale

5. GLI OBBLIGHI DI LEGGE

“Legge Quadro sull'inquinamento acustico”: Legge 26 ottobre 1995 n. 447 (pubblicata sulla G.U. del 30 ottobre 1995 Suppl. Ord. n°254)

- Stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela del rumore prodotto dall'ambiente esterno e dall'ambiente abitativo, ai sensi e per gli effetti dell'art. 117 della Costituzione.
- Art. 3: fissa le competenze dello Stato ed in particolare affida al Ministero dell'Ambiente, di concerto con il Ministero della Sanità e con quello dei Lavori Pubblici e dell'Industria, l'incarico di stabilire, a mezzo decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici ed i requisiti acustici passivi degli edifici stessi e dei loro componenti in opera.



“Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”:

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 dicembre 1997

(pubblicato sulla G.U. del 22 dicembre 1997 n°297)

GLI OBBLIGHI DI LEGGE : DPCM 97

Classificazione degli ambienti abitativi (art. 2)

Categoria A	Edifici adibiti a residenza o assimilabili
Categoria B	Edifici adibiti a uffici e assimilabili
Categoria C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni e attività assimilabili
Categoria D	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
Categoria E	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
Categoria F	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
Categoria G	Edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici (art. 3)

Categorie di cui alla tab. A	R'_w	$D_{2m,n} T_w$	$L'_{n,w}$	L_{ASmax}	L_{Aeq}
1. D	55	45	58	35	25
2. A, C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B, F, G	50	42	55	35	35

Le grandezze di riferimento riportate nella precedente tabella, che caratterizzano i requisiti acustici degli edifici, da determinare con misure in opera, sono:

Potere fonoisolante apparente di elementi di separazione tra ambienti (R'_w)

Rappresenta in sostanza la differenza di livello sonoro esistente tra due stanze di due unità immobiliari adiacenti (può essere riferito sia a muri che ai solai) e tiene conto anche delle trasmissioni laterali.

R' (espressi in funzione della f - terzi di ottava)

Indice di valutazione R'_w del potere fonoisolante apparente (procedura di normalizzazione)

La normativa fissa il **valore MINIMO da rispettare** (50 decibel nel caso delle unità residenziali).

Livello di calpestio normalizzato [$L'_{n,w}$]

Rappresenta il livello sonoro esistente in un ambiente abitativo quando, al piano soprastante, viene azionato un dispositivo che genera 10 colpi al secondo con dei "martelletti" da 0,5 kg;

La normativa fissa il **valore MASSIMO da rispettare** (63 decibel nel caso delle unità residenziali).

L'_n (espressi in funzione della f - terzi di ottava)

Indice $L'_{n,w}$ del livello di calpestio di solaio normalizzato facendo ricorso ad un'apposita procedura.

Isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT}$)

Rappresenta in sostanza la differenza di livello sonoro esistente tra l'esterno e l'interno di un ambiente abitativo. La normativa fissa il **valore MINIMO da rispettare** (40 decibel nel caso delle unità residenziali).

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log T/T_0 \quad \text{dove} \quad D_{2m} = L_{1,2m} - L_2$$

è la differenza di livello sonoro

$L_{1,2m}$ è il livello di pressione sonora a 2 m dalla facciata, prodotto dal rumore da traffico, se prevalente, o da altoparlante con incidenza del suono di 45° sulla facciata.

L_2 è il livello di pressione sonora media nell'ambiente ricevente.

T è il tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente in s.

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento pari a 0,5 s.

$D_{2m,nT}$, espressi in funzione della f → indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nTw}$) facendo ricorso ad un'apposita procedura.

Rumori prodotti da impianti

$L_{A,Smax}$ è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A, con costante di tempo slow, prodotta dai **servizi a funzionamento discontinuo**.

L_{Aeq} è il livello massimo di pressione sonora ponderata A, prodotta dai **servizi a funzionamento continuo**.

LEGISLAZIONE DI RIFERIMENTO

■ Legge 447 del 26-10-1995 “Legge quadro sull’inquinamento acustico”

Definisce i principi fondamentali in materia di tutela dell’ambiente esterno e dell’ambiente abitativo dall’inquinamento acustico. Non indica in sostanza limiti da rispettare ma definisce “chi deve fare cosa”.

Nella legge vengono analizzate tutte le tematiche riguardanti il rumore, i soggetti volti ad analizzarle e le competenze di Stato, Regioni, Province e Comuni.

All’art. 8 viene riportato l’obbligo di redigere valutazioni di impatto acustico e di clima acustico per determinate tipologie di opere.

■ D.P.C.M. 5-12-1997 “Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”

■ Direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale

■ D.Lgs 19 agosto 2005 n° 194 «Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale»,

■ LEGGE 7 luglio 2009, n. 88 “Legge comunitaria 2008”

Disposizioni per l’adempimento di obblighi derivanti dall’appartenenza dell’Italia alle Comunità europee - (G.U. n°161 del 14 luglio 2009 – Suppl. ord. N°110)

Si riporta l’estratto della legge:

“Legge comunitaria 2008”

Art. 11.

(Delega al Governo per il riordino della disciplina in materia di inquinamento acustico)

.....

5. In attesa del riordino della materia, la disciplina relativa ai requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti di cui all’articolo 3, comma 1, lettera e), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, non trova applicazione nei rapporti tra privati e, in particolare, nei rapporti tra costruttori-venditori e acquirenti di alloggi sorti successivamente alla data di entrata in vigore della presente legge.

.....

■ Il DPCM 5-12-1997 è tuttora in vigore per cui deve essere rispettato dalle imprese costruttrici: gli edifici dovranno sempre essere costruiti rispettando i limiti di isolamento acustico in esso definiti.

- L'art. 11, comma 5, della legge 7 luglio 2009, n. 88 non menziona la pubblica amministrazione, bensì fa esclusivo riferimento ai privati, in particolare costruttori-venditori e acquirenti di alloggi.
- L'art. 11, comma 5, della legge 7 luglio 2009, n. 88 si riferisce agli alloggi, e non prende in esame le altre categorie di edificio contemplate nel DPCM: si presume per cui che le scuole, gli ospedali per es. non rientrino nell'esclusione di applicazione del DPCM.
- Nella compravendita di un alloggio tra 2 privati o tra venditore e privato acquirente non può essere fatto riferimento a quanto previsto dal DPCM 97.
Ovvero l'acquirente non può richiedere che l'edificio risponda ai limiti di isolamento acustico previsti dal DPCM 97 (se l'alloggio è stato costruito dopo il 1997, in teoria l'edificio dovrebbe essere stato costruito in ottemperanza di questo).

6. L'articolo 10 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 194, è abrogato.

DDL "Legge comunitaria 2009"

5. In attesa dell'emanazione dei decreti legislativi di cui al comma 1, l'art. 3, comma 1, lettera e), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, si interpreta nel senso che la disciplina relativa ai requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti non trova applicazione nei rapporti tra privati e, in particolare, nei rapporti tra costruttori-venditori e acquirenti di alloggi, **fermi restando gli affetti derivanti da pronunce giudiziali passate in giudicato e la corretta esecuzione dei lavori a regola d'arte asseverata da un tecnico abilitato.**

6. L'articolo 10 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 194, è abrogato.

6.Bis La lettera f), del comma 1, dell'art. 3 della legge 26 ottobre 1995, n. 447, è sostituita dalla seguente: 'f) l'indicazione, con uno o più decreti del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, dei criteri per la progettazione, l'esecuzione e la ristrutturazione delle costruzioni edilizie e delle infrastrutture dei trasporti, ai fini della tutela dall'inquinamento acustico.

6. LE VERIFICHE SPERIMENTALI DI AIPE

AIPE a supporto di quanto riportato in precedenza ha condotto con il contributo delle aziende associate un programma di prove e verifiche in laboratorio al fine di fornire alcuni valori reali di riferimento per i progettisti che intendano affrontare l'isolamento acustico di elementi di facciata con l'EPS.

Elenco prove eseguite da AIPE presso laboratorio prove materiali e sistemi:

- A. Spessore/comprimibilità
- B. Rigidità dinamica
- C. Muratura con sistema a cappotto

A. SPESSORE – COMPRIMIBILITA'

Condizioni di prova: $T = (23 \pm 5)^\circ\text{C}$ e U.R. = $(50 \pm 5)\%$

- Tempo di applicazione di ciascun carico: (120 ± 5) s

- Carichi statici applicati:

- 250 Pa ~ 25 Kg/m²
- 2000 Pa ~ 200 Kg/m²
- 50000 Pa ~ 5100 Kg/m²

Spessore d [mm]: distanza misurata tra la piastra rigida piana di riferimento su cui poggia il provino e il piattello di carico su cui si esercitano le pressioni, determinato allo 0,1 mm più prossimo.

SPESSORI DETERMINATI:

dL [mm]: provino caricato con una pressione di 250 Pa (~ 25 Kg/m²) per (120 ± 5) s

dF [mm]: provino caricato con una pressione di 2000 Pa (~ 200 Kg/m²) per (120 ± 5) s

dB [mm]: provino caricato inizialmente con una pressione di 50 000 Pa (~ 5100 Kg/m²), dopo (120 ± 5) s il carico viene rimosso, lo spessore dB è determinato dopo (120 ± 5) s di applicazione del carico di 2 KPa

dF e dB sono determinati sugli stessi provini impiegati per determinare dL.

SPESSORE – COMPRIMIBILITA'

Nome prodotto	Descrizione campione	Spessore dichiarato (mm)	Massa per unità di superficie (Kg/m ²)	Massa volumica apparente (ρ) (Kg/m ³)	d _L (mm)	d _F (mm)	d _B (mm)	CP (mm)
S2	EPS – non EL	22	0.61	27.7	22.3	22.2	22.2	0.1
S3	EPS - EL	22	0.85	38.6	23.0	22.8	22.6	0.4
S4	EPS - EL	53	2.13	40.2	53.9	53.6	53.0	0.9
S6	EPS – non EL	20	0.51	25.5	20.2	19.9	19.5	0.7
S9	Polietilene reticolato	5	0.17	34.0	5.2	5.1	5.0	0.2
S10	EPS - EL	60	1.54	25.7	61.2	60.9	58.7	2.5
S11	EPS – non EL	60	1.27	21.2	60.4	60.3	60.2	0.2

LEGENDA

EPS – non EL EPS non elasticizzato

EPS – EL EPS elasticizzato

CP Comprimibilità $CP = d_L - d_B$

d_L, d_F, d_B Valori medi relativi a 10 differenti provini del medesimo materiale esaminato

B. RIGIDITA' DINAMICA

Metodo di prova secondo UNI EN 29052-1.

Misura della risposta in frequenza conforme a ISO 7626-2)

RIGIDITA' DINAMICA APPARENTE PER UNITA' DI SUPERFICIE

$$s'_t = (2\pi f_r)^2 m'_t \quad [N/m^3]$$

m'_t [kg/m²]: massa totale per unità di superficie

f_r [Hz]: frequenza di risonanza (del modulo della funzione di trasferimento tra il segnale di vibrazione e quello di eccitazione)

RIGIDITA' DINAMICA

Nome prodotto	Descrizione campione	Spessore sotto carico (mm)	Massa per unità di superficie del campione (Kg/m ²)	f_r (Hz)	s'_t (MN/m ³)
R1	EPS – non EL	30.7	0.81	84	56
R2	EPS – non EL	22.2	0.61	168	223
R3	EPS - EL	22.5	0.85	75	44
R4	EPS - EL	53.4	2.13	46	17
R5	EPS – non EL Doppia densità (30 e 20 Kg/m ³ per 22,5 mm di spessore ognuno)	44.7	1.14	66	34
R6	EPS – non EL	19.7	0.51	112	99
R7	EPS - EL	31.9	0.78	39	12
R8	EPS - EL	21.4	0.36	39	12
R9	Polietilene reticolato	5	0.17	182	262
R10		60.6	1.54	38	11
R11	EPS – non EL	60.1	1.27	114	103

Legenda:

EPS-nonEL:

EPS non elasticizzato

EPS-EL:

EPS elasticizzato

La rigidità dinamica S' può presentare valori diversi a quelli riportati in tabella. I dati sopra riportati sono riferiti a campioni reperiti dal mercato e che rappresentano valori medi, ma con particolari accorgimenti di elasticizzazione e spessori si raggiungono valori inferiori di S' .

C. MISURA DEL POTERE FONOISOLANTE MURATURA CON SISTEMA A CAPPOTTO

Nome	Descrizione copertura	Spessore (mm)	Massa per unità di superficie (Kg/m ²)	R _w (c; c _{tr}) (dB)						
1a	Muro con elementi in laterizio (29,5x18,5x24 cm di massa 11,78 Kg) intonacato su un lato	260	264	48 (-1, -3)						
1b	Muro con elementi in laterizio (29,5x18,5x24 cm di massa 11,78 Kg) intonacato su un lato e con "cappotto" sull'altro lato	320	265	Valori rimasti invariati						
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">"cappotto"</td> <td>EPS – non EL: lastre spessore 60 mm con massa areica 1,3 Kg/m²</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Rasatura armata</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm</td> <td>1 - 2</td> </tr> </table>	"cappotto"			EPS – non EL: lastre spessore 60 mm con massa areica 1,3 Kg/m ²	60	Rasatura armata		Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm	1 - 2
	"cappotto"				EPS – non EL: lastre spessore 60 mm con massa areica 1,3 Kg/m ²	60				
Rasatura armata										
Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm		1 - 2								
<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">"cappotto"</td> <td>EPS – EL: spessore 60 mm con massa areica 1,6 Kg/m²</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Rasatura armata</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm</td> <td>1 - 2</td> </tr> </table>	"cappotto"	EPS – EL: spessore 60 mm con massa areica 1,6 Kg/m ²	60	Rasatura armata		Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm	1 - 2			
"cappotto"		EPS – EL: spessore 60 mm con massa areica 1,6 Kg/m ²	60							
		Rasatura armata								
	Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm	1 - 2								
1c/pr	Muro con elementi in laterizio (29,5x18,5x24 cm di massa 11,78 Kg) intonacato su un lato e con "cappotto" sull'altro lato	320	265	49 (-2, -6)						
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">"cappotto"</td> <td>EPS – EL: spessore 60 mm con massa areica 1,6 Kg/m²</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Rasatura armata</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm</td> <td>1 - 2</td> </tr> </table>	"cappotto"			EPS – EL: spessore 60 mm con massa areica 1,6 Kg/m ²	60	Rasatura armata		Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm	1 - 2
	"cappotto"				EPS – EL: spessore 60 mm con massa areica 1,6 Kg/m ²	60				
Rasatura armata										
Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm		1 - 2								
<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">"cappotto"</td> <td>EPS – EL: spessore 60 mm con massa areica 1,6 Kg/m²</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Rasatura armata</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm</td> <td>1 - 2</td> </tr> </table>	"cappotto"	EPS – EL: spessore 60 mm con massa areica 1,6 Kg/m ²	60	Rasatura armata		Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm	1 - 2			
"cappotto"		EPS – EL: spessore 60 mm con massa areica 1,6 Kg/m ²	60							
		Rasatura armata								
	Strato di finitura fine spessore 1- 2 mm	1 - 2								

Legenda:

EPS - non EL:

EPS non elasticizzato

EPS-EL:

EPS elasticizzato

7. ISOLAMENTO ACUSTICO DI PARETI CON CAPPOTTO

Non solo AIPE ma altre associazioni hanno realizzato un'analisi sperimentale in merito a pareti isolate con sistemi a cappotto. L'analisi più esaustiva e rappresentativa della casistica riscontrabile nei sistemi di rivestimento a cappotto è stata condotta dall'associazione tedesca. Vengono riportati alcuni dati dell'analisi, in modo da permettere la determinazione del miglioramento acustico di una parete a cui viene applicato il sistema di isolamento dall'esterno. I dati della tabella sotto riportata sono stati ricavati da un'interpolazione di prove sperimentalmente condotte in funzione di:

- materiale isolante utilizzato: EPS elasticizzato (EPS T)

- rigidità dinamica dell'EPS T:

spessore (mm) S' (MN/m³)

60 15

100 9

160 6

- variabili introdotte nell'analisi:

- spessore

- massa superficiale intonaco esterno

- la parete di supporto è stata realizzata con elementi in mattoni di massa superficiale di 260 Kg/m² escluso intonaco applicato su superficie lato interno della parete.

**MIGLIORAMENTO ΔR_w (d_B) CON CAPPOTTO CON POLISTIRENE ELASTICIZZATO, INCOLLAGGIO
SUL 40% DELLA SUPERFICIE DI APPOGGIO DELLA LASTRA:**

Spess. Isol. (mm)	Massa superficiale del rivestimento (intonaco + finitura) (Kg/m ²)							f _r (Hz)
	6	8	10	12	16	24	30	
60	-1	1	2	4	5	8	10	-
80	1	3	4	5	7	10	12	200
100	2	4	5	7	9	12	14	150
120	4	5	7	8	10	13	15	-
140	4	6	8	9	11	15	16	100
160	5	7	9	10	12	16	17	-
180	6	8	10	11	13	16	18	-
200	7	9	11	12	14	17	19	60

I valori riscontrati sperimentalmente riportati nella sezione 6) sono in linea con quanto riportato nella tabella.

f_r = frequenza di risonanza con spessore materiale isolante pari a 100 mm e rivestimento con 10 Kg/m².

Sempre con approssimazione è possibile ritrovare analiticamente i valori della tabella utilizzando le seguenti relazioni:

$$\Delta R = R \text{ parete con cappotto} - R \text{ parete senza cappotto}$$

$$R \text{ parete con cappotto} = R_1 + R_2 + 10 \log \left(\frac{4\pi f \rho c}{K_s} \right)^2$$

$$K_s = \frac{\rho c^2}{d}$$

$$R \text{ parete senza cappotto} = 20 \log M$$

$$f_r = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

I significati dei parametri sono riportati nella sezione 1).

UNI 11367

CLASSIFICAZIONE ACUSTICA DELLE UNITÀ IMMOBILIARI

Nel luglio 2010 è stata emanata la norma tecnica **UNI 11367** dal titolo:

Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera

Il documento spiega come determinare la classe acustica di una unità immobiliare esistente sulla base dei risultati di misure fonometriche eseguite sull'edificio.

**Attualmente la norma non è richiamata in alcun documento legislativo.
Pertanto l'applicazione delle classi acustiche è VOLONTARIA.**

UNI 11367 (2010) CLASSIFICAZIONE ACUSTICA DELLE UNITÀ IMMOBILIARI

SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente norma si propone di definire, in riferimento ad alcuni requisiti acustici prestazionali degli edifici, i criteri per la loro misurazione e valutazione.

Stabilisce inoltre una classificazione acustica per l'intera unità immobiliare in riferimento ad ognuno dei requisiti.

È infine proposta una valutazione sintetica con un unico indice descrittore dell'insieme dei requisiti acustici per unità immobiliare.

I criteri stabiliti nella presente norma sono applicabili a tutte le unità immobiliari con destinazione d'uso diversa da quella agricola, artigianale e industriale.

LA CLASSIFICAZIONE ACUSTICA

Per le unità immobiliari aventi le seguenti destinazioni d'uso:

residenze, uffici, attività ricettive (alberghi, pensioni e simili), attività ricreative, di culto e attività commerciali.

Fanno eccezione:

- le attività ricreative e di culto in cui la qualità acustica sia una caratteristica fondamentale (sale da concerto, chiese, ecc.)

- le unità immobiliari ad esclusivo uso commerciale, ristoranti, bar, negozi con accesso diretto all'esterno, centri commerciali, autofficine, distributori carburanti, ...

Qualora tali unità immobiliari facciano parte di edifici aventi destinazioni d'uso miste, devono essere valutati tutti i valori dei requisiti acustici ad esclusione dei valori per l'isolamento acustico normalizzato di facciata.

Classificazione acustica di unità immobiliari in funzione dei requisiti prestazionali

Non si fissano dei valori di soglia ma si lascia una certa libertà al progettista per scegliere una classe acustica anche in funzione delle esigenze: es. campagna o città.

Classe	a) Isolamento acustico normalizzato di facciata	b) Potere fonoisolante apparente di partizioni verticali e orizzontali fra ambienti di differenti unità immobiliari	c) Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti di differenti unità immobiliari	d) Livello sonoro corretto impresso da impianti a funzionamento continuo	e) Livello sonoro corretto impresso da impianti a funzionamento discontinuo
	$D_{2m,nT,w}$ dB	R'_w dB	L'_{nw} dB	L_{ic} dB(A)	L_{id} dB(A)
I	≥ 43	≥ 56	≤ 53	≤ 25	≤ 30
II	≥ 40	≥ 53	≤ 58	≤ 28	≤ 33
III	≥ 37	≥ 50	≤ 63	≤ 32	≤ 37
IV	≥ 32	≥ 45	≤ 68	≤ 37	≤ 42

↓ **NC non classificabile**

PER ATTIVITA' RICETTIVE (es. alberghi):
La classificazione è estesa ai seguenti requisiti

Classe	f) Isolamento acustico normalizzato di partizioni verticali e orizzontali fra ambienti della stessa unità immobiliare	g) Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti della stessa unità immobiliare
	$D_{nT,w}$ dB	L'_{nw} dB
I	≥ 56	≤ 53
II	≥ 53	≤ 58
III	≥ 50	≤ 63
IV	≥ 45	≤ 68

questi requisiti non si applicano per i bagni o locali accessori a servizio della stessa camera e per appartamenti composti da più camere.

COME INTERPRETARE LE CLASSI ACUSTICHE
 APPENDICE L: spiegazione di come interpretare i limiti delle classi.

Ipotizzando una normale sensibilità al rumore dei soggetti interessati e livelli sonori disturbanti di media intensità, vengono definite due tabelle che indicano le prestazioni acustiche attese. La prima valida per i rumori interni alle unità immobiliari (R'_{w} , L'_{nw} , L_{ic} , L_{id}), la seconda per l'isolamento acustico di facciata (D_{2mnT_w}).

Classe acustica	Prestazioni acustiche attese (R'_{w} , L'_{nw} , L_{ic} , L_{id})
I	Molto buone
II	Buone
III	Di base
IV	Modeste

Tipologia di area	Classe di isolamento acustico di facciata (D_{2mnT_w})			
	IV	III	II	I
Molto silenziosa	Di base	Buone	Molto buone	Molto buone
Abbastanza silenziosa	Modeste	Di base	Buone	Molto buone
Mediamente rumorosa	Modeste	Modeste	Di base	Buone
Molto rumorosa	Modeste	Modeste	Modeste	Di base

La seconda tabella correla inoltre, seppur in maniera qualitativa, l'efficacia dell'isolamento di facciata con il clima acustico esterno

UNI 11444

Criteria di selezione di Unità immobiliari (residenziali) in edifici con caratteristiche non seriali, al fine della classificazione acustica

Applicazione della UNI 11367 per edifici non seriali

- Edifici con tipologia seriale (elementi tecnici che si ripetono uguali secondo schemi che dipendono da caratteristiche distributive, organizzative e funzionali degli ambienti delle unità immobiliari)

La UNI 11367 prevede la possibilità di adottare criteri di campionamento, per ciascun requisito acustico, al fine di ridurre il numero di prove (appendice G).

Tale campionamento si basa sull'individuazione di insiemi omogenei di elementi, da cui ricavare le prestazioni acustiche rappresentative dell'intero gruppo ed estendibili a tutti gli elementi tecnici con le stesse caratteristiche, adottando una apposita incertezza di campionamento.

- Per sistemi edilizi non seriali, la UNI 11367 prevede, in lingua generale, la determinazione del valore di un dato requisito attraverso misurazioni per ognuno degli elementi tecnici misurabili; ciò comporta, nella maggior parte delle situazioni, un numero molto elevato di prove da effettuare in opera.

Al fine di ridurre il numero delle prove anche nel caso di sistemi edilizi non seriali, nel presente rapporto tecnico si definisce un criterio per la selezione delle unità immobiliari da sottoporre a misure, con l'eventuale intento di estendere il valore della classe ottenuta anche alle altre U.I. del sistema edilizio stesso.

6. LA MARCATURA CE DEI SISTEMI A CAPPOTTO

NORME

PROCEDURE E CONTROLLO

ETICHETTATURA

Da completare a seguito della pubblicazione delle norme del settore specifico

7.

PRESENTAZIONE AIPE

AIPE – Associazione Italiana Polistirene Espanso – è un’associazione senza fini di lucro costituita nel 1984 al fine di promuovere e tutelare l’immagine del polistirene espanso sintetizzato (o EPS) di qualità e di svilupparne l’impiego.

Le oltre 90 aziende associate appartengono sia al settore della produzione di lastre per isolamento termico munite di Marchio di qualità, che a quello della produzione di manufatti destinati all’edilizia e all’imballaggio. Fanno inoltre parte di AIPE imprese produttrici della materia prima, il polistirene espandibile, tra le quali figurano le più importanti industrie chimiche europee. Un gruppo di soci è infine costituito dalle aziende che fabbricano attrezzature per la lavorazione dell’EPS destinato alla produzione di sistemi per l’edilizia.

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

A livello internazionale l’associazione rappresenta l’Italia in seno all’**EUMEPS** – European Manufacturers of Expanded Polystyrene – organizzazione europea che raggruppa le associazioni nazionali dei produttori di EPS.

I principali obiettivi di AIPE sono sostenere e promuovere l’EPS attraverso molteplici attività svolte ogni anno con il prezioso sostegno delle aziende associate divise per specifici Gruppi di Lavoro (Cappotto, Sistemi e Componenti per l’Edilizia, Macchine e Imballaggio).

L’associazione si pone inoltre come punto di riferimento qualificato e fonte di formazione e informazione per tutti gli attori del mercato, per i media e per l’opinione pubblica.

AIPE – Associazione Italiana Polistirene Espanso

Via M. Colonna, 46 – 20149 Milano
Tel. 02-33606529 Fax 02-33606604

www.aipe.biz - aipe@epsass.it

8.

EPS FOR GREEN



“EPS FOR GREEN” è il nuovo logo che permette di identificare le aziende italiane associate ad AIPE che realizzano prodotti in EPS (lastre per isolamento termico, imballaggi) nel rispetto della qualità e della sostenibilità, 2 aspetti cardini che mirano a garantire la sicurezza degli utenti e l’ambiente in cui tutti noi viviamo.

Di assoluta rilevanza, è la sottoscrizione da parte delle aziende associate del “CODICE ETICO AIPE” attraverso il quale il comparto produttivo dichiara la correttezza commerciale e gestionale.

Il simbolo “EPS FOR GREEN” permette a tutti gli stakeholders, progettisti, imprese di costruzione, GDO e consumatori di orientarsi nella scelta di prodotti in EPS trasformati sul territorio nazionale, di qualità e sostenibili, quindi, sicuri, rispettosi dell’ambiente e della salute.

Cosa dichiara “EPS FOR GREEN”

- Sottoscrizione del CODICE ETICO AIPE
- Dichiarazione della sostenibilità ambientale: Reach, LCA, Recupero, Riciclo
- Conformità alle norme di settore
- Marcatura CE (Reg. UE 305/2011 - CPR) per il comparto delle costruzioni
- Conformità per il contatto alimentare (Reg. UE 10/2011 – PIM).