

Sommario

Indice Figure	1
Indice Tabelle	1
Indice Schede	1
Indice Tavole Book	1
Indice Tabelle	1
1. Isolamento termico degli edifici	4
1.1 L'energia nella storia e la legislazione in merito	4
1.2 Quadro normativo	7
2. Sistemi di isolamento termico	8
3. L'involucro verticale opaco	13
3.1 Proprietà fisico tecniche dell'involucro verticale opaco	13
3.2 La condensa interstiziale	19
3.3 L'inerzia termica	22
3.4 I ponti termici	23
4. Sistema di isolamento applicato sulla superficie interna dell'involucro - Tipologie	26
4.1 Pannelli isolanti preaccoppiati	28
4.2 Isolamento con intelaiatura	30
4.3 Isolamento con controparete	32
5. Il sistema di isolamento interno - Generalità	34
5.1 Substrato	35
5.2 Materiale isolante	35
5.3 Sistema di finitura	36

6. Caratterizzazione del substrato	37
6.1 Substrati contemplati da normativa e manualistica	37
6.2 Substrati non contemplati da normativa e manualistica	38
6.3 Analisi delle proprietà dei substrati	38
6.3.1 Costruzioni in calcestruzzo	39
6.3.2 Costruzioni in laterizio	40
6.3.3 Costruzioni in legno	41
6.3.4 Costruzioni in pietra	42
6.3.5 Costruzioni con pannelli prefabbricati leggeri	44
6.3.6 Costruzioni con supporti intonacati o con rivestimenti ceramici	45
7. Caratterizzazione dei materiali isolanti	46
7.1 Requisiti dei materiali isolanti secondo le normative	46
7.1.1 Etag 004	46
7.1.2 Normative più specifiche	47
7.1.3 Ulteriori materiali isolanti	48
7.2 La resistenza al fuoco per i materiali isolanti	49
7.2.1 Normativa Italiana	49
7.2.2 Normativa Europea	50
7.2.3 Comparazione Normative Italiana - Europea	53
7.3 Sostenibilità ambientale dei materiali isolanti	53
7.3.1 Life cycle assessment	53
7.3.2 Confronto tra i vari materiali isolanti	55
8. Caratterizzazione del sistema di finitura	69
8.1 Intonaco di fondo	69
8.2 Intonaco di finitura	69

9. Studio del degrado del substrato	70
9.1 Presentazione dei principali fenomeni di degrado dei sistemi edilizi	70
9.2 Individuazione dei degradi del substrato.....	77
10. Studio delle cause del degrado	78
10.1 Il problema dell'umidità nelle murature.....	78
10.2 Vulnerabilità e degrado del calcestruzzo	86
11. Risanamento degli elementi del sistema degradati.....	93
11.1 Fenomeni di degrado conseguenza dell'umidità	93
11.2 Ripristino del calcestruzzo ammalorato.....	97
12. Method Statement	101
12.1 Method Statement delle tipologie di isolamento interno.....	101
12.1.1 I pannelli isolanti preaccoppiati - PIP	102
12.1.2 Isolamento dietro intelaiatura metallica - Icl.....	112
12.1.3 La finitura delle lastre in cartongesso.....	122
12.1.4 Le contropareti in muratura - IcC	126
12.2 Method Statement dei nodi costruttivi	126
Conclusione	126
Bibliografia	126
Sitografia	126

1 ISOLAMENTO TERMICO DEGLI EDIFICI

Il tema relativo all'isolamento può apparire semplice, per la svariata diffusione di nozioni più o meno attendibili. È evidente a tutti quali benefici possa apportare l'isolamento di un alloggio e perché risulti molto utile. Tuttavia l'isolamento è una tematica relativamente recente, troppo spesso soggetta a preconcetti e ad idee approssimative. Per questo motivo tale tema non può essere trattato senza avere una visione globale dei processi di accumulo e di scambio di calore e contemporaneamente di trasmigrazione del vapore tra lo spazio abitativo e l'ambiente circostante.

1.1 L'ENERGIA NELLA STORIA E LE LEGISLAZIONI IN MERITO

All'indomani della Seconda Guerra Mondiale la priorità per tutti i Paesi coinvolti era il bisogno di ricostruzione, ciò ha generato l'aumento incontrollato del numero di alloggi, della superficie media abitativa per cittadino e del livello di comfort. Tale condizione ha portato a scegliere le soluzioni più economiche, ed inoltre l'energia veniva percepita come una risorsa costantemente disponibile, in grandi quantità e a costi ridotti, quindi il principio di isolamento termico delle abitazioni veniva semplicemente ignorato.

Nel 1973, con la prima crisi petrolifera si prese coscienza del fatto che il petrolio costituiva una risorsa limitata, con il forte rialzo dei prezzi apparve chiara la necessità di una politica mirata alla riduzione del consumo di energia, nacque così, in alcuni Paesi Europei, la cosiddetta "caccia agli sprechi", si iniziarono ad isolare sottotetti e muri e a promuovere l'utilizzo di doppi vetri all'interno delle nuove abitazioni, incoraggiando anche la riqualificazione degli edifici esistenti.

Il tema energetico fu trattato, in Italia, per la prima volta con la Legge 373/1976 che definì i valori massimi di dispersione termica, poi abrogata dalla Legge 10/1991. Nel corso dei trent'anni successivi le prestazioni termiche delle costruzioni non sono molto progredite. Si è dovuto attendere il recepimento della direttiva europea 2002/91/CE con i decreti legislativi 192/2005 e 311/2006 e loro decreti attuativi, per ottenere un miglioramento dovuto ai limiti piuttosto restrittivi, sia per la nuova edificazione sia per alcuni tipi di intervento su edifici preesistenti.

Il miglioramento da un punto di vista legislativo nasconde tuttavia una realtà differente, poiché nello stesso periodo il consumo di energia finale negli edifici è aumentato a causa: dell'incremento della superficie media abitativa pro capite, dell'incremento del numero di alloggi e di edifici terziari e dello sviluppo del comfort in termini di aumento dei consumi per quanto riguarda l'uso di elettrodomestici e climatizzazione.

Oltre alla riduzione dell'utilizzo di energie fossili e alla fluttuazione del loro prezzo, il problema del contenimento energetico è strettamente legato alla tutela dell'ambiente e ai cambiamenti climatici. Si è constatato infatti che, nonostante si siano sempre riscontrati aumenti e diminuzioni della temperatura media della Terra nell'arco dei secoli, durante gli ultimi cinquant'anni si è verificato un aumento delle temperature anomalo rispetto all'andamento naturale.

La priorità rimane la necessità di ridurre le emissioni del principale gas a effetto serra, l'anidride carbonica CO₂ e di preservare l'ambiente, in ambito energetico tutto questo rappresenta un vincolo importante; se solo si analizza la situazione in Italia, ci si rende conto che gli edifici costituiscono, insieme ai trasporti, la prima fonte di inquinamento antropogenico per CO₂.

Tuttavia c'è la volontà di affrontare il problema ed esistono delle soluzioni valide. Ad oggi, in Italia, gli edifici pubblici e terziari devono essere realizzati in modo da rispettare le norme e garantire bassi consumi, tuttavia, i provvedimenti vengono attuati a ritmi che variano da uno Stato all'altro.

Per quanto riguarda invece la grandissima percentuale di edifici esistenti nel settore privato, le misure concernenti sono state, in Italia, quelle relative alle detrazioni fiscali del 55% per interventi di riqualificazione energetica indicate dalla Finanziaria 2006. Altre misure sono state poste per alcuni tipi di intervento sull'edilizia preesistente come ad esempio per la sostituzione degli infissi, la ristrutturazione di coperture o parti dell'involucro, la sostituzione degli impianti termici, le ristrutturazioni globali sopra i 1000 metri quadrati o gli ampliamenti di una certa volumetria.

Ad oggi siamo nella posizione di poter dire che, un isolamento termico realmente efficace degli edifici è concretamente possibile e può consentire un consumo quasi nullo di energia per il riscaldamento.

È evidente che la riuscita delle intenzioni sopra citate dipende dalla volontà politica, dagli investimenti nella ricerca e nello sviluppo industriali, dalla formazione dei professionisti e dall'informazione dell'utenza. L'isolamento termico rappresenta, inoltre, un mezzo per aumentare il comfort delle abitazioni sia in inverno che in estate, infatti una casa adeguatamente isolata non richiede maggiore manutenzione e potenza, inoltre, le prestazioni acustiche.

1.2 QUADRO NORMATIVO

Certificazione energetica e detrazioni fiscali

- **Dlgs 28/03/2011** *Direttiva sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili;*
- **Dlgs 192/05** *Direttiva relativa al rendimento energetico nell'edilizia.*

Norme relative ai materiali isolanti

- **EN 13162** *Isolanti termici per l'edilizia – Prodotti di lana minerale (MW) ottenuti in fabbrica – Specifiche;*
- **EN 13163** *Isolanti termici per l'edilizia – Prodotti di polistirene espanso (EPS) ottenuti in fabbrica – Specifiche;*
- **EN 13165** *Isolanti termici per l'edilizia – Prodotti di poliuretano rigidi (PU) ottenuti in fabbrica – Specifiche;*
- **EN 13501** *Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione – Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco;*
- **UNI CEN EN ISO 13943/2004** *Sicurezza in caso d'incendio;*
- **DM 26/06/84** *Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi.*

Normative relative al calcolo fisico tecnico dei sistemi

- **UNI EN ISO 6946/2008** *Componenti delle costruzioni e elementi delle costruzioni – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo;*
- **Legge 13/2007 Allegato 1** *Valori di trasmittanza dei componenti edilizi;*
- **DPR 412/93 Allegato A – Zone climatiche** *Elenco delle zone climatiche in cui è suddivisa l'Italia.*

2. SISTEMI DI ISOLAMENTO TERMICO

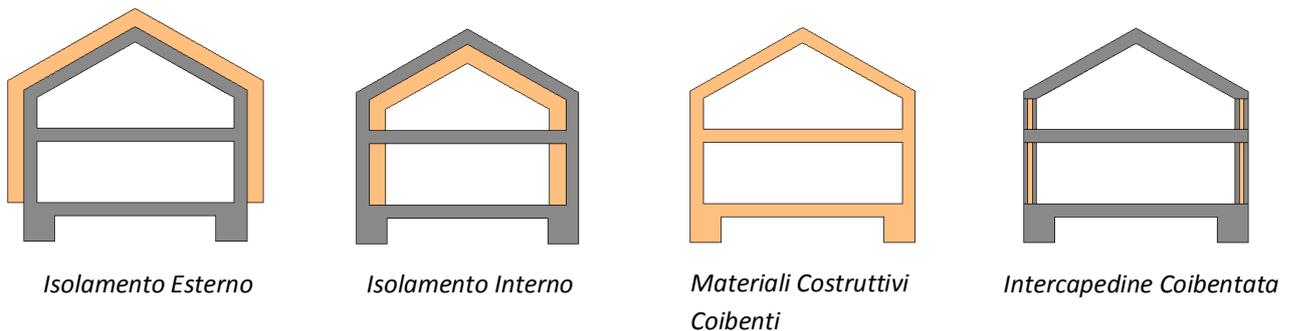
L'isolamento è indubbiamente un'operazione che deve essere realizzata con particolare cura, poiché un isolamento inadeguato o scorrettamente installato o ancora una parete non trattata correttamente, riducono le prestazioni dell'insieme notevolmente.

L'isolamento termico interessa l'intero involucro dell'edificio, vale a dire tutte le superfici che delimitano un volume riscaldato rispetto ad un ambiente non riscaldato, per questa ragione si coibentano i muri perimetrali, i sottotetti, i basamenti e le fondazioni, inoltre è utile coibentare le pareti o i solai che confinano con locali non riscaldati come cantine, garage e scale di servizio. Ad esempio, per un appartamento all'interno di un condominio si coibentano, oltre ai muri a contatto con i vani scala comuni non riscaldati, anche le pareti che insistono su altre unità immobiliari. L'intero spazio abitativo deve costituire un complesso totalmente isolato, indipendente dagli ambienti non riscaldati, siano essi volumi edilizi o l'ambiente esterno.

I materiali isolanti termici possono presentarsi sotto varie forme, come ad esempio rotoli o pannelli (isolanti fibrosi), lastre (polistirene o poliuretano), fiocchi o granulati (lana di roccia, vermiculite, vetro), materiali da costruzione (calcestruzzo cellulare, blocchi in laterizio alveolare ad elevata resistenza termica), pannelli coibenti preaccoppiati prefiniti, costituiti da una lastra di gesso fibra sulla quale è incollato un isolante.

Esistono quattro metodi di isolamento termico:

- L'isolamento applicato dall'**interno**: consiste nel posare i materiali isolanti all'interno del locale;
- L'isolamento applicato dall'**esterno**, comunemente detto "*a cappotto*": consiste nel posare i materiali isolanti sulla superficie esterna dell'involucro;
- L'isolamento con **materiali costruttivi coibenti**, nel quale il materiale utilizzato per la costruzione delle pareti è isolante;
- Muratura a **intercapedine coibentata**.



L'isolamento applicato dall'interno, in Italia, costituisce una pratica poco diffusa e si preferisce coibentare dall'esterno o all'interno di pareti con intercapedine "a cassa vuota".

Nella posa dall'interno, gli isolanti vengono posati in corrispondenza dei muri esterni, dei sottotetti e dei muri controterra, sulla superficie interna dell'involucro edilizio o del muro di confine tra ambiente riscaldato e non riscaldato. Tuttavia questa soluzione presenta diversi inconvenienti: lo spessore degli isolanti può ridurre sensibilmente la superficie abitabile, l'inerzia del muro non viene sfruttata, i ponti termici sono numerosi e la loro eliminazione risulta difficoltosa, con rischi di condensazione all'interno della parete. Tuttavia questo tipo di isolamento permette di ottenere un rivestimento impeccabile della parete interna, indipendentemente dallo stato del muro in origine.

L'isolamento applicato dall'esterno è la soluzione più diffusa soprattutto in caso di ristrutturazione totale di una parte dell'involucro. La posa in opera prevede un isolante posato sulla superficie esterna della facciata e finito con un intonaco o un

rivestimento. Questo tipo di posa è di gran lunga quello che garantisce migliori prestazioni, poiché di fatto elimina tutti i ponti termici e il comfort interno viene migliorato grazie all'inerzia termica della muratura. Lo svantaggio è nella minore durata dello strato di rivestimento della facciata rispetto a soluzioni tradizionali che presentano spessori molto più elevati. Inoltre le operazioni di manutenzione possono risultare più dispendiose.

L'isolamento con materiali costruttivi coibenti è la soluzione più efficace per la nuova costruzione o per ampliamenti. Prevede la realizzazione di involucri in materiale isolante per tutto lo spessore delle pareti (blocchi portanti in laterizio ad alte prestazioni termiche, legno o altro).

Infine la **tecnica dell'insufflaggio** o muratura ad intercapedine coibentata prevede l'inserimento all'interno dell'intercapedine vuota presente tra le murature perimetrali dell'edificio, di materiale isolante. Tale operazione viene svolta praticando dei fori sul lato esterno o interno della muratura distanziati in modo regolare di circa 80 – 100 cm e distanti da pavimenti e soffitti di circa 30 cm. Tale tecnica viene applicata anche per l'isolamento di sottotetti o di cavità costruttive di altra natura come i cavedi. Lo svantaggio principale dell'intercapedine coibentata è dovuto al fatto che, non avendo alcun controllo visivo di dove e come si deposita il materiale isolante nella cassavuota della muratura, non si può avere la certezza che questo occupi in modo omogeneo tutto lo spazio senza lasciare vuoti o accumuli, inoltre con tale metodologia di coibentazione non si evita la creazione di ponti termici al contrario aumenta la possibilità di formazione in corrispondenza dei solai.

Di contro la tecnica dell'insufflaggio ha dei costi di realizzazione molto più contenuti rispetto alle precedenti soluzioni esposte e una durata di esecuzione molto più rapida.

Di seguito si riporta una tabella nella quale è immediato individuare vantaggi e svantaggi delle diverse metodologie di isolamento termico a fronte dei più significativi ambiti di confronto.

Confronto tra le diverse metodologie di isolamento termico					
Ambito di confronto	Isolamento applicato dall'interno		Isolamento applicato dall'esterno		Isolamento con materiali costruttivi coibenti
Inerzia termica	●	L'inerzia termica del muro non è utilizzabile	●	Il comfort interno viene migliorato dalla capacità di accumulo di calore dei muri.	● Il comfort interno è generalmente migliorato dalle capacità di accumulo di calore dei muri.
Ponti termici	●	È difficoltoso evitare i ponti termici.	●	I ponti termici sono praticamente inesistenti.	● Soluzione soddisfacente nella maggior parte dei casi. È però fondamentale avere cura dei dettagli al fine di evitare i ponti termici.
Protezione contro la pioggia battente	●	La superficie della parete esterna non deve consentire all'acqua di raggiungere l'isolante.	●	Il rivestimenti esterno garantisce una buona protezione contro la pioggia.	● Il problema relativo alla penetrazione della pioggia battente deve essere risolto con soluzioni che garantiscano la permeabilità al vapore acqueo.
Protezione contro il gelo e le variazioni di temperatura	●	La parete esterna è soggetta alle variazioni esterne di temperatura (rischio di fessurazioni).	●	L'isolamento esterno protegge dal gelo e dalle variazioni di temperatura troppo elevate.	● Dipende dalla composizione e dalla permeabilità della parete.
Umidità	●	L'isolante deve essere dotato di freno al vapore correttamente dimensionato al fine di evitare rischio di condensa interstiziale.	●	Il vapore acqueo deve poter migrare dall'interno verso l'esterno attraverso il rivestimento esterno.	● Il vapore acqueo deve poter migrare dall'interno verso l'esterno attraverso il rivestimento esterno.
Problematiche legate alla posizione dell'isolante	●	L'isolante deve essere dotato di un rivestimento interno.	●	L'isolante deve essere protetto da un rivestimento esterno al fine di evitarne il danneggiamento.	● Questa soluzione è la più durevole, a patto che le condizioni di posa in opera vengano rispettate.
Manutenzione	●	Con una finitura adeguata, risulta necessaria soltanto una manutenzione ordinaria del rivestimento interno.	●	A seconda della sua natura, il rivestimento esterno può richiedere una manutenzione regolare.	● La manutenzione dipende dalla natura e dalla struttura del rivestimento o del materiale esterno.

Tabella 1 - Confronto tra le diverse metodologie di isolamento termico

Dall'analisi delle diverse metodologie di coibentazione appare subito evidente come, in caso di operazioni di coibentazione su edifici esistenti, la soluzione più vantaggiosa sarebbe l'isolamento applicato dall'esterno.

Tuttavia esistono situazioni in cui questo tipo di coibentazione non è applicabile, tali motivi possono essere legati a due fattori principali:

- **Facciate tutelate soggette a vincolo architettonico da D.Lgs 42/2004**

In caso di facciate soggette a vincolo architettonico o in generale facciate di particolare pregio non è possibile effettuare una coibentazione con cappotto esterno pertanto la soluzione più indicata è quella di un isolamento sulla parte interna dell'edificio.

- **Motivi di carattere logistico o gestionale**

Durante la mia personale esperienza sul campo mi è capitato sovente di dovermi confrontare con privati proprietari di alloggi con necessità di essere coibentati, facenti parte di grandi condomini. In questi casi la soluzione di una coibentazione esterna sarebbe la più indicata ma spesso per motivi organizzativi, burocratici e di durata risulta essere la più complicata da perseguire, pertanto si adottano soluzioni quali la coibentazione interna o l'insufflaggio.

Nei capitoli successivi verrà analizzata nello specifico la tecnica di coibentazione dall'interno in tutte le sue fasi, prendendo in esame tutte le possibili soluzioni tra muratura esistente e pannello coibentante ed in particolare verranno affrontati i temi riguardo gli svantaggi principali di tale metodologia.

3 L'INVOLUCRO VERTICALE OPACO

3.1 Proprietà fisico tecniche dell'involucro verticale opaco

Le pareti perimetrali esterne di un edificio, definite chiusure verticali opache, sono una delle unità tecnologiche di un edificio (UNI 8291) ed hanno in compito di:

- Proteggere l'ambiente interno dal clima esterno;
- Implementare le prestazioni dell'edificio, principalmente dal punto di vista termico e acustico.

Quando si parla di implemento delle prestazioni di un edificio, si intende che, l'involucro verticale opaco, se abbinato ad elementi tecnologici come materiali isolanti appositamente calcolati, è in grado di collaborare alla riduzione dei consumi energetici del manufatto, impedendo la dispersione del flusso di calore.

Per comprendere come avviene a livello fisico questo fenomeno della dispersione del calore, bisogna effettuare uno studio di tipo termodinamico. Ciò significa analizzare gli spostamenti, relativamente allo spazio e al tempo, che il campo termico compie. Solitamente però, le situazioni analizzate, non prendono mai in considerazione la variabile temporale per ragioni di semplicità. Si procede quindi in quello che viene definito regime stazionario, dal quale, nei casi dove è necessario, si può passare al regime transitorio, in cui la variabile tempo viene considerata, introducendo nel calcolo dei coefficienti che tengono conto della non stazionarietà.

Lo scambio termico attraverso le superfici avviene ogni qual volta vi sia una differenza di temperatura tra l'ambiente che esse circoscrivono e l'ambiente esterno.

Le modalità fisiche con cui avviene questo trasferimento di energia sono diverse, generalmente tre: conduzione, convezione e irraggiamento. I primi due meccanismi si basano sui medesimi principi e sono legati alla presenza di massa in movimento in un sistema, tuttavia mentre la conduzione è associata ai moti atomici o molecolari, la convezione è associata a moti macroscopici di massa.

Diversamente dalle prime due l'irraggiamento è un fenomeno di propagazione di onde elettromagnetiche, per tale motivo lo scambio termico radiativo può avvenire anche nel vuoto.

Quando si affronta il tema della trasmissione del calore attraverso gli elementi dell'involucro edilizio bisogna pensare che si ha la compresenza sulle superfici delle tre modalità di scambio sopracitate, pertanto la complessità del caso reale porta all'introduzione e all'utilizzo del coefficiente globale di scambio termico, meglio noto come coefficiente di trasmittanza termica U misurato in W/m^2K .

Calcolo e valori limite del coefficiente di trasmittanza

La definizione del parametro di trasmittanza termica viene data nella UNI EN ISO 6946:2008 che prescrive un metodo di calcolo per la determinazione di resistenza termica e trasmittanza termica idonee per definire il flusso di calore attraverso vari componenti edilizi.

La trasmittanza termica è definita come il flusso di calore [W/m^2K] che passa attraverso una struttura di $1 m^2$ di superficie con una differenza di temperatura tra i lati della stessa pari a $1 K$.

La conoscenza del valore di trasmittanza di una parete tuttavia non è sufficiente ai fini della valutazione della quantità di energia dispersa attraverso il componente edilizio. Per fare ciò è necessario ricorrere ad alcuni coefficienti detti coefficienti liminari di scambio termico o coefficienti di adduzione o adduttanza α , che considerano gli effetti dei fenomeni dello scambio termico per convezione e irraggiamento e si trovano tabulati nelle norme UNI in funzione della situazione geometrica, come ad esempio struttura verticale, orizzontale, ecc... , e nelle norme UNI di accompagnamento della Legge 10/91 (es. UNI 10345 per i componenti finestrati).

A partire da queste considerazioni ed in condizioni di regime stazionario, la relazione della trasmissione del calore tra due fluidi separati da una parete può espressa dalla seguente relazione:

$$Q = US(T_i - T_e) [W]$$

Dove:

- U è il coefficiente globale di scambio termico che tiene conto delle resistenze termiche offerte dalla parete per conduzione interna e dell'adduzione del flusso termico sulle superfici interna ed esterna;
- T_i e T_e sono rispettivamente le temperature all'interno e all'esterno dell'ambiente rilevate in posizione tale da non risentire degli effetti convettivi innescati dalle temperature superficiali della parete;
- S rappresenta la superficie della parete.

Si chiama resistenza termica liminare, la resistenza termica complessiva offerta dalle resistenze dovute all'irraggiamento ed alla convezione alla superficie del solido, per analogia elettrica si ha:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{(h_r + h_c)}$$

Dove:

- h_r e h_c sono rispettivamente i coefficienti di scambio termico per irraggiamento e convezione;
- $\frac{1}{\alpha}$ è la resistenza termica liminare.

La resistenza termica per conduzione è data invece dalla sommatoria delle resistenze termiche di ogni singolo materiale che costituisce il componente edilizio:

$$\sum R_i = \sum \left(\frac{S_i}{\lambda_i} \right)$$

Dove:

- s_i è lo spessore le materiale i-esimo;
- λ_i è il coefficiente di conduzione termica del materiale i-esimo.

La resistenza termica globale R_G è quindi data dalla sommatoria delle resistenze termiche liminari sulle due facce, interna ed esterna, del componente, $\frac{1}{\alpha_i}$ e $\frac{1}{\alpha_e}$, e dalla resistenza termica per conduzione $\sum R_i$:

$$R_G = \frac{1}{\alpha_i} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_e} \quad \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

Il coefficiente globale di scambio termico (o trasmittanza) è dato da:

$$U = \frac{1}{R_G} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_i} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_e} \right)} \quad \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Queste relazioni, in regime stazionario, valgono anche per la determinazione dell'andamento delle temperature superficiali e dall'interno delle strutture al fine di verificare eventuali fenomeni di condensazione interstiziale, cioè la formazione di condensa all'interno delle strutture edilizie.

Per conoscere i valori di trasmittanza su cui si deve attestare un buon involucro esterno opaco è necessario rifarsi ancora una volta alle normative, nello specifico l'allegato 1 della Legge 13/2007 riporta due livelli di trasmittanza a cui le strutture devono attenersi. Ovviamente i valori variano in base a:

- *Inclinazione della superficie* (verticale, orizzontale, inclinata);
- *Opacità o trasparenza dell'elemento*.

Il motivo per cui vengono presentati due livelli di valori, di cui il secondo risulta molto più restrittivo, è molto semplice; il primo livello è quello al quale obbligatoriamente tutte le superfici devono attenersi, mentre il secondo, che implica l'impiego di materiali più prestanti e quindi un aumento delle performance energetiche dell'edificio, garantisce sgravi o agevolazioni di varia natura se si decide di attenersi ad esso come scelta progettuale.

b) Isolamento termico

Tab. 5. Trasmittanze termiche massime (U) dei singoli componenti ($W/m^2 K$)

	1° Livello	2° Livello
Trasmittanza termica delle strutture verticali opache	0,33	0,25
Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate	0,30	0,23
Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti (valore medio vetro/telaio) (§)	2,0	1,7
Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti fronte strada dei locali ad uso non residenziale (valore medio vetro/telaio) (§)	2,8	2,0

(§) non è consentita l'installazione di serramenti o infissi con vetro camera contenente esafluoruro di zolfo (SF_6).

I valori di trasmittanza devono essere verificati sulla base delle norme tecniche UNI in vigore e loro successive modificazioni.

Figura 1 - Tabella 5 Allegato 1 Legge 13:2007 Fonte: Allegato 1 Legge 13:2007

Come si può già leggere nella didascalia della tabella i valori di trasmittanza non sono costanti nel tempo ma devono essere sempre verificati sulla base delle normative in vigore per conoscerne le loro modificazioni. Dal 2015 infatti sono stati emessi i nuovi valori limite a cui le costruzioni, sia di nuova realizzazione che di recupero e riqualificazione, dovranno adattarsi entro il 2021. Tale variazione dei valori è valida sia per gli edifici pubblici che per quelli privati, e come dimostrano le tabelle contenute nel supplemento ordinario n° 39 della Gazzetta Ufficiale del 15 Luglio 2015, variano a seconda della zona climatica.

Tali valori tabulati, per quanto concerne involucri verticali esterni opachi e altri elementi correlati con la presente tesi su edifici esistenti, sono di seguito riportati.

Tabella 4 - Trasmittanza termica U massima delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati soggette a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
A e B	3,20	3,00
C	2,40	2,00
D	2,10	1,80
E	1,90	1,40
F	1,70	1,00

Figura 2 - Tabella 4 Allegato 1 Legge 13:2007 Fonte: Allegato 1 Legge 13:2007

Tabella 1- Trasmittanza termica U massima delle strutture opache verticali, verso l'esterno soggette a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
A e B	0,45	0,40
C	0,40	0,36
D	0,36	0,32
E	0,30	0,28
F	0,28	0,26

Figura 3 - Tabella 5 Allegato 1 Legge 13:2007 Fonte: Allegato 1 Legge 13:2007

3.2 La condensa interstiziale

Il problema della condensazione del vapor acqueo, sia che avvenga sulle superfici delle strutture, sia che avvenga all'interno delle stesse, rappresenta un rischio sotto un duplice aspetto: quello legato alla conservazione delle strutture e quello legato alla salubrità degli ambienti.

Non è raro imbattersi nella formazione di muffe, o assistere alla disgregazione di intonaci e murature proprio a causa di tali fenomeni. In anni relativamente recenti la necessità di contenere le dispersioni termiche ha favorito l'adozione indiscriminata di serramenti dotati di ottima tenuta all'aria che, in assenza di ventilazione meccanica, ha però comportato una sensibile riduzione della ventilazione naturale con conseguente ulteriore aggravio del problema in esame causato dall'aumento dell'umidità presente nell'aria ambiente. Inoltre è molto diffuso l'uso nelle cucine di cappe filtranti, prive di collegamenti a condotti di espulsione delle fume, che al vantaggio della libertà compositiva dell'arredamento della cucina contrappongono lo svantaggio dell'immissione di grandi quantità di vapore in ambiente. La formazione di condensa, fenomeno tipico di strutture poco isolate, può però manifestarsi anche in presenza di strutture ben isolate dove la collocazione dello strato isolante è mal posta rispetto alla permeabilità degli strati rimanenti. Occorre inoltre porre attenzione a non confondere fenomeni di condensazione con quelli dovuti alla presenza di infiltrazioni d'acqua, per esempio per risalita capillare dal terreno, pioggia battente, rottura di tubazioni idrauliche, ecc.

Per quanto sopra detto è evidente la complessità della trattazione del fenomeno, la cui risoluzione dipende principalmente dall'esatta comprensione delle cause che lo determinano.

La condensazione del vapor d'acqua si verifica quando la pressione parziale dello stesso raggiunge *pressione di saturazione*, quest'ultima funzione della temperatura (*temperatura di condensazione o di rugiada*).

Di seguito vengono brevemente definiti tali termini per una maggiore comprensione dell'argomento trattato.

Pressione di saturazione

La pressione di saturazione è la pressione parziale massima di un vapore all'interno di una miscela gassosa.

Quando la pressione parziale del vapore all'interno di questo sistema corrisponde alla tensione di vapore del liquido da cui proviene, a quella temperatura si dice che il vapore ha raggiunto il suo valore di saturazione. La pressione parziale a saturazione del vapore è la massima pressione che il vapore può avere ed è indipendente dalla pressione degli altri gas presenti.

Temperatura di rugiada

Con temperatura di rugiada si intende la temperatura alla quale, a pressione costante, l'aria (o più precisamente la miscela aria – vapore) diventa satura di vapore acqueo, qualsiasi eccedenza di vapore acqueo (“sovrasaturazione”) passerà allo stato liquido.

A parità di temperatura, più alto è il contenuto di vapore e l'umidità relativa, maggiori sono i rischi della formazione di condensa.

Per verificare l'insorgere o meno della condensa occorre pertanto controllare che la temperatura, superficiale e/o interna della parete, sia maggiore della relativa temperatura di condensazione (ovvero che la pressione parziale del vapore sia maggiore della pressione di saturazione). Nel caso specifico, l'analisi del fenomeno fisico attiene alla diffusione molecolare di un gas (il vapor d'acqua) in un solido ed è esprimibile mediante la Legge di Fick. Le semplificazioni che ne derivano unitamente al poter considerare il vapor d'acqua un gas perfetto, fanno sì che la determinazione del flusso di vapore che si diffonde all'interno di un solido può essere espressa in termini del gradiente di pressione che si instaura a causa delle variazioni di temperatura e quindi della densità (o in altri termini al variare della concentrazione del vapor d'acqua nell'aria). La trattazione del problema diviene allora del tutto analoga dal punto di vista fisico e analitico a quanto visto per la trasmissione del calore.

Il nuovo parametro fisico che caratterizza i componenti è quindi la permeabilità al vapore o diffusività δ ovvero un coefficiente che rappresenta la quantità di vapore che passa nell'unità di tempo attraverso un materiale di spessore unitario per una differenza unitaria di pressione.

I valori di permeabilità di alcuni tipici materiali da costruzione possono essere desunti dalla norma UNI 10351, nella quale si possono trovare anche i relativi valori di conducibilità termica.

Sovente in letteratura i valori della resistenza al flusso di vapore si trovano espressi in forma adimensionale mediante il parametro μ , dato dal rapporto tra la resistenza al flusso di vapore del materiale in esame e quella di riferimento assunta pari alla resistenza alla diffusione del vapore offerta dall'aria a parità di spessore, per l'aria vale $\delta=1$.

Il materiale in esame ha un valore di permeabilità dieci volte inferiore a quello dell'aria; la convenienza nell'adozione dei valori δ suddetti, a vedendo a che fare con valori molto piccoli della permeabilità, sta nella maggiore semplicità dei calcoli e quindi nel minor rischio di commettere errori con le unità di misura.

Per quanto riguarda le resistenze superficiali al passaggio di vapore, queste possono essere ritenute del tutto trascurabili a fronte della resistenza offerta dagli altri componenti edilizi, pertanto la pressione parziale del vapore sulle facce interna ed esterna del componente si assumono uguali alla pressione parziale del vapore dell'aria a contatto con la superficie.

Il flusso di vapore ha luogo quando si crea un differenziale di pressione, il verso del flusso va dagli ambienti più caldi a quelli più freddi (al maggior contenuto di vapore primi corrisponde una maggiore pressione), e quindi si verifica generalmente dall'interno verso l'esterno degli ambienti, sia nei mesi estivi che in quelli invernali.

In generale la condensa interna non ha luogo nelle pareti omogenee ma in quelle multistrato, che rappresentano la maggior parte delle pareti presenti nelle nostre abitazioni. In particolare si osserva che se lo strato rivolto verso l'ambiente caldo è più ricco di vapore d'acqua, presenta una maggiore conducibilità termica. In tal caso la pressione parziale del vapore d'acqua raggiunge valori elevati in zone della parete che (a causa della bassa resistenza termica) si trovano a temperature relativamente basse e di conseguenza con valori della pressione di saturazione modesti: tali zone si considerano pertanto ad elevato rischio di condensazione.

Barriere al vapore

Sono "barriere" costituite da materiali di spessore sottile, aventi valore di permeabilità fino a 100.000 volte inferiori a quelli dell'aria; tipiche barriere al vapore sono costituite da fogli di polietilene, cloruro di vinile, cartonfeltro bitumato, guaine bituminose usate come impermeabilizzanti nelle coperture, ecc.

Per valutare il rischio di condensa si può percorrere la strada analitica attraverso la Legge di Fick determinando la quantità di vapore eventualmente condensato, oppure si può risolvere il problema graficamente ricorrendo al Diagramma di Glaser. Tale diagramma consiste nel rappresentare unitamente all'andamento dei valori di temperatura all'interno della struttura, anche i relativi valori della pressione di saturazione; confrontando questi ultimi con i valori delle pressioni parziali, si è in grado di stabilire la possibilità di rischi di condensazione, seppure con un grado di incertezza piuttosto elevato.

3.3 L'Inerzia Termica

La cosiddetta "inerzia termica" si compone di due principali fenomeni, lo smorzamento e lo sfasamento che caratterizzano la capacità dell'involucro a ridurre e ritardare l'effetto delle sollecitazioni termiche dinamiche esterne percepite all'interno di un ambiente.

Lo **smorzamento**, detto anche fattore di attenuazione armonica o di decremento dell'ampiezza, è un valore dato dal rapporto tra l'ampiezza dell'oscillazione termica della temperatura media dell'aria interna al locale e l'oscillazione termica della temperatura media dell'aria esterna. Se il fattore di smorzamento è pari a 1, significa quindi che l'oscillazione interna è pari a quella esterna, dunque si ha attenuazione nulla ("inerzia termica" nulla), se il valore tende a infinito l'attenuazione invece sarà massima. Un esempio classico per descrivere il fenomeno è quello della caverna o delle cantine interrato di un antico edificio che presentano un'oscillazione della temperatura interna molto bassa rispetto a quella esterna.

Lo **sfasamento** o ritardo termico, che viene misurato in ore, è il ritardo di tempo tra il momento in cui la superficie esterna dell'edificio raggiunge la massima temperatura (o

minima) della giornata e il momento in cui la faccia interna raggiunge la massima temperatura (o minima) della giornata. Un involucro ottimale presenta uno sfasamento di circa 12 ore, poiché la temperatura massima raggiunta dalla superficie esterna nelle ore più calde della giornata, raggiunge la superficie interna nelle ore notturne, quando ormai la temperatura dell'aria esterna è minore.

Per soddisfare l'attuale legislazione sul risparmio energetico che richiede un certo valore di trasmittanza termica periodica è necessario tenere in considerazione questi fattori. Tuttavia, lo sfasamento, che può essere facilmente calcolato tramite software, se non progettato correttamente, potrebbe dare vita a diverse problematiche, pertanto lo sfasamento in un involucro, deve essere progettato in modo che la temperatura massima raggiunta dalla superficie esterna, venga percepita all'interno dei locali durante le ore più fredde della giornata, la diretta conseguenza di una progettazione errata si manifesta con un surriscaldamento eccessivo dei locali in orari non voluti.

Dalle considerazioni di cui sopra è evidente che il tempo gioca un ruolo fondamentale nel fenomeno dell'inerzia termica per tale motivo viene definita la **costante di tempo termica** che indica il tempo che occorre per il rilascio completo del calore accumulato in un elemento e viene appunto definita come il rapporto tra l'energia accumulata all'interno dell'elemento e il flusso di energia trasmessa attraverso lo stesso. In una parete omogenea la costante di tempo termica aumenta con il quadrato dello spessore della parete e con il diminuire di un'altra grandezza, la **diffusività termica a**.

$$a = \frac{\lambda}{(\rho \times c)}$$

Dove:

- λ è la conduttività termica;
- c è il calore specifico del materiale;
- ρ è la densità del materiale.

Con il diminuire della diffusività termica del materiale aumenta lo sfasamento dell'onda termica e diminuisce il fattore di smorzamento.

3.4 I Ponti Termici

L'involucro edilizio presenta generalmente dei "punti critici" in cui l'isolamento ha prestazioni inferiori rispetto alle altre superfici, tali punti si trovano usualmente in corrispondenza di: cambiamenti di piano come ad esempio verticale/orizzontale, cambiamenti di materiale come le connessioni tra muro e copertura o muro e infisso o in presenza di variazione della geometria come gli angoli.

Queste criticità dell'apparato edilizio vengono definite comunemente "ponti termici lineari".

Esiste, tuttavia, un'altra categoria di ponti termici i cosiddetti "ponti termici puntuali" dovuti ad esempio ad elementi di fissaggio metallici. I ponti termici di qualsiasi natura essi siano hanno importanza fondamentale ai fini della tenuta del sistema edilizio e per tale motivo devono essere considerati nel calcolo della trasmittanza U della parete.

La loro particolare importanza deriva dalle conseguenze che possono avere se non vengono adeguatamente corretti, essi infatti, come detto in precedenza, costituiscono una fonte importante di dissipazione di calore e sono dei punti critici dove facilmente si generano fenomeni di condensa e fenomeni ad essa correlati come muffe, marcescenze, ecc.

Oggi, è facilmente possibile rendersi conto dell'intensità del flusso termico in uscita dall'involucro e quindi individuare i ponti termici grazie ad un tipo di analisi effettuata in loco chiamata **termografia**, questo studio consente il rilevamento delle radiazioni termiche emesse da un corpo, realizzato tramite sensori che raccolgono la radiazione e la trasformano in segnale elettrico che viene inviato a dispositivi che ricostruiscono un'immagine caratterizzata da evidenti discromie che permettono l'individuazione e l'intensità dei ponti termici.

Come già detto, i ponti termici si generano in diversi punti del fabbricato, in pareti a contatto con l'esterno e in quelle a contatto con locali non riscaldati, generalmente si trovano in corrispondenza del giunto tra la facciata e:

- solai su locali non riscaldati;
- solai intermedi;
- soletta del balcone;
- copertura, sia essa piana o inclinata;

- muri divisorii;
- infissi.

La loro intensità può essere più o meno rilevante pertanto vanno trattati di conseguenza.

4 SISTEMA DI ISOLAMENTO APPLICATO SULLA SUPERFICIE INTERNA DELL'INVOLUCRO - TIPOLOGIE

Prima di procedere all'isolamento di un muro perimetrale è importante assicurarsi che questo sia in buone condizioni e che non presenti tracce di risalita capillare o di infiltrazioni di umidità, tali problematiche infatti oltre a creare difficoltà e ingenti danni alla struttura, rischiano di compromettere le proprietà, le caratteristiche, la stabilità e la durata del materiale isolante utilizzato e il suo rivestimento. Per questo motivo è necessario procedere al trattamento nelle zone umide della muratura prima di qualunque operazione di isolamento.

Come è stato già detto nei capitoli precedenti l'isolamento delle pareti perimetrali verticali di un edificio può essere effettuato mediante l'utilizzo di metodologie differenti, in questo elaborato di tesi viene approfondita la tecnica dell'isolamento applicato sulla superficie interna che a vantaggio di una procedura il più delle volte rapida e poco costosa contrappone la possibilità di problemi legati ai ponti termici, condensa superficiale e lo scarso utilizzo dell'inerzia termica della muratura stessa.

Il sistema di isolamento di una parete verticale applicato dall'interno prevede una posa in opera abbastanza semplice che consiste nell'applicazione di un isolante e di uno strato di finitura posati appunto sulla superficie interna della parete perimetrale e di quelle a contatto con ambienti non riscaldati. Oltre alle già citate lacune di questa tecnica nel risolvere il problema dei ponti termici, esiste un altro inconveniente legato alla perdita di superficie utile o superficie netta calpestabile. Per ottenere prestazioni significative è infatti necessario che la superficie utile occupata dagli isolanti sia rilevante, di conseguenza viene ridotta la superficie netta calpestabile. Di contro il vantaggio di questo tipo di isolamento sta nel poter disporre di pareti finite pronte a ricevere il rivestimento interno in tempi molto brevi.

Ulteriori inconvenienti possono verificarsi nei mesi invernali, durante i quali, da un lato, viene meno lo sfruttamento della capacità di accumulo termico della muratura, dall'altro subentra il problema fondamentale della condensa interstiziale del vapore acqueo, che in inverno tende a migrare verso l'esterno e che, attraversato lo strato coibente, potrebbe entrare in contatto con la parete esterna alla temperatura di

condensazione e quindi condensare, per evitare questo fenomeno basta inserire un telo freno al vapore sulla superficie del coibente, posta verso l'interno del locale, la barriera al vapore deve essere correttamente dimensionata e deve quindi avere il giusto valore di S_d (spessore equivalente di aria) che si ottiene tramite la verifica di Glaser.

Occorre adottare particolari accorgimenti per il fissaggio degli elementi alla parete, senza forare i teli freno al vapore, e per il fissaggio degli elementi pesanti e dalla parte esterna della muratura, la parete infatti deve presentarsi in ottimo stato e protetta contro le infiltrazioni degli agenti atmosferici.

Per ridurre i ponti termici, di cui è stato trattato nei precedenti capitoli, al livello del pavimento, nei solai in latero-cemento, è consigliabile prevedere un isolamento sotto il massetto flottante e in prossimità dei soffitti. Come già detto i ponti termici più rilevanti si trovano in prossimità dei muri divisorii in muratura, ciò implica l'attuazione di misure adeguate, nel caso di sistema di isolamento interno, le principali soluzioni possibili prevedono l'utilizzo di:

- pannelli isolanti preaccoppiati,;
- strutture di intelaiatura e lastre in cartongesso;
- contropareti in muratura.

Di seguito vengono riportati i più comuni sistemi di coibentazione interna, ponendo particolare attenzione alle loro caratteristiche e la posa in opera.

4.1 Pannelli isolanti preaccoppiati

L'utilizzo dei pannelli isolanti preaccoppiati da incollare costituisce la tecnica più semplice e più rapida da impiegarsi, sia nei casi di nuova edificazione sia in quelli di ristrutturazione, a condizione che il supporto sul quale vengono posati sia in buone condizioni, pulito e piano.

Caratteristiche e posa in opera

La scelta dei materiali isolanti in commercio è particolarmente ampia, tra tutti i più comuni sono: lana di vetro, lana di roccia, polistirene espanso normale o ad elevate prestazioni per l'isolamento termico e/o acustico. Il materiale isolante viene incollato in fabbrica su una lastra di cartongesso con, eventualmente una barriera al vapore o un freno al vapore. Le lastre presentano generalmente una larghezza di 1,20 m e possono raggiungere fino a 3 m di altezza, permettendo di ricoprire tutta l'altezza del piano senza soluzioni di continuità.

Le lastre vengono incollate alla parete per mezzo di malte adesive e fissate contro il soffitto e il muro, al fine di accrescerne la stabilità. Sulla parte inferiore, viene spesso effettuata una sigillatura con lana minerale o schiuma di poliuretano. Inoltre, sono dotate di bordi assottigliati, al fine di ricevere nei giunti, tra una lastra e l'altra, l'intonaco e i nastri di rinforzo copri giunto, che sono strisce di carta o di rete sintetica ed hanno il compito di mascherare i raccordi e scongiurare la formazione di crepe dopo l'essiccazione. È importante che la posa sia costantemente controllata al fine di evitare il sovrasspessore. Generalmente le lastre in cartongesso hanno uno spessore che va dai 10 mm ai 13 mm, ovviamente maggiore è lo spessore maggiori saranno le prestazioni, le lastre in cartongesso possono essere classiche, idrofughe, rinforzate, acustiche, o dotate di uno strato di finitura al momento del processo di produzione

L'incollaggio dei pannelli isolanti preaccoppiati può essere effettuato soltanto su pareti verticali piane e pulite: calcestruzzo, blocchi di calcestruzzo, laterizi o calcestruzzo cellulare. Tale procedura non è adatta ai muri irregolari. Lo spessore totale del sistema, non trascurabile, deve essere preso in considerazione, infatti, considerato che, l'incollaggio implica circa 1 cm di scarto in relazione al filo del muro una volta che la colla è stata pressata, se si aggiunge lo spessore dell'isolante, compreso tra i 30 e i 100

mm, e quello della lastra di cartongesso (10/13 mm), si ottiene uno spessore totale compreso tra, i 50 mm per il pannello di minor spessore e 120 mm per i rivestimenti di dimensioni maggiori.

I ponti termici, oltre a quelli classici che si possono presentare in qualsiasi tipo di sistema, possono persistere anche nel caso in cui la posa in opera non venga effettuata con la dovuta attenzione a livello delle giunzioni tra le lastre, dei giunti con gli infissi, dei cassettoni elettrici da incasso o a causa di una scorretta sigillatura sulla parte inferiore o superiore delle lastre.

Per il passaggio delle guaine autoestinguenti dell'impianto elettrico o delle tubazioni idrauliche, è possibile incidere leggermente l'isolante dietro le lastre di rivestimento facendo sempre attenzione a non comprometterne le prestazioni. Per questo motivo vengono commercializzati pannelli isolanti dotati di scanalature, realizzate durante il processo di fabbricazione, posizionate tra l'isolante e la lastra di cartongesso, al fine di consentire il passaggio delle canalizzazioni impiantistiche

La massima attenzione deve essere posta nella posa dei pannelli al fine di garantire l'ermeticità dell'aria, tuttavia, ciò non impedisce la migrazione del vapore acqueo attraverso i materiali. Anche se i pannelli sono dotati di freno o barriera al vapore, la migrazione del vapore può avere origine dai loro giunti o dalle giunzioni con le pareti, generando rischi di condensa interstiziale qualora venissero a contatto con superfici alla temperatura di condensazione.

Nel caso in cui i muri siano irregolari o non consentano operazioni di incollaggio, è possibile fissare i pannelli mediante avvitatura su una struttura in legno.

4.2 Isolamento con intelaiatura

Se i muri sono degradati, irregolari, atipici (ad esempio hanno un'altezza elevata) o presentano condizioni di falso appiombato, una soluzione di isolamento è costituita dalla realizzazione di un'intelaiatura.

Caratteristiche e posa in opera

Tale procedura necessita di una quantità di materiale maggiore rispetto all'incollaggio, di conseguenza il sistema è più costoso e di più difficile attuazione. Tale sistema prevede la realizzazione, prima della posa degli isolanti, di un'intelaiatura metallica composta da profili guida di supporto inferiori fissati alla superficie del pavimento e da profili guida di supporto superiori fissati al soffitto. I profili fungono da supporto per gli elementi verticali, o profili montanti, disposti ad intervalli regolari, generalmente di 40 o 60 cm, vale a dire frazioni intere della larghezza della lastra a base di gesso, in funzione della resistenza meccanica e dell'altezza della parete da isolare, può essere necessario rinforzare la struttura dell'intelaiatura, occorre quindi prevedere la presenza di un profilo corrente orizzontale sul quale verranno collocati dei ganci distanziatori regolabili, che permetteranno il fissaggio a scatto dei montanti.

L'isolante viene installato prima del montaggio dei montanti, al fine di evitare che il materassino coibente si comprima, generalmente vengono impiegati dei pannelli semirigidi. Se l'isolante è permeabile al vapore acqueo, è quasi sempre necessario utilizzare un freno al vapore ed effettuare una verifica di Glaser, per il calcolo della quantità di condensa accumulabile e rievaporabile.

A questo scopo è necessario giuntare i teli tra loro e sigillare completamente tutte le fessure, utilizzando nastro adesivo dotato di freno al vapore; l'ermeticità dovrà essere garantita anche nei punti di giunzione con la superficie del pavimento, del soffitto e delle pareti laterali. Risulta dunque preferibile installare direttamente sull'intelaiatura un freno al vapore continuo, possibilmente igrovariabile. L'intelaiatura potrà ricevere le lastre di cartongesso che verranno avvitate ai montanti e occorrerà calcolare il numero esatto di lastre e le spaziature, affinché le giunzioni tra le lastre stesse coincidano esattamente con i montanti. Anche i giunti tra le lastre verranno effettuati con nastro di carta (o con rete sintetica) e intonaco. Lo stesso dicasi per la realizzazione

dell'ermeticità dell'aria, garantita dal riempimento con sigillante dello spazio tra le lastre di cartongesso e la superficie della pavimentazione.

Tale procedura presenta però alcuni inconvenienti; allo spessore dell'isolante scelto, occorre aggiungere quello della struttura metallica dell'intelaiatura, compreso tra i 18 e i 90 mm, oltre ad una o due lastre in cartongesso. La resistenza ai carichi offerta dalla parete finita non è in genere superiore rispetto a quella garantita dai rivestimenti incollati, dunque risulterà necessario prevedere dei rinforzi nei punti destinati a ricevere elementi di fissaggio per oggetti pesanti. Inoltre si dovrà cercare di evitare in ogni modo di forare il telo freno al vapore in caso di affissione di oggetti alla parete. La capacità di accumulo termico, in inverno, verrà vanificata dalla presenza del coibente posto sul lato interno.

Le strutture metalliche, soprattutto quelle di spessore elevato, tra le quali installare i materassini isolanti, potrebbero determinare ponti termici, per evitare questo è possibile posare l'isolante a due strati, in questo caso è consigliabile prevedere un primo strato privo di freno al vapore tra l'intelaiatura e la parete e poi un secondo strato con freno al vapore preaccoppiato tra i montanti o meglio uno con freno al vapore applicato.

Il sistema con montanti da 18 mm, con giunti distanziatori e corrente, è quello che occupa lo spessore minimo ed è il metodo maggiormente utilizzato in ambito residenziale, offre il vantaggio di poter essere applicato a qualunque tipo di isolante, semi rigido o in pannelli classici o ecologici in fibre naturali. È possibile scegliere lo spessore anche in funzione delle prestazioni termiche e acustiche desiderate. Sono disponibili anche lastre di cartongesso a maggiore resistenza meccanica, idrofughe, preintonacate o con un maggiore potere fonoisolante.

La distribuzione della rete idraulica ed elettrica mediante guaine autoestinguenti risulta facilitata, dal momento che risulta possibile realizzarla tra l'isolante e l'intelaiatura. Le prestazioni dell'isolamento non risulteranno compromesse, e allo stesso modo le perforazioni relative alle scatole da incasso possono essere effettuate senza danneggiare l'isolante.

4.3 Isolamento con controparete

Il principio di isolamento con controparete è semplice. Si tratta di un isolante posizionato contro una parete verticale e protetto da una controparete.

Caratteristiche e posa in opera

L'isolante, semi rigido o in pannelli, viene fissato meccanicamente o incollato, come nel caso degli isolanti in polistirene, se l'isolante è permeabile al vapore acqueo, occorre prevedere anche la presenza di freno al vapore sul lato interno, con valore S_d opportunamente dimensionato, al fine di evitare i rischi di condensazione interstiziale. Per la medesima ragione, l'ermeticità tra gli isolanti, anche non fibrosi, e le giunzioni con le pareti deve essere perfetta. I giunti degli isolanti sintetici, come il polistirene, possono essere sigillati con schiuma isolante autoespandente e nastri adesivi specifici.

La controparete, il cui spessore è generalmente pari a circa 5-7 cm, può essere realizzata in diversi materiali, come tavelloni in laterizio, pannelli in gesso o in calcestruzzo cellulare. Per la finitura della controparete, nel caso in cui siano presenti dei tavelloni, è possibile utilizzare un intonaco a base di calce e una rasatura in gesso/calce; tuttavia si può optare per lastre di cartongesso incollate, più semplici da posare. Se la controparete è in calcestruzzo cellulare, sarà sufficiente effettuare una rasatura con gesso/calce ed utilizzare lastre di cartongesso che consentono di migliorare ulteriormente le prestazioni termiche. Nel caso in cui la parete sia costituita da pannelli in gesso risulterà necessaria una rasatura con gesso/calce sui giunti, ed una carteggiatura sugli stessi.

Il vantaggio di queste soluzioni con controparete in gesso è rappresentato dalla realizzazione di una muratura sul lato interno con una certa densità che permette di incrementare la capacità di accumulo termico dell'involucro e i carichi ammissibili per i fissaggi sono superiori rispetto a quelli di una semplice lastra di cartongesso.

La scelta del tipo di isolante e del suo spessore dovranno essere valutati a seconda dei valori di trasmittanza e di sfasamento e smorzamento dell'onda termica che si vogliono o si devono ottenere. L'isolante viene protetto dalla controparete. La rete elettrica, che dovrà essere protetta da guaine autoestinguenti, e quella idraulica sono

posizionate tra l'isolante e la controparete. Se quest'ultima presenta uno spessore sufficiente e se le norme lo consentono, il passaggio delle condutture può essere realizzato al suo interno tramite crene realizzate con l'incisione della stessa, in modo da non intaccare l'isolante.

L'ermeticità dell'aria, in genere, è soddisfacente grazie al tipo di posa delle pareti in muratura. Il principale inconveniente rimane lo spessore di un simile sistema di isolamento, poiché oltre allo spessore dell'isolante scelto, occorre considerare un'intercapedine di circa 10 mm, uno spessore di tavelloni di 40 mm e un intonaco di 10 mm. Inoltre, il costo della posa in opera delle contropareti è considerevole.

5 IL SISTEMA DI ISOLAMENTO INTERNO – GENERALITA'

Nel precedente capitolo sono state illustrate diverse tecniche di isolamento applicato nella parte interna dell'edificio. La scelta di una o l'altra tecnica dipende principalmente dalle condizioni originali dell'involucro dell'edificio e dalle prestazioni che si desidera ottenere in seguito alla posa in opera del sistema di coibentazione.

Di seguito saranno analizzati nel dettaglio i tre elementi che caratterizzano il sistema di isolamento di una parete verticale, quindi il substrato, il materiale isolante e lo strato di finitura.

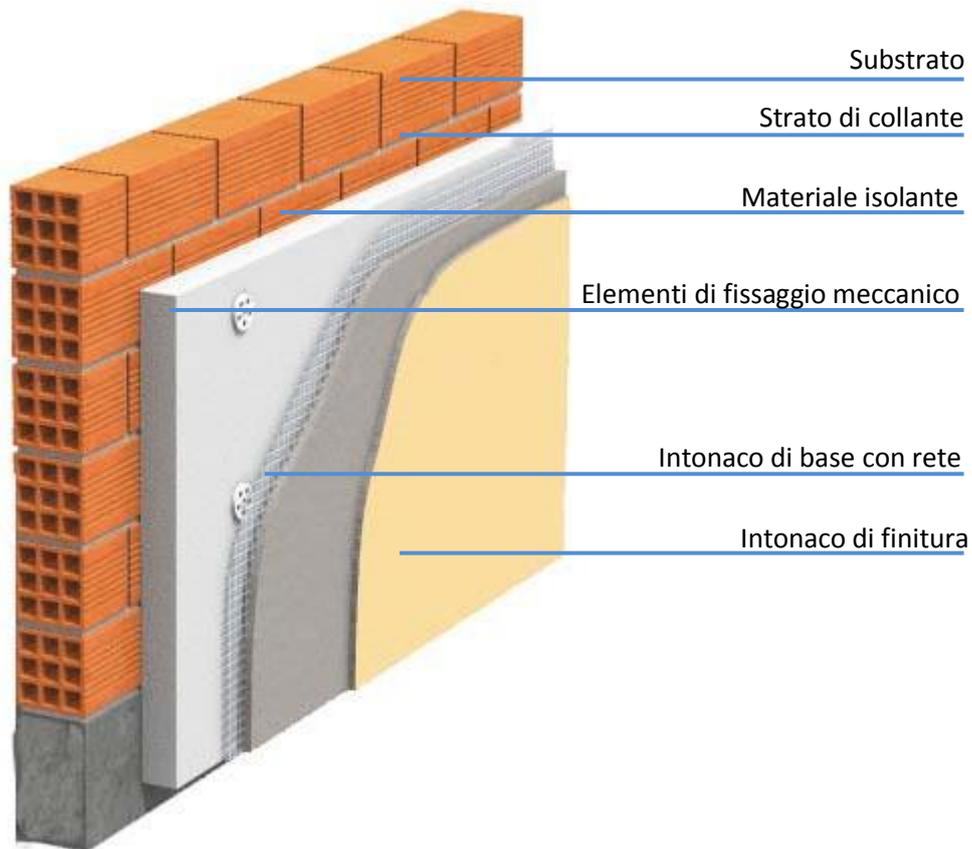


Figura 4

5.1 Substrato

Con il termine substrato si definisce la parete su cui verrà assemblato il sistema di isolamento come quella che racchiude in sé tutte le caratteristiche necessarie di tenuta all'aria e resistenza meccanica (resistenza ai cariche statici e dinamici), la quale può essere finita con intonacature minerali o organiche, con vernici o con mattoni.

Al fine di ottenere una corretta applicazione del sistema di isolamento è necessario studiare a fondo il supporto sul quale esso verrà applicato e capirne proprietà e problematiche per procedere con la preparazione dello strato nel modo corretto.

Considerando il panorama degli edifici esistenti sul territorio italiano, i principali materiali costituenti il substrato su cui applicare un capotto sono:

- Calcestruzzo alveolare o normale (tendenzialmente intonacato);
- Mattoni pieni o forati (con o senza intonaco);
- Pannelli in legno per esterni;
- Pannelli da costruzione leggeri (come i pannelli in gesso);
- Pietra.

5.2 Materiale isolante

Il materiale isolante è definito come un prodotto prefabbricato con una grande resistenza termica, il quale è progettato per conferire proprietà isolanti al substrato sul quale è applicato.

La sua funzione è quindi di isolare termicamente il manufatto dal freddo nei mesi invernali e di proteggerlo dal calore eccessivo nei mesi estivi.

Le tipologie di materiale che possono essere utilizzate sono molteplici e variano a seconda che si voglia ottenere un sistema più o meno sostenibile e in base alle esigenze costruttive e cantieristiche. Ad oggi sicuramente i principali materiali isolanti in commercio sono il polistirene espanso e la lana di roccia .

5.3 Sistema di finitura

Il sistema di finitura è l'insieme dei layer di intonaco e rete di rinforzo applicati sulla faccia esterna del sistema di isolamento.

L'intonaco di fondo unito alla rete d'armatura ha la funzione di assorbire le tensioni superficiali (tensioni igrometriche) e le sollecitazioni meccaniche (urti), mentre l'intonaco di finitura protegge lo strato sottostante ed ha valenza estetica in quanto strato di chiusura del sistema.

Va ricordato che, sia l'intonaco di base che quello di finitura possono essere applicati anche in più layer e che lo strato di finitura può non essere necessariamente un intonaco ma anche un altro materiale.

Nei capitoli seguenti saranno presentate più nel dettaglio tipologie e caratteristiche dei componenti del sistema di isolamento qui introdotti genericamente.

6 CARATTERIZZAZIONE DEL SUBSTRATO

6.1 Substrati contemplati da normativa e manualistica

La ETAG 004 tratta della preparazione del substrato in modo generico, all'interno del suo settimo capitolo. Qui, a prescindere da quale sia il materiale costituente il suddetto layer, vengono esplicitate le assunzioni sotto le quali l'idoneità all'uso del prodotto è accertata.

Di seguito vengono riportati, tradotti in italiano, i punti principali del paragrafo 7.3 della ETAG 004 nei quali sono descritte le raccomandazioni affinché il substrato su cui si lavora sia idoneo.

A prescindere dalla tipologia di sistema che verrà applicato (incollato o fissato meccanicamente), la normativa sottolinea tre caratteristiche fondamentali che la superficie deve possedere per una buona riuscita dell'intervento:

- **Resistenza** la muratura non deve aver perso le sue caratteristiche di staticità;
- **Essere perfettamente asciutta** va evitato che vi sia umidità di qualsiasi origine o che la superficie risulti impregnata di liquido;
- **Essere libera da materiale sconnesso** non vi deve particolato o altro materiale disperso sulla superficie.

All'interno della manualistica invece, in modo particolare nel manuale del consorzio Cortexa, viene illustrato più dettagliatamente quali sono prove e preparazione più adatte per ciascun tipo di supporto.

Nello specifico vengono citati i seguenti substrati con le presenti raccomandazioni:

- **Supporti nuovi e non intonacati** In presenza di questi è consentito presupporre che siano stati realizzati secondo le regole tecniche riconosciute e siano quindi adatti per l'applicazione di sistemi di isolamento, almeno in linea di principio. Rimane chiaramente necessario, prima dell'applicazione del sistema isolante, accertarsi dello stato della superficie;
- **Vecchie costruzioni e supporti intonacati preesistenti** In questo caso è bene mettere in atto tutti i provvedimenti adatti, a seconda della tipologia di muratura, per essere certi della bontà dello strato che farà da base al sistema di isolamento. In particolare le

metodologie d'intervento per risanare la superficie, variano a seconda della tipologia di muratura costituente l'edificio e delle sue proprietà. Fondamentale poi specificare che, per maggior sicurezza, è sempre meglio, procedere alla sua applicazione sia tramite incollaggio che fissaggio meccanico;

- **Supporti in legno e pannelli da costruzione leggeri** Per questi substrati indispensabile è garantire la protezione dall'umidità onde evitare rigonfiamenti, movimenti e deformazioni dannose o addirittura riduzione della resistenza dei supporti.

6.2 Substrati non contemplati da normativa e manualistica

Per tutte le altre tipologie di supporto, come ad esempio la pietra, né la normativa, né la manualistica forniscono indicazioni precise su prove da svolgersi o provvedimenti da prendersi per preparare il substrato. Rimane dunque al buon senso del progettista effettuare tutti i controlli che ritiene più opportuni per valutare l'idoneità del supporto ad accogliere un sistema di isolamento, analizzandolo principalmente dal punto di vista statico e fisico-tecnico (igrometria delle pareti).

6.3 Analisi delle proprietà dei substrati

I materiali che si possono ritrovare oggi nelle chiusure verticali esterne di un edificio sono moltissimi, tutti con caratteristiche specifiche che li rendono più o meno adatti ad accogliere un sistema di coibentazione.

In modo particolare per quel che riguarda gli edifici esistenti, prima di procedere alla progettazione di interventi di riqualificazione, devono essere svolte analisi finalizzate alla conoscenza dell'edificio stesso. Un'analisi storica può essere utile, in una fase iniziale, per ipotizzare, in base all'epoca di costruzione, quali materiali si possano trovare nell'involucro. Altri fattori importanti di cui cercare di venire a conoscenza nella fase di studio della composizione dell'involucro sono:

- **La tipologia dell'edificio** capire se si è di fronte ad una costruzione isolata, a torre o a schiera poiché ciò comporta probabilmente la presenza di tecniche costruttive diverse e quindi materiali differenti;

- *La localizzazione geografica e le tradizioni costruttive locali* anche questo fattore causa la presenza di materiali diversi a seconda di quelle che nel passato erano le materie prime più diffuse nel territorio in questione.

Questo è per tanto un primo tipo di analisi, basata su conoscenze generali della materia e su una buona documentazione della specifica realtà locale, che consente di ipotizzare, con un buon grado di approssimazione, la tipologia di materiali utilizzati nell'edificio. In un secondo momento è sempre bene effettuare altre analisi diagnostiche più specifiche sulla costruzione per avere certezza del materiale costituente il substrato ed eventualmente rilevare le problematiche dell'involucro dell'edificio.

Fatta questa premessa, prima di procedere con l'analisi delle pratiche d'intervento per risanare supporti danneggiati, si presentano di seguito delle schede riassuntive delle principali caratteristiche di 5 tipologie di murature: calcestruzzo, laterizio, legno, pietra e prefabbricati.

Tali schede hanno lo scopo di creare una conoscenza di base delle proprietà specifiche di ogni famiglia di materiali usati nella realizzazione degli involucri esterni delle abitazioni per essere in grado poi di studiare il sistema ETICS più adatto per la riqualificazione del manufatto dal punto di vista prestazionale.

6.3.1 Costruzioni in calcestruzzo

La storia del calcestruzzo come materiale da costruzione per l'edilizia inizia nel XX secolo con la realizzazione di edifici industriali in cui il materiale veniva utilizzato anche per la costruzione delle murature, nelle quali veniva lasciato in vista. Successivamente si iniziarono a creare edifici con struttura intelaiata in cemento armato. E' in questi fabbricati che si possono trovare, come elementi costitutivi delle pareti di tamponamento, dei blocchi in calcestruzzo. I blocchi possono essere pieni, semipieni o alleggeriti e le loro caratteristiche variano in base alla conformazione e al tipo di calcestruzzo utilizzato.

Le tipologie di muratura in calcestruzzo che si possono trovare potrebbero essere state realizzate con calcestruzzo gettato in opera, elementi prefabbricati o ancora in calcestruzzo gettato e poi rivestito.

Le caratteristiche che contraddistinguono questo tipo di materiale sono:

- Elevate prestazioni di isolamento;
- Ottima inerzia termica;
- Elevata traspirabilità;
- Buone prestazioni di isolamento acustico;
- Elevata resistenza meccanica;
- Ottimo comportamento al fuoco.

Sebbene il calcestruzzo risulti un materiale tendenzialmente molto resistente diverse potrebbero essere le problematiche presenti su superfici di questo tipo costituenti l'involucro esterno di edifici esistenti.

Nello specifico si potrebbero riscontrare:

- Polveri o altra sporcizia;
- Incrostazioni;
- Residui di oli disarmanti o altro particolato proveniente dai casseri;
- Crepe, buchi o irregolarità superficiali;
- Effluorescenze;
- Fenomeni di carbonatazione e/o ossidazione dei ferri di armatura scoperti.

6.3.2 Costruzioni in laterizio

In diversi edifici facenti parte del patrimonio del costruito italiano il materiale utilizzato per le murature è il laterizio, il quale può essere usato sia come sistema portante, ma solo per edifici di dimensioni modeste, sia come elementi di tamponamento di sistemi portanti in cemento armato. In quest'ultimo caso i laterizi sono posti a chiusura dello spazio tra i pilastri, da ciò la definizione "di tamponamento", che equivale però ad una vera e propria parete che divide l'interno dall'esterno.

Ovviamente esistono anche manufatti interamente realizzati in mattoni, nei quali il materiale è usato sia per la realizzazione della struttura portante che per la costruzione delle murature. In questo caso ci si potrebbe trovare di fronte a due situazioni: murature finite in mattoni secondo precise regole di calcolo architettonico, dette faccia vista o paramano, nelle quali il laterizio viene volutamente lasciato a vista; oppure pareti esterne nelle quali la base in mattoni doveva essere solo il supporto per

una successiva intonacatura. Chiaramente, essendo la tecnica del paramano fatta per essere gustata esteticamente, è difficile che si decida di nascondere con un cappotto esterno facciate di questo tipo, ma si scelgono altre metodologie di riqualificazione energetica.

La parete di chiusura realizzata in mattoni però non è necessariamente un elemento pieno. Nel caso in cui il laterizio non abbia funzione portante ma sia usato come elemento di tamponamento, si potrebbe trovare una doppia parete costituita da due strati di mattoni di diverso spessore, generalmente con lo strato esterno più spesso e quello interno più sottile. I due strati, inoltre, possono essere separati da un layer isolante, oppure, come solitamente accade nelle costruzioni più datate, possono essere posti ad una certa distanza l'uno dall'altro creando così un'intercapedine d'aria, che già da sola costituisce un ottimo metodo isolante.

Data la complessità di situazioni che si possono celare dietro a pareti di questa tipologia è sempre bene svolgere approfondite indagini diagnostiche quando non si hanno informazioni certe sulle stratigrafie delle murature.

La caratteristica principale del laterizio sta nella sua struttura porosa che costituisce per il materiale sia un pregio che un grande difetto. Questa proprietà costituisce un vantaggio per i requisiti termici, per lo scambio igrometrico e l'aerazione delle pareti, ma, una porosità eccessiva, può anche risultare molto pericolosa se il laterizio, per via dell'umidità del terreno, risulta saturo di acqua. In questo caso, per via dei cicli di gelo e disgelo, il fluido presente nelle porosità del materiale, aumentando il suo volume all'abbassarsi della temperatura esterna, provoca la rottura del mattone causandone pertanto una diminuzione delle prestazioni.

In generale, le problematiche che maggiormente affliggono un supporto in mattoni sono quindi:

- Polvere, sporcizia o sfarinatura;
- Irregolarità varie;
- Umidità ed effluorescenze.

6.3.3 Costruzioni in legno

Le costruzioni in legno si stanno sviluppando molto in questi ultimi anni. Nel passato esso era un materiale utilizzato quasi esclusivamente per le finiture o lo si vedeva

principalmente nelle aree montane dove risultava chiaramente la materia prima più diffusa grazie alle sue caratteristiche: rinnovabile, facile da lavorare, relativamente leggero e sicuramente anche di basso costo. Oggi sta diventando molto più comune la pratica di realizzare un'abitazione in legno anche per chi non abita in montagna. Dato il grande sviluppo che sta avendo l'idea di edilizia sostenibile il legno sta diventando un materiale molto apprezzato nel mondo delle costruzioni, sia per la realizzazione di strutture portanti, sia per la creazione di elementi di tamponamento.

In particolare oggi è in grande sviluppo la progettazione di abitazioni prefabbricate composte totalmente da elementi in legno così come la costruzione di rialzi o ampliamenti di edifici preesistenti per via della notevole leggerezza del materiale.

A livello di benessere e di comfort abitativo il legno ha certamente dei vantaggi notevoli:

- La temperatura interna non oscilla in modo sensibile al variare di quella esterna;
- Durante l'estate gli ambienti rimangono tendenzialmente più freschi di quelli in una casa costruita tradizionalmente, anche in assenza di impianto di condizionamento;
- Il materiale tende a trasmettere in modo minore l'umidità, il che si traduce in assenza di muffe;
- Il legno ha inoltre un grande potere fonoassorbente (circa 58 dB per 10 cm di spessore).

Chiaramente anche le costruzioni realizzate in legno, devono essere soggette ad attenti controlli prima di applicare un sistema di isolamento. Nello specifico, le problematiche che potrebbero affliggere questa tipologia di supporto sono:

- Buchi, mancanza di unione con la struttura sottostante o possibili movimenti dei pannelli;
- Polvere e sporcizia;
- Umidità di risalita dal terreno.

6.3.4 Costruzioni in pietra

Storicamente in Italia le pareti perimetrali degli edifici erano realizzate in muratura portante, ovvero da blocchi di pietra cementati con malte o posati a secco. La parete

così realizzata aveva generalmente un forte spessore, quindi una massa termica elevata che consentiva un buon grado di isolamento interno.

Per edifici in muratura portante si intendono quegli edifici, realizzati prima della diffusione del cemento armato, in cui il compito di sostenere i vari piani era assegnato, appunto, alle murature perimetrali e ad alcuni muri interni degli edifici, soprattutto se questi erano di grandi dimensioni. Per sostenere il peso, le murature dovevano essere realizzate con spessori notevoli. Lo spessore della muratura costituisce la massa termica che si oppone al passaggio del calore tra interno ed esterno e viceversa: è per questo che gli edifici in muratura portante sono abbastanza caldi in inverno e freschi in estate. Questo tipo di pareti presenta quindi un buon livello di isolamento, e non necessita di interventi migliorativi particolari.

Così come per gli edifici realizzati in mattone paramano, anche per le abitazioni in pietra, quando la rilevanza storico-architettonica della facciata fosse di grande rilievo (centri storici, edifici vincolati), è sempre bene evitare di effettuare un isolamento a cappotto esterno ma scegliere altre vie per la riqualificazione energetica dell'immobile, come ad esempio agire dall'interno.

Tuttavia, vi sono situazioni nelle quali, come per le costruzioni in laterizio, il manufatto veniva realizzato in pietra solo perché questa era la materia prima più facilmente reperibile nella zona ed era pensato per essere poi intonacato. In questi casi è possibile allora pensare di creare un sistema di isolamento a cappotto esterno per la riqualificazione energetica dell'immobile.

Nonostante le caratteristiche fisiche della pietra e i grandi spessori con cui venivano realizzate le murature perimetrali delle abitazioni rendano questi edifici molto prestanti dal punto di vista termofisico, sia per la climatizzazione invernale che per quella estiva, spesso sono notevoli e problematiche che si riscontrano nell'applicazione di un sistema a cappotto esterno. A livello superficiale le problematiche che i conci di pietra possono presentare sono le seguenti:

- Elementi in fase di distacco;
- Conci particolarmente porosi poiché consumati dagli agenti atmosferici nel tempo;
- Giunti di allettamento scavati per effetto dell'acqua piovana;
- Accentuati fuori piombo o irregolarità derivanti da una particolare apparecchiatura costruttiva;

- Umidità di risalita capillare.

6.3.5 Costruzioni con pannelli prefabbricati leggeri

I sistemi a secco in cartongesso o in altri materiali come il calcestruzzo o il legno comprendono una vasta gamma di prodotti sotto forma di lastre(che, combinati tra loro, permettono la realizzazione di pareti divisorie, e pareti per tamponamenti esterni.

Oggi il cartongesso ha assunto una valenza importantissima nell'edilizia, soprattutto dopo l'ingresso delle nuove normative europee in fatto di coibentazione termica ed acustica. Grazie alla sua versatilità, alle numerosissime applicazioni ed innovazioni oggi non si parla più di cartongesso ma di veri e propri Sistemi a secco. Dotati di caratteristiche superiori di isolamento e sicurezza, ideali per una facile installazione degli impianti, leggeri e resistenti, sono oggi il sistema che permette di realizzare nel minor tempo e con maggior pulizia qualsiasi soluzione funzionale o estetica.

I sistemi a secco, realizzati con lastre prefabbricate, non sono però solo una scoperta di anni recenti. Già nel periodo dell'industrializzazione, ovvero intorno agli anni Settanta, soprattutto nelle grandi città, il boom economico aveva portato alla realizzazione di edifici prefabbricati per riuscire in tempi brevi a sviluppare le industrie e anche ad erigere le abitazioni popolari che dovevano accogliere i sempre più numerosi operai delle fabbriche, che per lavoro si stavano trasferendo in città con le loro famiglie.

Le tipologie di pannelli prefabbricati leggeri che si possono trovare sono quindi di tipologie diverse a seconda della funzione del manufatto per cui sono utilizzate. Si hanno pannelli in lamiera metallica per gli edifici o i capannoni industriali, spesso totalmente privi di isolamento, pannelli in legno cartongesso o calcestruzzo leggero per le case popolari o i più moderni pannelli sandwich degli odierni sistemi di costruzione a secco.

Le proprietà di questi elementi possono chiaramente essere tra le più disparate proprio per la grande molteplicità di tipologie che il mercato e la storia presentano.

I difetti superficiali che questi sistemi possono presentare invece sono molto simili a quelli che si riscontrano nelle costruzioni in legno, ovvero:

- Polvere e sporcizia;
- Irregolarità superficiali;

- Mancanza di unione con la struttura sottostante;
- Problematiche dovute alla presenza di umidità per risalita capillare.

6.3.6 Costruzioni con supporti intonacati o con rivestimenti ceramici

Lavorando sul panorama degli edifici esistenti molto spesso ci si scontra con costruzioni non isolate che presentano però una finitura estetica. Tale layer può essere realizzato con intonaci e pitture minerali o organiche oppure anche con rivestimenti ceramici. Certamente anche in situazioni come queste va studiato attentamente lo strato di rivestimento finale della muratura a ridosso del quale verrà applicato il sistema di isolamento, per scongiurare qualsiasi problematica futura che potrebbe scaturire da un pregresso degrado del substrato.

Nello specifico, quando il supporto risulta finito con intonaci, pitture o rivestimenti ceramici, le incoerenze che si potrebbero presentare sono:

- Polvere e sporcizia;
- Buchi o lacune di materiale;
- Mancanza di adesione alla struttura sottostante;
- Effluorescenze o altre problematiche legate alla presenza di umidità per risalita capillare;
- Irregolarità.

7 CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI ISOLANTI

Il materiale isolante è definito all'interno della ETAG 004 come:

un prodotto prefabbricato con una grande resistenza termica, il quale è progettato per conferire proprietà isolanti al substrato sul quale è applicato.

La sua funzione è quindi di isolare termicamente il manufatto dal freddo nei mesi invernali e di proteggerlo dal calore eccessivo nei mesi estivi.

Un buon materiale isolante, per essere considerato tale, deve possedere delle caratteristiche specifiche le quali sono in parte garantiti dalla presenza della marchiatura CE. Quest'ultima infatti risulta necessaria per l'immissione dei prodotti sul mercato edile ed è applicata in base alle norme di prodotto come la UNI EN 13163 per EPS (polistirene espanso sinterizzato), la UNI EN 13162 per MW (lana minerale) e la UNI EN 13165 per PU (poliuretano). Occorre precisare però che tale marcatura, pur rappresentando la "carta d'identità" del prodotto, non fissa i requisiti minimi di prestazione specifici per l'applicazione del sistema a cappotto e, di conseguenza, non può da sola attestare l'idoneità dei pannelli isolanti a tale applicazione.

7.1 Requisiti materiali isolanti secondo le normative

7.1.1 ETAG 004

All'interno del sesto capitolo, la ETAG 004, enuncia in termini numerici quali sono i valori minimi sotto i quali non possono scendere alcuni requisiti di un materiale da considerarsi isolante.

Nello specifico, per tutte le categorie d'uso, ovvero materiali isolanti inseriti in sistemi sia incollati che fissati meccanicamente, vanno analizzati i valori dei seguenti requisiti prestazionali:

- Assorbimento d'acqua per immersione parziale $\leq 1 \text{ kg/m}^2$;
- Conducibilità termica $\lambda \leq 0,065 \text{ W/mK}$;

Per sistemi incollati vanno poi rispettati anche i seguenti valori prestazionali minimi:

- Resistenza a taglio $f_{rk} \geq 0,02 \text{ N/mm}^2$;
- Modulo di taglio $G_m \geq 1,00 \text{ N/mm}^2$;
-

7.1.2 Normative più specifiche

Rifacendosi alle normative di prodotto più specifiche come la UNI EN13499:2005 per l'EPS, la UNI EN 13500:2005 per MW e la EN specification per PU, si aggiungono a quelli dalla ETAG 004 ulteriori requisiti che il materiale isolante deve possedere.

Tali valori vengono sinteticamente riportati nel seguito.

Requisiti minimi EPS seconda UNI EN 13499:2005

- Resistenza a trazione perpendicolare delle facce $\geq 100\text{kPa}^2$;
- Stabilità dimensionale $\pm 2\text{ mm/m}$;
- Planarità $\pm 5\text{ mm}$;
- Lunghezza $\pm 2\text{ mm}$;
- Spessore $\pm 1\text{ mm}$;
- Assorbimento d'acqua per immersione parziale $\leq 0,5\text{ kg/m}^2$.



Figura 5- pannelli EPS

Requisiti minimi MW secondo UNI EN 13500:2005

- Resistenza a trazione perpendicolare delle facce $\geq 7,5\text{ kPa}^2$;
- Stabilità dimensionale $\leq 1\%$;
- Squadratura $\leq 5\text{mm/m}$;
- Planarità $\leq 6\text{ mm}$;
- Lunghezza $\pm 2\text{ mm}$;
- Larghezza $\pm 1,5\text{ mm}$;
- Spessore $+3/-1\text{ mm}$;
- Resistenza a compressione $\geq 10\text{ kPa}$;
- Assorbimento d'acqua per immersione parziale $\leq 3\text{ kg/m}^2$.



Figura 6 - pannelli di lana minerale

Requisiti minimi PU secondo EN ETICS specification

- Assorbimento d'acqua $\pm 2\text{ mm}$ 1 kg/m^2 ;
- Assorbimento d'acqua per immersione parziale $\leq 1\text{ kg/m}^2$;
- Resistenza termica $R_0 \geq 1\text{ kg/m}^2$;
- Resistenza a taglio $\geq 30\text{ kPa}$;
- Modulo di taglio $\geq 350\text{ kPa}$;
- Resistenza a trazione perpendicolare delle facce $\geq 80\text{ kPa}$;

- Stabilità dimensionale $\pm 2\%$;
- Squadratura $\leq 3\text{mm/m}$;
- Planarità $\pm 5\text{ mm}$;
- Lunghezza $\pm 2\text{ mm}$;
- Larghezza $\pm 2\text{ mm}$;
- Spessore $\pm 2\text{ mm}$ per spessori $\leq 75\text{ mm}$;
- Spessore $\pm 3\text{ mm}$ per spessori $\geq 75\text{ mm}$;
- Resistenza a compressione $\geq 100\text{ kPa}$;
- Fattore di sicurezza per la resistenza pull through sotto carico a vento Y_{m2} .



Figura 7 - pannelli in PU

7.1.3 Ulteriori materiali isolanti

Sebbene i tre isolanti sopra descritti siano quelli tendenzialmente più utilizzati per essere inseriti in un sistema di coibentazione, ve ne sono diversi altri che il mercato propone, i quali, possono risultare preferibili per diverse ragioni: sostenibilità ambientale del prodotto, economicità del materiale, miglior prestazione energetica.

Si riportano di seguito altri possibili materiali isolanti:

- Fibra di legno mineralizzata;
- Fibra di legno;
- Calce-cemento cellulare;
- Pannelli in canna palustre;
- Pannelli di canapa;
- Pannelli in sughero;
- Vetro cellulare;
- Aerogel;
- Sughero espanso;
- Pannelli di schiuma fenolica espansa.

Per questi ulteriori materiali non vi sono normative più specifiche che ne regolino i requisiti minimi per poter essere utilizzati all'interno di un sistema di isolamento. Si lascia quindi al progettista il compito di sfruttare al meglio le proprietà di ciascun materiale per realizzare una coibentazione secondo tutte le buone regole dell'arte.

Si ricorda però che, per conoscere al meglio caratteristiche e proprietà di questi materiali, è possibile consultare le specifiche normative UNI EN 13164-13171 e la UNI EN 13986.

7.2 La resistenza al fuoco per i materiali isolanti

7.2.1 Normativa Italiana

La classificazione dei materiali a seconda della loro reazione al fuoco è una delle misure di prevenzione incendi previste in Italia.

La reazione al fuoco di un materiale viene definita dalla norma UNI CEI EN ISO 13943/2004 come:

il comportamento di un materiale che contribuisce con la propria decomposizione al fuoco a cui è sottoposto in condizioni determinate.

Il Decreto Ministeriale del 26 giugno 1984 e la modifica del 2001 regola la classificazione della reazione al fuoco e l'omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi.

Con riferimento alla reazione al fuoco ai vari materiali sono assegnate le classi da 0 a 5 con l'aumentare della loro partecipazione alla combustione.

Tutti i materiali appartenenti alla classe 0 sono definiti incombustibili. Essi sono:

- materiali da costruzione, compatti o espansi a base di ossidi metallici o di composti inorganici privi di leganti organici;
- materiali isolanti a base di fibre minerali (fibre di roccia, di vetro, ceramiche ed altre) privi di leganti organici;
- materiali costituiti da metalli con o senza finitura superficiale a base inorganica.

Le classi da 1 a 5 sono invece riferite ai materiali combustibili.

Il comportamento di un materiale combustibile è tanto migliore quanto più bassa è la classe (la 1 è la migliore e la 5 è la peggiore).

In alcuni ambiti poi vengono anche richiesti materiali omologati con classi di reazione al fuoco minime (es. ospedali, locali di pubblico intrattenimento, strutture ricettive

ecc.), in questo caso alla certificazione deve essere aggiunta una procedura tecnico-amministrativa di omologazione emessa dal Ministero dell'Interno la cui validità è di 5 anni.

Figura 8 - Classi di infiammabilità materiali secondo la normativa italiana

7.2.2 Normativa Europea

La norma europea UNI EN 13501-1 regola la classificazione di reazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione.

Secondo la norma, per reazione al fuoco si intende:

il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto (da non confondersi con la resistenza al fuoco).

I prodotti sono considerati in relazione alla loro condizione di applicazione finale e vengono suddivisi in tre macro categorie:

- prodotti da costruzione;
- pavimenti;
- materiali di forma lineare destinati all'isolamento termico delle condutture (non considerati in questa sede).

I prodotti da costruzione vengono classificati, secondo metodi di prova armonizzati, nelle Euroclassi A1, A2, B, C, D, E ed F.

I materiali classificati A1 e A2 sono considerati incombustibili (cemento, calcestruzzo, minerali, vetro, lana di roccia, ceramica, etc.) mentre quelli certificati da B a F sono combustibili in ordine crescente.

CLASSIFICAZIONE SECONDO LA NORMA UNI EN 13501 - 1					
DEFINIZIONE	MATERIALI DA COSTRUZIONE			MATERIALI PER PAVIMENTAZIONE	
Materiali incombustibili	A1			A1g	
	A2 - s1 d0	A2 - s1 d1	A2 - s1 d2	A2 _g - s1	A2 _g - s2
	A2 - s2 d0	A2 - s2 d1	A2 - s2 d2		
A2 - s3 d0	A2 - s3 d1	A2 - s3 d2			
Materiali combustibili non infiammabili o difficilmente infiammabili	B - s1 d0	B - s1 d1	B - s1 d2	B _g - s1	B _g - s2
	B - s2 d0	B - s2 d1	B - s2 d2		
	B - s3 d0	B - s3 d1	B - s3 d2		
	C - s1 d0	C - s1 d1	C - s1 d2	C _g - s1	C _g - s1
	C - s2 d0	C - s2 d1	C - s2 d2		
	C - s3 d0	C - s3 d1	C - s3 d2		
Materiali combustibili normalmente infiammabili	D - s1 d0	D - s1 d1	D - s1 d2	D _g - s1	D _g - s1
	D - s2 d0	D - s2 d1	D - s2 d2		
	D - s3 d0	D - s3 d1	D - s3 d2		
	E		E	E _g	
Materiali combustibili facilmente infiammabili	F			F _g	

Figura 9 - classe di infiammabilità secondo normativa europea

Si ricorda che, le classi di reazione al fuoco dei materiali per pavimentazione non hanno alcuna differenza rispetto a quelle degli altri materiali da costruzione, semplicemente risultano contrassegnati dal pedice g.

Classificazione aggiuntiva

La normativa europea prevede un'ulteriore classificazione per tutti i materiali appartenenti alle classi A2, B, C, D a seconda del livello di emissione di fumi e di particelle/gocce ardenti durante la combustione.

Viene riportato uno specchio relativo a quest'ulteriore classificazione per esplicitarne la simbologia che compariva nella tabella precedente.

CLASSE ACCESSORIA		DEFINIZIONE LIVELLO	
Livello emissione di fumo durante la combustione	s	1	Quantità e velocità di emissione assenti o deboli
		2	Quantità e velocità di emissione di media intensità
		3	Quantità e velocità di emissione elevate
Livello di gocciolamento durante la combustione	d	4	Nessun gocciolamento
		5	Lento gocciolamento
		6	Elevato gocciolamento

Figura 10 - classificazione europea aggiuntiva per materiali di classe A2

Per la classe E è prevista una sottoclasse d2, mentre per i pavimenti è prevista la sola classificazione aggiuntiva "s" per l'emanazione di fumi.

7.2.3 Comparazione normative italiana-europea

Una comparazione tra le classi italiane ed europee non è possibile, dato che i metodi e i criteri di valutazione sono completamente diversi. Il Decreto Ministeriale 15 marzo 2005 tuttavia introduce una tabella che compara le classi italiane con quelle europee, al fine di poter applicare le leggi che richiedono una determinata reazione al fuoco.

DEFINIZIONE	CLASSE ITALIANA	CLASSE EUROPEA		
		PARETE	SOFFITTO	PAVIMENTO
Materiali incombustibili	Classe 0	A1	A1	A1g
Materiali combustibili non infiammabili	Classe 1	A2 - s1 d0	A2 - s1 d0	A2 _s - s1
		A2 - s1 d1	A2 - s1 d1	A2 _s - s2
		A2 - s2 d0	A2 - s2 d0	B _s - s1
		A2 - s2 d1	A2 - s2 d1	B _s - s2
		A2 - s3 d0	A2 - s3 d0	
		A2 - s3 d1	A2 - s3 d1	
		B - s1 d0	B - s1 d0	
		B - s1 d1	B - s2 d0	
		B - s2 d0		
		B - s2 d1		
Materiali combustibili difficilmente infiammabili	Classe 2	A2 - s1 d2	B - s1 d1	C _s - s1
		A2 - s2 d2	B - s2 d1	C _s - s2
		A2 - s3 d2	B - s3 d0	
		B - s1 d2	B - s3 d1	
		B - s2 d2	C - s1 d0	
		B - s3 d0	C - s2 d0	
		B - s3 d1		
		B - s3 d2		
		C - s1 d0		
		C - s1 d1		
		C - s2 d0		
		C - s2 d1		
		Materiali combustibili infiammabili	Classe 3	C - s1 d2
C - s2 d2	C - s2 d1			D _s - s2
C - s3 d0	C - s3 d0			
C - s3 d1	C - s3 d1			
C - s3 d2	D - s1 d0			
D - s1 d0	D - s2 d0			
D - s1 d1				
D - s2 d0				
D - s2 d1				
Materiali combustibili facilmente infiammabili	Classe 4			
Materiali combustibili estremamente infiammabili	Classe 5		Non rilevante	

Figura 11 - confronto normativa italiana ed europea classi infiammabilità materiali isolantii

7.3 SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEI MATERIALI ISOLANTI

Un altro requisito da valutare quando si sceglie il materiale isolante da inserire in un sistema di coibentazione è la sostenibilità ambientale di quest'ultimo.

Per comprendere cosa significhi definire un materiale ecologico o sostenibile si riprende la definizione proposta dall'architetto Giancarlo Allen nel suo libro "Valutazione, selezione e certificazione dei materiali per la bioedilizia":

"In estrema sintesi la sostenibilità di un materiale si definisce in relazione alla riduzione ai minimi termini del suo impatto ambientale riferito al suo intero ciclo di vita. In altre parole un materiale è tanto più sostenibile quanto minore è il dispendio di energia da un lato e la produzione dei rifiuti dall'altro, necessari per l'estrazione delle materie prime per la sua realizzazione, per cicli intermedi di lavorazione, per l'imballaggio, il trasporto e la distribuzione, per l'applicazione, l'uso e il consumo e per l'eventuale riutilizzo e riciclo, ed infine per la sua dismissione o smaltimento finale. La sostenibilità di un materiale va valutata quindi "dalla culla alla tomba", attraverso un'attenta analisi della sua biografia".¹

7.3.1 Life Cycle Assessment

Per determinare la sostenibilità di un materiale sotto il profilo energetico ed ambientale si effettua solitamente uno studio, quello dell'LCA, Life Cycle Assessment.

LCA, o analisi del ciclo di vita, è una metodologia di valutazione dei carichi energetici e ambientali associati ad un prodotto o ad un processo, lungo l'intero ciclo di vita. Tale strumento di analisi permette al progettista di scegliere, durante la fase di progettazione (sia che si tratti di nuova costruzione che di ristrutturazione) la soluzione meno impattante a livello ambientale per ogni elemento tecnico e sub-sistema tecnologico, tra quelli esaminati.

¹ Tratto da: "Qualità del costruire con tecniche e materiali biocompatibili." – Atti dei seminari di formazione "In-Bioedilizia" 2002 – Edicom Edizioni

A livello normativo questa metodologia di analisi è regolamentata dalle norme ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, che ne definiscono la struttura e guidano alla corretta applicazione.

L'aspetto principale di un LCA è quello di concepire il prodotto, in questo caso il materiale isolante, come un sistema concatenato in ciascuna delle cui fasi gli aspetti che si valutano principalmente sono:

- Energia primaria utilizzata in fase produttiva (rinnovabile o non rinnovabile);
- Materie prime (rinnovabili o non rinnovabili);
- Emissioni di gas;
- Emissioni di acqua;
- Rifiuti solidi.

Lo schema di come si realizza un LCA è il seguente:



Per svolgere un'analisi così accurata sul ciclo di vita dei diversi materiali manca, in Italia, una banca dati da cui attingere le informazioni iniziali, per questo, spesso, bisogna fare riferimento a fonti straniere, per lo più sotto forma di software.

A titolo di esempio si riportano di seguito alcuni EPD, Environment Product Declaration, dedotti da un'analisi degli LCA dei seguenti materiali: lana di vetro, EPS, lana di roccia, lana di canapa.

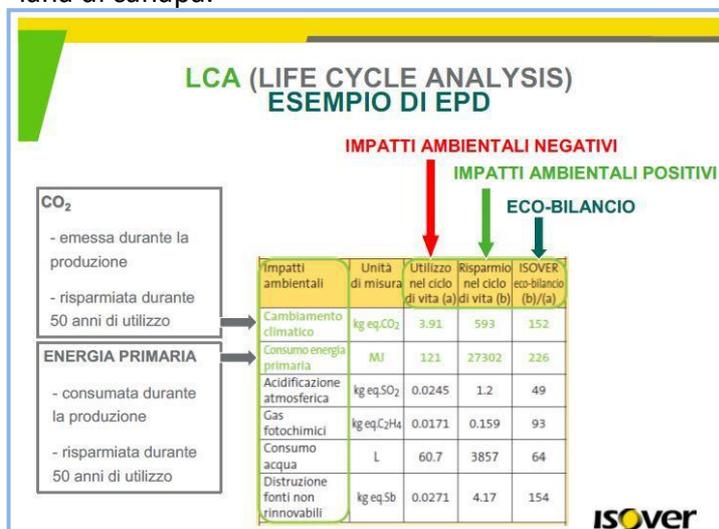


Figura 12 - schema esplicativo LCA

Valori per m ² di un prodotto* ISOVER in EPS spess. 100 mm utilizzato per 50 anni in un edificio francese				
Impatti ambientali	Unità di misura	Utilizzo nel ciclo di vita (a)	Risparmio nel ciclo di vita (b)	ISOVER eco-bilancio (b)/(a)
Cambiamento climatico	kg eq.CO ₂	13.62	380.5	28
Consumo energia primaria	MJ	319.21	17252	54
Acidificazione atmosferica	kg eq.SO ₂	0.07	0.71	10
Gas fotochimici	kg eq.C ₂ H ₄	0.05	0.05	1
Consumo acqua	L	38.08	2432.85	63
Distruzione fonti non rinnovabili	kg eq.Sb	0.13	2.63	20

*Isolamento tetto piano - Lambda = 0.035 W/m.K - R = 2.85 m².K/W - Prodotto e installato in Francia - LCA secondo lo standard francese NF P01-010

Valori per m ² di un prodotto* ISOVER in lana di canapa spess. 100 mm utilizzato per 50 anni in un edificio francese				
Impatti ambientali	Unità di misura	Utilizzo nel ciclo di vita (a)	Risparmio nel ciclo di vita (b)	ISOVER eco-bilancio (b)/(a)
Cambiamento climatico	kg eq.CO ₂	5,43	113	21
Consumo energia primaria	MJ	100	5350	53.5
Acidificazione atmosferica	kg eq.SO ₂	0.0432	0.201	4.6
Gas fotochimici	kg eq.C ₂ H ₄	0.00675	0.0253	4
Consumo acqua	L	14.4	764	53
Distruzione fonti non rinnovabili	kg eq.Sb	0.0366	0.80	22

*Isolamento tetto a falda - Lambda = 0.042 W/m.K - R = 2.4 m².K/W - Prodotto e installato in Francia - LCA secondo standard francese NF P01-010

Figura 13 - EPD EPS a sinistra e lana di canapa a destra

Valori per m ² di un prodotto* ISOVER in lana di roccia spess. 90 mm utilizzato per 50 anni in un edificio francese				
Impatti ambientali	Unità di misura	Utilizzo nel ciclo di vita (a)	Risparmio nel ciclo di vita (b)	ISOVER eco-bilancio (b)/(a)
Cambiamento climatico	kg eq.CO ₂	8.59	274	32
Consumo energia primaria	MJ	134	12815	95
Acidificazione atmosferica	kg eq.SO ₂	0.0833	0.497	6
Gas fotochimici	kg eq.C ₂ H ₄	0.00289	0.0732	25
Consumo acqua	L	22.9	1827	80
Distruzione fonti non rinnovabili	kg eq.Sb	0.0636	1.92	30

*Isolamento facciata ventilata - Lambda = 0.035 W/m.K - R = 2.55 m².K/W - Prodotto e installato in Francia - LCA secondo standard francese NF P01-010

Valori per m ² di un prodotto* ISOVER in lana di vetro spess. 190 mm utilizzato per 50 anni in un edificio francese				
Impatti ambientali	Unità di misura	Utilizzo nel ciclo di vita (a)	Risparmio nel ciclo di vita (b)	ISOVER eco-bilancio (b)/(a)
Cambiamento climatico	kg eq.CO ₂	3.91	593	152
Consumo energia primaria	MJ	121	27302	226
Acidificazione atmosferica	kg eq.SO ₂	0.0245	1.2	49
Gas fotochimici	kg eq.C ₂ H ₄	0.0171	0.159	93
Consumo acqua	L	60.7	3857	64
Distruzione fonti non rinnovabili	kg eq.Sb	0.0271	4.17	154
Rifiuti solidi - riciclati (totale)	kg	0.297	15.1	51
- dismessi (totale)	kg	3.770	31.928	8
Inquinamento atmosferico	m ³	603	18.596	31
Inquinamento idrico	m ³	0.854	178.9	210
Distruzione strato d'ozono	kg CFC eq. R11	0	0	-

*Isolamento a parete - Lambda = 0.035 W/m.K - R = 5.40 m².K/W - Prodotto e installato in Francia - LCA secondo standard francese NF P01-010

Figura 14 - EPD lane minerali, lana di roccia a sinistra e lana di vetro a destra

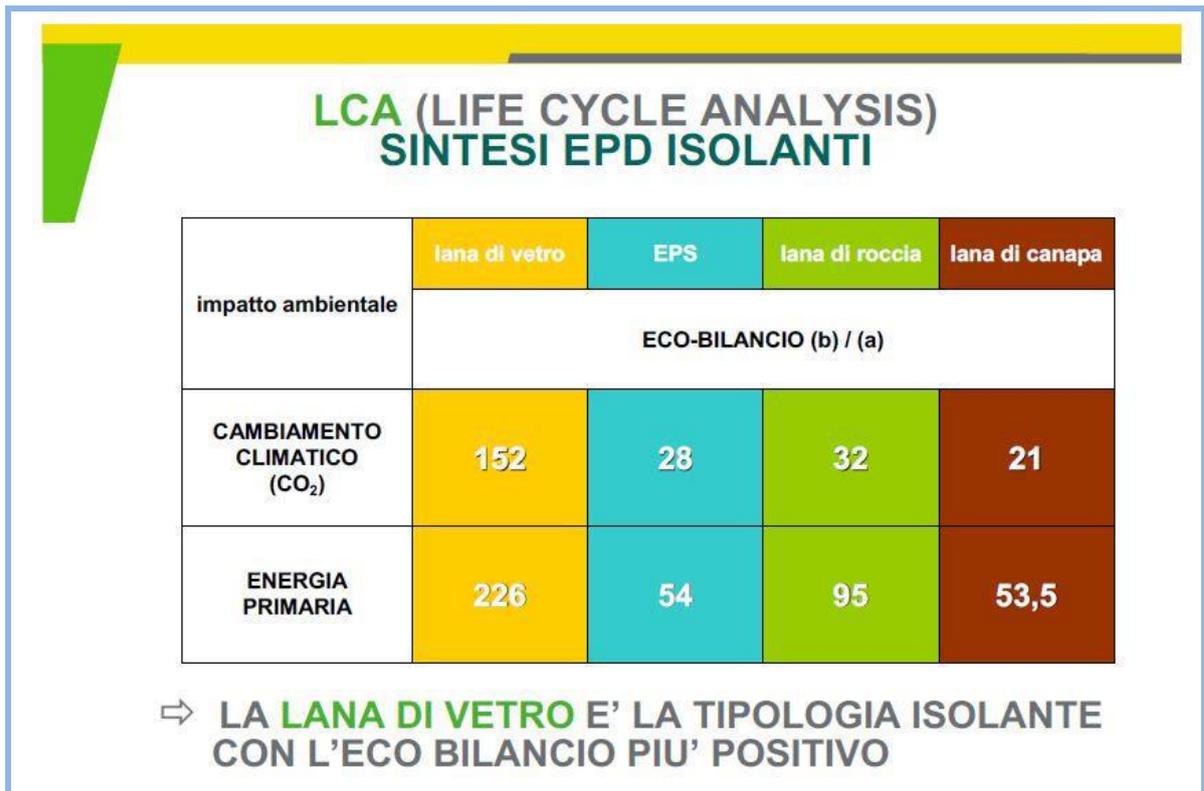


Figura 15 - sintesi EPD isolanti

7.3.2 Confronto tra i vari materiali isolanti

Di primaria importanza quando si lavora con sistemi costituiti da più elementi, è la conoscenza non solo dei requisiti vincolati da normativa di ciascun prodotto, ma anche e soprattutto delle proprietà di ciascuno di essi. Un'analisi più approfondita delle caratteristiche dei materiali e della loro natura permette di prevederne il comportamento futuro e di saper meglio scegliere con quale tipologia di supporto farli lavorare o in quali scenari applicarli.

A tale scopo sono state ricercate informazioni riguardanti le tipologie di materiali citate in precedenza nel presente capitolo e si sono elaborati grafici e tabelle di confronto relativamente ad alcune caratteristiche prestazionali. Nello specifico, nelle successive schede riassuntive,, si sono studiate le seguenti proprietà:

- **Conducibilità termica λ [W/mK]** Rapporto tra il flusso di calore (quantità di calore trasferita nell'unità di tempo attraverso l'unità di superficie) e il gradiente di temperatura che provoca il passaggio del calore nel caso della conduzione termica. In altre parole la conducibilità termica è una misura dell'attitudine di una sostanza a

trasmettere il calore. Essa dipende solo dalla natura del materiale e non dalla sua forma;

- **Massa volumica [kg/m³]** Densità di un corpo ovvero massa per unità di volume;
- **Resistenza alla diffusione al vapore μ** Resistenza opposta dal materiale isolante al passaggio del vapore acqueo attraverso la sua superficie;
- **Capacità termica specifica c [J/kgK]** Quantità di calore necessaria per innalzare o diminuire la temperatura di un'unità di massa di 1K;
- **Spessore per 12 ore di sfasamento** Lo sfasamento temporale è la differenza, in ore, tra la massima temperatura esterna e la massima temperatura interna, ovvero, il tempo che impiega un flusso di calore ad entrare nell'ambiente. Con la valutazione di questa caratteristica si vuole quindi indicare quanti cm di materiale isolante sono necessari per ottenere uno sfasamento ottimale, che, normalmente, si attesta intorno alle 12 ore;
- **Diffusività termica** Questo parametro non è altro che il rapporto tra la conducibilità termica e il prodotto di densità e calore specifico del corpo. Esso dipende solo dalle proprietà intrinseche del materiale e, sostanzialmente, rappresenta quanto il materiale è in grado di trasmettere l'onda termica;
- **Classe di infiammabilità** Classe che rappresenta, secondo la normativa italiana, la reazione al fuoco di ciascun materiale;
- **Aspetto;**
- **Sostenibilità** Sostenibilità ambientale del materiale, dedotta dallo studio degli LCA dei materiali.

LEGENDA SIMBOLOGIA SOSTENIBILITA'

	Alto impatto ecologico. Non sostenibile
	Medio impatto ecologico. Moderatamente sostenibile
	Basso impatto ecologico. Altamente sostenibile
	Minimo impatto ecologico. Totalmente sostenibile

MATERIALE		PROPRIETA'				
	Protezione dal freddo		Protezione dal caldo		Generali	
	Conducibilità termica λ		Capacità termica specifica c		Classe di infiammabilità	
	0,015 [W/mK]		1000 [J/kgK]		1	
	Massa volumica ρ		Spessore per 12 ore di sfasamento		Aspetto	
	230 [kg/m ³]		17 cm			
	Resistenza alla diffusione al vapore μ		Diffusività termica		Pannelli	
5		6,52174E-08				
DESCRIZIONE						
<p>L'aerogel è un materiale composto per il 98% da aria e per il restante 2% di silicio amorfo, il principale componente della comune sabbia o vetro ma in forma più densa. Considerata la sua struttura nano porosa questo materiale risulta essere un eccezionale isolante termico poiché l'aria non riesce a circolare al suo interno e quindi oppone una straordinaria resistenza al passaggio del flusso termico.</p>						

Tabella 6 - Proprietà materiali isolanti. Aerogel .

MATERIALE		PROPRIETA'				
	Protezione dal freddo		Protezione dal caldo		Generali	
	Conducibilità termica λ		Capacità termica specifica c		Classe di infiammabilità	
	0,045 [W/mK]		1000 [J/kgK]		0	
	Massa volumica ρ		Spessore per 12 ore di sfasamento		Aspetto	
	130 [kg/m ³]		31 cm			
	Resistenza alla diffusione al vapore μ		Diffusività termica		Pannelli rigidi colore bianco	
Da 5 a 10		3,46154E-07				
DESCRIZIONE						
<p>L'isolante è costituito dalle medesime materie prime del calcestruzzo cellulare espanso autoclavato, ovvero: sabbia silicea, idrato di calce, cemento Portland, acqua, schiuma proteica e sostanze idrofobizzanti. Per produrre il pannello la sabbia viene lavata e ridotta in polvere alla stessa granulometria del cemento, vengono poi aggiunti il cemento Portland e tutti gli altri componenti in cui la schiuma proteica funziona da agente espandente. Il tutto viene mescolato in una impastatrice e versato in stampi di gesso. Successivamente i blocchi così ottenuti vengono lasciati asciugare e tagliati in pannelli. L'indurimento definitivo avviene mediante esposizione a vapore in autoclave. I pannelli in calce-cemento cellulare applicati a secco e senza collanti possono essere rimossi e riutilizzati se si riesce a mantenere l'integrità del pannello. Gli scarti di lavorazione o di smissione possono essere depositati nelle discariche per inerti. Il materiale sfuso è più facilmente riutilizzabile. Non è possibile il riciclaggio per recupero di energia tramite combustione, ma solamente come riempitivo o inerte per il calcestruzzo.</p>						

Tabella 5 - Proprietà dei materiali isolanti. Calce-cemento cellulare.

MATERIALE	PROPRIETA'			
	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
CANNA PALUSTRE 	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità	
	Da 0,045 a 0,056 [W/mK]	2100 [J/kgK]	2	
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento		
	Da 130 a 190 [kg/m ³]	28 cm	Aspetto	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Difusività termica	Pannelli	
	2	-		
DESCRIZIONE				
<p>La canna palustre è una fibra vegetale che cresce spontaneamente nelle aree paludose. Per la produzione dei pannelli isolanti le canne vengono tagliate, ripulite dal fogliame e legate con filo di ferro zincato o nylon tramite una speciale cucitrice e una taglierina. Infine i pacchetti vengono confezionati senza rompere le cavità interne. Questo è un materiale con buone capacità termoisolanti, traspirante, favorisce la diffusione del vapore e svolge funzione di equilibrio igroscopico. Quest'ultima caratteristica viene migliorata con un'intonacatura di terra cruda. I pannelli, seppur naturali, resistono all'attacco dei roditori, alle muffe e alla putrescenza. Ha buona resistenza all'umidità, anche se un'esposizione duratura può causare fessurazioni permanenti con la riduzione delle caratteristiche meccaniche, rigonfiamenti della superficie e possibili contaminazioni da batteri. In ambiente asciutto presenta buona stabilità dimensionale e durata nel tempo. I pannelli di canna palustre possono essere posati in opera a secco, mediante inchiodatura, avvitatura, tassellatura e staffatura, oppure attraverso l'utilizzo di collanti naturali o adesivi cementizi a base di calce, ponendo attenzione alle indicazioni del produttore per evitare di compromettere la resa del prodotto.</p>				

Tabella 8 - Proprietà materiali isolanti. Canna palustre .

MATERIALE	PROPRIETA'			
	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
EPS 	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità	
	Da 0,042 a 0,044 [W/mK]	1450 [J/kgK]	1	
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento		
	Da 20 a 30 [kg/m ³]	62 cm	Aspetto	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Difusività termica	Pannelli	
	60	1,44828E-05		
DESCRIZIONE				
<p>Il polistirene (o polistirolo) espanso è un polimero termoplastico che a temperatura ambiente si presenta come un solido vetroso in forma di schiuma bianca leggerissima (densità di 25 kg/m³). Spesso viene modellato in sferette o chips, risulta facilmente tagliabile con filo caldo o a movimento intermittente, viene impiegato per isolamento termico e per la realizzazione di imballaggi. Chimicamente inerte rispetto a molti agenti corrosivi possiede discrete proprietà meccaniche ed è praticamente anti igroscopico.</p>				

Tabella 7 - Proprietà dei materiali isolanti. EPS.

MATERIALE		PROPRIETA'			
	FIBRA DI LEGNO	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità		
	Da 0,038 a 0,045 [W/mK]	1400[J/kgK]	1		
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento		Aspetto	
	30 [kg/m ³]	23 cm		Pannelli	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Diffusività termica			
1,4	1,80952E-07				
DESCRIZIONE					
<p>I pannelli in fibra di legno sono realizzati partendo dagli scarti del legno di segheria macinati fino a ridurli in lana e successivamente aggregati per effetto del solo potere collante della lignina, la resina naturale presente nel legno stesso. Di norma si parte da legno dolce di pino o abete bianco ma questa produzione è anche una forma di riciclaggio di cortecce e rami. A seconda degli usi, esistono pannelli di fibra di legno molto porosi e in alcuni casi addizionati di bitume puro o emulsioni di lattice (per isolamento termoacustico o per i sottotetti) oppure di struttura più dura (per il sottopavimento). Di solito i pannelli sono sottoposti a un procedimento particolare di 'feltratura' che contribuisce a renderli stabili. Presentano un ottimo bilancio ecologico (il consumo di energia in produzione è molto contenuto e sono riciclabili come combustibile a fine vita) e sono un ottimo isolante sia termico che acustico. Un altro vantaggio termico della fibra di legno è l'elevato tempo di 'sfasamento' (il tempo impiegato dal calore a passare da una superficie all'altra di un elemento) che rende i tetti e i sottotetti isolati con questo materiale molto più freschi e vivibili rispetto agli isolanti di sintesi.</p>					

Tabella 10 - Proprietà materiali isolanti. Fibra di legno..

MATERIALE		PROPRIETA'			
	FIBRA DI LEGNO MINERALIZZATA	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità		
	Da 0,075 a 0,090 [W/mK]	1550[J/kgK]	1		
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento		Aspetto	
	Da 350 a 470 [kg/m ³]	21 cm		Pannelli	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Diffusività termica			
5	1,38249E-07				
DESCRIZIONE					
<p>La fibra di legno mineralizzata viene ottenuta impregnando le fibre del legno, precedentemente macinate, con cemento o altri materiali per determinarne la mineralizzazione, la quale apporta alle fibre compattezza strutturale. Segue una fase di essiccazione dei pannelli. Il materiale così ottenuto possiede un'elevata capacità di accumulo termico, è inoltre molto traspirante ed ha buone caratteristiche acustiche sia come fonoisolante che come fonoassorbente. Offre inoltre un buon grado di protezione contro il fuoco e non sviluppa gas nocivi in caso di combustione. I pannelli in fibra di legno mineralizzata vengono utilizzati per l'isolamento termoacustico e la protezione dal fuoco di pareti perimetrali e divisorie, controsoffitti coperture e solai. Sono molto utilizzati nella correzione dei ponti termici nel risanamento di murature umide, nell'isolamento di ambienti contro terra.</p>					

Tabella 9 - Proprietà dei materiali isolanti. Fibra di legno mineralizzata.

MATERIALE	PROPRIETA'			
	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
LANA DI CANAPA 	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità	
	0,040 [W/mK]	2000 [J/kgK]	2	
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento		
	Da 30 a 85 [kg/m ³]	38 cm	Aspetto	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Diffusività termica	Pannelli	
Da 1 a 5	3,47826E-06			
DESCRIZIONE				
<p>La canapa è un materiale molto interessante per l'edilizia, le sue buone caratteristiche vegetali consentono infatti di utilizzare il prodotto aggiungendo poche sostanze, del tutto innocue per la salute umana. Durante la lavorazione del prodotto non vi sono dispersioni di fibre che possano penetrare fino ai polmoni. Solo l'aggiunta delle fibre di poliestere relativizza in parte il bilancio ecologico positivo. Sarebbe pertanto più opportuno utilizzare dei tessuti di sostegno o incollare delle fibre non putrescibili. I pannelli di canapa dopo essere stati smontati possono essere riutilizzati. La canapa trattata con sali di ammonio può essere conferita al compostaggio, le fibre di poliestere però non si degradano e devono successivamente essere eliminate. E' dalla fibra corta di canapa semimacerata in campo, più o meno pulita dal canapulo, che si producono pannelli isolanti e fonoassorbenti di diverso spessore e densità. Per realizzare i pannelli le fibre naturali vengono termosaldate con poliestere oppure con amido di patate o altri collanti naturali.</p>				

Tabella 12 - Proprietà materiali isolanti. Lana di canapa.

MATERIALE	PROPRIETA'			
	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
LANA DI ROCCIA 	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità	
	Da 0,034 a 0,039 [W/mK]	1030 [J/kgK]	0	
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento		
	190 [kg/m ³]	81 cm	Aspetto	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Diffusività termica	Pannelli	
1	2,79126E-06			
DESCRIZIONE				
<p>I prodotti isolanti in lana di roccia sono costituiti da fibre di roccia, normalmente di origine vulcanica basaltica, per il 98% circa, resine termoindurenti per circa il 2% e olio minerale e altri speciali additivi che rendono il prodotto finito idrorepellente e non idrofilo. Il motivo per cui si utilizzano come materia prima le rocce naturali è insito nel fatto che esse possiedono caratteristiche chimiche e fisiche eccezionali, pertanto utilizzarle come materiale base per la produzione di isolanti fa sì che il prodotto finito sia imputrescibile, inattaccabile dagli acidi e con una ineguagliabile resistenza alle elevate temperature.</p>				

Tabella 11 - Proprietà dei materiali isolanti. Lana di roccia.

MATERIALE	PROPRIETA'			
	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
LANA DI VETRO 	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità	
	Da 0,036 a 0,040 [W/mK]	1030 [J/kgK]	Da 0 a 2	
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento		
	Da 16 a 30 [kg/m ³]	81 cm	Aspetto	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Diffusività termica	Pannelli	
1	2,79126E-06			
DESCRIZIONE				
<p>La lana di vetro è un silicato amorfo ottenuto dal vetro ed è un materiale molto versatile, utilizzato soprattutto in edilizia e nei silenziatori dei veicoli a motore endotermico. Essa viene prodotta portando a fusione ad una temperatura compresa tra i 1.300-1.500 °C una miscela di vetro e sabbia che successivamente viene convertita in fibre, con l'aggiunta di un legante che aumenta la coesione delle fibre stesse ottenute. Questa fibra viene quindi riscaldata a circa 200 °C e sottoposta a calandratura per conferirle ulteriore resistenza meccanica e stabilità. Infine la lana di vetro viene tagliata ricavandone rotoli o pannelli per azione di pressioni elevate. Le ottime proprietà termiche di questo materiale sono dovute alla sua struttura macroscopica lanuginosa che attenua i rumori, ed inglobando grandi quantità d'aria isola dal calore, inoltre riesce a resistere a temperature molto alte, grazie alla sua elevata resistenza al calore. La lana di vetro, inoltre, ha un costo molto basso che di fatto lo rende preferibile ad altri tipi d'isolante naturale più costosi come ad esempio il sughero.</p>				

Tabella 14 - Proprietà materiali isolanti. Lana di vetro .

MATERIALE	PROPRIETA'			
	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
POLIURETANO ESPANSO 	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità	
	0,035 [W/mK]	1400 [J/kgK]	1 o 2	
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento		
	37 [kg/m ³]	43 cm	Aspetto	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Diffusività termica	Pannelli	
60	6,75676E-07			
DESCRIZIONE				
<p>Il poliuretano è un polimero che può esistere in due forme: termostabile o termoplastica. I poliuretani termostabili di solito sono schiume, ampiamente utilizzate come isolante termico, mentre quelli termoplastici hanno altri tipi di applicazioni. Il poliuretano espanso, in particolare, è una schiuma flessibile iniettabile in stampi per ottenere imbottiture preformate già pronte per la posa in opera. Il poliuretano espanso rigido, spesso usato per produrre lastre termoisolanti, è stabile agli agenti chimici, biologici e fisici, è un ottimo isolante termico, non degrada inquinando, è riciclabile ed ha una buona reazione al fuoco. I pannelli in poliuretano vengono usati soprattutto per l'isolamento continuo sopra le travi portanti e per l'isolamento di caldaie, tubazioni e boiler. Il poliuretano a spruzzo può essere usato anche per l'impermeabilizzazione e per l'isolamento acustico.</p>				

Tabella 13 - Proprietà dei materiali isolanti. Poliuretano espanso.

MATERIALE	PROPRIETA'			
	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità	
	0,043 [W/mK]	1560 [J/kgK]	2	
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento	Aspetto	
	140 [kg/m ³]	28 cm	Pannelli	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Diffusività termica		
	Da 10 a 13	1,96886E-07		
DESCRIZIONE				
<p>Il sughero è un isolante naturale che si ricava dagli alberi di quercia da sughero e viene utilizzato in edilizia sotto forma di pannelli. Esso può presentare due colorazioni, il bruno e il biondo. La sua struttura è composta da piccole cellule disposte in file regolari e senza spazi che si sovrappongono in strati. Quando queste giungono a maturazione muoiono e il loro involucro cellulare viene sostituito da aria e gas. La pianta, anno dopo anno, produce strati sempre più sottili ed elastici che raggiungono spessori di 3 cm ogni 10 anni circa. Sono proprio questi strati che vengono utilizzati in commercio per la realizzazione di pannelli isolanti dopo essere stati essiccati e sottoposti ad altre lavorazioni. In particolare i pannelli si possono realizzare in due modi: tramite incollaggio (pannelli più chiari) oppure tramite una sorta di sinterizzazione: riscaldando e comprimendo i granuli si provoca la fuoriuscita della suberina che raffreddandosi lega i granuli (pannelli scuri). Grazie a questa struttura il sughero risulta un materiale biocompatibile, ecologico, biodegradabile, che può essere riciclato senza inquinare l'ambiente. Si presenta leggero e compatto in quanto la sua struttura è piena per circa l'80% da aria e gas. Non è né tossico né allergico ed è resistente al fuoco. Non è attaccabile da muffe e grazie alla sua traspirabilità contribuisce ad attenuare i problemi di condensa e muffa che si possono manifestare.</p>				

Tabella 16 - Proprietà dei materiali isolanti. Sughero.

MATERIALE	PROPRIETA'			
	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità	
	Da 0,021 a 0,024 [W/mK]	1470 [J/kgK]	2	
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento	Aspetto	
	40 [kg/m ³]	45 cm	Pannelli	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Diffusività termica		
	35	-		
DESCRIZIONE				
<p>Le resine fenoliche espansive sono materiali termoindurenti fortemente reticolari derivanti dalla reazione fra fenoli e aldeidi. Sono schiume espansive rigide a celle aperte o chiuse, ed hanno una conducibilità termica variabile al variare della densità. Anche la permeabilità al vapore acqueo dipende dalla densità e dal processo produttivo, ma è comunque piuttosto elevata. Le schiume fenoliche sono utilizzate come isolanti sia nella costruzione che in altri settori industriali, e possono essere anche spruzzate a temperatura ambiente sulla parte da isolare. Sono fra i materiali isolanti più sicuri dal punto di vista della reazione al fuoco, in quanto bruciano lentamente senza propagarlo e senza liberare gas tossici. Sono inoltre inattaccabili da agenti biologici o chimici che non siano acidi o basi concentrate.</p>				

Tabella 15 - Proprietà materiali isolanti. Resina fenolica espansa.

MATERIALE	PROPRIETA'			
	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
 <p>XPS</p>	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità	
	0,035 [W/mK]	1450 [J/kgK]	1	
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento		
	Da 30 a 35 [kg/m ³]	43 cm	Aspetto	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Diffusività termica	Pannelli	
150	8,04598E-07			
DESCRIZIONE				
<p>Il polistirene (o polistirolo) espanso estruso viene ottenuto dai granuli di polistirene nuovo o provenienti da riciclo, che vengono immessi in un estrusore a vite senza fine, dopodiché viene insufflato gas in pressione (eventualmente con l'aggiunta di materiale ignifugo) e il fuso esce nella forma voluta. Viene utilizzato per le applicazioni in ambienti umidi o a contatto con il terreno, ed in caso di elevate sollecitazioni da compressione. E' impiegato per isolare pavimenti, pareti e soffitti sia da solo che accoppiato con cartongesso, pannelli in legno e laminati plastici o metallici</p>				

Tabella 18 - Proprietà dei materiali isolanti. XPS.

MATERIALE	PROPRIETA'			
	Protezione dal freddo	Protezione dal caldo	Generali	Sostenibilità
 <p>VETRO CELLULARE</p>	Conducibilità termica λ	Capacità termica specifica c	Classe di infiammabilità	
	Da 0,055 a 0,066 [W/mK]	1000 [J/kgK]	0	
	Massa volumica ρ	Spessore per 12 ore di sfasamento		
	Da 130 a 180 [kg/m ³]	34 cm	Aspetto	
	Resistenza alla diffusione al vapore μ	Diffusività termica	Pannelli	
Infinito	4,23077E-05			
DESCRIZIONE				
<p>Il vetro cellulare è un materiale isolante leggero che viene prodotto a partire dal vetro riciclato macinato che viene miscelato con attivatori ecologicamente innocui e poi espanso in un forno continuo. Nel successivo raffreddamento si possono scegliere due strade diverse a seconda che si voglia realizzare un granulato in vetro cellulare o delle lastre in vetro cellulare. Per produrre il granulato la massa di vetro fusa viene raffreddata rapidamente subito dopo l'uscita dal forno continuo. Le notevoli tensioni che si creano frammentano la barra di vetro in tanti pezzettini. Per produrre invece le lastre, la massa di vetro fusa viene veicolata in un impianto di raffreddamento graduale verso la temperatura ambiente. Quindi la barra viene tagliata nelle dimensioni richieste, trattata in superficie e confezionata.</p>				

Tabella 17 - Proprietà materiali isolanti. Vetro cellulare..

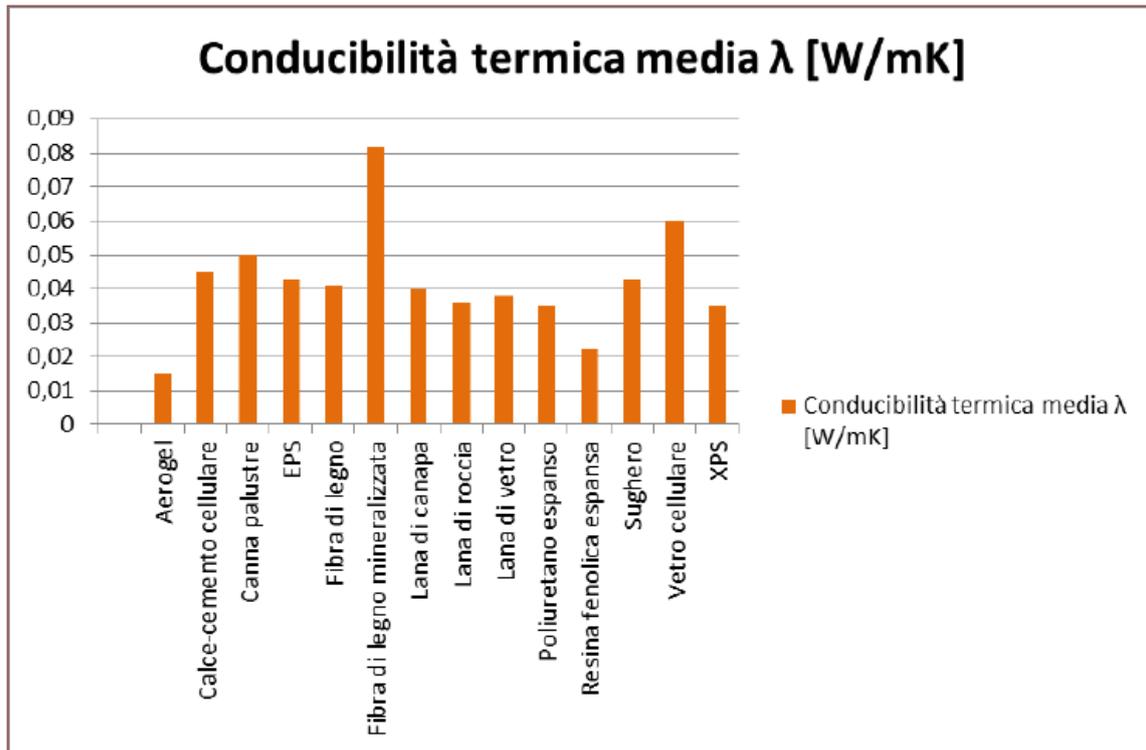


Figura 18 - Confronto conducibilità termica media dei materiali isolanti analizzati.

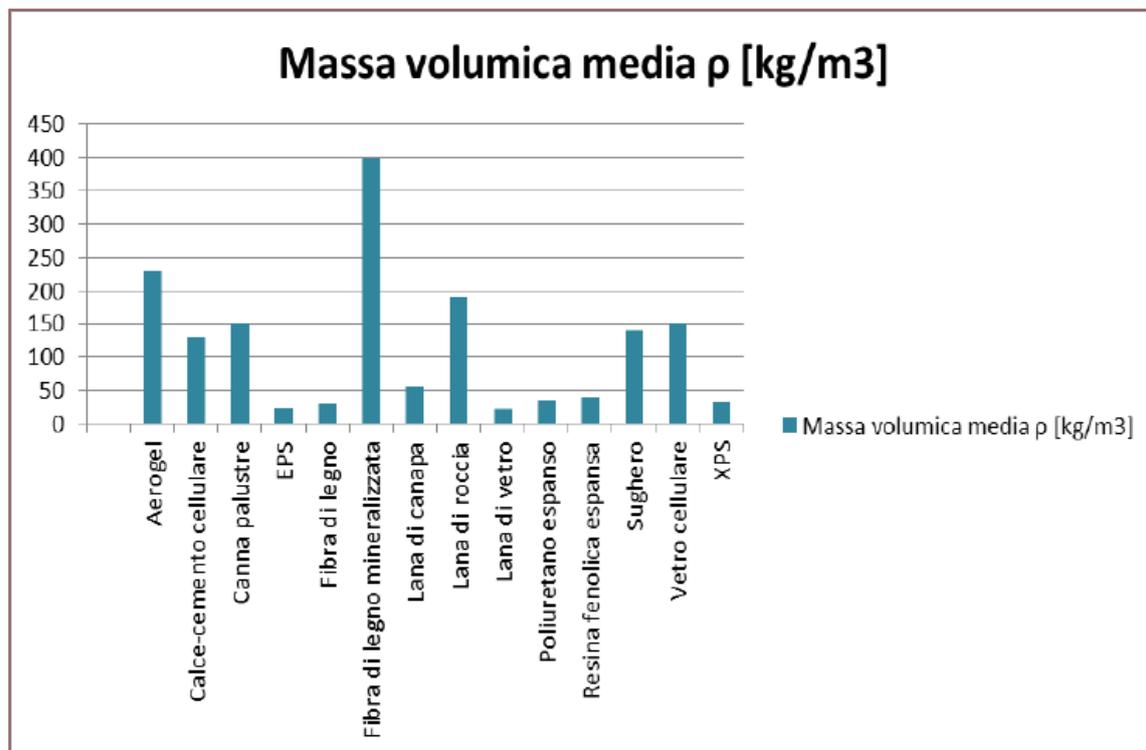


Figura 19 - Confronto massa volumica media dei materiali isolanti analizzati.

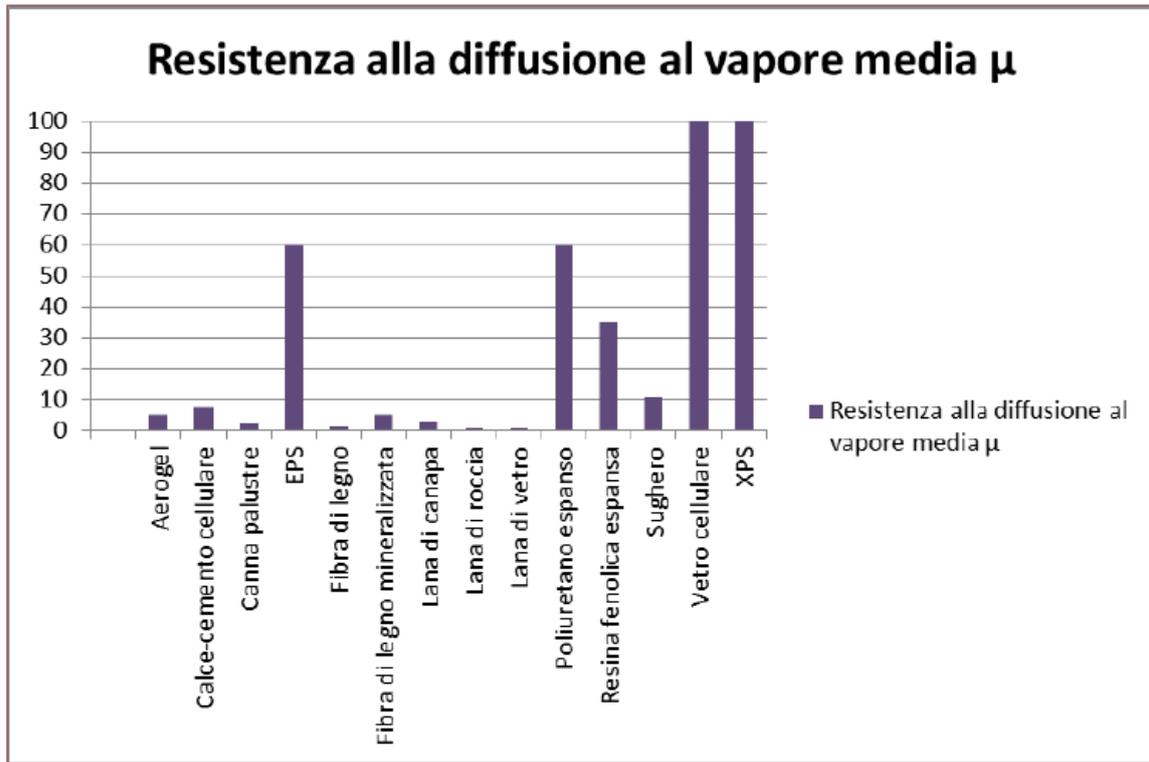


Figura 21 - Confronto resistenza alla diffusione al vapore media media dei materiali isolanti analizzati.

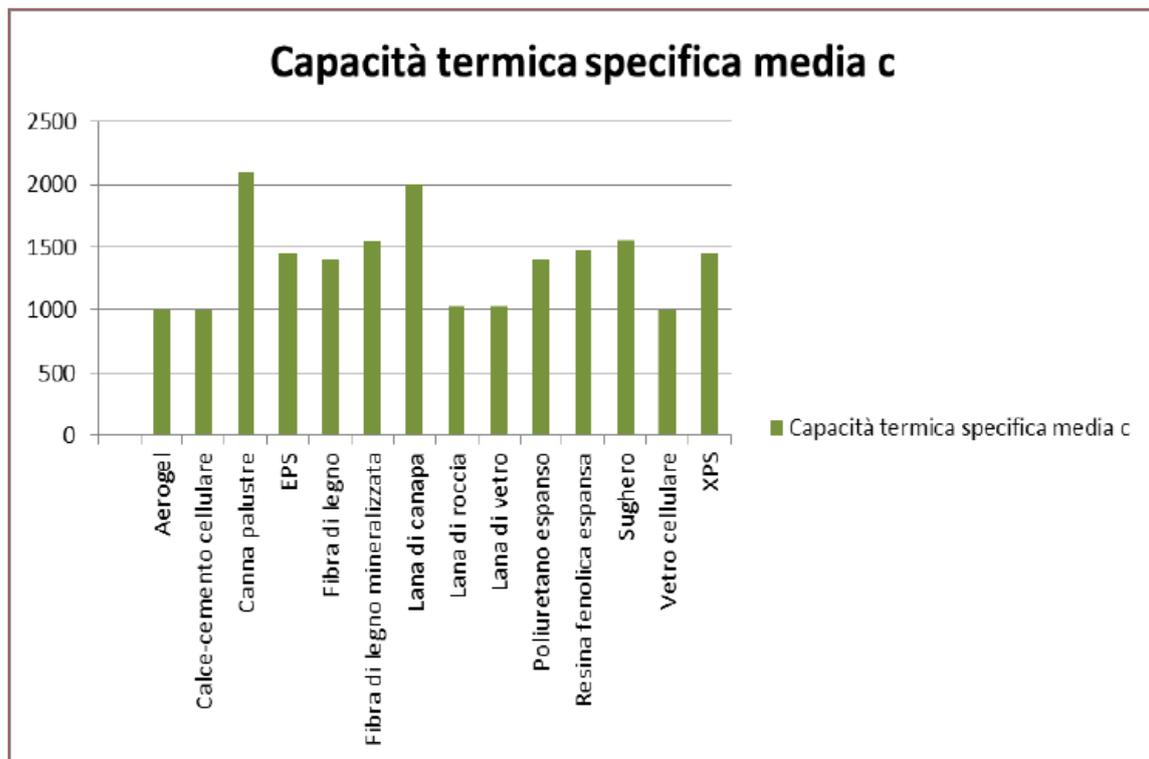


Figura 20 - Confronto capacità termica specifica media dei materiali isolanti analizzati.

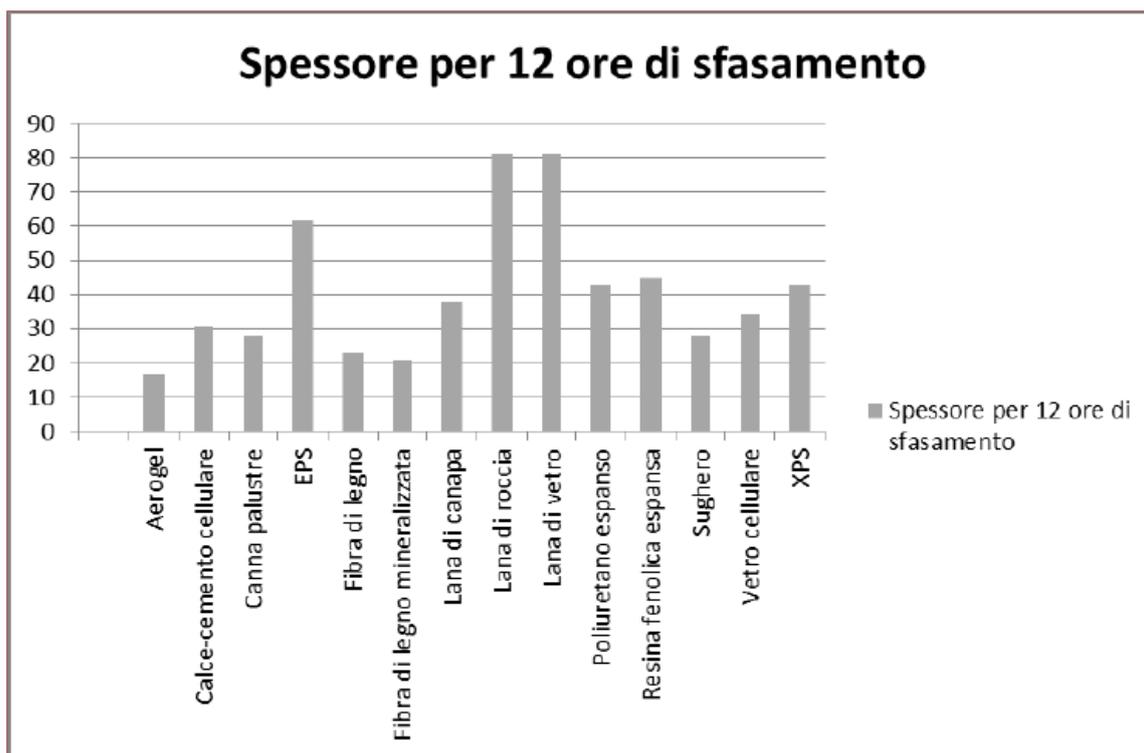


Figura 23 - Confronto spessore per 12 ore di sfasamento dei materiali isolanti analizzati.

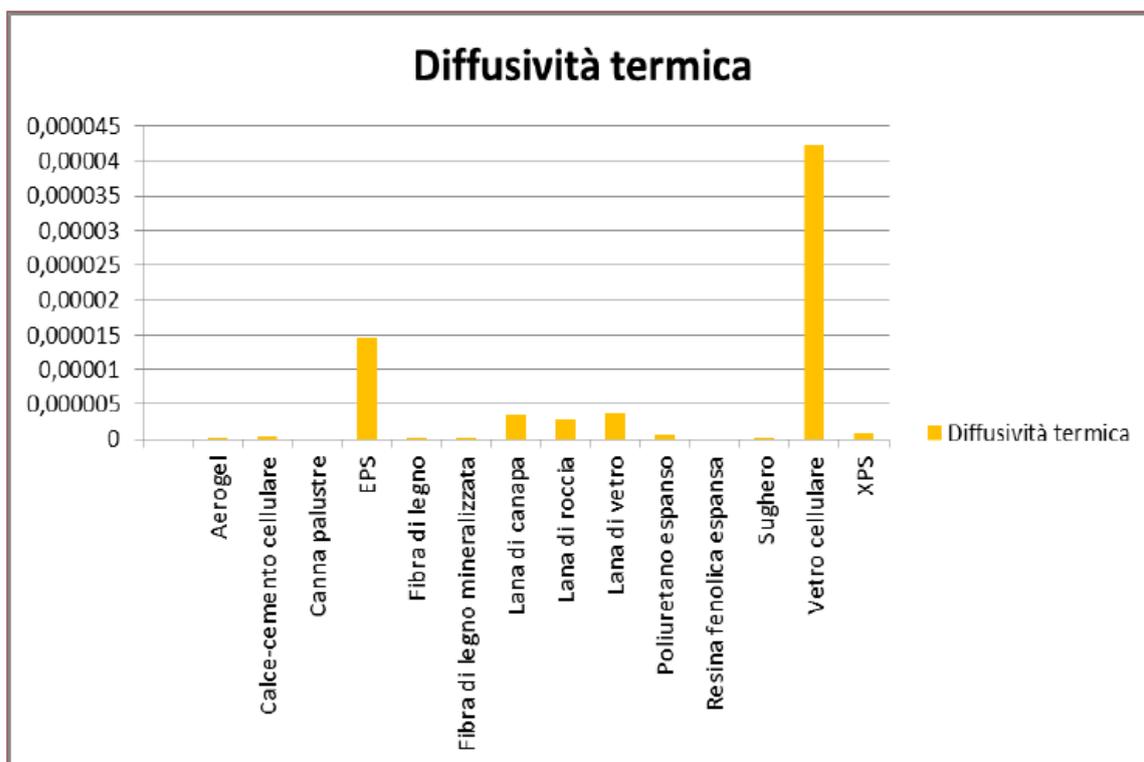


Figura 22 - Confronto diffusività termica dei materiali isolanti analizzati.

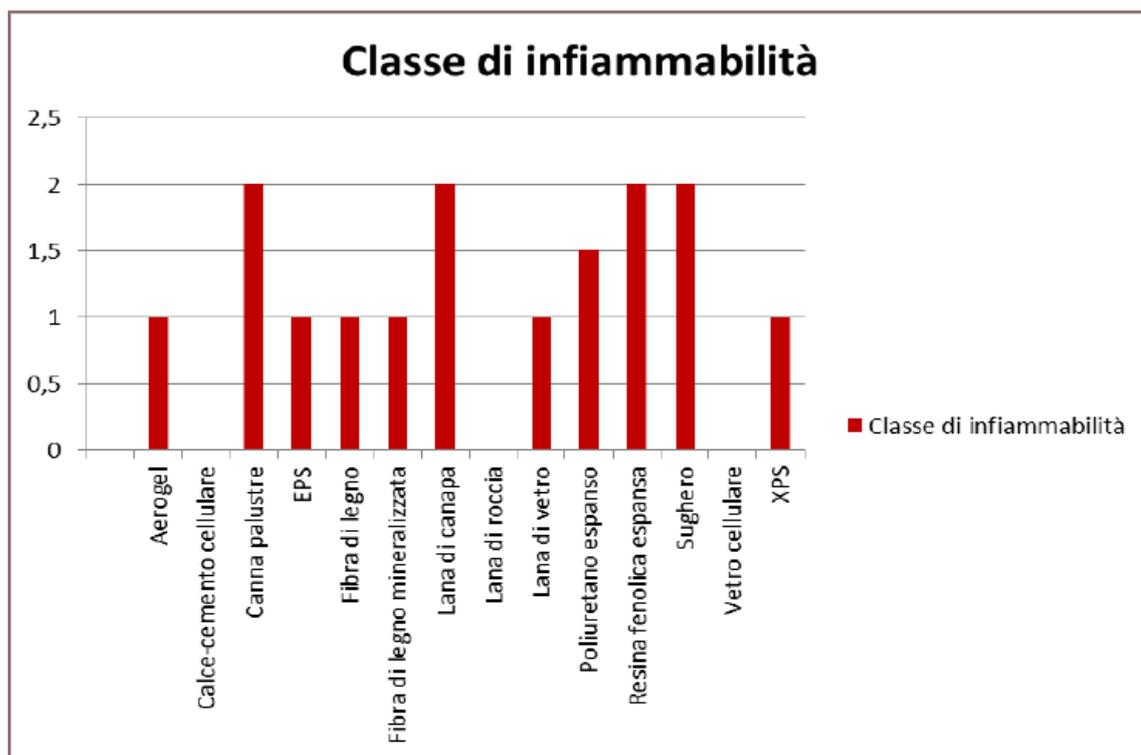


Figura 24 - Confronto classe di infiammabilità dei materiali isolanti analizzati.

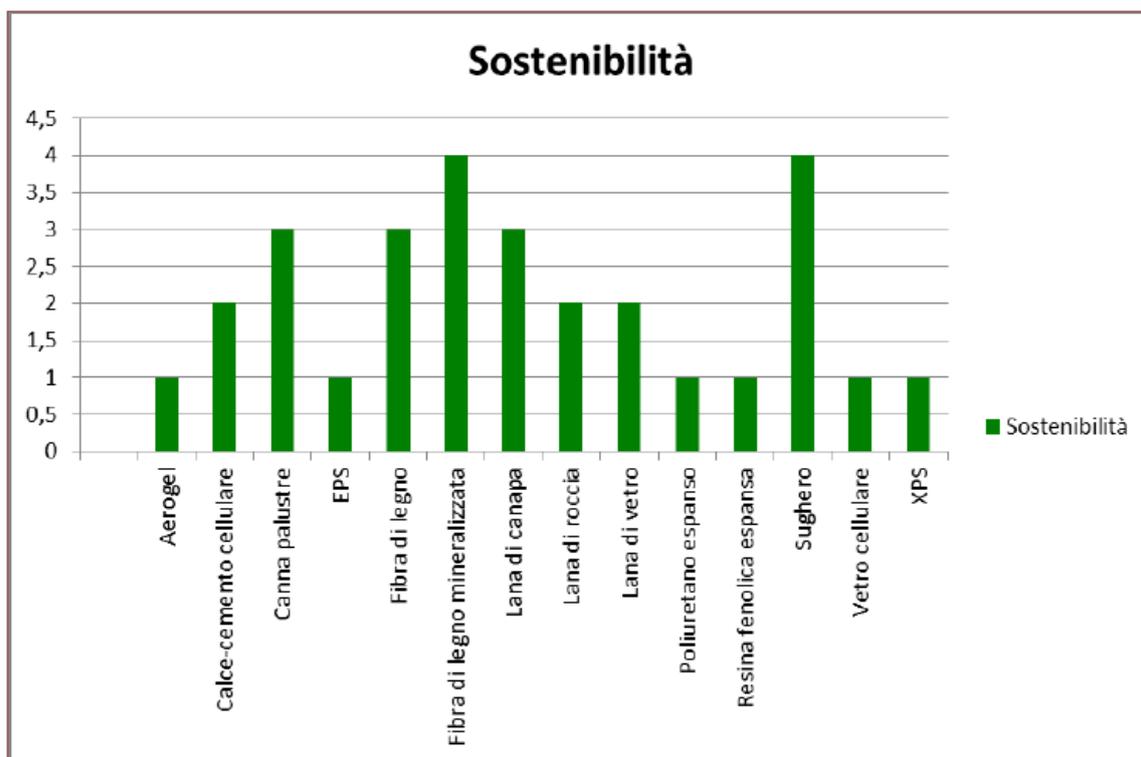


Figura 25 - Confronto sostenibilità dei materiali isolanti analizzati.

8 Caratterizzazione del Sistema di finitura

Il sistema di finitura di un sistema di isolamento interno è l'insieme di due componenti:

- Intonaco di fondo;
- Intonaco di finitura.

Le caratteristiche che tali strati funzionali possiedono possono essere le più diverse e variano fortemente in base alla tipologia di prodotto scelto.

8.1 Intonaco di fondo

La scelta della tipologia di intonaco di fondo da utilizzare è molto vasta e dipende ancora una volta dai requisiti specifici del sistema e dalla tipologia di lastre isolanti applicate (dalle loro caratteristiche). Si distinguono intonaci di fondo a spessore sottile, medio e alto.

Un'accortezza particolare è da osservarsi nel caso in cui il sistema venga realizzato con lastre isolanti in lana di roccia. In questo caso infatti è necessario rispettare i tempi di posa dell'eventuale applicazione dello strato di livellatura prima di eseguire l'intonaco di rasatura armato con rete.

In linea generale l'applicazione dell'intonaco di fondo può avvenire a mano o a macchina realizzando due strati distinti per raggiungere lo spessore totale dello strato desiderato, tra i quali viene interposta la rete d'armatura.

8.2 Intonaco di finitura

In base al Sistema realizzato è possibile utilizzare diversi tipi di intonaco di finitura. Gli spessori minimi consigliati sono:

- $\geq 1,5\text{mm}$ con struttura piena;
- $\geq 2\text{mm}$ con struttura rigata.

Se si desidera invece ottenere una superficie con struttura fine, per la quale è necessario un intonaco di finitura con grana inferiore a 1,5 mm, è necessario applicare più mani per raggiungere lo spessore minimo richiesto.

L'utilizzo di rivestimenti con grana inferiore a 1,5 mm è ammesso comunque solo in zone limitate, come ad esempio contorni di finestre, bordi, piccole superfici, fasce marcapiano.

Per quanto concerne la scelta del colore potenzialmente qualunque tinta sarebbe utilizzabile. Nella realtà però, per un corretto funzionamento del sistema è sempre bene tenere in considerazione all'atto della scelta del colore da utilizzare per la finitura, il concetto di Indice di Rifrazione IR.

L'indice di riflessione è un'unità di misura della riflessione della luce diurna (irraggiamento) svolta dall'intonaco di finitura del sistema. Tale parametro risulta indispensabile per la scelta della tinta dei rivestimenti del sistema, come specificato nel manuale Cortexa. In linea generale, per evitare un forte surriscaldamento sono stati determinati valori IR minimi che variano dal 20% al 30%. La variazione dell'indice di riflessione è determinata dalla zona climatica in cui l'edificio è situato e dallo spessore del pacchetto applicato: per spessori di sistema bassi o medi è consentita solo la scelta di tinte di rivestimento con indice di riflessione superiore al 20%, mentre per spessori elevati o per le zone climatiche con forte irradianza (zone A, B, C, alta montagna o zone con forte riverbero come i casi di edifici fronte mare) le tinte scelte devono avere un indice di luminosità persino superiore al 30%.

In conclusione quindi prediligere le tinte di finitura chiare, con un IR adatto alla zona climatica di ubicazione del manufatto e agli spessori di isolanti in gioco nel sistema per assicurare un risultato efficiente e duraturo.

L'applicazione di questo rivestimento può avvenire a mano o a macchina in base alle indicazioni del produttore del materiale utilizzato. In base al tipo di rivestimento è poi possibile scegliere gli attrezzi utili alla sua applicazioni in modo da ottenere i più disparati effetti cromatici.

Strato di imprimitura

Lo strato di imprimitura è un layer aggiuntivo che può essere applicato prima dell'intonaco di finitura come preparativo per la superficie su cui verrà applicato l'intonaco. Non sempre esso è necessario anche se sarebbe sempre buona prassi

utilizzarlo per assicurarsi la massima efficienza e durabilità anche degli strati di finitura del sistema.

9 Studio del degrado del substrato

9.1 Presentazione dei principali fenomeni di degrado dei sistemi edilizi

Grazie all'analisi delle possibili tipologie di substrato e delle loro proprietà è possibile individuare ora quali sono le forme di degrado caratterizzanti i supporti studiati. Ciò risulta fondamentale per una corretta preparazione dello strato sul quale dovrà essere applicato il sistema di isolamento.

Sono qui raccolti in un elenco le patologie che possono affliggere le componenti di un sistema di isolamento di un edificio esistente:

- Polveri o sporcizia;
- Incrostazioni;
- Irregolarità superficiali;
- Crepe;
- Lacune di materiale;
- Residui di oli disarmanti;
- Efflorescenze;
- Subflorescenze;
- Fenomeni di carbonatazione o ossidazione dei ferri scoperti;
- Presenza di umidità nelle murature;
- Giunti di allettamento consumati;
- Accentuati fuori piombo;
- Mancanza di adesione a struttura sottostante.

Quando si vuole analizzare quelli che sono i fenomeni di degrado che una superficie può presentare è bene fare riferimento ad una normativa specifica la UNI 11182. Essa, tenendo conto della preesistente NorMal 1/88, fornisce la terminologia utile per indicare le diverse forme di alterazione e gli organismi visibili macroscopicamente su materiali lapidei naturali, quali le rocce ed artificiali come malte, stucchi, prodotti

ceramici ecc.

E' bene specificare che la presente normativa non presenta, ad oggi, un suo equivalente europeo. In primo luogo è bene definire cosa si intende per degrado di una superficie:

DEGRADO = Modificazione di un materiale che comporta un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo.

Dalla definizione che la norma 11182 propone del termine degrado, si capisce perché è bene studiare sempre questo aspetto del substrato prima di procedere con l'applicazione di un sistema. Tale stato della superficie implica infatti che vi siano delle patologie, derivanti da differenti possibili cause, che modificano le prestazioni estetico-funzionali dell'elemento. E' bene pertanto studiare a fondo le problematiche che affliggono lo strato di supporto del cappotto per risolverle prima che il sistema venga applicato, in modo che questi fenomeni non ne minino funzionalità e durabilità.

Vengono presentate ora nello specifico le forme di degrado presentate nella normativa sopra citata le quali verranno nel seguito collegate alle differenti componenti che possono riguardare.



Alveolizzazione: Presenza di cavità di forma e dimensioni variabili, dette alveoli, spesso interconnesse e con distribuzione uniforme;



Colonizzazione biologica: Presenza riscontrabile macroscopicamente di micro e/o macro organismi (alghe, funghi, licheni, muschi, piante superiori);



Crosta: Modificazione dello strato superficiale del materiale lapideo. Di spessore variabile, generalmente dura, la crosta è distinguibile dalle parti sottostanti per le caratteristiche morfologiche e spesso per il colore. Può distaccarsi anche spontaneamente dal substrato che, in genere, si presenta disgregato e/o polverulento;

Efflorescenza: Proprietà di alcuni sali



di perdere molecole di acqua di cristallizzazione. Il fenomeno è dovuto alla differenza di pressione di vapore esistente tra il composto idrato e la pressione del vapore acqueo atmosferico. Tale fenomeno provoca la deposizione dei sali precedentemente

in soluzione, sulla superficie della facciata per via dell'evaporazione del solvente in cui erano dispersi prima di raggiungere la superficie. Da qui le tipiche macchie bianche che si possono osservare sulle facciate degli edifici;

Subfiorescenze: Proprietà di alcuni sali di perdere molecole di acqua di



cristallizzazione. Il fenomeno, a differenza di quanto accade con le efflorescenze, avviene all'interno della muratura poiché il solvente evapora prima che i sali raggiungano la superficie esterna. Se dunque il problema generato dalle efflorescenze è principalmente di natura estetica, quello prodotto dalle subfiorescenze risulta di natura strutturale e per tanto molto più pericoloso. I sali che erano contenuti nella soluzione, perso il loro solvente,

cristallizzano aumentando così il loro volume. Tale fenomeno fisico provoca la frattura della muratura con un degenero delle proprietà strutturali della stessa. Visivamente, oltre agli aloni biancastri rappresentativi della presenza di Sali, si notano fessurazioni, distacchi e lacune di materiale sulla superficie del manufatto;

Erosione: Asportazione di materiale dalla superficie che, nella maggior parte dei casi, si presenta compatta;



Esfogliazione: Formazione di una o più porzioni laminari, di spessore molto ridotto o subparallele tra loro, dette sfoglie;



Fratturazione o fessurazione: Soluzione di continuità nel materiale che implica lo spostamento reciproco delle parti;



Fronte di risalita: Limite di migrazione dell'acqua che si manifesta con la formazione di efflorescenze e/o perdita di materiale. E' generalmente accompagnato da variazioni della saturazione del colore nella zona sottostante;



Incrostazione: Deposito stratiforme compatto e generalmente aderente al substrato. Si definisce concrezione

quando il deposito è sviluppato preferenzialmente in una sola direzione non coincidente con la superficie lapidea e assume forma stalattica o stalagmitica;



Lacuna: Perdita di continuità di superfici (parte di un intonaco, porzione di impasto o di rivestimento ceramico, tessere di mosaico ecc.);



Macchia: Variazione cromatica localizzata della superficie, correlata sia alla presenza di determinati componenti naturali del materiale, sia alla presenza di materiali estranei come acqua, prodotti di ossidazione di materiali metallici, sostanze organiche, vernici e microrganismi;



Patina biologica : Strato sottile ed omogeneo, costituito prevalentemente da microrganismi, variabile per consistenza, colore e adesione al substrato;



Presenza di vegetazione :Presenza di individui erbacei, arbustivi o erborei;



Rigonfiamento: Sollevamento superficiale localizzato del materiale. Forma e consistenza variabili;

9.2 Individuazione dei degradi del substrato

Le tipologie di degrado sopra presentate che possono affliggere il substrato di un sistema esistente sono:

- Alveolizzazione;
- Colonizzazione biologica;
- Efflorescenza;

- Subfiorescenza;
- Erosione;
- Frantumazione o fessurazione;
- Fronte di risalita;
- Incrostazione;
- Patina;
- Lacuna;
- Presenza di vegetazione.

L'origine di tali fenomeni è da ricercarsi principalmente in cause legate all'umidità nelle murature e al fenomeno della risalita capillare di acqua e Sali presenti nel sottosuolo. Inoltre, in tutti quei casi dove il supporto risulta essere in calcestruzzo, non è da sottovalutarsi anche il problema della possibilità dell'innescò di fenomeni di carbonatazione delle armature dovuti alla presenza di lacune di materiale cementizio.

10 Studio delle cause del degrado

Come è possibile dedurre dalla descrizione dei fenomeni di degrado effettuata, la principale causa di patologie delle murature è la presenza di umidità.

E' bene quindi conoscere in modo più approfondito la causa di questo fenomeno al fine di risanare al meglio il costruito prima dell'applicazione del sistema per la riqualificazione energetica.

10.1 Il problema dell'umidità nelle murature

La pericolosità di questo agente sta nel fatto che essa può anche non manifestarsi immediatamente sulla superficie, ma rimanere celata nel manufatto murario per diverso tempo. Tale fenomeno, inoltre, non è problematico solo per i difetti estetici che può causare, ma anche e soprattutto perché facilmente conduce all'innescò di veri e propri fenomeni fessurativi nei materiali, in grado di modificare anche la staticità della struttura muraria.

E' importante ricordare che quando si parla di presenza di umidità nelle murature, non si intende che sia la presenza di acqua il fattore problematico. Ciò che danneggia una

parete è infatti la presenza di sali di natura differente che l'acqua contiene. Inoltre, non è nemmeno la presenza di sali in soluzione che genera il degrado, bensì l'evaporazione del solvente che lascia così libero il soluto o nella muratura o sulla superficie della stessa.

Fatta questa premessa si indicano quali sono i modi più ricorrenti con cui l'acqua carica di Sali è in grado di penetrare nelle murature:

- Acqua e sali da risalita capillare;
- Acqua da infiltrazione;
- Acqua e sali da condensa;
- Sali da attività umana;
- Acqua e Sali da materiali di costruzione;

Le prime quattro metodologie di infiltrazione dell'acqua vengono definite umidità da invasione, mentre l'ultima, come suggerito dal nome stesso, viene definita umidità da costruzione.

Si analizzano ora nel dettaglio le metodologie di infiltrazione dell'acqua presentate per capire poi come esse possono essere debellate.

Acqua e sali da risalita capillare

Questa è forse la causa più comune di ingresso d'acqua nelle murature. Si parla in questa situazione di umidità ascendente poiché, 'invasione dell'acqua nella parete, avviene con dei moti di risalita verso l'alto. La risalita capillare non è altro che un caso particolare del fenomeno della diffusione capillare che, in un solido bagnato, avviene in tutte le direzioni. Nelle murature però tale fenomeno si sviluppa principalmente per diffusione verticale e orizzontale e la causa principale è la non impermeabilizzazione delle fondazioni, soprattutto su edifici esistenti abbastanza datati.

Alla base di questo fenomeno ci sono due fattori:

- La capillarità dei materiali da costruzione. Tutti i materiali posseggono, in misura differente, dei microscopici spazi vuoti al loro interno da rete di canali. La capacità che un materiale ha di inibirsi d'acqua è dunque collegata alla presenza e alla tipologia di poro e canali. Più un materiale risulta attivo (capacità di trasmettere

l'umidità al suo interno in modo maggiore o uguale alla malta, considerato come materiale igroscopico di paragone) più il fronte di risalita sulla sua superficie sarà elevato;

- La presenza di acqua nel sottosuolo .Nel terreno vi può essere la presenza di acqua per due ragioni:
 - *Acqua dispersa* di origine accidentale, dovuta a forti piogge o a rotture improvvise di tubazioni. Essa genera un'umidità di risalita di tipo occasionale e localizzata, inoltre oscilla l'altezza del fronte di risalita a seconda dell'entità di acqua presente nel sottosuolo;
 - *Acqua freatica* con la quale si intende l'acqua naturalmente dispersa nei pori e nelle fratture del sottosuolo che spesso si raccoglie nei vari strati del terreno dando origine alle così dette falde freatiche costantemente alimentate da acque piovane, mare e/o corsi d'acqua nelle vicinanze. In questa situazione fondazioni dell'edificio e terreno sono sempre mantenuti umidi e la risalita interessa tutto l'edificio in modo uniforme senza che sostanziali variazioni siano apprezzabili durante l'anno.

La ragione fisica per la quale si innesca il fenomeno della risalita capillare è da ricercarsi nella differenza di pressione. Quando un liquido esposto all'aria entra in contatto con le pareti di un canale sufficientemente sottile entra infatti in gioco il fenomeno della diffusione capillare. Sostanzialmente si genera una differenza di pressione che causa un vero e proprio risucchio dell'acqua dentro i capillari del materiale, qualsivoglia sia l'orientamento degli stessi. In tal modo l'acqua è in grado di muoversi liberamente all'interno di essi.

La risalita capillare può essere quindi considerata come una conseguenza della diversa affinità che un materiale ha nei confronti della soluzione acquosa.

A livello scientifico, l'altezza fino alla quale l'acqua da risalita capillare può lambire la superficie di un edificio, viene calcolata attraverso la formula di Jurin che ha la seguente espressione:

$$h = \frac{2 \times \sigma \times \cos\vartheta}{r \times m \times g}$$

Dove:

- h è l'altezza di risalita dell'acqua;
- σ rappresenta la tensione superficiale dell'acqua;
- ϑ è l'angolo di bagnatura;
- r indica il raggio del capillare;
- m rappresenta la massa volumica del liquido;
- g è l'accelerazione di gravità.

Nel caso in cui il liquido sia acqua e il materiale una muratura porosa, l'altezza del fronte di risalita risulta funzione solo del diametro dei capillari essendo il coseno dell'angolo di bagnatura (termine $\cos\theta$) pari al valore 1 poiché il materiale risulta idrofobo.

Nei normali materiali da costruzione di solito le porosità risultano comprese tra 0,1 e 1 μm , perciò la risalita teorica che può verificarsi in una muratura può variare da un minimo di 1 m fino a raggiungere anche altezze imponenti pari a 15 m. Tuttavia, nei casi reali, si innescano sempre dei fenomeni evaporativi tra muratura e ambiente, i quali permettono di smaltire una parte delle masse d'acqua in gioco, limitando l'altezza di risalita a non oltre 3-4 m sopra il piano di campagna.

A seconda poi di com'è il flusso d'acqua che da origine al fenomeno e all'omogeneità della muratura la distribuzione del fronte di risalita dell'umidità può avere due aspetti:

- Altezza delle superfici interessate dal fenomeno delimitata da linee orizzontali presso ché costanti, il che implica presenza costante di acqua e materiale omogeneo;
- Altezza delle superfici interessate dal fenomeno discostante, che sottolinea un'evaporazione dell'acqua eterogenea sulla muratura dovuta a materiali disomogenei e ad una presenza di acqua discostante.

In presenza di umidità di risalita capillare si può quindi notare sulla superficie muraria:

- Formazione di una fascia di parete costantemente umida;
- Comparsa di efflorescenze in prossimità dell'isoumida più alta (ultima fascia di muratura imbibita di umidità verso l'alto, dette di frontiera).

Acqua da infiltrazione

Nel caso in cui la presenza di umidità nella muratura derivi da fenomeni d'infiltrazione la provenienza del fluido può derivare da:

- *Acqua piovana* le cause di presenza di acqua piovana possono essere due:
 - rottura o malfunzionamento degli elementi di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche;
 - precipitazioni, le quali generano fenomeni intermittenti di manifestazioni di umidità
- *Acqua salmastra* dovuta alle bufere marine se ci si trova in una località marittima (cloruri);
- *Infiltrazioni accidentali* come la rottura di tubazioni che trasportano acqua sanitaria o per il riscaldamento e scariche fognari. In questo caso però il fenomeno si manifesta in modo più continuo rispetto ai casi precedenti.

Acqua e sali da condensa

In questa situazione si nota la presenza di macchie di sali e umidità nella parte più alta della parete (soffitto). Ciò accade per effetto della condensazione, ovvero il raffreddamento della miscela aria-vapore dipendente da temperatura e umidità relativa dell'aria ambiente.

Il problema principale in casi come questo, non è da ricercarsi nel danno estetico bensì nella lisciviazione di sali che può causare efflorescenze o peggio ancora subflorescenze, con le possibili relative conseguenze anche strutturali.

Acqua e sali da materiali da costruzione

I manufatti edilizi tradizionali sono tendenzialmente realizzati con tecniche definite ad umido, poiché prevedono l'utilizzo di materiali acquosi per la costruzione. In queste tecniche una certa quantità d'acqua è funzionale alla vita dell'organismo edilizio ma, in quantità eccessiva, essa può essere fonte di problematiche per la costruzione.

Altro fattore importante da considerare, relativamente ai materiali da costruzione, è il fatto che essi siano una grandissima fonte di sali solubili dannosi. Le argille usate per fabbricare i mattoni ad esempio, contengono delle impurità che, dopo la fase di

cottura, danno origine a sali solfati che rimangono sparsi all'interno del mattone e compaiono dopo la messa in opera dell'elemento una volta bagnati i mattoni in seguito all'evaporazione della soluzione salina.

Sali da attività umane e di origine animale

In alcune situazioni la presenza di sali all'interno delle murature sembra essere apparentemente ingiustificata. In realtà è sempre bene studiare i precedenti utilizzi dell'edificio o del luogo sul quale è costruito per capire se possono esserci dei sali derivanti da composizione organica (nitrati), da deiezioni animali se ad esempio l'edificio era nel passato adibito a stalla o ancora da sali provenienti dalla lavorazione di alimenti.

In ambienti di questo tipo occorre sempre prestare molta attenzione al riuso di vecchi mattoni poiché, se non trattati adeguatamente, essendo probabilmente intrisi di sali, possono causare macchie di umidità e danni da sali.

Nei paragrafi precedenti sono stati citati i gruppi di sali che più frequentemente si trovano nelle murature e producono efflorescenze, ovvero solfati, nitrati e cloruri. Di seguito vengono fornite alcune indicazioni aggiuntive relativamente ad essi, per meglio conoscere le cause costituenti le dannose conseguenze della risalita capillare.

Solfati I solfati sono per lo più igroscopici e possono assorbire anche grandi quantità d'acqua, hanno un grado di solubilità tale per cui a temperatura ambiente sono in uno stato continuo di cristallizzazione e soluzione. Il costante cambiamento di volume determina una variazione di tensione interna al materiale fino a provocarne la disgregazione. Di questo gruppo fanno parte:

- **Solfati alcalini** che comprendono il solfato di sodio e di potassio; si decompongono più facilmente degli altri solfati e sono molto solubili con acqua, spariscono col tempo e quindi solo se si trovano in grande quantità possono dare origine a forti efflorescenze. Sono caratterizzati da un tipico sapore salino. Il solfato di sodio provoca la formazione di depositi più o meno spessi che si presentano come ammassi pulverolenti o arborescenti che possono provocare l'accartocciamento ed il distacco di eventuali pitturazioni. Il solfato di potassio forma una pellicola

diافana e continua come una velatura grigiastra sulla superficie della muratura determinando un'alterazione del colore delle pareti fino alla diminuzione e soppressione della loro brillantezza;

- **Solfato di magnesio** è il sale che provoca le alterazioni più serie e che ha la massima attitudine migratoria, le sue efflorescenze sono pulverulente con cristalli aghiformi ramificati o a fiori. Il suo sapore è amaro. Sulla superficie degli intonaci di gesso può creare alle volte delle patine molto dure. All'atto della cristallizzazione subisce una forte espansione di volume tanto che può provocare disgregamento del laterizio e il distacco di parti di intonaco;
- **Solfato di calcio** appare come un deposito bianco, ha una forte aderenza, non è solubile in acqua e quando è solo non genera efflorescenze, quando però si trova con un altro sale, come il solfato di potassio, può generare un sale doppio più solubile che ha le caratteristiche simili a quelle del solfato di magnesio.

Nitrati Questi sali hanno origine organica e attaccano solitamente edifici a zone rurali, sono molto rari ma hanno effetti dannosissimi. Solo in laboratorio si riesce a stabilirne l'esistenza, comunque si può intuire la loro presenza da alcuni elementi quali la loro concentrazione avviene lungo strisce di 10-15 cm di larghezza che attraversano l'edificio e l'area al di sopra della zona colpita è come ombreggiata mentre quella al di sotto risulta asciutta e solida. Di questo gruppo fanno parte:

- **Nitrato di calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)** fortemente igroscopico, è capace di assorbire grandi quantità d'acqua rendendo così il materiale che lo contiene vulnerabile al gelo;
- **Nitrato di sodio e nitrato di potassio (NaNO_3 , KNO_3)** sono nitrati derivanti dall'acido nitrico che si possono trovare nel suolo in grandissima quantità e sono i più solubili tra i sali metallici;
- **Nitrato di magnesio ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$)** che insieme al nitrato di calcio cristallizzano solo quando l'UR raggiunge valori inferiori al 50%.

Cloruri Questi di solito sono limitati alle aree costiere; non sono sali igroscopici ma lo diventano se combinati con altri sali soprattutto i solfati. Il vapore acqueo contenente cloruro condensa appena a contatto con le murature fredde ed il passaggio nelle zone

più interne avviene senza difficoltà; poiché hanno la capacità di trattenere grosse quantità d'acqua nelle murature creano effetti dannosi alle persone e agli arredi interni. Di questo gruppo fanno parte:

- **Cloruro di sodio e di calcio (NaCl, CaCl)** provocano la formazione di depositi salini di colore bianco, di tipo microcristallino e dal caratteristico sapore salino. Sono fortemente igroscopici, il cloruro di sodio, ad esempio, cristallizza a 25°C e ad una umidità relativamente bassa (30% circa). Questa loro caratteristica rende difficile l'asciugatura di un muro umido nel quale, oltre ai danni dei sali, si aggiungono lo sviluppo delle muffe, alterazioni e distacco delle pitture fino alla completa disgregazione degli intonaci (Vantandoli, 1988).

In questi paragrafi sono state descritte cause e modi di manifestarsi dell'umidità di risalita capillare. I sintomi presentati però, oltre a creare la presenza di efflorescenze e subflorescenze, possono portare anche alla formazione di fenomeni di irregolarità superficiale quali distacchi, lacune, screpolature e sbriciolamento.

Le cause responsabili di tali fenomeni possono essere due:

- **Cause naturali** si tratta degli effetti fisici che hanno sui materiali le escursioni stagionali di temperatura e umidità, le quali provocano dilatazioni e ritiri ciclici i quali risultano tanto più dannosi quanti più materiali diversi sono accostati gli uni agli altri;
- **Contenuto di sali solubili** le ricristallizzazioni stagionali provocano gradualmente la disgregazione del materiale.

Altri fenomeni di deterioramento che si possono generare per via dell'azione dei sali combinata con il tipo d'intonaco e la modalità di stesura sono poi il rigonfiamento del rivestimento finale e/o il distacco dal substrato sottostante.

Va prestata attenzione al fatto che tali situazioni possono generarsi anche perché può essere stata messa un'eccessiva quantità di cemento nell'impasto dell'intonaco cementizio impermeabile o macroporoso.

Ultima problematica del substrato che si vuole presentare legata alla presenza di umidità nella muratura è l'arretramento del filo dei mattoni rispetto alla muratura. Dalla seconda metà del secolo scorso l'uso di malte ed intonaci cementizi è diventato sempre più dilagante, determinando la perdita dell'utilizzo delle malte tradizionali. Questi nuovi materiali risultano decisamente meno igroscopici rispetto alle vecchie malte e pertanto non costituiscono più la via preferenziale attraverso cui l'umidità cerca di evaporare.

Accade quindi che il mattone diventi il materiale prediletto dall'acqua per compiere il fenomeno dell'evaporazione, comportando così, nel tempo, un consumo della superficie del materiale lapideo facendo arretrare il filo del finito dello stesso rispetto a quello del muro. La situazione che ne deriva è molto grave e difficile da gestire poiché risulta complesso risanare la struttura del mattone in opera e quindi restituire al supporto le condizioni ideali per accogliere un sistema di isolamento.

10. 2 Vulnerabilità e degrado del calcestruzzo

Un'altra problematica particolare che preclude la possibilità di utilizzare il substrato come base per la realizzazione di un sistema di isolamento è la presenza di fenomeni di carbonatazione o ossidazione di ferri d'armatura scoperti, situazione ritrovabile nei manufatti in calcestruzzo.

Risulta importante quindi, come per il fenomeno dell'umidità capillare, andare più a fondo nello studio di tale situazione per individuare in una seconda fase la corretta tecnica di ripristino di calcestruzzo e ferri per garantire una posa e regola d'arte del sistema di isolamento interno.

Il degrado del calcestruzzo e delle armature in esso contenute sono riconducibili sostanzialmente a due cause principali:

- **Cause chimiche ed elettrochimiche** in questo caso ci sono reazioni tra i fluidi aggressivi provenienti dall'esterno e gli ingredienti o prodotti di idratazione del cemento e le barre d'armatura;
- **Fisiche** Determinate dalle variazioni di temperatura della superficie e/o dell'ambiente esterno, dai gradienti di umidità relativa oppure derivanti dai carichi

statici e dinamici agenti sulla struttura, dai carichi impulsivi, da quelli ciclici e dalle azioni abrasive.

A prescindere da quale sia la causa di degrado le cause del degrado vengono poi distinte in endogene o esogene a seconda che almeno uno dei fattori scatenanti il processo sia all'interno della struttura in calcestruzzo o all'esterno.

La maggior parte delle patologie che possono affliggere le strutture in calcestruzzo sono di tipo tecnologico e si possono attribuire a:

- Cls di qualità scadente;
- Attacco chimico del cls;
- Corrosione dei ferri dovuta a inadeguata protezione con cls di qualità scadente;
- Materiali (cemento, inerte, ecc.) non idonei.

Le patologie di degrado che principalmente affliggono le superfici o le strutture in calcestruzzo armato sono quelle derivanti dall'azione di fattori di tipo ambientale, processi di tipo chimico ed elettrochimico di natura esogena, determinati cioè dall'ingresso nella matrice porosa del calcestruzzo di agenti derivanti dall'ambiente esterno. Tali fattori sono da ascrivere a reazioni che coinvolgono i fluidi aggressivi presenti nell'ambiente e i prodotti di idratazione del cemento e/o delle barre d'armatura. I fluidi aggressivi più importanti, in relazione alle tipologie di degrado, sono rappresentati segnatamente dall'ossigeno, dall'anidride carbonica, dall'acqua e dalle sostanze in essa disciolte che principalmente sono sali come solfati e cloruri o sostanze chimiche di provenienza industriale.

Chiaramente, perchè questi processi acquistino rilevanza dal punto di vista ingegneristico non è sufficiente che i fluidi lambiscano la superficie interessata ma serve che la penetrino interessando spessori centimetrici di calcestruzzo. Qualsiasi sia il processo di degrado quindi, indipendentemente dalla natura degli agenti aggressivi e dei materiali strutturali coinvolti, dipende fortemente dalla capacità dei fluidi di penetrare nella matrice cementizia.

I meccanismi con i quali i fluidi sono in grado di penetrare all'interno del calcestruzzo sono sostanzialmente tre e differiscono tra loro in base alla forza motrice che ne innesca il moto:

- **Permeazione** meccanismo per il quale la penetrazione del fluido aggressivo è determinata da un gradiente di pressione;
- **Diffusione** l'ingresso del fluido nel mezzo poroso è determinato da un gradiente di concentrazione;
- **Assorbimento o suzione capillare** Il meccanismo di trasporto del fluido è generato dalle forze di adesione superficiale per affinità di un liquido, e dell'acqua in particolare, con le superfici di un solido.

Sono ora descritte brevemente alcune delle tipologie di degrado dovute ai sali disciolti in soluzione ionica nell'acqua, all'azione dell'ossigeno, dell'anidride carbonica e dei cicli gelo-disgelo.

Attacco solfatico esterno o interno

Tra tutti gli agenti aggressivi del calcestruzzo i solfati sono indubbiamente i più importanti sia per la frequenza con cui si possono manifestare, sia per le conseguenze estremamente negative che possono provocare.

L'attacco solfatico consiste nell'iterazione tra lo ione SO_4^- ed i prodotti presenti nella matrice cementizia: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (calce d'idrolisi), C-S-H (silicato di calcio idrato responsabile dell'indurimento) e C-A-H (alluminato di calcio idrato responsabile della presa).

Questo tipo di attacco si manifesta attraverso un rigonfiamento esagerato del conglomerato dovuto alla sua immersione in acqua solfatica o alla presenza di solfati nella pasta cementizia o negli aggregati. Il fenomeno del rigonfiamento risulta decisamente problematico poiché può generare fenomeni fessurativi o di distacco del materiale per via di dilatazioni differenziali derivanti dal fatto che esso non avviene in modo omogeneo ma si manifesta soprattutto nelle zone corticali di calcestruzzo a contatto con i solfati provenienti dall'ambiente.

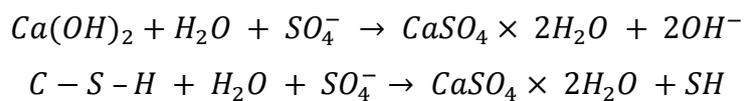
Quando si parla di attacco solfatico interno, lo ione SO_4^- è presente all'interno della pasta cementizia o negli aggregati, invece nel caso di attacco solfatico esterno, lo ione entra in contatto con la matrice cementizia come impurità disciolte nell'acqua.

Le reazioni che si sviluppano per azione dei solfati sono sostanzialmente tre:

- reazione tra lo ione solfato e l'idrossido di calcio con formazione di gesso bi idratato;

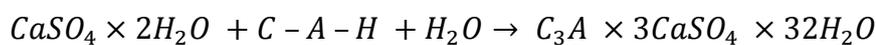
- reazione con idrossido e silicato di calcio, con formazione di thaumasite;
- reazione con gli alluminati idrati, con formazione di ettringite;

Inizialmente lo ione solfato interagisce con l'idrossido di calcio oppure con il silicato di calcio idrato ottenendo come prodotto il gesso che comporta oltre alla comparsa di fessure un calo della resistenza meccanica. Tale fenomeno è descritto attraverso queste reazioni chimiche:



La reazione che coinvolge il C-S-H risulta però essere la più pericolosa perché, a causa della perdita di calcio del silicato idrato, si verifica una drastica riduzione della capacità legante.

Successivamente il gesso prodotto reagisce con gli alluminati di calcio idrati (C-A-H) ottenendo ettringite secondo la reazione:



Il prodotto di tale reazione è definito ettringite secondaria; a differenza dell'ettringite primaria che si forma nel momento della presa del calcestruzzo in maniera omogenea e genera benefici all'impasto creando un film protettivo attorno agli alluminati per rallentare il processo di idratazione, quella secondaria si verifica in maniera eterogenea soprattutto nella parte esterna, generando un brusco aumento di volume nella matrice già solidificata, provocando rigonfiamenti e fessurazioni.

Tale fenomeno risulta ancora più pericoloso quando si ha la presenza di carbonato di calcio $CaCO_3$ a temperature inferiori a 10° e in ambienti con umidità superiore al 95%, in quanto la reazione porta alla formazione di thaumasite, che provoca la vera e propria decalcificazione riducendo il calcestruzzo in una consistenza pressoché liquida, causando conseguenze peggiori rispetto l'ettringite.

Attacco dei solfuri

Il solfuro può essere presente in natura dei terreni, delle acque di falda, di palude o di fogna e può presentarsi come sale o come acido. In realtà il solfuro non sembra avere di per sé un'azione aggressiva nei confronti del calcestruzzo, tuttavia la sua trasformazione in altri composti può provocare il deterioramento del materiale. Solitamente infatti la presenza di solfuri conduce alla formazione di acidi ai quali in definitiva si deve l'azione aggressiva nei confronti del conglomerato.

Attacco dell'anidride carbonica

L'anidride carbonica può essere presente nell'aria e nell'acqua. I meccanismi di aggregazione da parte dell'anidride carbonica nei confronti delle strutture in calcestruzzo sono significativamente differenti a seconda che si abbiano elementi in calcestruzzo a contatto con acque ricche in anidride carbonica (fenomeno del dilavamento) o strutture armate esposte all'aria contenente tale (carbonatazione del calcestruzzo e corrosione dei ferri d'armatura).

Risulta essere il fenomeno della carbonatazione del calcestruzzo e la corrosione dei ferri d'armatura la tipologia di attacco dell'anidride carbonica più diffuso.

Con il termine carbonatazione si intende quell'azione dell'anidride carbonica presente nell'aria nei confronti del calcestruzzo che porta, fondamentalmente, alla neutralizzazione della calce presente nel conglomerato cementizio, con conseguente abbassamento della basicità dell'ambiente. Tale modificazione del naturale pH avviene prima nelle zone corticali della struttura per poi spostarsi via via in quelle più interne.

La pericolosità di questo fenomeno non consiste in un danneggiamento superficiale del calcestruzzo per asportazione del calcare (come accade invece nel dilavamento) poiché, la formazione di calcare che tale processo genera (in luogo della calce), è semmai un processo consolidante per il calcestruzzo. Tuttavia i ferri d'armatura risultano più esposti all'azione corrosiva dell'ossigeno e dell'umidità ambientale poiché non più protetti da calcestruzzo basico a pH 13 (la carbonatazione comporta un abbassamento di pH al valore 11).

Appare chiaro quindi che il fenomeno necessita, per sviluppare la sua reazione, di acqua o meglio di umidità. Pertanto, finché l'umidità relativa risulta inferiore al 40%, il tutto avviene con velocità trascurabile. Oltre alla presenza di umidità relativa gli altri

principali fenomeni che influenzano la carbonatazione sono:

- Porosità del calcestruzzo;
- Alcalinità del conglomerato cementizio e qualità di tipo di cemento impiegato;
- Temperatura e condizioni ambientali.

Una volta innescatosi il fenomeno della carbonatazione la conseguenza principale che si genera, come già accennato, è la corrosione dei ferri d'armatura. Questa situazione può degradare in due modi:

- Riducendo la sezione del ferro metallico;
- Portando al distacco del copriferro a causa del rigonfiamento dell'armatura sottostante, il che accompagna la trasformazione del metallo.

Naturalmente il distacco del copriferro è forse l'aspetto più pericoloso poiché i ferri rimangono totalmente esposti all'azione aggressiva dell'umidità relativa. La corrosione del metallo delle armature avviene mediante un processo elettrochimico che porta alla formazione di quella che comunemente si conosce come ruggine. La ruggine occupa un volume da 2 a 6 volte superiore a quello dell'acciaio originario, il che comporta la nascita di tensioni interne di compressione sul conglomerato cementizio e tensioni di trazione superficiale che determinano la comparsa di fessure che corrono parallelamente ai ferri d'armatura portando alla fessurazione di nuovi tratti di copriferro o espulsioni.

Va ricordato infine che la corrosione può essere indotta anche per azione di sostanze aggressive come cloruri, magnesio o ammonio presenti nel calcestruzzo, in quanto trasportati dall'ambiente esterno o presenti nell'impasto originario. Tali sostanze, se si trovano in presenza di acqua e ossigeno, intaccano gli ossidi protettivi presenti sulle armature creando una zona in cui riesce ad innescarsi il meccanismo della carbonatazione.

Attacco da cloruri

Il meccanismo della corrosione da cloruri è legato alla rottura del film di passività delle armature in seguito all'ingresso di cloruri nel calcestruzzo. I cloruri possono penetrare

nelle strutture in calcestruzzo realizzate in ambiente marino oppure in quelle a contatto con Sali disgelanti (NaCl e CaCl_2) impiegati nel periodo invernale. Il fenomeno, dunque, coinvolge fundamentalmente tutte le strutture (da strade, viadotti a pavimentazioni e parapetti) site in esterno.

Quando i cloruri raggiungono un tenore critico, che dipende dalle condizioni ambientali e dal tipo di calcestruzzo, si verifica la rottura del film di passività sulla superficie delle armature ed è possibile la corrosione.

Il tempo necessario per raggiungere il tenore critico di cloruri sulle armature è definito tempo di innesco e dipende dal tenore di cloruri sulla superficie esterna e dalle caratteristiche del calcestruzzo che regolano il trasporto dei cloruri attraverso il copriferro. Quando si è raggiunto il tenore critico di cloruri a livello delle

armature e si innesca l'attacco; la velocità di corrosione può passare da qualche decina di $\mu\text{m}/\text{anno}$ a $1\text{ mm}/\text{anno}$ al crescere dell'umidità dal 70 al 90% e del tenore di cloruri dall' 1 al 3%. Una corrosione così rapida, nei casi più estremi può condurre ad una riduzione della sezione delle barre tale da inficiare le caratteristiche meccaniche dell'elemento.

La manifestazione di cloruri, inoltre, può essere dovuta anche alla presenza di essi nell'impasto, ad esempio nell'acqua o nell'aggregato. Per continuare il processo di corrosione è comunque necessaria, come nel caso precedente, la contemporanea presenza di ossigeno e acqua.

Le condizioni peggiori sono quelle in cui vi è un alternanza tra asciutto e bagnato, come negli edifici vicini a zone soggette a maree o nei ponti dove vengono usati sali disgelati per un periodo dell'anno; in questo caso la velocità di produzione di corrosione aumenta notevolmente in quanto sia acqua che aria penetrano all'interno del materiale, alimentando il fenomeno.

Dal punto di vista morfologico l'attacco dei cloruri si presenta talvolta come generalizzato ma più frequentemente come localizzato (pitting corrosion). Il fenomeno localizzato è caratterizzato dalla formazione di aree anodiche localizzate di sviluppo superficiale di gran lunga inferiore a quello delle aree catodiche circostanti. Ciò crea condizioni di flusso di correnti anodiche localizzate di densità notevole e quindi a rapido effetto perforante.

11 Risanamento dei componenti del sistema degradati

Definite le possibili cause di degrado che possono interessare i supporti analizzati, è bene individuare le metodologie più adatte per la risoluzione delle problematiche presentate al fine di rendere il substrato idoneo per l'applicazione di un sistema ad isolamento interno.

11.1 Fenomeni di degrado conseguenza dell'umidità

Avendo presentato il fenomeno di degrado dell'umidità, è chiaro come problematiche quali alveolizzazione, efflorescenze, subflorescenze, sfogliazioni, fratturazioni o fessurazioni, fronte di risalita, lacune e rigonfiamenti non siano altro che una conseguenza, manifestatasi sotto forme differenti, della presenza di acqua e sali all'interno della muratura.

Di primaria importanza in tali situazioni è procedere con una terapia di risanamento che scongiuri in modo duraturo la presenza di umidità nelle pareti affinché ciò non mini la durabilità del sistema di isolamento.

Come è stato spiegato in precedenza, esistono diversi modi attraverso cui l'acqua può penetrare all'interno della muratura che qui, per comodità di esposizione, vengono raggruppati in due grandi famiglie:

- *Cause occasionali o accidentali* come eventi meteorici o rotture di tubazioni;
- *Cause costanti* come la risalita capillare dell'acqua dal terreno la quale può avere intensità più o meno elevata in base alle già citate cause accidentali o alla presenza di falde, ma rimane comunque una presenza costante nel tempo.

Contro gli avvenimenti accidentali è ovviamente difficile porre un rimedio proprio perché si verificano con tempi e manifestazioni differenti.

Per quanto concerne invece l'umidità da risalita capillare, a prescindere dalla costanza della sua manifestazione, è sempre bene scongiurarne a presenza in modo particolare per la quantità di sali disciolti che essa contiene al suo interno e trasferisce alle pareti con le conseguenze già presentate.

Nello specifico, contro la risalita dell'umidità dal terreno, esistono due tipologie d'intervento:

- **Tecniche invasive** → esse agiscono sugli effetti della risalita effettuando uno sbarramento, chimico o fisico, al flusso di acqua;
- **Tecniche non invasive** → compromettono il movimento ascensionale dell'acqua nelle pareti agendo sulle cause della risalita.

I rimedi contro la presenza di sali nella muratura si basano principalmente sulla conversione irreversibile dei sali igroscopici solubili in acqua, in cristalli non igroscopici ed insolubili in acqua, quindi con perfetta stabilità dimensionale. Tali reazioni possono avvenire imbibendo la superficie della muratura con delle soluzioni acquose contenenti appropriati reattivi chimici; i cristalli prodotti dalla reazione del prodotto creano ostacolo al percorso dell'acqua nei capillari che portano verso la superficie esterna impedendola di continuare il percorso sotto forma di liquido e costringendola ad evaporare prima di arrivare alla superficie.

Di seguito si presentano le diverse tecniche con le quali si cerca invece di ostacolare totalmente la risalita dell'acqua nella muratura, e non solo di combattere i sali in essa presenti, vagliandole in base a quali siano più adatte per risanare un supporto previa applicazione di un sistema.

Metodo Knapen (Invasivo)

Il metodo è basato sul principio dell'areazione preventiva, ovvero far sì che l'acqua che risale dal terreno venga dispersa prima che risalga troppo in alto. In pratica vengono inseriti dei tubi areanti nelle pareti interessate dal problema i quali consentono il ricambio d'aria sfruttando la differenza di peso specifico tra l'aria esterna più secca e pertanto più leggera, e l'aria interna più umida e dunque più pesante.

La principale controindicazione per l'utilizzo di questo metodo è la possibilità che i sali contenuti in soluzione nel fluido possano intasare i tubi minandone quindi il funzionamento.

Ovviamente, pensando di dover poi applicare un cappotto sulla muratura l'utilizzo di

questi sistemi risulta inadatto perché la parte terminale dei sifoni non sarebbe lasciata libera di respirare ma risulterebbe coperta dal sistema.

Metodo dello sbarramento orizzontale (Invasivo)

Esistono due sistemi per effettuare lo sbarramento della risalita capillare:

- *Taglio fisico della muratura* Noto anche come metodo Veneziano o Massari mira ad interrompere il flusso ascendente di acqua eseguendo un taglio alla base del muro, orizzontalmente, per tutto il suo spessore, riempiendolo poi con del materiale impermeabile;
- *Taglio chimico della parete* Si basa sull'immissione di particolari sostanze chimiche idrofobizzanti che formano una barriera chimica idrorepellente che ostacoli la risalita dell'umidità. Il principio è quello di ostacolare l'adesione delle molecole d'acqua alla superficie interna dei capillari trasformando il materiale da idrofilo a idrofobo. In aggiunta a questo sistema è sempre bene utilizzare una finitura con intonaco traspirante che permetta alla parete di continuare a smaltire eventuale umidità in eccesso.

Conseguenza di entrambe le tecniche di sbarramento è la concentrazione del fenomeno di evaporazione dei sali contenuti in soluzione nell'acqua nella fascia di muratura subito sottostante l'area interessata dal taglio chimico o fisico il che può provocare efflorescenze e fenomeni di degrado. Per evitare tale situazione si potrebbe procedere impermeabilizzando la fascia sottostante la barriera così da mantenere i sali in soluzione.

Altra problematica, legata però solo al taglio fisico della muratura, è la diminuzione delle proprietà di staticità e stabilità delle pareti, effetto dannoso che preoccupa ancor più se il manufatto si trova in zone altamente sismiche.

Il taglio fisico della muratura genera problemi a livello statico, pertanto, a prescindere dal fatto che vi sia in progetto la realizzazione di un sistema, tale tecnica viene ad oggi evitata per ragioni di sicurezza statica.

Il taglio chimico della muratura comporta problematiche differenti, legate principalmente alla non certa distribuzione della resina nella parete (non è possibile

controllare visivamente come e dove questa si dispone durante la fase di iniezione), e alla sua efficienza nel tempo.

Il taglio chimico dunque risulta, tra i metodi invasivi presentati, l'unico che potrebbe sembrar idoneo per una successiva applicazione di sistemi a cappotto. Da un'analisi più accurata di come viene eseguita la procedura di risanamento, si comprende come anche questo espediente debba essere evitato.

I problemi tecnici che si generano durante l'esecuzione del taglio sono sostanzialmente due:

- *Tempistiche molto lunghe*; effettuare un taglio chimico su una parete comporta la preventiva rimozione dello strato di intonaco, la foratura della muratura dal lato esterno e l'immissione delle resine chimiche attraverso metodi a diffusione o a pressione. La muratura deve poi essere lasciata asciugare completamente prima di applicare del nuovo intonaco. Tutto questo processo implica un'attesa di qualche mese solo per la preparazione del supporto;
- *Impossibilità di esecuzione in un'abitazione occupata*; le sostanze che vengono iniettate sono caratterizzate da odori pungenti e fastidiosi che permangono all'interno degli ambienti interni per qualche periodo.

In conclusione si può affermare che nessuno dei metodi così detti invasivi risulta effettivamente adatto per risolvere il problema della risalita capillare dell'umidità.

Metodo elettrosmotico (Non invasivo)

Il metodo è basato sul principio fisico dell'elettrosmosi, secondo il quale, sotto l'applicazione di una differenza di potenziale elettrico, un liquido si muove attraverso i capillari di un setto poroso come può essere la muratura. Fisicamente la risalita capillare avviene poiché, a livello molecolare, la superficie di un qualsiasi materiale siliceo (come la maggior parte dei materiali edili) è carica di un potenziale elettrostatico negativo, mentre il terreno risulta caratterizzato da un potenziale positivo.

L'obiettivo che si pone tale metodologia è dunque quello di contrastare l'umidità di risalita capillare applicando alla parete l'elettrosmosi, così da invertire il senso naturale di percorrenza dell'acqua e farla muovere nel manufatto dall'alto verso il basso.

Nella pratica vengono posizionati degli elettrodi nella muratura e nel terreno collegati ad una centralina di alimentazione a corrente continua. Applicando con i suddetti elettrodi un campo elettrico opposto a quello che normalmente è presente tra muratura e terreno e di maggiore intensità, si inverte la polarità del sistema in modo che l'acqua, che si muove sempre verso il polo negativo (per via della polarità della sua molecola, +), si sposti verso il terreno con conseguente asciugatura nel tempo della muratura.

Metodo elettrofisico (Non invasivo)

Questo secondo metodo si basa sull'emissione di deboli impulsi elettromagnetici che compromettano il movimento ascensionale dell'umidità. I dispositivi accreditati scientificamente che svolgono tale operazione sono ancora una volta alimentati tramite corrente elettrica.

Analizzate le metodologie d'intervento non invasive si può concludere che queste sono effettivamente soluzioni durature ed affidabili nel tempo che, qualora il problema dell'umidità del supporto fosse effettivamente di entità rilevanti, risultano l'unica tipologia di soluzione accettabile e valida per il ripristino delle pareti.

Per concludere va sottolineato che, qualsiasi sia l'intensità o la natura della presenza di umidità, una volta risolto, è necessario procedere con il ripristino della superficie danneggiata dalle conseguenze dell'azione di acqua e sali nel tempo al fine di rendere lo strato complanare e omogeneo così da poter accogliere senza conseguenze il sistema progettato.

11. 2 Ripristino del calcestruzzo ammalorato

Per quanto concerne i prodotti e i sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture in calcestruzzo è necessario fare riferimento alla UNI EN 1504 che tratta proprio l'argomento appena citato.

Noto lo stato di fatto e le caratteristiche dell'opera, fondamentale prima di intervenire su qualsiasi manufatto, le possibilità di intervento sono molteplici e la scelta della

strategia appropriata è legata alla funzione che la struttura dovrà svolgere, alle sue condizioni iniziali e alla disponibilità di spesa del committente. Metodi di lavoro e principi per svolgere le attività secondo le buone regole dell'arte devono poi essere selezionati in conformità con quanto specificato nella sopra citata UNI1504.

Nelle sue varie parti, la UNI 1504 descrive quali sono i principi e i metodi che possono essere applicati per il ripristino del sistema. Verranno ora esplicitati, in maniera riassuntiva, i principi e i metodi d'intervento da applicarsi, secondo normativa, per combattere il degrado del calcestruzzo e la corrosione delle armature.

Principio 1

Protezione contro l'ingresso → trattamenti finalizzati a prevenire o ridurre la penetrazione di agenti ostili all'interno della matrice cementizia attraverso i pori naturali del materiale.

Metodi

- Impregnazione e impregnazione idrofobica;
- Rivestimento;
- Rivestimento e rivestimento superficiale delle crepe;
- Trasformazione delle crepe in giunti;
- Costruzione di pannelli esterni;
- Applicazione di membrane.

Principio 2

Controllo dell'umidità → interventi finalizzati a limitare e/o mantenere il contenuto di umidità nel calcestruzzo entro uno specifico range di valori.

Metodi

- Impregnazione e impregnazione idrofobica;
- Rivestimento;
- Costruzione di pannelli esterni;
- Trattamento elettrochimico.

Principio 3

Ripristino del calcestruzzo → Ripristino del calcestruzzo originale di un elemento secondo forma e funzioni originali ovvero sostituzione di un elemento ammalorato con una nuova unità.

Metodi

- Applicazione manuale di malte da ripristino;
- Nuovo getto di cls o malta;
- Applicazione a spruzzo di cls o malta;
- Sostituzione degli elementi.

Principio 4

Rinforzo strutturale → Interventi finalizzati ad aumentare o ripristinare la capacità portante di un elemento o di un nodo della struttura.

Metodi

- Aggiunta e/o sostituzione di barre di rinforzo;
- Installazione di barre in fori preformati;
- Rinforzo/collegamento mediante piastre;
- Aggiunta di cls;
- Iniezione di malte/resine in fessure, vuoti o interstizi;
- Riempimento di crepe, vuoti o interstizi.

Principio 5

Resistenza fisica → Interventi finalizzati ad incrementare la resistenza ad attacchi di tipo fisico e meccanico.

Metodi

- Rivestimento;
- Impregnazione;
- Aggiunta di malte o calcestruzzi specifici.

Principio 6

Resistenza ai prodotti chimici → Aumentare la resistenza superficiale della matrice cementizia al fine di limitare i danni legati ad attacchi chimici.

Metodi

- Rivestimento;
- Impregnazione;
- Aggiunta di malte o calcestruzzi specifici.

Principio 7

Conservazione e ripristino della passività→ Interventi volti a ricreare le condizioni chimiche necessarie al fine di mantenere o riportare le armature nella condizione di passività.

Metodi

- Aumento del copriferro mediante aggiunte di malta o calcestruzzo;
- Sostituzione del calcestruzzo carbonatato o contaminato;
- Rialcanizzazione del cls carbonatato attraverso processi elettrochimici;
- Rialcalinizzazione del cls carbonatato attraverso processi di diffusione;
- Estrazione elettrochimica dei cloruri.

Principio 8

Conservazione e ripristino della passività→ Interventi finalizzati ad incrementare la resistività elettrica del calcestruzzo.

Metodi

- Impregnazione idrofobica;
- Impregnazione;
- Rivestimento.

Principio 9

Controllo catodico→ Si creano condizioni elettrochimiche tali per cui le aree potenzialmente catodiche non possano dare origine a reazioni di anodizzazione e quindi si previene l'avvio del processo corrosivo.

Metodi

- Limitazione del contenuto di ossigeno all'interno del materiale attraverso la saturazione dei pori/vuoti interstiziali o attraverso un rivestimento superficiale.

Principio 10

Protezione catodica

Metodi

- Applicazione di un potenziale elettrico.

Principio 11

Controllo delle aree anodiche → Interventi di miglioramento volti a creare condizioni tali da impedire che le aree potenzialmente anodiche prendano parte alla reazione di corrosione.

Metodi

- Verniciatura dei rinforzi con materiali a pigmenti attivi;
- Verniciatura del rinforzo con rivestimenti a barriera;
- Applicazione di inibitori di corrosione.

12 METHOD STATEMENT

12.1 METHOD STATEMENT TIPOLOGIE DI SISTEMA DI ISOLAMENTO INTERNO

L'isolamento termico applicato dall'interno non presenta grandi difficoltà di poca e risulta abbastanza economico. Non sono necessarie attrezzature specifiche per realizzarlo, tali materiali vengono principalmente usati per la posa delle lastre di cartongesso ed è per questo motivo che si adotta più in generale, anche per il montaggio dei tramezzi leggeri.

I materiali per l'isolamento dall'interno sono ampiamente disponibili e possono essere reperiti presso tutte le reti di distribuzione per professionisti o per il grande pubblico. Per le operazioni di misurazione e tracciamento vengono in genere utilizzati una matita da falegname, una corda per tracciare, un filo a piombo, spago, una livella a bolla e un metro a nastro. Per la posa dei pannelli preaccoppiati isolanti è necessario procurarsi un rigone da muratore in alluminio da 2 m e un segaccio.

12.1.1 I pannelli isolanti preaccoppiati – PIP

Un pannello isolante preaccoppiato è costituito da un rivestimento, che generalmente consiste in una lastra di cartongesso a bordi sottili, su cui viene incollato uno strato più o meno spesso di isolante di varia natura.

Se si tratta di una lana minerale, la colla è una resina termofusibile, per i materiali sintetici alveolari la colla è invece poliuretana o all'urea formaldeide. Il pannello può essere eventualmente dotato di una barriera o freno al vapore, che può essere in carta kraft/alluminio, in carta kraft/polietilene, in PVAC o semplicemente in alluminio. I pannelli, come tutti gli isolanti termici, sono caratterizzati da una determinata permeabilità al vapore [Kg/ (m x s x Pa)].

I possibili spessori della lastra di cartongesso sono di 9,5, 12,5 o 15 mm. Può trattarsi di lastre standard, con maggiore resistenza al fuoco, ad elevata resistenza, idrorepellenti, prestampate o ad elevato potere fonoisolante. I pannelli vengono commercializzati nelle larghezze da 0,60 o 1,20 m con altezze comprese fra i 2,40 e i 3 m. gli strati di isolante hanno generalmente spessore compreso tra i 20 e i 120 mm, siano essi in materiale sintetico alveolare o in lana minerale.

Esistono anche pannelli "sandwich" isolanti costituiti da un isolante inserito tra due lastre di cartongesso che possono essere impiegati per isolare le pareti verticali mediante fissaggio meccanico su listelli oppure realizzare pareti verticali interne nei sottotetti abitabili. Questo tipo di prodotto, tuttavia, non è molto utilizzato.

L'ambito di utilizzo dei pannelli isolanti può essere quello di rinforzare l'isolamento termico delle pareti verticali in muratura o in calcestruzzo, siano esse nuove o preesistenti. La posa può essere effettuata per incollaggio con malta adesiva o per avvitatura su listelli. È inoltre possibile il fissaggio meccanico su una struttura o un'intelaiatura in legno. Lo stesso accade per i solai dei sottotetti non abitabili, accessibili o meno, per il rivestimento dei sottotetti abitabili (solai, superficie interna delle falde, pareti verticali interne) e per il rivestimento delle abitazioni con struttura in legno.

I pannelli preaccoppiati possono essere posati in opera per incollaggio o per avvitatura su listelli. Sulle pareti con intonaci di gesso è da realizzare soltanto la posa su listelli verticali mentre è da evitare la posa a colla.

La posa in opera dei pannelli isolanti deve avvenire in locali al riparo dagli agenti

atmosferici. Prima di iniziare i lavori è opportuno immagazzinare il materiale in orizzontale, al riparo dall'umidità, dagli urti e dallo sporco. Si dovrà pertanto utilizzare una serie di spessori disposti nel senso della larghezza e distanziati al massimo l'uno dall'altro di 60 cm. Gli spessori devono avere una larghezza minima di 10 cm e una lunghezza almeno pari alla larghezza delle lastre.

In caso di pannello con isolante sintetico alveolare deformato, se sotto ad un rigone di 2 m il difetto risulta superiore a 10 mm, è possibile ripristinare la rettilineità della lastra di cartongesso tagliando l'isolante longitudinalmente e trasversalmente ogni 40 cm sui $\frac{3}{4}$ dell'altezza dell'isolante. Le guaine elettriche autoestinguenti devono essere posizionate prima della posa delle lastre. Le tubazioni idrauliche possono attraversare un pannello soltanto in modo perpendicolare.

Se la parete di supporto presenta anomalie di planarità o verticalità di oltre 15 mm la posa a colla non è indicata. In tal caso si dovrà optare per una posa in opera su listelli, oppure orientarsi verso un altro sistema di isolamento termico.

Indipendentemente dal tipo di posa adottato, il supporto deve essere sano ed omogeneo e non presentare tracce di umidità.

Prima di incominciare tracciare a terra la disposizione del rivestimento servendosi di una corda per tracciare. Riportare il tracciato sul soffitto e sulla parete utilizzando un filo a piombo. Per effettuare la tracciatura, non dimenticare di tenere conto dello spessore del pannello e di quello della colla, ossia circa 1 cm, o di quello dell'intelaiatura in caso di posa su listelli. Negli edifici nuovi, il filo interno degli infissi funge generalmente da piano di riferimento. Nelle ristrutturazioni, a seconda della posizione dell'infisso può essere necessario installare profili interni, fissati su controtelai fissi, che consentiranno di raggiungere lo spessore finito del rivestimento. La tracciatura permette di verificare il corretto posizionamento e l'allineamento dei pannelli durante la posa.

Per la posa a colla la parete dovrà essere sana, non scivolosa, non polverosa, né umida, presentare una buona aderenza e non risuonare, se l'intonaco è poco aderente scostarlo e ripararlo. La malta adesiva può essere applicata sui pannelli. In tal caso, rimuovere il rivestimento esistente. È anche possibile applicare i punti di malta direttamente sulla parete. Procedere innanzitutto a sverniciare la zona in cui verrà applicato ogni singolo punto, se la vernice è di tipo idrorepellente è preferibile optare

per un fissaggio meccanico. Per i pannelli con polistirene espanso la posa per incollaggio è indicata fino ad uno spessore massimo dell'isolante di 120 mm. Oltre all'attrezzatura indicata, è necessario procurarsi la malta adesiva. Si consiglia di scegliere il prodotto raccomandato dal produttore dei pannelli. È inoltre necessario disporre di isolante in lana o poliuretano espanso in spray a seconda dell'isolante e delle condizioni di installazione per sigillare le fessure. per realizzare i giunti tra le lastre di cartongesso, procurarsi una quantità sufficiente di intonaco e di nastro adesivo specifico, che sarà di tipo normale per gli angoli concavi e rinforzato per gli angoli convessi.

Tagliare i pannelli in base all'altezza dal pavimento al soffitto meno 1 cm. Iniziare la posa partendo da un angolo del locale, non prima di averne verificato la corretta perpendicolarità. In caso di bordo fuori squadra tagliare eventualmente la lastra posizionando il bordo sottile rimanere all'opposto dell'angolo.

Sistemare la lastra tagliata, con l'isolante verso l'alto, su appositi cavalletti o spessori, in modo tale da non danneggiarla né sporcare il rivestimento. Applicare singoli punti regolari di malta, impastata secondo le istruzioni del produttore, direttamente sull'isolante o sulla parete.

Ad esempio per determinati pannelli viene indicato nelle schede di posa del produttore di contare circa 10 punti da 200 g ciascuno, ossia 10 cm di diametro, per metro quadrato. Questo schema corrisponde a 4 punti nel senso della larghezza del pannello con una fila ogni 40 cm. Sui lati i punti non devono essere disposti a meno di 10 cm dal bordo della lastra. Per migliorare la tenuta all'aria nella parte superiore del rivestimento, è opportuno applicarvi una striscia di malta adesiva con larghezza 5 a 10 cm.

Questa striscia deve essere discontinua per evitare l'effetto ventosa.

Per i pannelli a base di lana minerale, l'applicazione dei punti di malta avviene in due fasi. La prima consiste nell'applicare una striscia di malta adesiva in corrispondenza dei punti servendosi di una spatola da intonaco, esercitando una pressione sufficiente per farla penetrare nelle fibre. Dopo l'essiccazione, applicare i punti di malta sulle strisce appena create.

Alcuni pannelli, in particolar modo a base di lana di roccia, possiedono sul retro uno strato di isolante a maggiore densità, che rende inutile la creazione di strisce di malta

adesiva.

Sistemare i pannelli muniti dei punti di malta contro la parete, via via avanzando ed assicurandosi di appoggiarli adeguatamente contro la parete e in battuta contro il soffitto. A tale scopo, la soluzione più semplice consiste nel posizionare appositi spessori di 1 cm alla base del pannello prima di ribaltarli contro la parete. È anche possibile utilizzare delle leve specifiche per alzare i pannelli. Per regolare il posizionamento dei pannelli, batterli o servirsi di un rigone da 2 m per esercitare una certa pressione sull'intera superficie della lastra di cartongesso.

Verificare accuratamente la verticalità, l'allineamento e che non vi siano sporgenze tra le lastre.

Tra l'ultimo pannello e la muratura lasciare un gioco di 10 mm.

Se una lastra è leggermente deformata (con una bombatura compresa tra 5 e 10 mm), è necessario assicurarne il serraggio fino alla completa essiccazione della colla. A tale scopo, sistemare un tassello in sbieco in appoggio sul pavimento e contro il pannello, assicurandosi di interporre una tavola in legno per non danneggiare la lastra di cartongesso. La planarità generale deve essere corretta e sotto il rigone da 2 m non deve presentare scarti superiori ai 5 mm tra i punti più sporgenti e quelli più rientranti. Per quanto riguarda la verticalità, sull'altezza del piano può essere ammessa una tolleranza di massima verticale di 5 mm.

Una volta terminata la parete e realizzati i giunti, applicando un rigone da 2 m con spessori di 1 mm perpendicolarmente al giunto intonacato, il rigone non deve "oscillare" né evidenziare scarti superiori a 2 mm rispetto al punto più basso. I pannelli devono inoltre combaciare perfettamente e non devono presentare scarti né spazi vuoti intermedi.

Si raccomanda di curare anche l'aspetto della tenuta all'aria tra i pannelli e in corrispondenza delle giunzioni con il controtelaio degli infissi o i cassonetti per avvolgibili. Gli infissi devono essere installati perfettamente nel rispetto delle indicazioni relative alla tenuta all'aria e all'acqua dei controtelai. La lama d'aria creata dai punti di malta adesiva tra la parete e l'isolante non deve essere a contatto con l'aria interna. Infatti, in inverno, l'aria fredda può causare la formazione di condensa. Si

raccomanda soprattutto di non creare flussi di aerazione alti e bassi attraverso i rivestimenti.

I pannelli e il loro isolante devono pertanto essere a contatto con l'infisso qualora quest'ultimo sia installato sul filo interno della muratura oppure con i profili se è installato sulla spalletta. Per realizzare l'impermeabilità tra la lastra di cartongesso e l'infisso, servirsi di un mastice elastico estruso o iniettare schiuma di poliuretano espanso.

Se l'altezza delle pareti supera quella dei pannelli, in genere 3,60 m per i pannelli a base di isolante sintetico alveolare o 3 m per le lane minerali, è necessario creare un supporto intermedio. A tale scopo, si dovrà fissare un profilo orizzontale al raccordo diritto tra i due pannelli. Il fissaggio dei pannelli sul listello deve essere realizzato meccanicamente, per rinforzare la stabilità del rivestimento.

Nel caso di un controsoffitto isolante, tra il volume abitabile e il sottotetto o un locale non riscaldato, verificare come prima cosa che venga assicurata la tenuta all'aria del solaio. A tale scopo, realizzare un giunto formato da un nastro adesivo e da intonaco. Nel caso di un isolamento acustico è anche possibile applicare un cordone di mastice acrilico elastico. Per rinforzare la tenuta del pannello a livello del soffitto, applicare un nastro adesivo annegato nell'intonaco. In questo modo la tenuta della lama d'aria, situata dietro il pannello sarà perfetta.

Si raccomanda inoltre di attenersi ad alcune disposizioni relative alle giunzioni con i tramezzi leggeri, in particolar modo se i pannelli devono garantire determinati requisiti di isolamento acustico. Infatti, i rivestimenti continui possono trasmettere i rumori al locale attiguo. Di conseguenza, per ottenere buone prestazioni acustiche, è necessario realizzare i tramezzi leggeri prima di posare i rivestimenti, che andranno interrotti in corrispondenza dei tramezzi.

Fissare le guaine elettriche autoestinguenti alla parete e seguire un percorso verticale. È possibile tagliare l'isolante del pannello per consentire il passaggio di un tubo, assicurandosi però di non creare un intaglio di profondità superiore ad un terzo dello spessore dell'isolante. A tale scopo è possibile utilizzare il termocutter, un apparecchio riscaldante per gli isolanti sintetici come polistirene o poliuretano. Per gli isolanti fibrosi ci si potrà servire di una sega o di un cutter, mentre per i fori destinati ai cassettoni elettrici è preferibile una fresa a tazza montata su un trapano.

Una volta preparata la lastra, la si dovrà portare in corrispondenza della posizione desiderata. Fare passare la guaina attraverso il foro per il cassetto elettrico, quindi tirarlo spostando la lastra verso la parete, in modo tale che il tubo si inserisca nella scanalatura. Dopodiché, incollare la lastra contro la parete appoggiandola su appositi spessori sistemati a terra. Per non generare ponti termici, rivestire con isolante il fondo del foro della scatola. Questo accorgimento si rivela particolarmente importante se è stato attraversato il pannello. In caso contrario, realizzare un foro che superi di 10 mm la profondità della scatola.

Purtroppo, in questo punto persisterà un ponte di vapore con i relativi rischi di formazione di condensa interna che esso comporta. Per questo motivo, utilizzare preferibilmente i cassette da incasso a tenuta stagna limitarne il numero sulle pareti esterne o impiegare pannelli scanalati.

Dopo la posa in opera dei pannelli non si potranno realizzare scanalature nelle lastre di cartongesso e i collegamenti potranno essere effettuati dopo i lavori di finitura dei rivestimenti.

Per facilitare il passaggio degli impianti elettrici o idraulici, è anche possibile utilizzare pannelli scanalati in fabbrica, che presentano scanalature parallele distanziate di 240 mm. ossia 5 scanalature con profondità di 40 mm per pannello, sull'intera altezza. Le scanalature sono situate tra la lastra di cartongesso e l'isolante.

Lo spessore minimo di isolante (polistirene espanso con grafite) per questi pannelli è di 80 mm. Il vantaggio di poter fare attraversare gli impianti in questo modo nei pannelli consiste nel migliorare la tenuta all'aria e al vapore acqueo. Questi pannelli vengono spesso utilizzati nella costruzione di abitazioni singole con sistemi con elevato numero di cavi elettrici e distribuzioni idrocablate per i fluidi, poiché consentono di ridurre il tempo di posa in opera. Va tuttavia sottolineato che, in tal caso, cambia l'ordine di intervento in cantiere, in quanto si provvede innanzitutto ad installare i rivestimenti, poi si realizza il controsoffitto isolante e infine si costruiscono i tramezzi.

I pannelli assicurano pertanto un isolamento termico continuo fino al controsoffitto. La posa in opera viene eseguita esclusivamente per incollaggio. I pannelli vengono commercializzati con lastre di cartongesso normali o idrorepellenti.

La posa è diversa da quella dei pannelli tradizionali. Le lastre vanno infatti tagliate ad un'altezza pari all'altezza tra il pavimento e le travi o capriate meno 2 cm. Se il soffitto

è realizzato in latero-cemento o in calcestruzzo, ritagliare soltanto 1 cm. Se il pavimento è finito, fare appoggiare la lastra su di esso interponendo prima una striscia di schiuma PE espansa, quindi realizzare un giunto elastico tra la lastra e il pavimento. Se il pavimento è grezzo e i locali sono umidi posare i pannelli su una striscia di schiuma e rispettare le ulteriori disposizioni di protezione necessarie, come per i pannelli tradizionali. Sulle pareti, la posa in opera dei pannelli scanalati viene effettuata come per le altre tipologie.

Assicurare sempre la tenuta all'aria dei bordi superiori applicando un cordone continuo di malta adesiva. Successivamente è possibile installare la struttura metallica del controsoffitto e fare passare le canalizzazioni impiantistiche negli appositi spazi. I fori praticati in precedenza con la fresa a tazza consentono di farle uscire in corrispondenza dei punti voluti. Per l'installazione dei cassetteini elettrici non sono previsti particolari accorgimenti. Sigillare i fori con schiuma di poliuretano espanso o con malta adesiva.

Dopodiché, si potranno realizzare i giunti tra le lastre.

Per assicurare la tenuta delle canaline, è inoltre necessario otturare le aperture presenti nella parte superiore delle lastre incollando con malta adesiva strisce di lastre di cartongesso. Procedere successivamente, alla posa dell'isolante sulla struttura del soffitto e quindi delle lastre di cartongesso per rivestire la superficie.

Qualora si posino in opera pannelli di tipo tradizionale, è possibile rimuovere gli spessori posizionati sotto ai pannelli, dopo l'essiccazione della malta adesiva. In seguito la fessura alla base del pannello deve essere riempita per assicurare la tenuta all'aria.

In caso di pavimento finito o di pavimentazione sottile, riempire lo spazio tra il pavimento e il bordo inferiore del rivestimento con lana minerale o schiuma di poliuretano espanso, preferendo la lana minerale se i pannelli sono formati da questo stesso isolante e il poliuretano espanso in caso di isolanti sintetici alveolari. Se l'isolante è fibroso, è opportuno rinforzare la tenuta realizzando anche un giunto di mastice acrilico elastico.

Se il pavimento è grezzo, sono possibili svariate soluzioni di posa in opera. Se si utilizzano pannelli a base di isolanti sintetici alveolari, è possibile tagliare la lastra di cartongesso dei pannelli a un'altezza corrispondente a quella del pavimento finito

maggiorata di 2 cm.

Realizzare la tenuta nella parte inferiore delle lastre iniettando poliuretano espanso. Realizzare in seguito i massetti.

Se il pannello possiede un isolante fibroso, sigillare la parte inferiore della lastra con lo stesso isolante, quindi realizzare un giunto di mastice elastico tra la lastra di cartongesso e il pavimento. Sistemare poi un foglio di polietilene nella parte inferiore dei pannelli, tacendolo risalire fino a 2 cm al di sopra dell'altezza del futuro pavimento finito e realizzando un risvolto sotto al futuro massetto. La pellicola potrà essere aggirata sulle lastre di cartongesso, in quanto verrà nascosta dai battiscopa. Dopodiché, procedere alla realizzazione dei massetti.

Nei locali umidi, come il bagno, il garage o la cantina non riscaldata, utilizzare pannelli con lastre di cartongesso idrofughe. Se il pavimento è già finito, sigillare e quindi realizzare sistematicamente un giunto elastico di tenuta tra la lastra di cartongesso e il pavimento. Se invece il pavimento è grezzo, utilizzare sempre un pannello con lastre di cartongesso idrorepellenti ed attenersi alle stesse disposizioni di cui sopra.

Nel caso di un locale che cambia destinazione d'uso, ad esempio per diventare un locale con presenza di umidità, possono essere ricoperti i pannelli stessi tradizionali e il pavimento con due strati di prodotto di tenuta ai liquidi. Incollare un nastro di tenuta in corrispondenza della giunzione tra il pannello e il pavimento.

Per quanto riguarda il trattamento degli angoli, siano essi con pannelli posti, sui lati dell'angolo concavo o convesso, non vi sono vincoli particolari, salvo il rispetto della continuità dell'isolante e della lastre di cartongesso.

I pannelli posti sui lati di un angolo convesso devono sovrapporsi. I bordi delle lastre non devono fermarsi nel punto di intersezione. È possibile tagliare il pannello dello spessore di quello che dovrà essere a contatto, con un minimo ponte termico localizzato dato dal cartongesso, oppure tagliare il solo cartongesso, lasciando inalterato l'isolante. Spesso è necessario tagliare l'ultimo pannello di una serie prima in prossimità dell'angolo della parete. In tal caso, non dimenticare di mantenere uno spazio minimo di 10 mm tra la parete e il bordo del pannello.

Nei pannelli posti sui lati di un angolo concavo, occorre tagliare il solo isolante, lasciando intatto il cartongesso, di uno spessore corrispondente allo spessore totale di un pannello, in modo tale che i due pannelli si incastrino perfettamente facendo

aderire perfettamente i rivestimenti. Utilizzare malta adesiva per incollare i due pannelli a livello dell'angolo. Per proteggere l'angolo dagli urti, applicare un nastro adesivo rinforzato o un angolare in metallo o in plastica annegato nell'intonaco.

Se il soffitto è costituito da un controsoffitto non isolato, non dimenticare di posare i pannelli fino alla superficie superiore dell'intercapedine. Realizzare il soffitto dopo la posa dei pannelli.

Eeguire quindi le finiture: I giunti tra le lastre, la pavimentazione e i battiscopa.

Quando non è possibile procedere all'incollaggio a causa di una parete in cattivo stato, di irregolarità superiori ai 15 mm, è opportuno posare in opera i pannelli su un'intelaiatura in legno. Questo metodo di posa è applicabile anche alle costruzioni con struttura in legno.

L'intelaiatura consente di correggere i dislivelli e le irregolarità delle murature con l'utilizzo, all'occorrenza, di appositi spessori. La struttura deve essere regolata sia orizzontalmente che verticalmente sulla parete di supporto. Questa operazione viene svolta pertanto in due fasi: posa in opera dell'intelaiatura e successivamente fissaggio meccanico dei pannelli. I listelli possono essere fissati in verticale oppure in orizzontale.

Gli elementi in legno che costituiscono l'intelaiatura devono possedere un tasso di umidità inferiore al 18% ed essere protetti da un trattamento fungicida e insetticida. Le essenze raccomandate sono il douglas, l'abete, il pino marittimo, l'abete rosso e il pino silvestre. Gli elementi dell'intelaiatura devono assicurare una larghezza d'appoggio sufficiente per i pannelli, ossia 35 mm nella parte principale e 50 mm in corrispondenza del giunto tra due pannelli, se i listelli sono verticali e se il fissaggio viene eseguito per avvitatura. Se invece il fissaggio si effettua per chiodatura, la larghezza viene portata a 60 mm. Si utilizzano quindi generalmente listelli da 27 x 35 mm nella parte principale e da 27 x 50 o 60 mm in corrispondenza dei raccordi. Per la posa orizzontale o sotto alle falde di copertura e per isolanti con spessore superiore o uguale a 50 mm vanno utilizzati listelli da 27 x 50 mm nella parte principale e da 27 x 60 mm in corrispondenza dei giunti. Solitamente si impiegano listelli da 30 x 60 mm.

Per i pannelli provvisti di lastre di cartongesso con spessore di 12,5 o 15 mm, mantenere un interasse di 0,60 m per i listelli verticali o di 0,40 m per i listelli

orizzontali. Per le lastre con spessore di 9,5 mm le disposizioni sono invece fitte. Se l'isolante è in materiale sintetico alveolare e presenta uno spessore compreso tra 30 e 80 mm, l'interasse massimo dei listelli verticali è di 0,60 m o di 0.40 m se l'intelaiatura è orizzontale. Se l'isolante è in materiale sintetico alveolare e presenta uno spessore inferiore ai 30 mm oppure è in lana minerale con spessore inferiore agli 80 mm, la spaziatura massima in caso di posa verticale è di 0,50 m e di 0.30 m se i listelli sono orizzontali. I listelli orizzontali non devono mai entrare a contatto con il pavimento.

Se le pareti sono in muratura, fissare l'intelaiatura meccanicamente alla parete per mezzo di viti e tasselli ad espansione adatti al tipo di supporto. Le viti di fissaggio devono essere posizionate ad almeno 10 mm dai bordi dei listelli e distanziate di circa 30 cm. L'intelaiatura non deve presentare difetti di planarità superiori a 5 mm sotto un rigone da 2 m.

In caso di posa sotto a falde di copertura, se i puntoni presentano la stessa spaziatura e larghezza richiesta per gli elementi dell'intelaiatura, possono essi stessi fungere da intelaiatura. Analogamente, è possibile effettuare la posa in opera parallelamente o perpendicolarmente ai puntoni. Se gli interassi e le larghezze non corrispondono, sarà necessario creare un'intelaiatura applicata o più semplicemente, optare per un altro metodo di isolamento che sia idoneo alle falde. È anche possibile optare per una struttura metallica studiata per ricevere i pannelli isolanti.

Dopo la realizzazione dell'intelaiatura, eseguire il fissaggio meccanico dei pannelli. Per questa operazione sono disponibili diversi metodi. È infatti possibile procedere alla chiodatura se i pannelli possiedono un isolante in materiale sintetico alveolare con spessore inferiore o uguale a 30 mm.

Scegliere chiodi in acciaio zincato con diametro di 2,7 mm che siano lisci, dentati o ritorti e con testa svasata da 6,5 mm. La lunghezza di questi chiodi deve corrispondere allo spessore del pannello maggiorato di 30 mm.

È poi possibile optare per il fissaggio per avvitatura. In tal caso, si dovranno preferire le viti di tipo a doppia filettatura per cartongesso. Per i pannelli con isolante in materiale sintetico di spessore inferiore a 50 mm, le viti dovranno avere un diametro di 8 mm circa. Se lo spessore dell'isolante è inferiore o uguale a 80 mm o se l'isolante è una lana minerale con spessore inferiore a 80 mm, il diametro delle viti sarà di circa 12 mm. La lunghezza delle viti dovrà corrispondere allo spessore del pannello maggiorato di 30

mm se i listelli sono in legno o di 15 mm se l'intelaiatura è in metallo. Inoltre, in caso di isolante fibroso, si dovranno utilizzare speciali spessori in corrispondenza di un fissaggio su due, per non schiacciare il pannello.

Come per l'incollaggio, la posa in opera si effettua portando i pannelli in battuta contro il soffitto prima di procedere al fissaggio. Analogamente, è necessario assicurare la tenuta all'aria in corrispondenza delle giunzioni con esterni e tra il bordo inferiore delle lastre e il pavimento.

Se non è assolutamente necessaria, la posa in opera su intelaiatura in legno o in metallo è da evitare, in quanto risulta più lunga e impegnativa rispetto alla posa a colla. Inoltre, questo tipo di posa in opera limita lo spessore disponibile per l'isolante. Se le pareti presentano difetti eccessivi per l'incollaggio, esistono altre soluzioni più evolutive, come l'isolamento realizzato dietro ad armatura metallica o a una controparete

12.1.2. Isolamento dietro intelaiatura metallica - ICI

Questa tecnica di posa in opera consiste nel posare un isolante interno su una parete che dà sull'esterno realizzando una controparete leggera. Quest'ultima è formata da un'armatura metallica ricoperta da lastre di cartongesso. Questa soluzione offre la libertà di scegliere il tipo di isolante e il suo spessore in funzione delle prestazioni termiche che si desidera ottenere. Generalmente si utilizzano isolanti fibrosi in pannelli semirigidi, onde evitare i rischi di cedimento del materiale isolante.

Esistono numerosi sistemi di intelaiature metalliche, che variano a seconda del singolo produttore di isolante o di cartongesso. In linea generale, l'intelaiatura è formata da profili verticali, detti comunemente montanti, che vengono disposti ad intervalli regolari tra i profili guida orizzontali fissati a pavimento e al soffitto. I profilati possono avere varie denominazioni (profilo guida, guida o U) o essere costituiti da semplici profili angolari. Gli elementi dell'intelaiatura sono realizzati in acciaio zincato.

Vengono utilizzati generalmente due metodi: le strutture autoportanti dal pavimento al soffitto e le strutture con sostegni intermedi

La scelta dell'una o dell'altra soluzione dovrà essere fatta in base a svariati criteri come l'altezza delle pareti da rivestire, la possibilità o meno di eseguire un fissaggio sulla parete, la superficie occupata dall'intelaiatura e il prezzo.

Le **strutture autoportanti** sono costituite da profili guida orizzontali e montanti verticali. La larghezza di queste strutture è in genere di 48, 62, 70 o 90 mm. Si tratta dello stesso tipo di strutture che viene utilizzato per realizzare i tramezzi di separazione. I montanti sono provvisti di fori che consentono il passaggio delle guaine elettriche autoestinguenti. Per l'inserimento dell'isolante sono previste varie soluzioni. Se l'isolante viene posto tra la parete e la struttura, si otterrà un isolamento continuo. Lo spessore della struttura non comprende però anche l'isolante, il che comporta una perdita di spazio non trascurabile.

L'altra possibilità consiste nel sistemare la struttura contro la parete e quindi installare i pannelli isolanti tra i montanti. Questa soluzione offre il vantaggio di limitare la perdita di spazio, ma genera dei ponti localizzati a livello dei profili-

Infine, la terza soluzione, che è consigliabile, consiste nel posare l'isolante in due strati. Il primo strato viene sistemato tra la parete e la struttura, mentre il secondo tra i montanti della struttura. Così facendo, è possibile ottimizzare lo spessore dei rivestimenti riempiendo di isolante tutto lo spazio disponibile. Inoltre, si ottiene una riduzione dei punti termici localizzati.

Per quanto riguarda l'altezza, il massimo ottenibile dipende da diversi criteri, quali le dimensioni dei montanti, il tipo di montanti (singoli o doppi), la spaziatura tra i montanti e il numero di lastre di cartongesso sovrapposte. Infatti, raddoppiando le lastre di cartongesso si ottiene una maggiore rigidità della controparete, che consente, quindi, di raggiungere una maggiore altezza. L'altezza può essere eventualmente aumentata anche servendosi di staffe di ancoraggio.

Si prendano ad esempio le indicazioni fornite dalla norma tecnica francese (DTU 25-41 *Outrages en plaques de parement en pierre - Plaques à faces cartonées*) sui montanti più comunemente utilizzati da 48 mm. In caso di profili singoli con lastra di cartongesso a interasse di 60 cm, la controparete può raggiungere un'altezza a soffitto di circa 2,60 m. Con due spessori di lastre di cartongesso l'altezza massima passa a 3,00 m. Con un interasse di 0,40 m e una lastra di rivestimento si possono raggiungere i 2,80 m, mentre con due strati di lastre l'altezza massima può raggiungere i 3,30 m.

I profili da 48 mm possono essere raddoppiati avvitandoli dorso a dorso. In tal caso con un interasse di 0,60 m e una lastra di cartongesso di rivestimento, l'altezza massima può essere di 3 m. Per raggiungere i 4 m, è necessario raddoppiare le lastre di

cartongesso e adottare una spaziatura di 0,40 m. sarebbe addirittura possibile raggiungere un'altezza di 7,50 m aggiungendo delle staffe di ancoraggio. Questa soluzione equivale comunque all'applicazione della meno onerosa tecnica con sostegni intermedi. In un'ottica di risparmio è possibile unire profili singoli. A tale scopo, si dovranno utilizzare ritagli di montanti di almeno 30 cm che si andranno a fissare sui montanti per bullonatura. Questa operazione va eseguita sulle due estremità del profilo con 8 bulloni, prestando attenzione a sfalsare le giunzioni di una fila rispetto a quelle dell'altra.

Nelle abitazioni singole si utilizza principalmente la tecnica delle strutture con sostegni intermedi. In tal caso, i tramezzi leggeri vengono realizzati con strutture autoportanti.

I sistemi con sostegni intermedi contengono profili a forma di U con una sezione compresa tra 45 e 47 mm circa di larghezza per uno spessore di 17 o 18 mm. La parte più larga funge da supporto per l'avvitatura per le lastre di cartongesso. Lo schema dell'intelaiatura è simile a quello delle strutture autoportanti. Vengono installati a pavimento e a soffitto due profili orizzontali e profili intermedi con interasse pari a 0,60 o 0,40 m. A seconda dei sistemi proposti dai fabbricanti, i profili orizzontali possono essere semplici angolari o profili ad U. Il fissaggio tra i montanti e i profili di supporto può differire da un sistema all'altro. Nel caso degli angolari si utilizzano clip metalliche o viti autofilettanti con testa a trombetta. Nel caso dei profili ad U. può essere utilizzato un profilo speciale che consente il bloccaggio dei profili tramite la semplice pressione. In ogni caso, in un'ottica di compatibilità tra i vari elementi e per assicurare la solidità della struttura, si consiglia di utilizzare soltanto prodotti dello stesso produttore e dello stesso sistema costruttivo.

I sostegni intermedi consentono di rinforzare la struttura. A seconda dei sistemi e del numero di strati di lastre di cartongesso, l'altezza delle linee di fissaggio intermedio rispetto al pavimento è compresa tra 1,25 e 1,60 m. Il raddoppio degli strati di lastre consente di ottenere altezze maggiori. Nelle abitazioni singole è comunque sufficiente in genere un solo strato di cartongesso. I sistemi di sostegno sono principalmente due.

Il primo sistema si avvale di distanziatori in polistirene ad alta densità. Questo sistema è indicato per altezze a soffitto fino a 2,60 m. I distanziatori consentono di inserire un isolante con spessore compreso tra 45 e 130 mm. È infatti sufficiente tagliarli alla

profondità desiderata e quindi farli scorrere nei profili grazie alle scanalature laterali. Successivamente, si provvederà ad installare i montanti tra i profili guida superiori e inferiori, assicurandosi di rispettare un gioco di 10-15 mm tra i distanziatori e le pareti. I distanziatori devono essere allineati secondo una linea orizzontale posta a 1,25 m da terra e fissati alla parete con collante specifico. Si raccomanda di verificare, ed eventualmente correggere, la verticalità e l'allineamento della intelaiatura. Lasciare essiccare completamente il collante specifico prima di posizionare l'isolante.

Questo sistema è particolarmente indicato per vecchie pareti molto irregolari. L'altezza è però limitata e il posizionamento dell'isolante risulta più delicato, in quanto va eseguito su un'armatura già montata.

I montanti presentano un interasse di 0,60 m nella maggior parte dei casi e di 0,40 m nei locali umidi, dove le pareti sono destinate a ricevere un rivestimento in piastrelle.

Esiste un'altra soluzione che consiste nel posizionare i distanziatori su un profilo di supporto orizzontale che funge da guida, su cui sono agganciati appositi distanziatori. Questi ultimi sono composti da un gancio con controdado da una barra filettata e, sull'altra estremità, da un gancio di bloccaggio, che permette di fissare i montanti.

Il posizionamento dei distanziatori risulta agevole, in quanto questi elementi possono scorrere lungo il profilo guida di supporto orizzontale fissato alla parete, ossia ad un'altezza di 1,25 m, nei locali abitativi. Dopodiché, è sufficiente fissare i pannelli di isolante attraverso le aste filettate e quindi avvitare i ganci regolabili, su cui si andranno ad incastrare i montanti. Grazie a questi ganci, la regolazione della verticalità e dell'allineamento della struttura risulta molto precisa. Dopo avere regolato la struttura, bloccare i ganci. La barra filettata consente in genere di posizionare uno spessore di isolante fino a 100 mm. La spaziatura dei montanti è sempre di 0,60 m nei casi tradizionali e di 0,40 m nei locali umidi, dove le pareti sono destinate a ricevere un rivestimento in piastrelle.

Negli alloggi la linea dove sono posizionati i distanziatori è situata a 1,25 m da terra. Nei locali non destinati ad uso abitativo e in cui possono verificarsi urti di notevole entità, può essere disposta una prima fila di sostegni a 0,60 m da terra e quindi proseguire con un intervallo di 1,25 m. Questo tipo di struttura consente di raggiungere altezze fino a 5,30 m con un solo strato di lastre di cartongesso come rivestimento. Se si opta per due strati di cartongesso, è possibile adottare un interasse

di soli 1,60 m tra le linee dei distanziatori. Naturalmente è opportuno scegliere profili idonei. Generalmente si utilizzano profili di lunghezza sufficiente, eventualmente ritagliati. Le lunghezze più comuni sono 3 o 5,30 m.

Esiste poi un altro metodo che riprende il principio del profilo guida di supporto orizzontale da posizionarsi ad un'altezza di 1,35 m da terra. In tal caso, si tratta di posizionare i sostegni utilizzando elementi in poliammide e fibra di vetro, che offrono il vantaggio di non generare ponti termici localizzati dovuti ai componenti metallici, contrariamente a quanto accade nella soluzione precedente. A parte questa differenza, la posa in opera rimane simile. Lo spessore di isolante che può essere utilizzato è compreso tra 95 e 145 mm. L'isolante andrà fissato attraverso le aste dei distanziatori e bloccato con l'apposita chiavetta di fissaggio. La testa del distanziatore consente di regolare rapidamente la struttura. Il gancio a chiavetta posto in una posizione può scorrere liberamente e permette di effettuare regolazioni fino a che non viene ruotato di un quarto di giro. Non è necessario avvitare o svitare. Si raccomanda comunque di non comprimere l'isolante. I profili vengono mantenuti in posizione grazie a una scanalatura posta nella testa della chiavetta di fissaggio. La regolazione della struttura risulta quindi semplice e precisa. Questo sistema è indicato per le altezze a soffitto fino a 2,80 m, ma richiede speciali profili su cui si possano adattare apposite prolunghie regolabili in altezza. I profili sono disponibili nella lunghezza da 2,40 m. Aggiungendo una prolunga da 30 cm, è possibile raggiungere un'altezza a soffitto di 2,60 m, mentre si arriva fino a 2,80 m con una prolunga da 0,50 m.

Nelle ristrutturazioni viene adottata un'altra versione di questo sistema estremamente pratica. I sostegni isolanti possiedono un'asta polivalente, che consente da un lato il fissaggio su un profilo e dall'altro il fissaggio meccanico diretto sulla parete, grazie ai due fori di fissaggio predisposti su una placca per il fissaggio con tasselli. Sempre per le ristrutturazioni, esistono anche sistemi dotati di asta piegata, in cui in una delle estremità è presente una filettatura che consente il fissaggio meccanico sulla parete mediante tasselli adatti al tipo di supporto. La filettatura presente sull'altra estremità è provvista di una ghiera destinata anche ad agganciare il profilo ed è regolabile in

profondità. Il sistema è indicato per le pareti irregolari, che non sempre consentono di praticare fori nel punto esatto in cui occorrono.

Il sistema di fissaggio con ganci distanziatori su struttura metallica è molto interessante perché pratico e versatile, è dotato di una base universale ed è a taglio termico poiché in PVC. Come nei casi precedenti, la connessione tra il montante verticale e il distanziatore è a scatto. Il fissaggio del distanziatore alla muratura può essere di tipo meccanico, con viti e tasselli ad espansione, o effettuata con ancoranti chimici. Per ridotti spessori dell'isolante, compresi tra 6 e 15 cm, la barra del distanziatore può essere tagliata. La filettatura del distanziatore ha un passo che permette una regolazione di precisione della struttura.

Si può anche scegliere di realizzare il telaio della controparete interamente in legno. In questo caso, si fissano direttamente al muro dei montanti in legno dello stesso spessore dell'isolante. Il coibente va addossato alla parete nello spazio tra i montanti. È opportuno che la larghezza del pannello coibente sia circa 1 cm superiore alla distanza tra i montanti affinché rimanga leggermente compresso. Le lastre di cartongesso si avvitano direttamente ai montanti in legno. È possibile anche utilizzare tavole di legno messe di taglio, con il lato corto verso la parete, fissate al muro per mezzo di staffe metalliche angolari.

Con l'ausilio di una cordino per tracciamenti, si segna sul pavimento la linea di ingombro massimo della struttura. Si traccia solo l'ingombro del telaio, gli strati di finitura in cartongesso sono esclusi. Tale posizione dipende dallo spessore dell'isolante e dal tipo di posa in opera degli infissi esterni, che nelle ristrutturazioni possono essere a filo del muro interno. Si riporta il tracciato dal pavimento al soffitto per mezzo di un filo a piombo. Dopo avere debitamente verificato il senso di posa, che può variare secondo il tipo di profilo scelto, si posa a pavimento il profilo guida inferiore. Per una tenuta all'aria ottimale, prima del fissaggio, viene inserita una guaina al di sotto del profilo. In locali ad alto tasso di umidità, in caso di posa su pavimento finito, si applica un giunto elastico idrorepellente sotto al profilo, che svolgerà contemporaneamente la funzione di tenuta all'aria. I profili guida si fissano meccanicamente con viti e tasselli ad espansione, o con tasselli a battuta o per chiodatura o con ancorante chimico, a seconda del tipo di supporto. In genere i fissaggi hanno interasse di 0,60 m.

I profili guida superiori vengono posati al soffitto allo stesso modo rispetto ai profili

inferiori, viene posata la guaina per giunti di tenuta all'aria tra soffitto e profilo, i fissaggi hanno interasse di 0,60 m e vengono effettuati con metodi idonei al tipo di supporto. Se si è in presenza di una controsoffittatura, l'operazione di fissaggio va valutata con attenzione; in alcuni casi si può fissare il profilo guida alla struttura portante del controsoffitto mediante viti autofilettanti o con appositi tasselli a espansione. Se il soffitto è in laterocemento il fissaggio è di tipo classico, con viti e tasselli ad espansione nelle parti forate poiché non si possono forare i travetti. Una volta fissati i profili a pavimento e a soffitto, si posa il profilo guida di supporto orizzontale sulla parete, all'altezza indicata dai produttori con elementi di fissaggio idonei al tipo di supporto. Quindi si incastrano i distanziatori all'interno del profilo centrale, senza le teste, a intervalli regolari di 0,60 o 0,40 m.

I primi distanziatori sono posti ad una distanza di circa 0,10 m dalle pareti laterali. Si procede con la posa dei pannelli di isolante che, per una posa perfetta, vengono tagliati ad un'altezza corrispondente alla distanza dal pavimento al soffitto, maggiorata di 1 cm, in modo tale che rimangano leggermente impressi. Devono essere perfettamente affiancati, infilati sulle aste dei distanziatori e poi bloccati inserendo a scatto la testa dei distanziatori.

Una volta posato il coibente, si inseriscono i montanti all'interno dei profili guida a pavimento e a soffitto. I montanti hanno lunghezza pari a quella della distanza pavimento/soffitto meno 1 cm. Vanno inseriti leggermente in obliquo tra i profili e poi fatti ruotare per metterli in verticale, vanno posti in corrispondenza delle teste dei distanziatori del corrente centrale e su queste premuti per un fissaggio a scatto. Si regola la verticalità della struttura con l'ausilio di una bolla e si verifica l'allineamento tra i montanti con un rigone; in ogni direzione si tollera un errore di allineamento fino a 5 mm. Quando la regolazione è finita, si blocca la testa dei montanti ai profili guida a pavimento e a soffitto secondo il sistema previsto dal produttore, che può essere a scatto, per avvitatura o con appositi elementi di connessione. Una volta che il telaio metallico è completo si possono inserire gli eventuali elementi supplementari di rinforzo della struttura, nei punti su cui sono previsti carichi a parete. Si posano poi le guaine autoestinguenti per il passaggio delle linee elettriche, tra isolante e struttura metallica.

Nella maggior parte dei casi è necessaria la posa di un freno al vapore. Gli isolanti

preaccoppiati con freno al vapore integrato, anche se molto diffusi, sono sconsigliati. Presentano l'inconveniente di non garantire un buon raccordo nel giunto perimetrale tra freno al vapore e muratura; sigillare gli altri giunti con lo specifico nastro adesivo è necessario ma non risolve il problema. La migliore soluzione consiste nell'utilizzare un isolante non preaccoppiato con freno al vapore e nel posare un freno al vapore in teli, sopra la struttura in metallo in continuo, ossia con sigillatura dei giunti.

Il telo freno al vapore è un tessuto non tessuto di PE, PP o PO. Può essere utilizzato anche un telo freno al vapore a diffusione igrovariabile. I fogli possono essere posati in verticale o in orizzontale, i lembi vengono sovrapposti per almeno 10 cm come indicati sui teli stessi. Per fissare i teli, si utilizzano gli specifici accessori: sui montanti viene incollato il nastro biadesivo a lunga durata, mentre i nastri adesivi acrilici, con un lato in velo traspirante, servono per sigillare i giunti tra i teli; per fissaggi alle pareti o per raccordi particolari, si utilizza un adesivo in pasta monocomponente ed elastico. Ogni apertura deve essere sigillata; esistono elementi per ogni soluzione.

Dopo la realizzazione della struttura, si procede con la posa delle lastre in cartongesso, tagliate, come i montanti, per un'altezza pari a quella della distanza pavimento/soffitto meno 1 cm. Le lastre di cartongesso vengono posate contro al soffitto, lasciando il giunto di dilatazione verso il pavimento, da riempire con silicone acrilico.

Ogni lastra deve essere affiancata alla seguente. Le viti si distanziano tra loro di massimo 30 cm e non vengono posizionate a meno di 1 cm dai bordi. Si usano viti a testa conica da 25 mm di lunghezza; in caso di posa di un secondo strato di lastre, si usano viti da 45 mm. Verificare che la testa delle viti sia leggermente sottomessa rispetto alla superficie delle lastre in cartongesso, in modo tale da poterla stuccare a raso lastra con una sola mano di stucco. La rasatura dell'intera parete non è necessaria e non viene quindi eseguita. Le lastre in cartongesso vengono depositate in cantiere in luogo asciutto e pulito, appoggiate obbligatoriamente di piatto su tasselli di 10 cm di larghezza, distanziati di 0,50 m e di lunghezza pari alla larghezza delle lastre. Durante la movimentazione, evitare di fregare le lastre l'una contro l'altra e di appoggiarle a terra sugli angoli, causa rottura. Non utilizzare lastre rotte o tagliate, in quanto potrebbero compromettere la stabilità meccanica dell'opera. È possibile comunque riutilizzare gli sfridi di lavorazione non venati e con gli angoli perfetti.

I giunti di finitura tra le lastre vengono realizzati con gesso e appositi nastri di armatura. Si rassa con gesso laddove necessario, quindi si applica la finitura o il rivestimento scelto. In caso di posa in locali ad alto tasso di umidità, la parete viene rivestita con le apposite lastre in cartongesso trattate idrofughe. Anche in questo caso, le lastre vengono posate contro al soffitto lasciando un giunto di dilatazione verso il pavimento, da riempire con silicone acrilico. Se la posa avviene su pavimento grezzo, sotto il profilo a pavimento e sotto al coibente si dispone un film di polietilene che va risvoltato e fatto risalire sia lungo il muro che lungo la lastra in cartongesso, per almeno 2 cm sopra il livello del pavimento finito. Questo film sarà poi nascosto dai battiscopa.

In caso di cambio di destinazione d'uso di un locale quando gli ambienti divengono soggetti ad alto tasso di umidità, le eventuali lastre in cartongesso standard presenti vanno sostituite con lastre di gesso rivestito trattate idrofughe. Oppure, in seconda ipotesi si può applicare un prodotto impermeabilizzante liquido, in abbondanza, anche nelle parti da piastrellare.

Gli angoli andrebbero trattati con nastro angolare impermeabile e ripassati con più mani di impermeabilizzante così come le zone particolarmente esposte, intorno ai piatti doccia, sopra le vasche da bagno o nei bagni turchi.

In corrispondenza degli infissi esterni, è opportuno garantire la continuità del telaio metallico a supporto delle lastre di rivestimento in cartongesso. Sono possibili varie metodologie per l'irrigidimento della struttura metallica nell'intorno dell'infisso. Sul telaio fisso della finestra, lungo il suo perimetro, sono avvitati quattro profili angolari, ad esempio da 30 x 35 mm, che serviranno da battuta per la lastra di cartongesso, ad evitare che la lastra presenti sbalzi. Vengono inseriti dei montanti intermedi, sul parapetto e sul tamponamento al di sopra della finestra, che rispettano il passo dei montanti a tutta altezza e sono resi solidali con i profili angolari del telaio fisso della finestra. Gli spessori posti al parapetto o tamponamento si tagliano per l'altezza corrispondente, meno 1 cm.

Un altro metodo consiste nel posizionare, ai due lati verticali della finestra, in aderenza un montante aggiuntivo a tutta altezza, a prescindere dal passo regolare degli altri montanti. Si tagliano le alette di due profili guida e si ribattono le estremità per formare

angoli retti. I due cavallotti così creati costituiranno la battuta della lastra di cartongesso una volta incastrati nei montanti laterali e avvitati alla traversa superiore inferiore dell'infisso. A muro, come sopra, vengono inseriti dei montanti intermedi allineati con gli altri e in cui si inseriscono i distanziatori intermedi, per rispettare l'intervallo di montaggio dell'insieme della parete.

Un'altra soluzione consiste nell' utilizzare dei raccordi angolari. Possono essere metallici o in materiale plastico. Permettono di posare i profili dei montanti in verticale e in orizzontale. Il sistema è polivalente e permette di risolvere numerosi casi, in particolare, in corrispondenza dei tamponamenti verticali dei sottotetti, permette di creare una struttura senza appoggio sull'infisso, utile quando non è possibile utilizzare viti, per esempio per un infisso in alluminio o in PVC. La posa di montanti intermedi sul parapetto e sul tamponamento risulta molto più agevole.

In ogni caso, fare in modo che il raccordo tra due lastre in cartongesso non cada su un montante di raddoppio, anche a costo di iniziare la posa con una mezza lastra. Realizzare giunti di tenuta all' aria tra le lastre in cartongesso e il telaio dell'infisso con poliuretano espanso o con un sigillante acrilico. Naturalmente l' infisso deve essere stato montato in modo corretto e offrire una perfetta tenuta all' aria e all' acqua già a livello della muratura. I raccordi vanno trattati con particolare attenzione poiché sono gli elementi deboli della struttura, in particolare gli angoli sia rientranti sia uscenti. Vicino agli angoli rientranti si inserisce un montante verticale aggiuntivo su entrambi i lati dell'angolo, a circa 10 cm dal vertice del muro. Sul vertice dell'angolo, tra il profilo guida a soffitto e quello a pavimento, si inserisce un profilo guida in verticale a guisa di montante. Questo per il rinforzo dell'angolo e per creare una battuta per l'avvitatura delle lastre in cartongesso. Anche per gli angoli uscenti, al vertice dell'angolo, si utilizza un profilo guida in posizione verticale, oppure si inserisce un montante vero e proprio in corrispondenza dell'estremità della lastra in cartongesso della parete, modo da non creare sbalzi per la lastra, in presenza di un controsoffitto non isolato all'interno dell'intercapedine, è necessario fare arrivare l'isolante dalla parete verticale al solaio superiore.

Per i carichi pesanti, come per esempio per i lavabi, i produttori propongono appositi elementi di sostegno. I rinforzi vengono montati nella posizione prevista sin dalla realizzazione della struttura. L'integrazione delle reti domestiche non pone problemi

particolari. Le linee elettriche sono fatte passare tra l'isolante e la struttura metallica. Con questo sistema di posa non è necessario forare l'isolante, non vi sono pertanto rischi di creare ponti termici. Si utilizzano gli speciali elementi a tenuta stagna per evitare la creazione di ponti termici, come le scatole da incasso ermetiche. È possibile, inoltre, far passare le guaine dell'impianto elettrico in controsoffittatura per poi farle scendere in controparete fino ai cassettoni a tenuta delle utenze. Si possono far passare gli impianti anche a solaio in un massetto dedicato alle reti; non è possibile farle passare all'interno del massetto flottante ma è possibile passare in verticale all'interno della controparete. Nelle strutture metalliche autoportanti, sono previste delle aperture nei montanti per mettere il passaggio delle reti.

12.1.3 Le finiture delle lastre in cartongesso

Prima di passare alla descrizione delle fasi di finitura, ricordiamo che i rivestimenti in cartongesso devono rispettare alcune regole di planaria e di appiombamento. La tolleranza dell'errore è, al massimo, di 5 mm ogni 2 m e di 5 mm di fuori piombo sull'altezza di un piano. I bordi delle lastre non devono distare tra loro di 1 mm. Si verifichi che le teste delle viti di fissaggio delle lastre in cartongesso siano perfettamente a livello con la superficie della lastra. Se una vite viene inserita troppo in profondità, danneggia il rivestimento, non garantisce più una tenuta corretta ed è necessario asportarla ed effettuare un ulteriore fissaggio nei dintorni. Se la vite non va abbastanza in profondità, resta visibile e sarà dunque necessario avvitarela più a fondo in seguito.

Si procede con la stuccatura dei giunti con gesso e con l'ausilio degli specifici nastri di rinforzo. Successivamente si può rasare dove necessario. Nella realizzazione dei giunti si presti la maggior cura possibile, poiché da questo dipende l'aspetto finale della parete. Il metodo di esecuzione è lo stesso per i vari sistemi di rivestimento in cartongesso, a parete o in controsoffittatura. Il gesso si trova pronto all'uso o in polvere, più puro ed economico, da miscelare con acqua all'interno di un recipiente elastico e deformabile così che sarà facile rimuovere i residui solidi; il gesso asciuga rapidamente. È uso comune riempire mezzo pallone da gioco in gomma con polvere di gesso e ricoprirla con acqua. Si attende qualche istante, senza mescolare, che il composto diventi una pasta e poi la si stende con la spatola. Sono necessarie più

'spatole per stucco di varie larghezze, di cui almeno una deve essere inferiore a quella di due bordi bisellati uniti di testa. È possibile anche utilizzare un frattazzo con lama in acciaio inox per la finitura, se si è in grado di utilizzarlo correttamente, e dei normali nastri coprigiunto in carta. Hanno una larghezza di 50 mm, sono in carta speciale microperforata, hanno una ridotta igroscopicità e una forte resistenza meccanica. Se i nastri sono dotati di un lato marcato, questo sarà rivolto verso le lastre in cartongesso. Prima di essere applicati negli angoli, i nastri vanno piegati al centro. Esistono comunque nastri angolari rinforzati con due bande flessibili in metallo specifici per la protezione degli spigoli, la cui parte con l'armatura metallica va rivolta verso le lastre. Per una finitura perfetta dei giunti il nastro va annegato sempre in più mani d'intonaco. È così che si eviteranno le fessurazioni tra lastre in cartongesso.

In caso di giunti a croce, ovvero all'intersezione tra quattro lastre, i nastri non vengono frapposti per non creare sovra spessori: un nastro viene fatto passare in continuità mentre l'altro viene interrotto in prossimità del giunto. In caso di posa di lastre con bordi vivi, non bisellati, si può realizzare ugualmente la sigillatura del giunto con nastro anche se si creeranno inevitabilmente dei sovra spessori. Sarà necessario applicare più mani, allargando ogni volta l'area stuccata così da rendere meno visibile il giunto. Nel caso di un raccordo tra una lastra a spigoli vivi ed una a bisello, viene prima colmata con malta adesiva la sezione bisellata; ad asciugatura completata si finisce il lavoro procedendo come nel caso di due lastre a spigolo vivo. Si consiglia l'uso di lastre a bordi bisellati per una maggiore resa estetica del lavoro e facilità di lavorazione.

Per un buon lavoro si deve procedere sempre a mani fini e regolari, si rispettano i tempi di asciugatura, si leviga con carta vetro dove necessario, quindi si applica lo strato successivo. La posa non va eseguita in una sola mano, né si deve procedere con la realizzazione di una stuccatura in spessore con l'idea di levigare in seguito. È meglio applicare poco stucco piuttosto che troppo. È sempre possibile correggere e rifare il lavoro. Se viene applicata una quantità eccessiva di stucco, i giunti vengono levigati per ridurre i sovra spessori; questo tipo di correzione è un lavoro lungo che porta quasi inevitabilmente al deterioramento del rivestimento cartonato delle lastre, condizione per cui non si riuscirà più a ottenere una superficie liscia e regolare. Inoltre, se si tenta di realizzare i giunti in una sola operazione, lavorando sullo stucco fresco, vi è il rischio di spostare i nastri coprigiunto, creando un effetto non liscio e molto irregolare.

Per realizzare in modo corretto i giunti, si inizia applicando una mano di stucco tra le due lastre. Si segna con un leggero solco la posizione del giunto tra le lastre con la punta della spatola, in modo da avere una linea di riferimento per posizionare il nastro di carta perfettamente in asse con il giunto. Il nastro coprigiunto si srotola dal basso verso l'alto e si preme lievemente con il dorso della mano, per farlo aderire si comprime con la spatola, questa volta dall'alto verso il basso, per rimuovere lo stucco in eccesso. Si utilizza una spatola inox di larghezza inferiore a quella dell'incavo tra i due bordi bisellati. La lama deve essere tenuta leggermente inclinata verso il basso poiché, ad angolo retto, verrebbe rimossa una quantità eccessiva di stucco, con il rischio di rovinare il nastro coprigiunto; al contrario, se troppo inclinata, si lascerebbe troppo stucco. Questa prima mano si realizza normalmente dunque, lavorando sottomessi rispetto alla superficie delle lastre. Il nastro deve essere semplicemente ricoperto di una sottile pellicola di stucco, durante la fase di essiccazione si lavorano gli altri giunti, è bene attendere diverse ore. o meglio il giorno seguente, prima di procedere con la seconda passata.

Per realizzare la mano di riempimento si utilizza invece una spatola la cui lama sia più larga della zona d'incavo tra le due lastre, in modo tale che la lama si appoggi perfettamente e scorra sulla superficie delle lastre.

Si può usare anche una manara inox. Con una quantità abbondante di stucco sulla lama, si colma tutta la zona dell'incavo con movimento dal basso verso l'alto, prestando attenzione a riempirlo completamente a livello della superficie delle lastre. A completa essiccazione si possono rimuovere eventuali eccessi, con carta vetro, quindi si applica una mano sottile di finitura allargandosi per 2-5 cm oltre la zona precedentemente trattata, infatti con l'asciugatura possono verificarsi facilmente fenomeni di ritiro. Un'eventuale rasatura garantisce comunque la perfetta planarità della parete.

Per realizzare i giunti negli angoli uscenti, si procede analogamente. Si applica lo stucco con una spatola da una parte e dall'altra dell'angolo, poi si piega a metà il nastro di carta seguendo il segno di piegatura e lo si applica, dal basso verso l'alto, all'interno dell'angolo con la spatola, prima contro un lato della parete, poi contro l'altro. Si ripassa con una mano leggera, in senso opposto, per umidificare la carta ed evitare che si sfilacci. Con la manara si applica uno strato di stucco su un primo lato dell'angolo a si

lascia asciugare completamente prima di ripetere l'operazione sull' altro lato dell' angolo. Si procede sempre nello stesso modo, con passaggi di stuccatura poco carichi; se la quantità di materiale applicato non è sufficiente si procede con ulteriori passate ma sempre poco cariche.

Per gli angoli rientranti si procede allo stesso modo, ma utilizzando un nastro di carta rinforzato. Viene applicata una mano di stucco su ogni lato dell'angolo. Il nastro viene piegato, posato sullo stucco fresco e leggermente compresso, prima da un lato, quindi dall' altro. Si lascia asciugare la prima mano. Poi si stucca uno dei lati, si lascia asciugare, quindi si ripete per l'altro lato dell'angolo. A completa essiccazione si rassa con una mano di finitura da una parte e dall'altra dell'angolo, allargandosi sulla lastra. Per rinforzare un angolo rientrante con un profilo paraspigoli plastico o metallico, si applica uno stucco adatto su ogni lato dell'angolo, si preme il profilo sullo stucco fresco, in modo tale da ottenere un angolo perfettamente verticale che viene regolato con l'ausilio di un rigone. Una volta asciugata la prima mano si applica la seconda su ogni lato per coprire il profilo, quindi si lascia asciugare. In tutti i casi, le teste delle viti e i piccoli graffi o difetti vanno stuccati con uno o più passaggi. Solo ad essiccazione completa si possono applicare le finiture, cioè alme dopo 48 ore in condizioni normali di ventilazione e igrometria.

La parete può essere finita con carta da parati dopo che sia stata trattata su tutta la superficie con una mano di isolante di fondo con prodotti specifici come indicato dai produttori. Se le lastre di cartongesso sono vendute già con finitura, questa fase non è necessaria.

Se si intende finire la parete con pittura, qualsiasi sia il grado di finitura scelto, è necessario rasare tutta la superficie con rasante idoneo, in gesso o calce e gesso. Questo per ottenere un supporto perfetto, particolarmente se la pittura è lucida.

La finitura può essere realizzata anche in piastrelle o mosaico. Come detto precedentemente, il gesso è un materiale altamente igroscopico, è opportuno quindi porre in opera solo lastre trattate idrofughe, da proteggere ulteriormente con uno strato di impermeabilizzazione, anche al di sotto della piastrellatura, adatto al tipo di colla per piastrelle. I battiscopa possono essere posati con colla o per chiodatura, con i chiodi disposti in obliquo.

12.1.4 Le contropareti in muratura - IcC

L'isolamento con controparete in muratura consiste nella posa di un isolante a diretto contatto con la parete d'involucro e nella realizzazione di una controparete in laterizio di spessore almeno pari a 5 cm.

Si impiegano vari tipi di isolanti, tra cui i pannelli in fibra di legno, in lana di vetro o di roccia, in polietilene, in poliestere. Può essere necessaria, con l'impiego di materiali fibrosi, la posa di un telo freno al vapore, da stabilirsi con verifica termoigrometrica (es. metodo di Glaser). È da considerare la permeabilità al vapore acqueo dei materiali petrolchimici poiché, nella maggior parte dei casi, costituiscono essi stessi barriera al vapore. Indipendentemente dal tipo di materiale scelto, si deve garantire la continuità di posa in opera dei pannelli isolanti e la perfetta sigillatura dei giunti.

L'isolante deve essere scelto e fissato in modo che non subisca fenomeni di scorrimento verso il basso, causati dal suo stesso peso; si deve garantire la stabilità chimica e fisica nel tempo perché, una volta montata la controparete, non sarà più accessibile per ispezione, con il rischio di avere prestazioni termiche non adeguate. A seconda del tipo di prodotto sono possibili vari sistemi di fissaggio e posa in opera.

Per posa in opera di pannelli aventi un'altezza pari a quella del locale si preferisce un fissaggio meccanico; se invece i pannelli hanno dimensioni ridotte, ad esempio 1350 x 600 mm, è possibile sia il fissaggio meccanico che la posa con apposito collante. Gli elementi e i metodi di fissaggio meccanico dei pannelli sono vari, a seconda del supporto e del tipo di pannello e del produttore; i metodi di posa a secco vengono descritti nelle schede tecniche del prodotto scelto. Un metodo molto diffuso utilizza tasselli ad espansione con viti in plastica, o in acciaio zincato termicamente protetto con plastica (tassello a percussione) a seconda dei supporti, e con piatto di tenuta; la testa larga a disco è in materiale plastico quindi isolante. La lunghezza della vite dipende da quella del coibente e del tipo di supporto e profondità di fissaggio. I tasselli a percussione non possono essere usati su mattone forato.

L'utilizzo di pannelli di altezza pari a quella del piano a fissaggio meccanico rende più semplice e più rapido il montaggio, con tasselli ad espansione e viti adatte, o con chiodi per calcestruzzo, si fissano al muro le staffe di fissaggio in metallo. In caso di muro in blocchi di cemento e posa con staffe, queste vanno allineate rispettando un passo

regolare, di circa 1,20 m in orizzontale e 0,60 - 0,80 m in verticale. La prima fila di staffe non deve distanziare più di 0,6 m da un angolo, da un infisso o da terra. Le staffe vengono inserite sui giunti in malta dei blocchi. In genere, si prevedono, come minimo, un punto di fissaggio nel baricentro del pannello, uno in alto ed uno in basso. Se il muro ha un'altezza di 2,70 m, si effettuano due fissaggi in alto e due in basso su ogni foglio di isolante. Le staffe vengono piegate ad angolo retto, i pannelli di isolante vengono spinti contro le stalle e quindi forati localmente. I pannelli devono essere ben affiancati, senza spazi vuoti a terra e al soffitto. Le estremità delle staffe vengono ripiegate verso l'alto a bloccare l'isolante che, comunque, non va compresso anche se deve essere attaccato perfettamente al muro. Per assicurare la continuità del freno al vapore dei pannelli. I giunti tra lo strato di freno al vapore preaccoppiato e la muratura si realizzano con delle bande di film PE o PP che vengono incollati con nastro adesivo sul lato in carta kraft e con apposito adesivo in pasta sulla muratura; l'inconveniente di prolungare lo strato di freno al vapore sulla muratura non si ha nel caso di posa di freno al vapore in teli.

In genere, la disposizione dei tasselli è analoga a quella dei punti di colla come del resto il metodo di posa. I metodi di applicazione della colla sono descritti nelle schede tecniche del prodotto scelto. Solitamente viene applicata in modo omogeneo sul retro del pannello o per punti. La posa dei pannelli rigidi, ad esempio quelli in polietilene estruso, inizia dal basso con una prima fila. La seconda fila inizierà con mezzo modulo al fine di creare una disposizione a giunti sfalsati.

I pannelli devono avere i bordi perfettamente contigui. I pannelli della fila superiore vengono tagliati per adattarli all'altezza del locale.

Una volta fissato lo strato coibente e l'eventuale telo freno al vapore, è possibile passare le linee degli impianti. Le guaine elettriche sono applicate sopra l'isolante e tenute ferme con nastro adesivo. È difficile integrarli nelle contropareti, a causa del loro spessore ridotto, sempre che non si utilizzino degli elementi da 7 cm di spessore minimo.

Una volta ultimate le canalizzazioni, si realizza la controparete facendo attenzione a non comprimere l'isolante; si può mantenere uno spazio di 10 mm. La controparete può essere in tavelloni.

Per attenuare le vibrazioni e la trasmissione di rumore, posarla su una banda resiliente. Posare gli elementi a giunti sfalsati. Verificare la planarità. Una volta completata, si intonaca a calce, poi si rassa con rasante in grassello di calce o a base di gesso e calce, e infine si pittura.