



Comune
di Padova



I CICLI AFFRESCATI
DEL XIV SECOLO DI PADOVA



NICOLETTA PAIARO
Comune di Padova
28.09.2026 09:34:44
GMT+02:00

STRATEGIE PER LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO PERCETTIVO E DEI VALORI SENSIBILI DEL CENTRO STORICO DI PADOVA

QUADERNI TECNICI: **QUADERNO 4**



GIUGNO 2026

Ordine degli Architetti
Pianificatori, Paisaggisti e
Conservatori Provincia di Venezia
MARISA FANTIN
Architetto

Marisa Fantin
Ordine Architetti P.P.C. -
Provincia di Venezia
Architetto
23.09.2026 15:32:23
GMT+02:00

QUADERNO TECNICO N° 4

I MATERIALI PER L'ISOLAMENTO TERMICO CON SCHEDE TECNICHE

INDICE

INTRODUZIONE	2
Capitolo 1 - Materiali, sistemi e metodi per l'isolamento termico degli edifici storici	2
1.1 Isolanti di ultima generazione: SIM.....	4
1.2 I Sistemi a cappotto termico	4
1.3 Isolanti di derivazione naturale e relative schede tecniche.....	6
1.3.1 Pannelli in fibra di legno	6
1.3.2 Pannelli in fibre di canapa.....	9
1.3.3 Pannelli in lana di roccia	11
1.3.4 Isolanti termoacustici in sughero.....	13
1.3.5 Pannello termoisolante e fonoassorbente in lana di pecora	14
1.3.6 Pannello in legno mineralizzato.....	15
1.3.7 Pannelli isolanti per interni in silicato di calcio.....	16
1.4 Isolanti di ultima generazione: "sim - super insulating materials"	17
1.4.1 Materiali nanoporosi e Aerogel	18
1.4.2 Intonaci con aerogel	20
1.4.3 Resine fenoliche.....	22
1.4.4 Pannelli isolanti sottovuoto - VIP	22
1.4.5 Vantaggi e svantaggi dei SIM	26
1.4.6 Materiali riflettenti.....	28
1.4.7 Pitture, rasanti e isolamento termico: vero o falso	29
1.4.8 Le pitture ad effetto termico o termoriflettenti	30
1.4.9 Isolanti a cambiamento di fase in edilizia.....	32

INTRODUZIONE

Questo quaderno approfondisce i materiali e i sistemi tecnici da utilizzare per un corretto efficientamento energetico dell'involucro edilizio di edifici storici. A questo proposito, si consiglia, prima di approfondire questo quaderno, di leggere con attenzione i primi tre quaderni prodotti.

Per meglio supportare chi si avvicina a questo tematismo sono state prodotte delle schede tecniche su materiali e sistemi costruttivi con caratteristiche più coerenti e/o funzionali rispetto al loro utilizzo su edifici storici e/o storicizzati. I materiali e i sistemi qui illustrati non esauriscono naturalmente tutte le soluzioni possibili, ma intendono fornire un'esemplificazione di prodotti talvolta meno conosciuti e utilizzati.

Capitolo 1 - Materiali, sistemi e metodi per l'isolamento termico degli edifici storici

Prima di entrare nel merito dei diversi possibili materiali per l'isolamento termico è opportuno tener presente come l'aggiunta di un nuovo strato sull'involucro opaco può determinare implicazioni negative sul comportamento igrometrico delle pareti, con possibile formazione di condensa interstiziale.

Negli edifici tradizionali è facile trovare murature caratterizzate dalla presenza di materiali ad elevata porosità, generalmente privi di barriera al vapore o di impermeabilizzazioni; ciò determina un maggiore livello di umidità delle pareti. Questo significa che, quando apponiamo un pannello isolante con minore conducibilità termica e, ancor peggio di fatto impermeabilizzante, impediamo l'evaporazione all'esterno con conseguente facile evaporazione dell'umidità all'interno dell'edificio.

Per questi motivi, la scelta dell'isolante termico deve conformarsi alla permeabilità e traspirabilità del sistema murario esistente, o essere controbilanciata da misure alternative per la dissipazione dell'umidità in eccesso.

Se pensiamo a materiali isolanti presenti da tempo sul mercato, appaiono particolarmente adatti alla riqualificazione degli edifici storici i materiali fibrosi naturali, sia organici (come le fibre vegetali, la lana di pecora, la fibra di cellulosa) che inorganici (come la perlite e la vermiculite espansa, molto utilizzata per gli intonaci termoisolanti).

Questi isolanti derivano da materiali che posseggono una struttura a celle aperte, con un numero elevato di fibre di forma allungata, che costituiscono un reticolo capace di trattenere l'aria calda e limitare le collisioni tra molecole gassose, riducendo la trasmissione di calore per convezione e irraggiamento.

Inoltre, tale struttura li rende traspiranti e igroscopici, cioè capaci di assorbire, trasmettere ed emettere, anche in forma liquida, il vapore e l'umidità dell'aria; questa caratteristica avvicina il loro comportamento termo-igrometrico a quello della muratura tradizionale, umida e traspirante, assecondando la naturale permeabilità dell'involucro.

Come riportato in letteratura, il peggior nemico dei componenti edilizi è da individuare nell'umidità interstiziale; il vapore acqueo, infiltrandosi all'interno delle strutture altera il comportamento dei materiali peggiorandone la conducibilità termica e le caratteristiche strutturali.

Gli indici che descrivono il comportamento dei materiali al vapore possono essere evidenziati in:

- Permeabilità al vapore d'acqua δp : definita come quantità di vapore che attraversa per unità di tempo, un'unità di superficie, per un provino di spessore unitario con una differenza di pressione di vapore unitaria.
- Resistenza al vapore d'acqua μ : indice adimensionale calcolato come rapporto tra la permeabilità al vapore dell'aria e la permeabilità al vapore del materiale. Descrive quindi quante volte è maggiore la resistenza alla diffusione del vapore di un materiale rispetto ad un volume di aria di uguale spessore.

Le schede tecniche dei materiali isolanti riportano per lo più il dato di resistenza al vapore, è possibile notare come i materiali a base polimerica presentino i valori di μ più elevati: gli XPS hanno valori di resistenza al vapore intorno a 150, valore che si abbassa leggermente per gli EPS. Le lane minerali invece, così come la maggior parte degli isolanti ad origine vegetale, presentano valori di μ decisamente inferiori, da 1 a 20. Sono quindi materiali che permettono la migrazione del vapore e che in base alle esigenze progettuali possono essere scelti se più o meno traspiranti.

Sono commercializzati in pannelli o rotoli, per alcuni tipi anche sfusi e, ad oggi, sono ampiamente utilizzati grazie alla loro capacità di non assorbire l'umidità, di essere particolarmente resistenti alle muffe e incombustibili. I valori di conducibilità termica possono variare anche parecchio per questo tipo di isolanti, con 0,031 W/(m·K), per lane di vetro molto performanti e 0,090 W/(m·K) di una perlite espansa in granuli.

Gli isolanti sottovuoto e riflettenti essendo costituiti da involucri impermeabili avranno resistenza al vapore tendente all'infinito, per questo motivo va curata in maniera estremamente attenta la stratigrafia della loro corretta posa in opera e da utilizzare solo se per ragioni tecniche e/o normative, laddove non è ipotizzabile l'uso di materiali che necessitano di forti spessori.

A seguire, per alcune tipologie di materiali isolanti, vengono proposte delle schede tecniche di sintesi, ovviamente a carattere indicativo, evidenziando tipologie di materiali più performanti e/o innovativi e, quelli a base di materie prime naturali, ovviamente non pretendendo di poterli evidenziare nel merito tutti.

1.1 Isolanti di ultima generazione: SIM

Chiamati anche SIM (Super Insulating Materials) proprio per la loro caratteristica di essere altamente isolanti; appartengono a questa categoria materiali con caratteristiche molto diverse tra loro, generati da differenti processi produttivi come gli isolanti termo-riflettenti o gli isolanti sottovuoto, ecc., i cui spessori estremamente ridotti permettono di ottimizzare l'integrazione con l'esistente; nondimeno, la loro azione di barriera al vapore richiede un'attenta valutazione dell'igrometria della parete.

In relazione all'isolamento degli edifici storici per dire come tendenzialmente vanno evitati gli isolanti di origine organica sintetica: come Polistirene espanso (EPS), Polistirene estruso (XPS), Poliuretano (PUR/PIR), ecc, solitamente non coerenti con le caratteristiche dei materiali costituenti questi edifici.

1.2 I Sistemi a cappotto termico

A livello tecnologico, il progettista o il responsabile dei lavori ha la possibilità di scegliere tra due diverse tipologie di sistemi di isolamento a cappotto:

Tradizionale non certificato - significa utilizzare nella loro posa in opera materiali diversi (isolanti, rasanti, malte adesive), le cui proprietà non sono state verificate e certificate come compatibili fra loro, scelti a discrezione del progettista o del responsabile dei lavori. I cosiddetti “cappotti assemblati”, non facenti parti di un KIT, ovvero costituiti da componenti di produttori differenti, e pertanto non testati e sprovvisti di certificazione ETA, non possono garantire la qualità, l'efficacia e la durata del Sistema di isolamento a Cappotto e, di conseguenza, dell'intervento di risparmio energetico.

Tecnologia identificabile come “Sistema Cappotto”, a livello internazionale definito come “Sistema ETICS - External Thermal Insulation Composite System”.

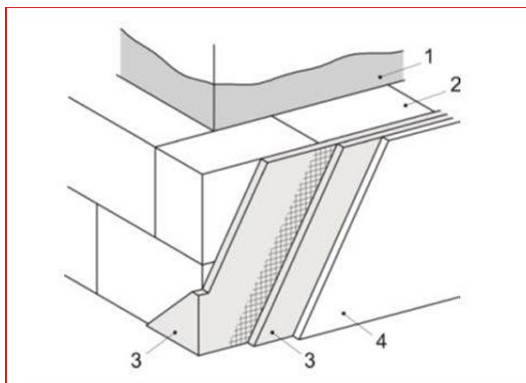
Con l'acronimo inglese ETICS si intende un sistema composito di elevata qualità, certificato a livello europeo per l'isolamento termico esterno dell'edificio.

Il Regolamento UE sui Prodotti da Costruzione li definisce come dei veri e propri kit particolarmente diffusi in edilizia che, per una maggiore durabilità e ottimizzazione dei tempi di esecuzione, richiedono manodopera specializzata e attenta alle condizioni climatiche, al momento della posa in opera, che possono influire negativamente sulle prestazioni attese.

È quindi fondamentale scegliere sistemi a cappotto forniti e certificati come kit, dotati di certificato ETA secondo ETAG 004 o EAD 040083-00-0404 e marcatura CE di Sistema.

La tecnologia del sistema permette di raggiungere alti livelli di prestazioni termiche dell'involucro verticale (ed eventualmente anche orizzontale) tanto da conseguire gli ambiziosi obiettivi NZEB (Nearly Zero Energy Building).

Un sistema ETICS tipo è composto dai seguenti strati funzionali:



1. strato di fissaggio che può essere eseguito con colla/strato di collante e un eventuale fissaggio meccanico aggiuntivo con tasselli (da valutare in funzione dello spessore dello strato di isolamento termico). Il fissaggio è fondamentale per opporre carichi verticali (peso proprio) e orizzontali (spinta/depressione del vento);
2. strato di isolamento termico costituito da materiali che, oltre ad isolare termicamente l'involucro edilizio, contribuiscono a limitarne il surriscaldamento estivo;
3. strato di intonaco di base con rete di rinforzo per l'assorbimento di tensioni superficiali e sollecitazioni meccaniche come tensioni igro-termiche, urti, ecc.;
4. lo strato di finitura ha come funzione primaria quella di proteggere l'involucro dagli agenti atmosferici (pioggia, raggi UV) ma anche una funzione estetica; infatti, è possibile scegliere la colorazione e la tipologia di struttura e di superficie.

Qualora si utilizzi un sistema di isolamento a cappotto negli edifici storici, è da preferire un sistema ETICS.

A seguire una tabella che evidenzia le caratteristiche termiche dei principali materiali tradizionali oggi correntemente utilizzati:

Materiali			Conducibilità termica [W/mK]	
Tradizionali	Inorganici	Artificiali	Vetro cellulare	0,040 – 0,080
			Lana di vetro	0,031 - 0,045
			Lana di roccia	0,033 - 0,040
		Naturali	Argilla espansa	0,090
			Perlite espansa	0,04 – 0,06
			Polistirene espanso - EPS	0,030 - 0,040
	Sintetici	Polistirene estruso - XPS	0,030 - 0,032	
		Poliuretano – PUR/PIR	0,020 - 0,030	
		Organici	Naturali (e rinnovabili)	Lana di pecora
	Ovatta			0,040
	Cellulosa			0,040 - 0,050
	Sughero			0,040 - 0,050
	Fibra di cocco			0,050
	Fibra di legno			0,040 – 0,060

1.3 Isolanti di derivazione naturale e relative schede tecniche

Ogni specifico materiale ha una precisa modalità di corretta posa in opera a cui il progettista e il direttore dei lavori dovranno attenersi.

A seguire delle indicazioni di massima sui principali materiali per l'isolamento e la realizzazione di cappotti termici negli edifici, verranno descritte prestazioni e caratteristiche tecniche di tipo generale, sarà cura dei progettisti individuare quale dei prodotti in commercio risponde meglio all'intervento a farsi.

1.3.1 Pannelli in fibra di legno

La fibra di legno è un materiale di origine vegetale, ecologico e biocompatibile, ottenuto dal riciclo degli scarti di lavorazione del legno. Dopo il recupero, gli scarti vengono ridotti in fibre tramite processi meccanici per poi essere compattate con acqua e pressate in pannelli di varie dimensioni e spessori.

Ottimo isolante termo-acustico: la fibra di legno offre buone prestazioni sia dal punto di vista termico sia del punto di vista acustico. Questa peculiarità la rende perfetta per attutire i rumori e favorire il comfort domestico in ogni stagione

La fibra di legno ha la capacità di accumulare calore, caratteristica particolarmente apprezzata nei mesi caldi. Grazie a questa peculiarità è possibile migliorare lo sfasamento termico tra interno ed esterno, riducendo l'attraversamento del calore. In questo modo la fibra di legno agisce come uno "schermo" dal caldo contribuendo al miglioramento del comfort termoigrometrico interno.

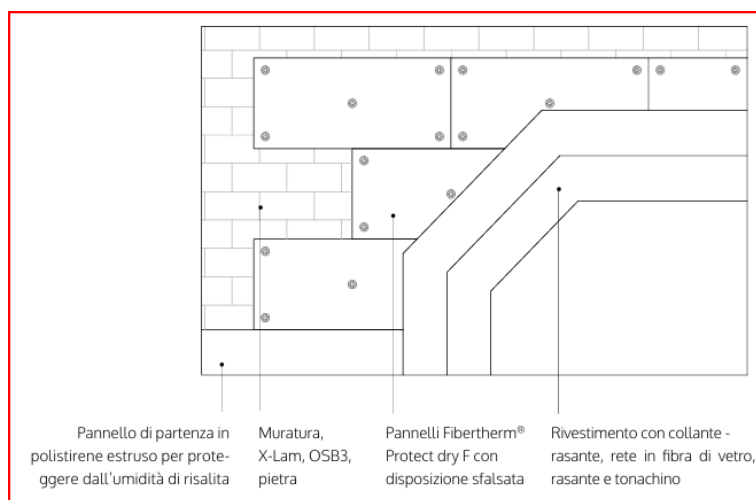
Può essere usato per realizzare cappotti esterni o interni o per l'isolamento delle coperture.

È un materiale traspirante e funziona da igroregolatore naturale, perché permette l'attraversamento del vapore acqueo, riducendo il rischio di formazione di muffa; va curata attentamente la stratigrafia utilizzando pannelli a bassa o ad alta densità e, in ogni caso, membrane traspiranti utilizzando in ogni caso membrane traspiranti per regolare il passaggio del vapore.

Ha un alto calore specifico, più alto rispetto alla lana di roccia, in presenza di temperature esterne molto basse o alte, la fibra di legno si raffredda o si surriscalda più lentamente.

Completamente biodegradabile: la fibra di legno è 100% biocompatibile.

Molti dei prodotti commerciali sono conformi ai CAM



La **fibra di legno** presenta ottime proprietà isolanti termo-acustiche dovute alla sua struttura e all'eccellente capacità di accumulo del calore, caratteristica che la rende adatto anche all'isolamento nei mesi estivi, in quanto permette un elevato ritardo nel passaggio del calore dall'esterno verso l'interno. Le fibre di legno, inoltre, permettono la traspirazione del vapore acqueo, contribuendo alla diminuzione della formazione di muffe. Il sistema a **cappotto certificato in fibra di legno** posato con collante e rasante a base di calce idraulica naturale NHL 3,5 rappresenta una soluzione rispettosa dell'ambiente che garantisce prestazioni termiche invernali ed estive ottime, garantendo inoltre un buon isolamento acustico grazie alla sua porosità e alla sua densità. Per migliorare la resistenza all'umidità e al fuoco, le fibre vengono trattate con sostanze idrofobizzanti, come la cera o i sali di boro. In alcuni casi, la resina naturale del legno funge da collante per le fibre, senza l'uso di altri additivi chimici. Per gli isolanti in fibra di legno è presente una specifica norma armonizzata per l'ottenimento della marcatura CE, la UNI EN 13171. Se prodotti in assenza di additivi chimici (es. sali di boro) sono biodegradabili. Questi pannelli sono adatti per diversi usi nell'edilizia, come l'isolamento di intercapedini, cappotti, rivestimenti interni, coperture e solai, sia in strutture in legno che in muratura. Essi sono facili da lavorare e da installare per via della loro leggerezza e maneggevolezza. In caso di incendio i pannelli non sprigionano nell'aria gas tossici. Per ciò che concerne lo smaltimento, i pannelli che con il tempo non presentano segni di usura possono essere riutilizzati, mentre le fibre di legno andranno bene per il compostaggio oppure per alleggerire il terreno. Non essendo un prodotto idrofugo va prestata particolare attenzione all'attacco a terra, così come va verificato e correttamente gestito il comportamento al passaggio del vapore. Le prestazioni termiche possono essere migliorate prevedendo l'accoppiamento di due lastre a diversa densità.

1.3.2 Pannelli in fibre di canapa

Con fibre di canapa industriale è possibile realizzare pannelli isolanti solidi ed ecologici. Il pannello presenta un'elevata densità e la capacità di adattarsi a diverse forme strutturali. Viene principalmente impiegato quale sistema di isolamento termico e acustico di pareti esterne ed interne, intonaci termoisolanti, finiture a base calce. Tra i vantaggi presenta un'elevata traspirabilità ed eccellenti proprietà isolanti sia termiche che acustiche.

Altro uso per le fibre di canapa è relativo alla realizzazione di intonaci termoisolanti ottenuti premiscelando fibre di canapa con calce aerea naturale, si ottiene così un intonaco altamente traspirante, con un elevato grado di isolamento termoacustico e capacità deumidificante. Gli intonaci termo-isolanti, a base di legno di canapa, calce naturale e additivi naturali opportunamente dosati e miscelati con acqua pulita, danno origine ad una malta di facile applicazione sia manuale che meccanica.

È un materiale che determina un alto sfasamento termico, superiore rispetto ai più utilizzati materiali isolanti sintetici.

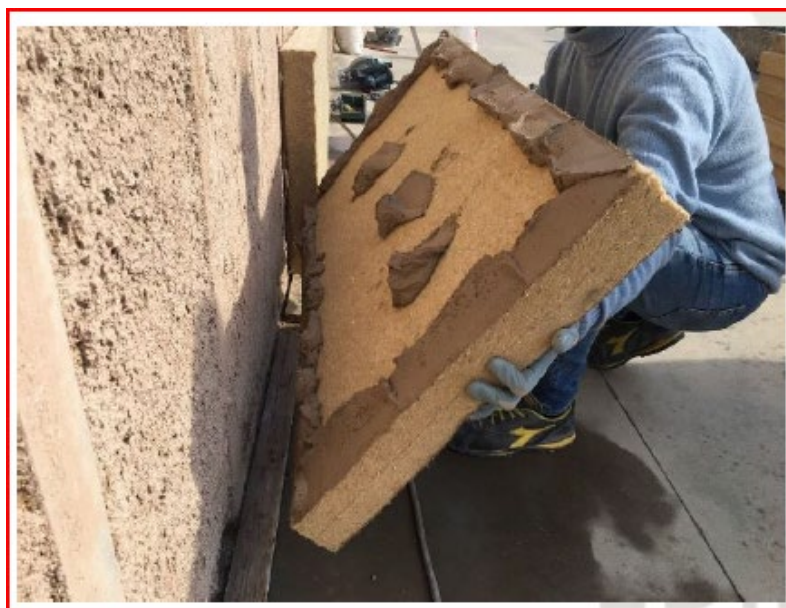
Risale al 1450 d.C. la prima memoria scritta dell'intonaco di calce e canapa e ci viene tramandata da Leon Battista Alberti, nel suo "De re aedificatoria". Il testo è un trattato in dieci libri sui metodi costruttivi nel quale, tra i tanti, l'Alberti spiega come fare un buon intonaco in canapa e calce:

"Dovendo eseguire l'applicazione dell'intonaco in periodo torrido o in luogo molto caldo, bisognerà battere e tagliare minutissimi pezzi dei cordami stravecchi [funi in canapa], da mescolarsi poi al materiale che si vuole applicare. Dei pari l'intonacatura riuscirà assai ben rifinita se, levigandola, verrà irrorata con moderazione mediante sapone bianco sciolto in acqua tiepida; una imbibizione spinta oltre certi limiti produce però una tinta slavata".

Caratteristiche

- Isola dal freddo e dal caldo garantendo buoni valori di sfasamento termico;
- riduce la formazione di muffe e condense grazie all'elevata traspirabilità;
- ideale anche per il restauro di edifici storici;
- assorbe e rilascia umidità in eccesso;
- migliora il comfort acustico grazie al suo potere fonoassorbente;
- applicabile su vecchi intonaci;
- ottima resistenza a compressione.

Molti dei prodotti commerciali sono conformi ai CAM



Pannello termoisolante e fonoassorbente in fibra di canapa

compressa miscelato con fibra bicomponente (15%) densità 100 Kg/m^3 . Il pannello ha una conducibilità termica media $\lambda=0,039 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ (EN ISO 10456), permeabilità al vapore ($\mu \leq 2$) (EN ISO 12086).

Assorbimento acustico pari a $\alpha W=1$; CLASSE A (EN ISO 354:2003; EN ISO 11654:1997).

Reazione al fuoco: C - s2,d0 (EN 13501-D2018).

Può essere utilizzato per

- Isolamento sistema a cappotto
- Isolamento del tetto o del solaio;
- Isolamento sul lato esterno di pareti in muratura e ad intelaiatura di legno in combinazione con facciate ventilate;
- Isolamento interno del solaio o della lastra di fondazione;
- Isolamento di strutture con telai, tavole di legno o telai metallici;
- Assorbimento acustico.

Tutti i materiali di cui è composto sono riciclabili e biodegradabili a fine ciclo vita.

Termo-intonaco: le fibre di canapa in combinazione con calci aeree naturali è un intonaco naturale, altamente traspirante che garantisce un elevato isolamento termo-acustico, per applicazione manuale o meccanizzata su pareti interne ed esterne. Le componenti, miscelate al momento dell'uso, danno origine ad una malta di facile applicazione. È ecologico in quanto contiene solo materie prime di origine naturale e le fibre di canapa, aggiunte a malte di calce naturale presentano una buona resistenza all'attacco di roditori e insetti, garantendo buone prestazioni termiche in particolar modo nelle ristrutturazioni e nei risanamenti; può essere applicato con spessori fino a 15 cm sia in interni sia in esterni su qualsiasi supporto (laterizio, legno, cemento, paglia), generando un elevato comfort naturale. In combinazione con finiture a base di calce e canapa è una soluzione ideale per l'isolamento termoacustico delle murature.

1.3.3 Pannelli in lana di roccia

La lana di roccia, prodotta mescolando roccia di origine vulcanica con materiali inerti, è caratterizzata da una struttura a celle aperte che garantisce ottime proprietà di isolamento termico e acustico e, come le altre lane minerali, presenta una struttura fibrosa.

Tra i vari materiali isolanti è uno di quelli che riesce meglio a resistere a temperature molto elevate e, per questo, è utilizzata anche per applicazioni industriali quando è richiesta una elevata classe di resistenza al fuoco.

Proprietà batteriologiche e tossicità

La lana di roccia è chimicamente neutra. Non contiene alcun prodotto aggressivo o corrosivo; non fornisce supporto alla crescita di microrganismi, quali funghi, muffe e batteri. La natura prettamente inorganica dei prodotti in lana di roccia offre buone caratteristiche di sicurezza in caso di incendio, ai fini dell'emissione di fumi e gas tossici.

La lana di roccia rispetta i parametri della nota Q della direttiva europea 97/69/CE e soddisfa i criteri di bio-solubilità da essa stabiliti; pertanto, non risulta classificata come sostanza cancerogena.

Anche l'Agenzia Internazionale della Ricerca sul Cancro (IARC), il 16 ottobre 2001, ha stabilito che le lane minerali, di cui fa parte la lana di roccia, non possono essere considerate cancerogene per l'uomo.

Attenzioni

- 1) deve essere posta in opera evitando il contatto con la pelle in quanto può risultare irritante;
- 2) deve essere usata con una barriera a vapore per evitare che la condensa ne limiti le caratteristiche termoisolanti.

Può essere usato per realizzare cappotti esterni o interni o per l'isolamento delle coperture. Molti dei prodotti commerciali sono conformi ai CAM



Lana di roccia

La lana di roccia è un materiale naturale con proprietà di isolamento termico e acustico, incombustibilità e bio-solubilità. È ottenuta dalla fusione e successiva filatura, di rocce basaltiche opportunamente selezionate che, una volta fuse, vengono filate in fibre fini poi addensate in forme diverse: cubi, blocchi, lastre e/o prodotti granulari. Il modo in cui le fibre di roccia fusa sono impilate e la densità all'interno del prodotto finito ne determinano le proprietà che sono quelle di trattenere l'umidità e di favorire l'aerazione.

Proprietà termiche: i pannelli in lana di roccia sono ideali per la realizzazione di involucri edilizi ad alta efficienza, anche su murature tradizionali. Può essere utilizzato sia per isolamento interno che esterno.

Proprietà acustiche: la struttura a celle aperte della lana di roccia contribuisce significativamente al miglioramento delle prestazioni fonoisolanti della parete su cui il pannello viene installato.

Permeabilità al vapore: il pannello, grazie ad un valore di μ pari a circa 1, consente di realizzare pacchetti di chiusura "traspiranti".

Stabilità dimensionale: il pannello non subisce variazioni dimensionali o prestazionali al variare delle condizioni termiche e igrometriche dell'ambiente (caratteristica estremamente importante per la durabilità del sistema a cappotto).

Comportamento al fuoco: il pannello, incombustibile, in caso di incendio non genera né fumi né gocce; aiuta inoltre a prevenire la propagazione del fuoco e contribuisce ad incrementare la resistenza al fuoco dell'elemento costruttivo su cui è applicato.

Durabilità e riciclabilità: l'isolamento in lana di roccia può durare oltre 50 anni. Quando raggiunge la sua durata limite, non contenendo ritardanti di fiamma chimici, può essere riciclato più volte senza alcuna perdita di proprietà meccaniche o di prestazioni.

1.3.4 Isolanti termoacustici in sughero



Isolanti in sughero naturale

Il sughero, materiale tradizionale, è oggi disponibile in soluzioni evolute (pannelli, granuli, compositi). I pannelli in sughero rappresentano una soluzione eccellente per l'isolamento termico e acustico, oltre che per la loro traspirabilità e assenza di formaldeide. L'elevata quantità di aria contenuta nelle celle, unitamente a pareti cellulari caratterizzate da una scarsa quantità di materia, minimizza lo scambio di energia, sia per conduzione che per convezione. Vengono prodotti in diverse forme e tipologie consentendo molteplici possibilità di applicazione, come cappotti rasati o a vista, e possono essere utilizzati sia per interni che per esterni, in sughero biondo o espanso, a grana grossa, media o extrafine, sia a pannelli che a rotoli. Quello biondo preserva in maniera ottimale le sue caratteristiche, quello bruno ha migliori proprietà termoisolanti ed è più leggero, però è meno fonoisolante. Entrambi presentano prestazioni costanti ed inalterate nel tempo, durabilità, impermeabilità all'acqua, traspirabilità al vapore. Contrariamente a molti materiali isolanti chimico-sintetici il sughero non emana alcun gas tossico in caso d'incendio, non si scioglie e non cola. I pannelli possono essere realizzati attraverso processi che evitano l'uso della colla, o addensati con collanti naturali. Il sughero ha mediamente un λ di circa $0,043 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ e se confrontato con materiali sintetici questi hanno un λ di circa $0,030 \text{ W/mK}$, risulterà quindi leggermente meno efficace. Ma al contrario di questi mantiene costanti nel tempo le sue prestazioni e risulta tra i materiali più traspiranti e longevi in commercio, con un fattore di peggioramento pari a zero. Possiede un buon grado di sfasamento termico grazie alla sua densità elevata, alla struttura alveolare con migliaia di cellule d'aria che bloccano il passaggio del calore. I pannelli in sughero super-compresso offrono un alto isolamento acustico e termico, ideali per ristrutturazioni e insonorizzazione.

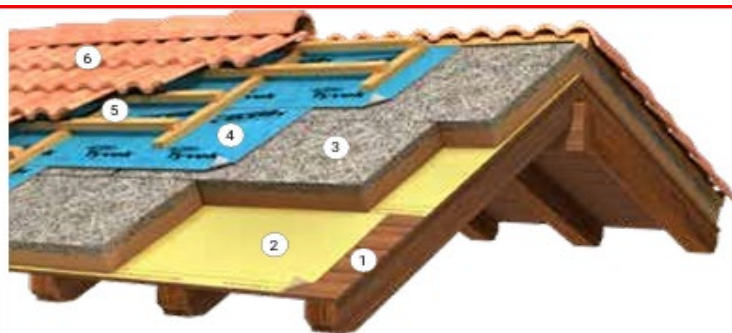
1.3.5 Pannello termoisolante e fonoassorbente in lana di pecora



Pannelli in lana di pecora

La lana per isolamento termico e acustico proviene dalla tosatura delle pecore, è quindi un materiale del tutto naturale e atossico, rinnovabile ad ogni ciclo di tosatura. I materassini sono realizzati in assenza di fibre sintetiche, resine, collanti e con ciclo di produzione a basso consumo energetico: lavorazione per la loro produzione in parte a freddo e in parte a caldo, con temperatura di circa 60 °C. I pannelli per isolamento così ottenuti sono sovrapponibili a più strati, per raggiungere lo spessore richiesto, ciò li rende ideali nella coibentazione di tetti e coperture. Per la produzione dei pannelli vengono utilizzate soltanto fibre di lana destinate a smaltimento derivanti da materiale non utile alla produzione dell'industria tessile. Prima del loro utilizzo viene eseguito un trattamento antitarme per garantire la durata del prodotto. Inseriti in strutture traspiranti depurano l'aria dalle emissioni di formaldeide. Come isolante per le intercapedini i materassini con densità di 30 kg/m³ consentono il completo riempimento dell'intercapedine, garantendo una buona stabilità nel tempo. Ha una conduttività termica media per densità 30 Kg/m³ pari a $\Lambda = 0,0318 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Grazie alla loro forte igroscopicità mantengono asciutta l'aria trattenuta al loro interno, questo rende la conducibilità termica stabile. Non presentano alcuna tossicità, hanno coefficiente di resistenza al passaggio del vapore acqueo: max 33% del peso del materassino. Impermeabili all'acqua hanno la capacità di assorbire e cedere umidità: 3 kg di lana di spessore 10 cm alla densità $D = 30 \text{ kg/m}^3$ assorbono circa 1kg di vapore/mq, quantità sufficiente a risolvere la maggior parte dei problemi di umidità. Nel comportamento al fuoco è autoestinguente, non gocciola, non fonde, brucia con difficoltà e non trasmette la fiamma: CLASSE 1 con temperatura di incendio: 600° C.

1.3.6 Pannello in legno mineralizzato

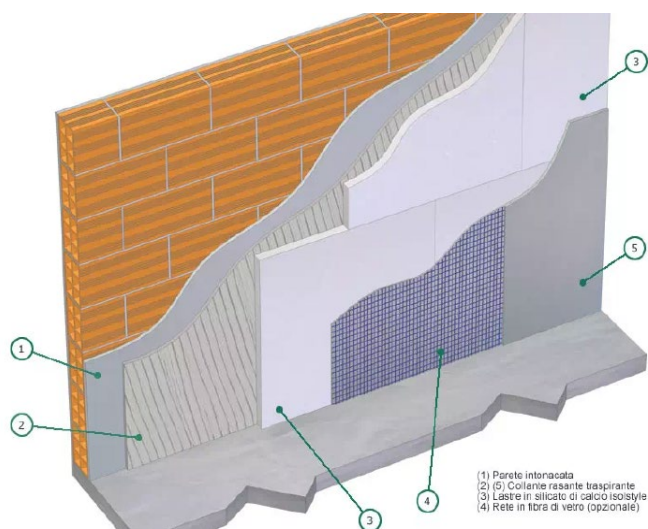


U da 0,18 a 0,35 W/m²K
 Y_{ie} da 0,04 a 0,18 W/m²K
 Φ da 13h 32' a 7h 53'

Pannelli in legno mineralizzato

Si tratta di prodotti ottenuti mediante un impasto di lana o fibre di legno con magnesite o cemento portland e additivi mineralizzanti e ignifuganti. In alcuni casi le fibre vergini, ricavate generalmente da abeti, vengono trattate chimicamente e rese inerti e poi miscelate con l'agente mineralizzante (cemento Portland, magnesite, ecc.). La conduttività termica varia solitamente da 0,06 a 0,08 W/(m·K). I pannelli sono resistenti al fuoco e non sviluppano né fumi né gas tossici in caso di incendio. Manifestano una buona resistenza al gelo. Hanno caratteristiche meccaniche molto interessanti, il pannello intatto si deforma solo sotto carichi di notevole entità e, in alcuni casi ha una buona resistenza a flessione. Le fibre di legno, macinate e sfibrate mediante opportuni trattamenti meccanici, vengono impregnate con magnesite (ossido di magnesio) estratta da cave, o cemento Portland per realizzarne la mineralizzazione che apporta alle fibre una notevole coesione e compattezza strutturale. I pannelli hanno una elevata capacità termica; sono traspiranti ed igroscopici, hanno un ottimo comportamento fonoisolante, non contengono sostanze nocive per la salute, non sviluppano gas tossici in caso di incendio. I pannelli di fibra di legno mineralizzata vengono utilizzati per l'isolamento termo-acustico e la protezione al fuoco di pareti perimetrali e divisorie, controsoffitti, coperture, sottopavimenti e solai. In particolare, trovano applicazione nella correzione di ponti termici, in cassature a perdere, in rivestimenti antirumore ed antincendio. Non si ha nessun inquinamento né in fase di produzione, né nell'impiego, né nell'eventuale riciclaggio e smaltimento dei residui che possono essere reimpiegati o riciclati.

1.3.7 Pannelli isolanti per interni in silicato di calcio



Pannelli in silicato di calcio

Il silicato di calcio è un materiale naturale di origine minerale incombustibile, certificato in Euroclasse A1 (ex Classe 0), viene prodotto in autoclave utilizzando sabbia non quarzosa, calce e cellulosa, biologicamente inerte. Non contiene fibre pericolose per l'uomo e, per la sua elevata traspirabilità e capacità di ritenere il vapore, è un igro-regolatore naturale. Per queste sue caratteristiche non altera la traspirabilità degli edifici garantendo una coibentazione adeguata ed una elevata protezione passiva all'incendio, resistendo a temperature superiori a 1000° C. Regola l'umidità ambientale assorbendo quella in eccesso, per poi cederla quando in difetto e, grazie alla sua elevata alcalinità (pH di 10,5) impedisce la crescita di muffe e di batteri ed è inattaccabile da insetti e roditori. È ideale per l'isolamento interno degli edifici, laddove una lastra di spessore di 3 cm permette di eliminare i ponti termici, innalzando la temperatura della parete e garantendo nel tempo un notevole risparmio energetico. Non presenta alcuna variazione dimensionale anche se immersa in acqua. Per queste sue caratteristiche è ideale per la realizzazione di isolamenti interni, lì dove le lastre in silicato di calcio si applicano sia a parete che a soffitto in aderenza su tutti i tipi di muratura, senza la necessità di strutture di supporto, utilizzando collanti e rasanti traspiranti. Prima di iniziare le operazioni di posa è necessario bagnare abbondantemente le lastre in silicato di calcio. Sulla parete precedentemente preparata e resa idonea all'adesione, si posiziona la prima lastra dopo aver applicato su di essa una quantità adeguata di collante così da consentirne il corretto posizionamento in bolla. Si procede poi alla posa delle lastre successive applicando con un frattazzo dentato il collante direttamente alla parete ed accostando con cura le lastre tra loro senza lasciare spazi sfalsando i giunti tra i corsi. Al completamento della posa, con le lastre ancora bagnate si procede alla rasatura. A parete asciutta è possibile realizzare una finitura tradizionale a base di calce, con grassello di calce e pitture traspiranti. L'utilizzo di pitture riflettenti accentua le sue proprietà termiche. Lastre in silicato di calce idrato possono essere utilizzate anche per applicazioni esterne, previa verifica delle .

1.4 Isolanti di ultima generazione: “sim - super insulating materials”

La necessità di realizzare edifici sempre più efficienti dal punto di vista energetico richiede livelli di isolamento sempre più elevati. Sulla spinta delle direttive UE e delle disposizioni legislative vigenti in materia di risparmio energetico nel settore edile, si è sviluppata una ricerca continua di materiali isolanti sempre più performanti.

Da questa ricerca la proposta di innovativi prodotti di isolamento termico individuati come materiali super isolanti: SIM.

Innovativi	Vacuum Insulation Panel - VIP	0,0015 - 0,007
	Gas Filled Panel - GFP	0,008 - 0,010
	Materiali nanoporosi	≈ 0,020
	Resine fenoliche	≈ 0,020
	Aerogel	0,013 - 0,017
A cambiamento di fase	Phase Change Material - PCM	-

I SIM sono caratterizzati da conducibilità termica λ molto bassa ($0,0015 \text{ W/mK} < \lambda < 0,0200 \text{ W/mK}$), di fatto da cinque a dieci volte inferiore rispetto ai tradizionali materiali isolanti utilizzati in edilizia ($\lambda \sim 0,0300 - 0,0400 \text{ W/mK}$).

Le principali categorie di questi isolanti possono essere individuate in: materiali nanoporosi in genere, resine fenoliche, aerogel e pannelli isolanti sottovuoto (Vacuum Insulation Panel – VIP).

Solitamente i materiali isolanti sono altamente porosi, in quanto i gas hanno una minore conduzione termica rispetto alle sostanze solide e liquide. Più i pori sono piccoli, numerosi e uniformemente distribuiti, maggiori saranno le capacità isolanti del materiale.

I pori (celle) possono inoltre essere di tipo aperto o chiuso, a seconda che comunichino o meno tra loro e con l'ambiente esterno.

I materiali a celle chiuse sono dotati di piccoli pori pieni di aria o di altro gas praticamente immobile, questo conferisce loro ottime proprietà isolanti, oltre a renderli poco permeabili al vapore acqueo, e conseguentemente poco soggetti a problematiche legate alla presenza di infiltrazioni e condensa interstiziale.

Al contrario, nei materiali a celle aperte, la presenza di particelle di aria (o di altro gas) in movimento ne riduce le capacità isolanti. I pori aperti rendono inoltre il materiale permeabile al vapore, con il rischio di accumulo di acqua al loro interno (per effetto di infiltrazioni e condensa), la quale andrebbe a sostituire l'aria all'interno dei pori, riducendo ulteriormente le prestazioni isolanti del materiale.

Attraverso modalità diverse è possibile ridurre anche la conducibilità termica gassosa residua all'interno dei pori ottenendo gli isolanti “SIM”.

A seguire per indicare le principali tipologie di prodotti che appartengono ai “Super Isolanti”:

1.4.1 Materiali nanoporosi e Aerogel

Gli isolanti nanoporosi (Advanced Porous Material – APM) sono costituiti da una matrice solida a celle aperte, con nanopori di dimensioni pari a circa 20 nm, caratterizzati da una porosità più elevata rispetto ai materiali isolanti più comuni (circa il 97% invece del 90 – 94%). Come appartenenti agli APM possiamo individuare due materiali principali:

- ✓ Fumed Silica – FS (o silice pirogenica), costituita da pannelli pressati di silice amorfa sintetica, ottenuta da biossido di silicio pirogenico idrofobizzato;
- ✓ Prodotti a base di aerogel, che sono materiali leggeri ottenuti mediante processo sol-gel, dove l'aria sostituisce la componente liquida del gel (si trovano sul mercato come monoliti, granuli e feltri rinforzati con fibre, che possono essere incollati o accoppiati ad altri elementi).

Gli FS, a base di silice amorfa sintetica ottenuta attraverso processi diversi di fabbricazione, si presentano come una polvere molto sottile, con un'area superficiale delle particelle estremamente elevata e una bassa densità apparente. Per questi motivi può essere utilizzato come materiale isolante da solo (in forma di materiale composito fibrorinforzato, o come materiale d'anima dei pannelli isolanti sottovuoto (VIP).

L'FS, a causa della finezza delle sue particelle, può essere facilmente inalato: in ogni caso non è elencato tra i materiali cancerogeni né tra i materiali tossici pericolosi per l'ambiente.

Questi tipi di materiali sono utilizzati per diverse applicazioni in edilizia: isolamento di facciate, tetti e anche protezione antincendio; risultano particolarmente indicati per le ristrutturazioni edilizie, in cui il risparmio di spazio rappresenta spesso un problema.

L'aerogel è un gel composito formato da una fase solida e da una fase gassosa dispersa.

Si presenta come un materiale solido, rigido e friabile e con struttura altamente porosa con dimensione media dei pori inferiore a 100 nm. La loro densità può essere definita durante il processo di fabbricazione e, la maggior parte del volume dei pori è occupato da aria o altri gas (95 - 99%, con un massimo del 99,98% in volume) e di conseguenza questo materiale è caratterizzato da una densità molto bassa.

Come sopra indicato, gli aerogel possono avere diverse classi di porosità, apparentemente comprese tra 1,1 e 500 kg/m³ circa, ma con densità media di almeno 20 kg/m³, il che significa circa 16 volte più pesante dell'aria.

Per effetto del loro alto contenuto di gas, gli aerogel sono:

- eccellenti isolanti conduttivi;
- ottimi isolanti convettivi (l'aria non può circolare nel reticolo poroso che lo costituisce);

- scarsi isolanti radiativi (le radiazioni infrarosse sono libere di attraversare il materiale).

Gli aerogel sono prodotti a partire da materiali diversi, il più comune dei quali è l'aerogel di silice, ottenuto dal biossido di silicio (SiO_2) con dimensione media dei pori compresa tra 5 e 70 nm, a seconda della purezza dell' SiO_2 e del processo produttivo utilizzato; quindi, l'aria al suo interno occupa dall'85 al 99,9% del volume complessivo dell'aerogel (mediamente, 96 % aria e 4 % silice).

La densità complessiva dell'aerogel utilizzato per l'isolamento degli edifici è di circa 70 - 150 kg/m^3 , tuttavia, è caratterizzato da un'elevata resistenza alla compressione (fino a 300.000 Pa), mentre la resistenza a trazione è relativamente bassa per cui il materiale si presenta estremamente fragile.

Questa debole resistenza a trazione può essere migliorata incorporando l'aerogel solido, in forma di polvere, in una matrice fibrosa, ottenendo dei feltri di aerogel.

Recentemente si è cominciato a rinforzare gli aerogel con materiali meccanicamente più resistenti e matrici di fibre non tessute, come vetro, fibre minerali o carbonio. Quando le fibre o la matrice fibrosa vengono aggiunte alla miscela pre-gel che contiene i precursori del gel, il composito essiccato risultante è un pannello di aerogel.

I pannelli con aerogel potenziato non mostrano alcuna granularità dell'aerogel, dal momento che le particelle di aerogel sono chimicamente attaccate alla matrice di fibra di vetro, mentre la maggior parte dei pannelli di aerogel disponibili in commercio è realizzata in silice amorfa e, di solito, è soggetta a fenomeni limitati di polverizzazione.

La conducibilità termica dell'aerogel di silice a pressione atmosferica è comunemente pari a circa 0,020 W/mK, ma può ridursi fino a 0,004 W/mK se messo sottovuoto.

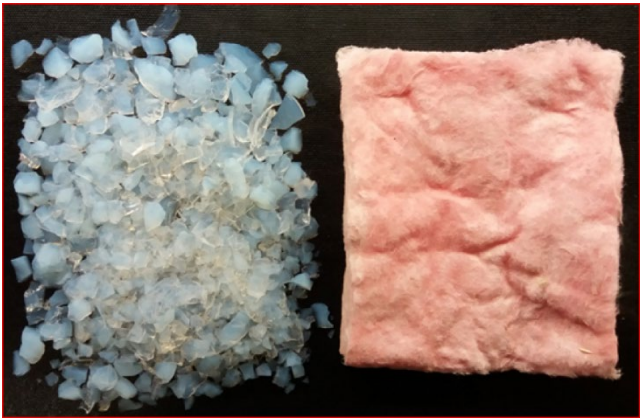
Per quanto riguarda la resistenza al fuoco, l'aerogel viene inserito tra i materiali combustibili non facilmente infiammabili, senza emissione di fumi tossici e di gocciolamento. A causa delle sue particelle estremamente sottili, l'inalazione delle polveri durante l'applicazione può causare irritazione temporanea di mucose e dei bronchi, il contatto con la pelle e gli occhi può causare secchezza e irritazione temporanea.

In ogni caso, nessuno dei suoi componenti è tossico o cancerogeno.

Attualmente sono in fase di sviluppo anche aerogel più sostenibili, in particolare:

- ✓ Aerogel di cellulosa, prodotto partendo da scarti della carta (densità tra i 100 e i 120 kg/m^3 e conducibilità di circa 0,025 W/mK);
- ✓ Aerogel di fibra di riso, composto da aerogel silicico, fibrorinforzato con fibre di riso (densità tra i 200 e i 300 kg/m^3 e conducibilità compresa nell'intervallo 0,017 – 0,022 W/mK).

Isolanti in aerogel (in genere in forma di feltri) sono sempre più richiesti per applicazioni nel settore edile, principalmente per interventi di isolamento dell'involucro opaco quando sono richiesti spessori ridotti (ad esempio nel caso di cappotto in corrispondenza di balconi poco profondi, o nelle componenti orizzontali per non alzare eccessivamente il piano di calpestio).

Isolanti di ultima generazione: "SIM - Super Insulating Materials"	
	Materiali nanoporosi e Aerogel: gli aerogel sono materiali nanostrutturati sintetici altamente porosi, ispirati a un brevetto di Steven-Kistler del 1931. Il termine aerogel deriva dal gel di cui sono costituiti, in cui la componente liquida del gel viene poi sostituita con un gas, conferendo al prodotto finale un aspetto di "fumo condensato" o "nebbia solidificata". Rispetto a qualsiasi altro materiale conosciuto, l'aerogel ha la più alta porosità, la più alta superficie specifica e la più bassa densità, tipicamente inferiore a 100 kg/m^3. Il loro uso garantisce un notevole risparmio di spazio durante la riqualificazione degli edifici dall'interno, fornendo un'alta resistenza termica in strati sottili.

1.4.2 Intonaci con aerogel

L'aerogel granulare può essere utilizzato per migliorare le proprietà termiche degli intonaci (intonaci a base di aerogel), ottenendo intonaci con conducibilità termica intorno a $0,03 \text{ W/mK}$. L'aerogel, sia monolitico che granulare, grazie alla sua semitrasparenza e alla colorazione opalescente, può anche essere utilizzato per l'involucro trasparente.

Gli intonaci rinforzati con aerogel hanno il vantaggio di essere semplici da applicare e flessibili rispetto alle superfici irregolari, consentendo di creare uno strato continuo di isolamento termico, riempiendo gli spazi e le giunture dell'involucro di un edificio.

La bassa densità degli intonaci a base di aerogel permette l'applicazione di strati spessi (superiori a 5 cm) con reti interne in fibra di vetro, creando un isolamento adeguato, specialmente in situazioni in cui altri materiali isolanti tradizionali trovano difficoltà d'impiego, come, ad esempio, su costruzioni irregolari, facciate di pregio architettonico o volte. A causa della natura idrofobica dell'aerogel, gli intonaci rinforzati con aerogel hanno anche il vantaggio di essere idrorepellenti, evitando l'assorbimento di acqua, mentre sono permeabili al vapore acqueo e più traspiranti rispetto agli intonaci convenzionali.

Un intonaco rinforzato con l'aerogel comunemente utilizzato è stato sviluppato presso l'Istituto Federale Svizzero EMPA. Questo materiale, già disponibile in commercio, utilizza più del 50% in volume di aerogel di silice e ha una conducibilità termica di $0,028 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Recentemente, presso la Ryerson University, è stato prodotto un intonaco rinforzato con aerogel, mescolando intonaci a base di calce idraulica con aerogel di silice granulare in percentuali diverse (dal 25% al 95% in volume) e utilizzando granuli di aerogel brevettati.

I risultati dei test di conducibilità termica di questi prodotti hanno confermato una relazione lineare tra la densità dell'intonaco e la conducibilità termica risultante. La conducibilità termica ha assunto valori inferiori a $0,03 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, miscelando più del 70% in volume di granuli di aerogel.

L'intonaco rinforzato con aerogel a base di calce idraulica e di aerogel di silice granulare è un materiale: ad elevata traspirabilità che riduce notevolmente il rischio di muffe; idrofobico; sopporta altissime temperature (-200°C $+200^{\circ}\text{C}$).

L'aerogel può essere utilizzato per:

1. cappotto esterno: può essere valutato in edifici di pregio nei quali la modifica del prospetto non sia compatibile con i caratteri storico-architettonici tutelati;
2. cappotto interno: utilizzato su immobili dove non è consentito/possibile realizzare il cappotto esterno e al fine di non ridurre eccessivamente gli spazi interni;
3. correzione ponti termici (utilizzo principale): sfruttato per isolare quegli elementi che non possono essere "protetti" dagli isolanti classici per mancanza di spazio. Ad esempio, nelle imbotti delle finestre dove, ad esempio, un cappotto da 14 centimetri andrebbe a ridurre troppo le dimensioni del vano finestra stesso.



Intonaci con aerogel: gli intonaci rinforzati con aerogel hanno il vantaggio di essere semplici da implementare e flessibili rispetto alle superfici irregolari, consentendo di creare uno strato continuo di isolamento termico, riempiendo gli spazi e le giunture dell'involucro di un edificio.

A causa della natura idrofobica dell'aerogel, gli intonaci rinforzati con aerogel hanno anche il vantaggio di essere idrorepellenti, evitando l'assorbimento di acqua, mentre sono permeabili al vapore acqueo e più traspiranti rispetto agli intonaci convenzionali.

1.4.3 Resine fenoliche

Come precedentemente detto i materiali con una struttura a celle chiuse inibiscono la convezione termica all'interno dei pori/celle, e più la struttura cellulare è fine e le particelle molto piccole, maggiore sarà la riduzione della convezione termica e della propagazione di calore alle particelle in prossimità.

I pannelli in schiuma di resina fenolica espansa (porosità in genere $> 95\%$) sono materiali estremamente leggeri (peso specifico in media pari a 35 kg/m^3), con bassa conducibilità termica ($0,019 - 0,021 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), un'ottima resistenza meccanica alla compressione (in genere superiore a 150 kPa), ed elevata stabilità dimensionale nel tempo.

I pannelli possono essere rivestiti da una finitura superficiale di diversi materiali, in modo tale da ottimizzarne le prestazioni a seconda del tipo di applicazione (ad esempio, velo vetro saturato su entrambe le facce, alluminio multistrato e velo vetro saturato, velo vetro addizionato con fibre minerali speciali, carta mineralizzata per incrementarne la resistenza al fuoco, carta politenata su entrambe le facce).

La schiuma di resina fenolica espansa, tra i materiali sintetici, garantisce un'eccezionale resistenza al fuoco: non alimenta le fiamme, è autoestinguente e non emette fumi tossici.



Resine fenoliche: Le resine fenoliche possiedono un elevato potere coibente che abbatte drasticamente lo spessore della lastra isolante, ottenendo così un minor ingombro soprattutto attorno agli infissi. Grazie a questa proprietà gli spessori del sistema vengono ridotti fino al 40%. Caratteristiche e vantaggi: Eccellente potere isolante, ottimo comportamento al fuoco, basse emissioni di VOC. Possono essere utilizzati per isolamenti interni, esterni e su orizzontamenti e tetti.

1.4.4 Pannelli isolanti sottovuoto - VIP

I pannelli isolanti sottovuoto (VIP) rappresentano la soluzione più performante nel campo dell'isolamento termico. Questa tecnologia consiste in un involucro ermetico multistrato che circonda un nucleo poroso nanoporoso dal quale sono stati rimossi l'aria e i gas presenti.

Grazie a questa struttura, i VIP sono in grado di raggiungere una conducibilità termica che può variare, a seconda della tipologia e durante la vita del pannello, da $0,0015$ a $0,0080 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

I componenti principali di un pannello VIP sono appunto il nucleo interno, al quale sono aggiunti alcuni additivi getter/essiccanti e opacizzanti, e l'involucro protettivo sigillante, per questo motivo esistono molte possibili configurazioni di questi elementi essenziali che generano pannelli con proprietà e caratteristiche diverse.

La scelta del materiale del nucleo è fondamentale per ridurre al minimo la conducibilità termica del VIP; per ottimizzare le prestazioni dei pannelli, il nucleo deve soddisfare i seguenti requisiti:

- ✓ I pori del materiale del nucleo devono avere dimensioni nanometriche (per materiali con pori più grandi, è necessaria una pressione interna molto più bassa per ottenere la stessa conducibilità termica);
- ✓ la struttura dei pori all'interno del materiale deve essere aperta al 100% in modo che tutto il gas all'interno del pannello possa fluire da un poro all'altro senza impedimenti ed essere facilmente rimosso;
- ✓ ottima resistenza alla compressione: il normale range di pressione interna del VIP nuovo è compreso tra 20 e 300 Pa, mentre la pressione a cui è sottoposto esternamente è di circa 101325 Pa (pressione atmosferica);
- ✓ impermeabile alla radiazione infrarossa, al fine di ridurre il trasferimento di calore radiativo.

Per il nucleo dei VIP vengono utilizzati materiali diversi, tra i quali:

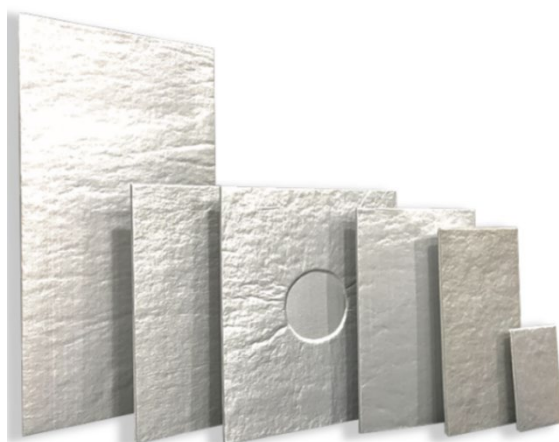
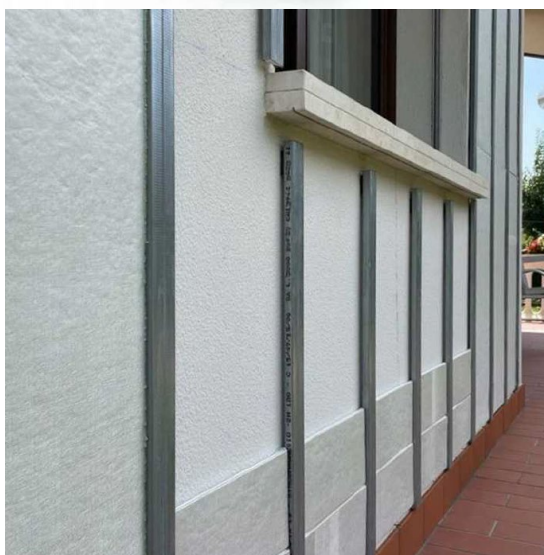
- ✓ Schiuma di poliuretano - PU: Nucleo delle prime tipologie di VIP, risponde ai criteri di resistenza meccanica e struttura porosa aperta; tuttavia, la dimensione dei pori è piuttosto grande (scala millimetrica), per cui questo materiale richiede un basso grado di vuoto per ottenere valori di conducibilità termica tipici per un VIP di media qualità, ad es. 0,004 W/(m·K). La pressione interna deve rimanere al di sotto di 1 mbar, oltre il quale la conducibilità aumenta notevolmente. Tuttavia, queste pressioni non possono essere raggiunte con gli involucri sigillanti attualmente disponibili.
- ✓ fibra di vetro - GF: I nuclei in fibra di vetro hanno problemi simili ai pannelli in schiuma di PU. Infatti, a causa della dimensione caratteristica dei pori relativamente grande, nell'ordine di 50 µm per fibre da 10 µm, anche la pressione interna deve essere molto bassa: a circa 0,1 mbar, la conducibilità termica raggiunge il valore di 0,0015 W/(m·K).
- ✓ Aerogel: L'aerogel è un materiale nanoporoso, con una dimensione dei pori di circa 20 nm: per tale motivo, è sufficiente una pressione di 50 mbar, l'aerogel raggiunge una conducibilità termica molto bassa (circa 0,004 W/(m·K)), mentre a pressione ambiente la conducibilità termica sale a circa 0,013 W/(m·K). Si rende necessaria però l'aggiunta di opacizzanti (ad esempio, nerofumo) per sopprimere il trasferimento radiativo.
- ✓ Silice pirogenica. (FS): La ridotta dimensione dei pori (compresa tra 30 e 100 nm), unita all'effetto degli opacizzanti all'interno del nucleo (polvere di carburo di silicio, o biossido di titanio), permette di raggiungere conducibilità termica del nucleo dell'ordine di 0,019 - 0,020 W/(m·K), con una buona resistenza alla compressione. Una volta evacuato il nucleo, il VIP è

caratterizzato da un valore della conducibilità termica equivalente intorno a $0,004 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Per effetto delle ridotte dimensioni dei pori, una pressione del gas intorno a 10 mbar è in genere sufficiente per ridurre fortemente il contributo di conducibilità gassosa.

- ✓ I VIP a base di silice pirogenica sono particolarmente adatti per applicazioni edilizie per numerosi vantaggi, tra i quali si segnalano: in funzione della qualità dell'involucro e dalla tenuta nel tempo, presenta una vita utile relativamente lunga (in quanto il componente è meno sensibile all'aumento della pressione interna) e conducibilità termica relativamente bassa in caso di completa perdita di vuoto (pari a circa $0,020 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

Per mantenere alte prestazioni termiche bisogna ridurre il trasferimento di calore conduttivo all'interno dei VIP strettamente legato alla bassa pressione del gas all'interno del pannello. I vapori che passano attraverso l'involucro contribuiscono all'aumento della pressione interna del VIP con una conseguente minore efficacia dell'isolamento. Per contrastare questo inconveniente al nucleo vengono aggiunti additivi essiccanti e adsorbenti. Sono componenti chimici che assorbono gas e vapore acqueo residui dopo il processo sottovuoto al fine di mantenere una conducibilità termica costante:

- i dissecanti sono costituiti da materiali con elevate proprietà igroscopiche, sono funzionali ad intrappolare l'umidità;
- gli adsorbenti sono materiali con un alto grado di porosità, vengono attratti e catturati, mantenendo bassa la pressione interna;
- gli opacizzanti, infine, vengono aggiunti al nucleo del pannello per ridurre le dispersioni di calore radiativo.



Pannelli isolanti sottovuoto – VIP:

i Vacuum Insulation Panels rientrano nella categoria dei pannelli super isolanti, sono costituiti da un nucleo in fibra di vetro racchiuso ermeticamente in una speciale lamina multistrato sottile. Durante il processo di produzione tutta l'aria viene pompata fuori dal pannello. Questo loro particolare design consente al pannello di raggiungere un valore di conducibilità termica minima inferiore a $0,003 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Gli isolanti sottovuoto sono costituiti da un materiale “core” incapsulato in un involucro multistrato dal quale viene evacuata tutta l'aria, per garantire un grado di vuoto che si traduce in uno dei migliori isolanti presenti. Il “core” del pannello sottovuoto è composto da micro-nano fibre di vetro caratterizzate da 100% ignifughe, riciclabili e biosolubili. Il vuoto, combinato a questa nanotecnologia interna e alle caratteristiche del folder di contenimento, permette una significativa riduzione della trasmissione di energia per conduzione termica, irraggiamento e convezione. A parità di resistenza termica, i VIP consentono di ottenere spessori molto inferiori rispetto agli isolanti tradizionali. Possono essere utilizzati per isolamenti interni, esterni e su orizzontamenti e tetti. La conducibilità termica certificata di $0,002 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ rende questi pannelli fino a 20 volte più performanti rispetto agli isolanti tradizionali; pannelli da 10 mm garantiscono prestazioni equivalenti a circa 17,5 cm di EPS, 20 cm di lana di roccia o 8 cm di aerogel.

Resistenza al fuoco: mediamente questi pannelli rispondono a requisiti sempre più stringenti in materia di sicurezza. Il sistema è classificato in classe di reazione al fuoco A2S1-d0, caratteristica che ne consente l'impiego sia in ambito residenziale sia in contesti industriali.

1.4.5 Vantaggi e svantaggi dei SIM

Il principale vantaggio del loro impiego in edilizia è sicuramente dato dal risparmio di spazio. Se pensiamo agli isolanti tradizionali, questi per garantire le prestazioni energetiche oggi richieste agli edifici devono avere spessori variabili dai 16 cm della lana di vetro, ai 10-12 cm di EPS, fino ad arrivare a 8 cm di PU (materiale molto performante, ma classificabile ancora come di tipo tradizionale). Spessori di questo tipo diventano proibitivi, nel caso in cui lo spazio che si può dedicare allo strato isolante sia limitato. In questi casi si rende necessario un potere isolante più elevato. Se si utilizzano materiali super isolanti, lo spessore si riduce a un massimo di 6 cm. nel caso di resine fenoliche o materiali nanoporosi, 6 cm per l'aerogel per arrivare a 1 o 3 cm per i VIP (lo spessore di 1 cm è sconsigliato per applicazioni in edilizia).

Come è facile intuire, i SIM presentano anche alcune criticità, sia di tipo tecnico che di tipo economico.

Dal punto di vista tecnico, per quanto riguarda aerogel e materiali a base di silice pirogenica, una delle principali criticità è rappresentata dalla formazione e dispersione di polveri durante la lavorazione. Oltre al rischio di essere inalate (anche se non tossiche), queste polveri comportano la necessità di stoccare e maneggiare con più cura il materiale isolante, rispetto a materiali dalla matrice più coerente. Ancora maggiore cura deve essere posta nel maneggiare i pannelli sottovuoto, laddove la minima lacerazione comporta la perdita del vuoto, e quindi la perdita delle loro proprietà isolanti.

Questi materiali possono essere utilizzati con successo negli edifici solo se viene fatta un'attenta progettazione della loro posa in cantiere, per quanto riguarda: disposizione, durabilità, mancanza di flessibilità, fragilità e possibili ponti termici tra i pannelli. Progettisti e posatori devono necessariamente essere adeguatamente formati.

Altre implicazioni tecniche sono relative alla loro vita utile, più breve rispetto ai tempi medi di un edificio, con una vita utile variabile in funzione del tipo di pannello e della sensibile diminuzione delle loro prestazioni nel tempo.

Dal punto di vista economico, innovatività di prodotto e migliori prestazioni implicano sempre costi maggiori; bisogna comunque tener presente che la loro leggerezza e facilità di posa, se le maestranze sono ben preparate, riducono i costi ed i tempi di posa in opera.

In ogni caso il loro utilizzo va sempre ben valutato in fase progettuale mettendo in conto il loro costo in funzione delle prestazioni energetiche che il loro uso determina e questo per evitare di incappare in spese eccessive non correttamente preventivate.

Infine il progressivo innalzamento delle prestazioni energetiche richieste dalla normativa, insieme all'uso sempre più corrente che cominciano ad avere, determineranno sicuramente nel tempo una riduzione del loro costo.

Quanto sopra illustra i principali isolanti SIM. Sul mercato esistono già prodotti molto diversificati per usi molto diversi e altri prodotti sono attualmente in fase di sviluppo o di introduzione sul mercato, ovviamente spetta al progettista individuare il prodotto più rispondente alle esigenze dell'intervento con una corretta valutazione tra costi di intervento e prestazioni conseguibili.

La conformità ai CAM deve essere verificata sui singoli prodotti commerciali.

1.4.6 Materiali riflettenti



Materiali isolanti riflettenti

È l'unico termoisolante che sfrutta un principio diverso da quello della trasmissione per conduzione: il suo potere dipende dalla trasmissione del calore per irraggiamento. Gli isolanti riflettenti multistrato sono dei composti tecnici a spessore ridotto (max. 30 mm) costituiti dall'unione di pellicole di materiale riflettente ed elementi isolanti combinati (ovatta, schiume, lana di pecora, ecc.). Gli isolanti sottili riflettenti multistrato permettono di realizzare dispositivi isolanti da 3 a 5 volte più sottili (intercapedine compresa) rispetto agli isolanti spessi tradizionali. Gli isolanti multistrato tecnici, la cui efficacia termica è analoga a quella offerta dagli isolanti tradizionali più spessi, permette la realizzazione di una posa impermeabile all'aria, che arresta le correnti in ingresso e in uscita. L'insieme è isolante e impedisce qualsiasi fenomeno di condensa. Contrariamente agli isolanti spessi che agiscono sugli scambi termici per conduzione, la natura specifica degli isolanti sottili multi-riflettenti, combinata con l'installazione tra due intercapedini d'aria, obbliga l'energia a trasmettersi per irraggiamento. La composizione e la posa in opera degli isolanti termo riflettenti garantiscono i seguenti risultati: in inverno creano una barriera al freddo e restituiscono il calore emesso all'interno delle stanze; in estate, rimandano all'esterno l'irraggiamento per evitare il surriscaldamento. Gli studi sui materiali riflettenti concordano che la presenza di materiali riflettenti: "radiant barrier system (RSB)" garantisce una riduzione dell'apporto di calore in regime estivo. La superficie basso emissiva/riflettente non dovrà mai essere posata in aderenza a qualsivoglia superficie. Tra la superficie basso emissiva e la superficie alto emissiva deve essere realizzata un'intercapedine di aria che rispetti le indicazioni del produttore/progettista della legge 10/91. La superficie riflettente per poter mantenere le sue caratteristiche deve rimanere "pulita" altrimenti varia peggiorando il valore di emissività e, tra la superficie basso emissiva e la superficie alto emissiva deve essere realizzata un'intercapedine di aria che rispetti le indicazioni del produttore e, del progettista della legge 10/91.

1.4.7 Pitture, rasanti e isolamento termico: vero o falso

Negli ultimi anni il mercato dei materiali di finitura ha visto un incremento di proposte per l'isolamento termico e il risparmio energetico da realizzare con spessori minimi (ovvero con mm o addirittura micron di spessore); a questo proposito ANIT (Associazione Nazionale per l'isolamento Termico ed Acustico), AVISA-Federchimica (Associazione Nazionale vernici, inchiostri, sigillanti e adesivi), ASSOVERNICI (Associazione italiana dei produttori di vernici per edilizia, industria, legno) e CORTEXA (Consorzio per l'Eccellenza nel sistema a cappotto), hanno spesso richiamato l'attenzione dei professionisti sulla necessaria attenzione tecnica da riservare al loro uso.

In special modo ANIT ha pubblicato numerosi articoli e opuscoli tecnici che approfondiscono l'utilizzo di questi prodotti.

A seguire una selezione di argomentazioni tecniche tratte dalle pubblicazioni prima evidenziate. Nel documento, l'ANIT ricorda innanzitutto che ogni produttore deve considerare tre parametri per valutare correttamente l'efficacia dell'isolamento termico invernale dei propri prodotti:

- Conduttività termica λ espressa in $W/(m \cdot K)$ [-]
- Resistenza termica R_t del prodotto o del sistema in m^2K/W [-]; o, se il prodotto vanta capacità di riflettere l'energia termica radiante,
- Emissività ϵ

I materiali isolanti oggi in commercio sono caratterizzati da conduttività termiche dichiarate λ_D che variano:

- tra 0.09 e 0.031 $W/(m \cdot K)$ per materiali tradizionali;
- fino 0.026 $W/m \cdot K$ per materiali che sfruttano gas diversi dall'aria (ad esempio il poliuretano);
- fino a 0.020 $W/m \cdot K$ per materiali innovativi con nanotecnologie atte a creare micro-pori senza molecole d'aria o atte a intrappolare in modo più efficace le molecole di gas (ad esempio l'aerogel).

Resta indiscusso l'assunto che per una corretta valutazione dell'isolamento termico di uno strato è indispensabile calcolare la sua resistenza termica; ad esempio, una struttura opaca in zona E la si può considerare isolata, per la legislazione vigente, se presenta una resistenza termica maggiore di 3 m^2K/W .

Lo spessore dei pannelli isolanti comunemente utilizzati negli anni '80 e '90, dopo le prime leggi sull'efficienza energetica (Legge 373 del '73 e Legge 90 del '91) era di pochi cm.

Dal 2005, con il D.lgs. 192 e s.m.i. a partire dalla richiesta del normatore di prestazioni termiche più elevate, gli spessori dei pannelli isolanti sono aumentati ed oggi, in molte applicazioni, risultano superiori ai 10 cm, in funzione dei requisiti prestazionali e della stratigrafia. Questo

significa che un materiale con una conduttività termica di $0,08 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, per di più posato con spessore inferiore a 1 mm, offre una resistenza termica inferiore ai livelli in uso degli anni '80 e ha un potere di isolamento termico almeno 10 volte inferiore a 1 cm di materiale isolante tradizionale.

Inoltre, i materiali isolanti che hanno ottime capacità di riflessione dell'energia termica per irraggiamento hanno ridotti valori di emissività nel campo della radiazione termica, per esempio $\epsilon = 0.10$.

Sono materiali le cui superfici emettono solo il 10% dell'energia che potrebbero emettere per effetto della loro temperatura. Prodotti di questa natura sono in commercio da diversi anni, sono i materiali isolanti riflettenti, e sono regolati dalla norma UNI EN 16012.

Nel caso di una vernice che presenta un'emissività di 0.85, questa non può essere considerata una barriera termica nei confronti della radiazione termica incidente.

Al contrario è una superficie altamente assorbente e quindi non può vantare caratteristiche di isolamento termico poiché si comporta come una normale tinteggiatura o intonaco.

Sulla base di quanto indicato, le vernici alto emissive e, in quanto vernici, di ridottissimo spessore, non possono essere considerate prodotti per l'isolamento termico degli edifici per il comportamento invernale.

Per sintetizzare

- ✓ Attualmente non esistono in commercio prodotti con λ_D dichiarati inferiori a $0,015 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.
- ✓ Anche i materiali più prestazionali (con $\lambda_D = 0,015 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) se posati in pochi millimetri non possono essere assimilati, per il solo ridotto spessore, a uno strato isolante tradizionale ai fini del controllo delle dispersioni invernali.
- ✓ Per riflettere la radiazione termica infrarossa un rivestimento deve avere proprietà basso emissive.

1.4.8 Le pitture ad effetto termico o termoriflettenti

Sono prodotti sviluppati anche attraverso ricerche nel campo della nanotecnologia; sono composte da particolari micro e nano particelle termo riflettenti che sono in grado di intercettare la radiazione infrarossa attraverso la quale avviene parte dello scambio termico.

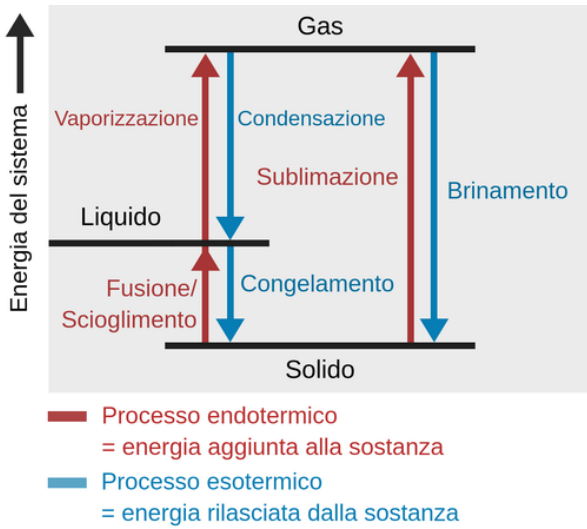
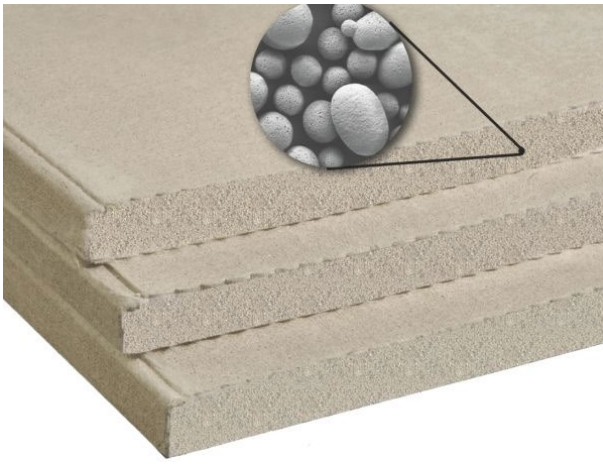
In pratica le pitture termoriflettenti presentano una superficie caratterizzata da elevata riflettanza e bassa emissività, applicandole si crea un micro-rivestimento sul muro che respinge il calore e contribuisce a ridurre notevolmente la dispersione. Questo significa che, se applicate all'esterno, riflettono la radiazione solare incidente, riducendo il calore superficiale della parete

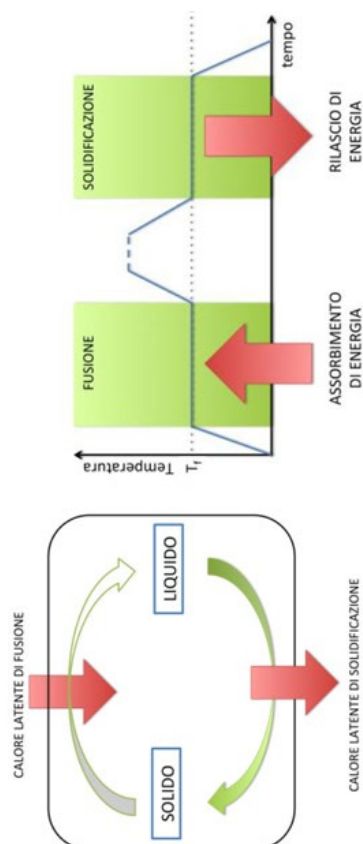
e quindi riducendo il riscaldamento degli ambienti interni e la necessità quindi della climatizzazione estiva meccanica, contribuendo inoltre a ridurre l'effetto "isola di calore".

Se applicate sul lato interno delle pareti disperdenti, può contribuire ad aumentare la temperatura superficiale interna della parete e a ridurre, in determinate condizioni, il rischio di condensazione superficiale; l'uso di queste pitture permette perciò di tenere le stanze più calde e, se applicate su un cappotto interno di piccolo spessore ne incrementa l'efficienza.

In relazione a questa tipologia di pitture si rimanda all'apposita scheda predisposta in relazione alla riduzione dell' "isola di calore – QT n° 7".

1.4.9 Isolanti a cambiamento di fase in edilizia

Isolanti a cambiamento di fase in edilizia	
 — Processo endotermico = energia aggiunta alla sostanza — Processo esotermico = energia rilasciata dalla sostanza	Materiali a cambiamento di fase, Phase Change Materials (PCM) in edilizia: sono materiali che, sfruttando l'energia termica latente scambiata a temperatura pressoché costante durante i passaggi di fase, accumulano grandi quantità di energia mantenendo pressoché costante la propria temperatura. I materiali a cambiamento di fase con una temperatura di fusione molto vicina ai livelli di comfort, utilizzati per l'involucro edilizio, contribuiscono alla riduzione dei consumi energetici sia nella stagione invernale che in quella estiva. Riescono di fatto, attraverso il cambiamento di fase, ad incrementare l'inerzia termica dell'involucro edilizio mantenendone al contempo la temperatura pressoché inalterata, stabile intorno al punto di fusione del materiale. La scelta della tipologia di materiale e il suo dimensionamento devono dunque avvenire sulla base delle variazioni termiche che normalmente si registrano nell'arco della giornata: è essenziale che il materiale abbia una temperatura di fusione compatibile con l'uso che ne verrà fatto, e che il suo volume sia tale da permettere quotidianamente la fusione e la successiva solidificazione dell'intera massa. Oltre a considerare questi aspetti, nella scelta del materiale a cambiamento di fase è necessario valutare anche le seguenti proprietà: – il calore latente di fusione deve essere elevato per avere degli scambi di energia termica il più possibile isotermi; – la densità deve essere sufficientemente alta al fine di minimizzare le dimensioni necessarie ad ottenere delle prestazioni soddisfacenti;
	



- la stabilità chimica è essenziale per evitare la rapida perdita delle prestazioni nel tempo;
- la compatibilità con i materiali da costruzione con cui dovrà entrare in contatto;
- la disponibilità in natura e la facilità di reperimento, che dovrebbero determinarne anche un costo accessibile;
- una tossicità nulla.

Attualmente tra i PCM più studiati e utilizzati in edilizia rientrano, i composti organici, tra cui materiali paraffinici, e materiali inorganici come alcuni Sali idrati. I sistemi di contenimento utilizzati sono il macro e micro-incapsulamento e l'immersione in matrici porose.

PCM di origine biologica

I materiali avanzati a cambiamento di fase (PCM) a base biologica rappresentano una soluzione innovativa e potenzialmente più sostenibile nell'accumulo di energia e nella gestione termica. Derivati da fonti rinnovabili di biomassa, questi PCM offrono una maggiore sostenibilità e un ridotto impatto ambientale rispetto alle alternative convenzionali. Grazie alla loro capacità di immagazzinare e rilasciare grandi quantità di energia durante le transizioni di fase, trovano diverse applicazioni nell'isolamento degli edifici.

Sono ancora materiali non del tutto pronti per l'impiego corrente, ma con interessanti prospettive di sviluppo e già utilizzati in interventi sperimentali e applicazioni di elevata qualità progettuale.