

# KNOW-HOW

Caratteristiche di qualità dei materiali isolanti tecnici:

## Isolamento nelle applicazioni fredde

protezione contro condensa e perdite energetiche





## PERCHÉ È NECESSARIO ISOLARE LE ATTREZZATURE TECNICHE?

Il contributo fornito dai materiali di isolamento tecnico all'affidabilità operativa delle apparecchiature meccaniche è solitamente poco considerato. Questi materiali, in realtà, hanno vari compiti fondamentali: aumentano l'efficienza energetica dell'apparecchiatura, prevengono la formazione della condensa, assicurano la protezione dalla corrosione, riducono le emissioni sonore e consentono un buon funzionamento delle apparecchiature industriali. Di solito l'importanza di un sistema di isolamento risulta evidente solo quando non funziona in modo adeguato: ghiaccio sulle tubazioni e

umidità nei controsoffitti appesi dovuta alla condensa che si forma sulle attrezzature, interruzioni dei processi industriali che determinano interventi di manutenzione costosi e periodi di inattività o consumi energetici in crescita rapida, per fare solo qualche esempio. Secondo uno studio effettuato da Exxon-Mobil Chemical, dal 40 al 60% dei costi degli interventi di manutenzione sulle tubazioni sono imputabili a fenomeni di corrosione sotto l'isolamento (CUI). La causa principale è la scarsa attenzione all'impregnazione d'acqua dell'isolamento.

L'ultima cosa che vorreste: un gocciolamento di condensa dal soffitto

Nelle tecnologie di isolamento si distingue tra l'isolamento dell'involucro edilizio e l'isolamento delle attrezzature tecniche (impianti idraulici e sistemi HVAC). L'involucro edilizio è isolato termicamente per ridurre al minimo il raffreddamento degli edifici riscaldati o il riscaldamento degli edifici raffrescati e provvedere a un microclima interno piacevole. Le attrezzature tecniche degli edifici sono isolate termicamente per assicurarne il funzionamento adeguato e ridurre il consumo di energia. Pertanto in generale la protezione contro le dispersioni termiche delle attrezzature calde o fredde non incrementa solo l'efficienza energetica, ma salvaguarda anche l'affidabilità operativa delle attrezzature sul lungo periodo.

Mentre l'obiettivo principale per quanto riguarda l'isolamento delle tubazioni del riscaldamento e dell'acqua calda è risparmiare energia, gli impianti freddi (come le tubazioni dell'acqua refrigerata degli impianti di condizionamento o i tubi di aspirazione dei congelatori per usi commerciali) richiedono anche di essere protetti dalla formazione di condensa e di conseguenza dalla corrosione. Allo stesso tempo l'isolamento riduce la perdita di prestazioni anche nelle applicazioni fredde. Le attrezzature tecniche industriali sono isolate per stabilizzare i processi di produzione (cioè per mantenere le temperature operative prescritte), per aumentare l'efficacia dell'impianto e di conseguenza ridurre i costi. Inoltre l'isolamento protegge il sistema contro gli urti meccanici, aumenta l'affidabilità a lungo termine e prolunga la vita utile abbreviando i cicli operativi. Contribuisce per esempio a migliorare la sicurezza sul luogo di lavoro riducendo la temperatura di contatto della superficie nelle attrezzature ad alta temperatura. Inoltre l'isolamento tecnico migliora la protezione acustica diminuendo il rumore proveniente dagli impianti e migliora il microclima interno. I materiali isolanti devono soddisfare i relativi requisiti di protezione antincendio, devono essere facili da installare anche in condizioni operative difficili e - a seconda dell'area di applicazione - devono presentare una resistenza elevata alle sostanze chimiche ed essere fisiologicamente neutri.

Di seguito illustreremo nei dettagli i requisiti più importanti dei materiali di isolamento tecnico e le loro caratteristiche fisiche fondamentali.

# RIDUZIONE DELLE DISPERSIONI ENERGETICHE

I materiali di isolamento tecnico riducono al minimo le dispersioni di energia, per esempio termica o frigorifera. Il calore si trasmette per conduzione, convezione o irraggiamento. La proprietà fisica fondamentale per la valutazione dei materiali isolanti è la conducibilità termica.

## Conducibilità termica

La conducibilità termica è la quantità di calore che in un secondo attraversa  $1 \text{ m}^2$  di uno strato spesso  $1 \text{ m}$  di una sostanza, se la differenza di temperatura tra le due superfici opposte è pari a  $1 \text{ K}$ . Quanto minore è la conducibilità termica, tanto migliori sono le proprietà isolanti di un materiale e minore la dispersione di energia. L'unità di misura della conducibilità termica è il watt per metro e per kelvin [ $\text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ ]; il simbolo è la lettera greca lambda ( $\lambda$ ). La conducibilità termica è una costante del materiale dipendente dalla temperatura, ciò significa che aumenta (lentamente) man mano che cresce la temperatura. Per tale ragione i produttori

più affidabili di isolamenti indicano la conducibilità termica dei loro prodotti solo in relazione alla temperatura della linea. Questa è formulata di solito come un indice, per es. per AF/Armaflex:  $\lambda_{0^\circ\text{C}} \leq 0.033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .

I materiali isolanti elastomerici flessibili (FEF) hanno ottime proprietà isolanti. A seconda del tipo di elastomero, la conducibilità termica è compresa tra  $0,033$  e  $0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  per una temperatura di linea di  $0^\circ\text{C}$ . Se è richiesto di non superare un certo flusso termico si può risparmiare spazio variando lo spessore dell'isolamento.

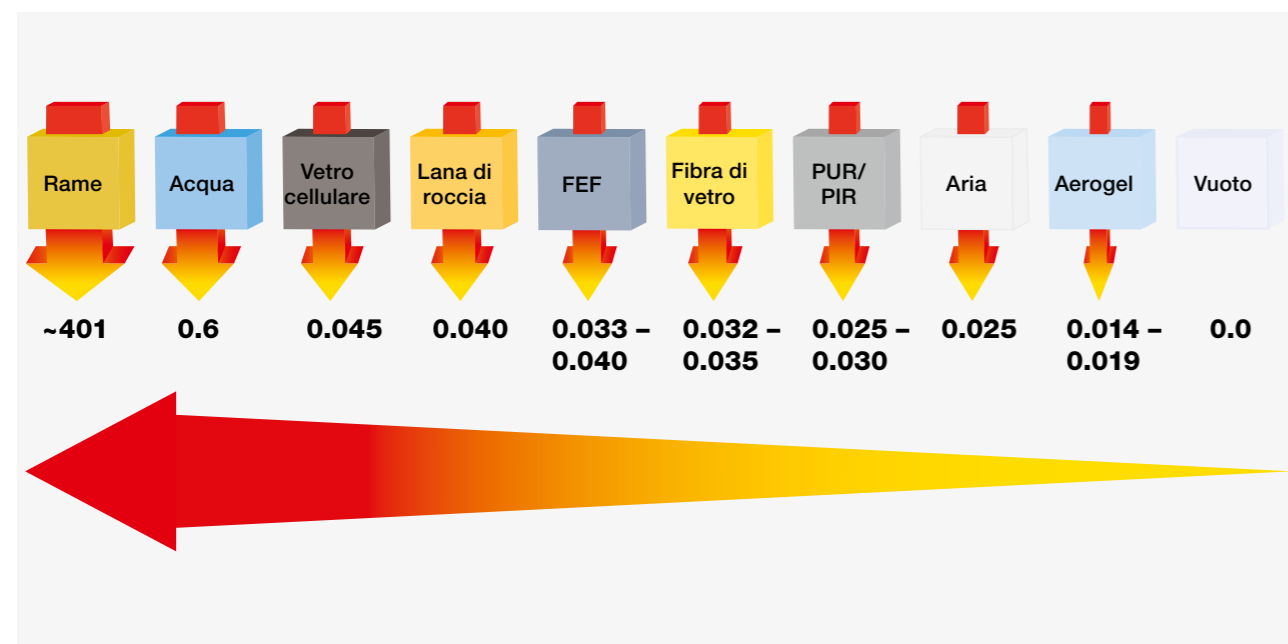


Figura 2: Conducibilità termica di vari materiali: quanto minore è il valore  $\lambda$ , tanto maggiore è la capacità isolante

## Trasmissione del calore

La trasmissione del calore, cioè il trasferimento di calore tra un fluido e una parete solida (per esempio la parete di un tubo o di un serbatoio) è influenzata soprattutto dalla convezione e dall'irraggiamento ed è descritta tramite il coefficiente di trasmissione del calore. In genere si distingue tra una trasmissione del calore interna (cioè tra il mezzo e la parete del serbatoio o del tubo) e una trasmissione del calore esterna (cioè tra la parete del serbatoio o della tubazione o il suo strato di materiale isolante e l'ambiente). Il coefficiente di trasmissione del calore è composto, solitamente, dalla trasmissione del calore per convezione e dalla

trasmissione del calore per irraggiamento.

A differenza della conducibilità termica, il coefficiente di trasmissione del calore non è una costante legata al materiale ma dipende dal tipo di mezzo che scorre, dalla sua velocità di scorrimento, dalla struttura della superficie (scabra o liscia, lucida o opaca) e da altri parametri.

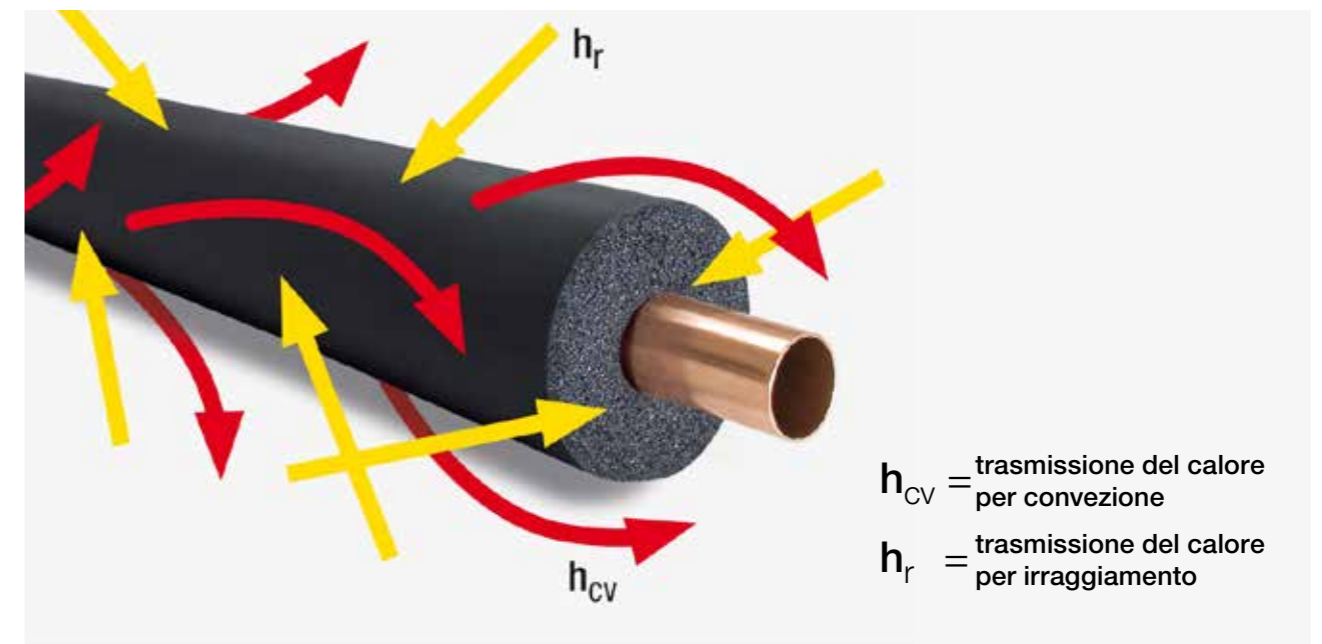


Figura 3: Coefficiente di trasmissione del calore

### Convezione

La parte del coefficiente di trasmissione del calore dovuta alla convezione contribuisce notevolmente a prevenire la formazione della condensa sulla superficie del materiale isolante. Quanto più velocemente scorre l'aria ambiente tanto maggiore è il calore che viene trasportato. In pratica è fondamentale verificare che le tubazioni e le condutture non si trovino troppo vicine tra loro o a una distanza insufficiente dalle pareti e dalle altre installazioni. In questo caso, oltre a rendere difficile la corretta installazione del materiale isolante, si rischierebbe di creare una zona di accumulo. In queste zone la circolazione dell'aria (convezione) necessaria per ottenere una temperatura superficiale sufficientemente elevata si arresta, cioè il coefficiente di trasmissione del calore è minore perché il contributo della convezione diminuisce. Ne consegue che il rischio di formazione di condensa aumenta significativamente.

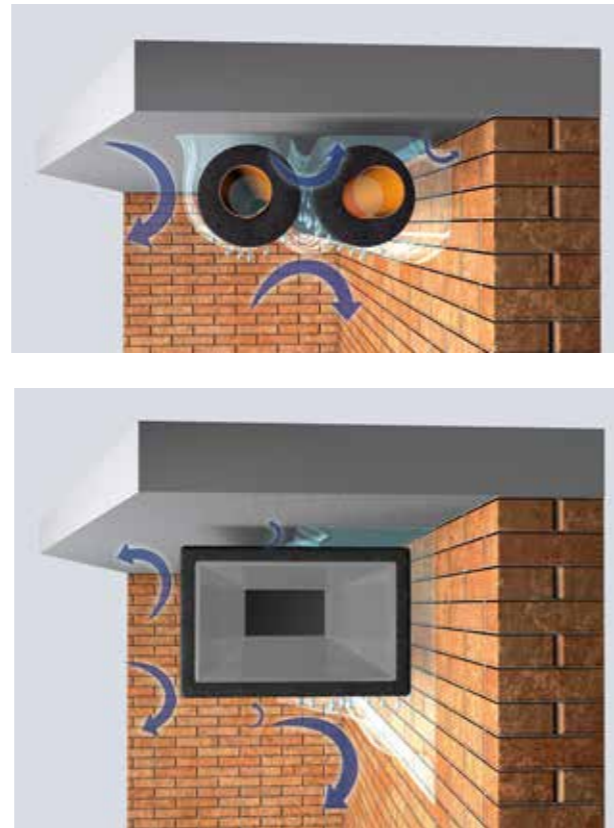


Figura 4: Convezione

**>> Di solito l'importanza di un sistema di isolamento appare evidente solo quando quest'ultimo non funziona in modo adeguato: ghiaccio sulle tubazioni e umidità nei controsoffitti, corrosione sotto l'isolamento, consumi energetici in rapida crescita e persino interruzioni dei processi industriali che generano costi enormi dovuti agli interventi di manutenzione e ai periodi di inattività. <<**

### Emissività ( $\epsilon$ ) di varie superfici

Condizione del materiale e della superficie	$\epsilon = a$
Foglio di alluminio, lucido	0.05
Alluminio, anodizzato	0.13
Acciaio galvanizzato, lucido	0.26
Acciaio galvanizzato, polveroso	0.44
Acciaio inox austenitico	0.15
Alluminio zincato, lucidato e levigato	0.16
Arma-Chek Silver	0.83
Lastre in metallo verniciato	0.90
Rivestimento in plastica	0.90
Elastomero espanso flessibile	0.93
Arma-Chek R	0.93
Arma-Chek D	0.94

Figura 5: Coefficiente di emissione e assorbimento delle superfici di vari materiali

### Irraggiamento

L'irraggiamento termico è una modalità di trasmissione del calore mediante onde elettromagnetiche. Il trasferimento di energia mediante irraggiamento non si limita a un solo mezzo di trasmissione. A differenza della conduzione o della convezione (flusso termico), l'irraggiamento termico può avvenire anche nel vuoto. Nel caso dell'irraggiamento, il meccanismo di trasmissione del calore si compone di due sottoprocessi:

- Emissione: sulla superficie di un corpo con temperatura più elevata il calore si trasforma in energia radiante.
- Assorbimento: la radiazione che colpisce la superficie di un corpo con una temperatura inferiore si trasforma in calore.

I corpi di colore scuro emettono più energia radiante rispetto a quelli di colore chiaro. D'altro canto i corpi di colore scuro assorbono più energia termica di quelli di colore chiaro.

La misura dell'emissività di un materiale è data dal coefficiente di emissione  $\epsilon$ . La misura del potere di assorbimento è data dal coefficiente di assorbimento  $a$ . L'emissività di un corpo di un determinato colore è esattamente pari alla sua capacità di assorbimento. Un corpo nero possiede il massimo potere di emissione o di assorbimento. La tabella 5 mostra i coefficienti di emissione e assorbimento delle superfici di alcuni sistemi di isolamento. Come si può vedere dalla tabella è in gran parte la natura della superficie del materiale isolante o della sua guaina, al di là dell'influenza di altri corpi brillanti, a determinare il contributo dato dalla radiazione  $a \cdot S$  al coefficiente di trasmissione del calore. Un materiale isolante a base di gomma sintetica assorbe molta più energia termica di un foglio di alluminio, per esempio. Questo ha un effetto estremamente positivo sullo spessore dell'isolamento richiesto per prevenire la formazione della condensa, cioè quanto maggiore è il potere assorbente tanto minore diventa lo spessore dell'isolamento necessario per prevenire la formazione di condensa.

# PROTEZIONE CONTRO LA PENETRAZIONE DELL'UMIDITÀ

Gli isolamenti delle applicazioni fredde devono essere protetti contro la penetrazione dell'umidità. Da un lato, l'umidità si forma a causa della condensazione sulla superficie delle tubazioni con una temperatura della linea inferiore a quella ambiente; dall'altro lato il vapore acqueo può diffondersi nel materiale isolante a causa della differenza di pressione del vapore, impregnandolo rapidamente d'acqua.

## Prevenzione della condensa

L'aria che ci circonda è formata da vari gas e da vapore acqueo. Il contenuto di vapore acqueo dell'aria può variare considerevolmente. Per esempio in un impianto in cui viene utilizzata molta acqua, come un birrificio o un macello, la quantità di vapore acqueo contenuto nell'aria sarà molto maggiore di quella di un normale edificio adibito a uffici. Tuttavia la capacità dell'aria di assorbire umidità in forma di vapore acqueo è limitata. In generale si può affermare che l'aria calda è in grado di assorbire più acqua rispetto all'aria fredda. In pratica questo significa che quando l'aria atmosferica a una determinata temperatura e con

un determinato contenuto di vapore acqueo si raffredda in prossimità di una tubazione fredda, la sua capacità di assorbire acqua diminuisce enormemente (figura 6).

La quantità effettiva di vapore acqueo presente nell'aria è definita umidità assoluta ed è espressa in grammi per metro cubo di aria ( $\text{g}/\text{m}^3$ ). L'umidità di saturazione, invece, esprime la quantità massima di vapore acqueo che può essere contenuta in un metro cubo di aria. Tale quantità dipende dalla temperatura, cioè la quantità contenuta nell'aria più fredda è inferiore a quella contenuta nell'aria più calda. Per esempio, l'aria a una temperatura di  $30\text{ }^\circ\text{C}$  può assorbire al massimo  $30,3\text{ g}$  di acqua, mentre a  $5\text{ }^\circ\text{C}$  ne può assorbire al massimo  $6,8\text{ g}$ . Se l'aria satura si raffredda da  $30\text{ }^\circ\text{C}$  a  $5\text{ }^\circ\text{C}$  rilascerà  $23,5\text{ g}$  di acqua. Solitamente l'umidità assoluta è messa in relazione all'umidità di saturazione per determinare l'umidità relativa. Questo valore viene poi moltiplicato per 100, dando come risultato un valore in percentuale che indica l'umidità relativa. Il simbolo utilizzato è la lettera greca  $\varphi$  (phi).

## Punto di rugiada e condensa

Poiché la quantità di vapore acqueo presente nell'aria non diminuisce man mano che questa si raffredda, il grado di saturazione dell'aria aumenta con il diminuire della temperatura. A una determinata temperatura l'aria è satura al 100%. Tale temperatura è chiamata punto di rugiada. Se l'aria continua a raffreddarsi a contatto con un oggetto, una parte dell'acqua non sarà più assorbita sotto forma di vapore acqueo (invisibile) ma diventerà acqua liquida. Pertanto si formerà la condensa, nota anche come acqua di traspirazione. Per prevenire la formazione della condensa è necessario assicurare che in tutto l'isolamento la temperatura superficiale sia sempre pari o addirittura superiore al punto di rugiada dell'aria ambiente.

## Diffusione del vapore acqueo

La diffusione del vapore acqueo (definita anche "trasmissione del vapore acqueo") è un movimento naturale del vapore acqueo che si verifica all'interno dei materiali edilizi e degli isolanti. La forza motrice di tale migrazione è la differenza di pressione del vapore acqueo su entrambi i lati del componente. Il vapore acqueo si muove dal lato a pressione maggiore in direzione del gradiente di pressione. La pressione del vapore acqueo dipende dalla temperatura e dall'umidità relativa. La resistenza alla diffusione del vapore acqueo, nota anche come valore  $\mu$  (che si pronuncia mu), indica quante volte la resistenza alla diffusione di uno strato di un materiale edilizio è maggiore rispetto a uno strato di aria statica dello stesso spessore.  $\mu$  è un coefficiente proprio dei materiali, è adimensionale e dipende dalla temperatura. Quanto minore è il valore  $\mu$  di un materiale isolante, tanto maggiore è l'aumento del contenuto di umidità nell'isolante a causa dei processi di diffusione, che a sua volta determina maggiori dispersioni di energia. A seconda

del tipo di elastomero impiegato, Armaflex ha una resistenza alla diffusione del vapore acqueo che arriva a  $\mu = 10\ 000$ . In alcuni casi particolari si ottengono valori di  $\mu = 20\ 000$ .

## Spessore dello strato di aria equivalente per la diffusione del vapore acqueo

Un'altra proprietà che riguarda la resistenza alla diffusione del vapore acqueo è lo spessore dello strato di aria equivalente per la diffusione del vapore acqueo (valore  $s_d$ ). A differenza del valore  $\mu$ , questo valore tiene conto dello spessore del materiale da costruzione. Esprime, cioè, in modo chiaro la resistenza alla diffusione del vapore acqueo indicando lo spessore che uno strato di aria statica deve avere perché si verifichi lo stesso flusso di diffusione del vapore nelle stesse condizioni del materiale in esame. Il valore  $s_d$  indica quanto un materiale da costruzione è efficace o inefficace come barriera al vapore. Come illustrato nella figura 4, per avere la stessa resistenza alla trasmissione del vapore acqueo di  $19\text{ mm}$  di AF/Armaflex lo strato di aria statica dovrebbe avere uno spessore di  $190\text{ m}$ .

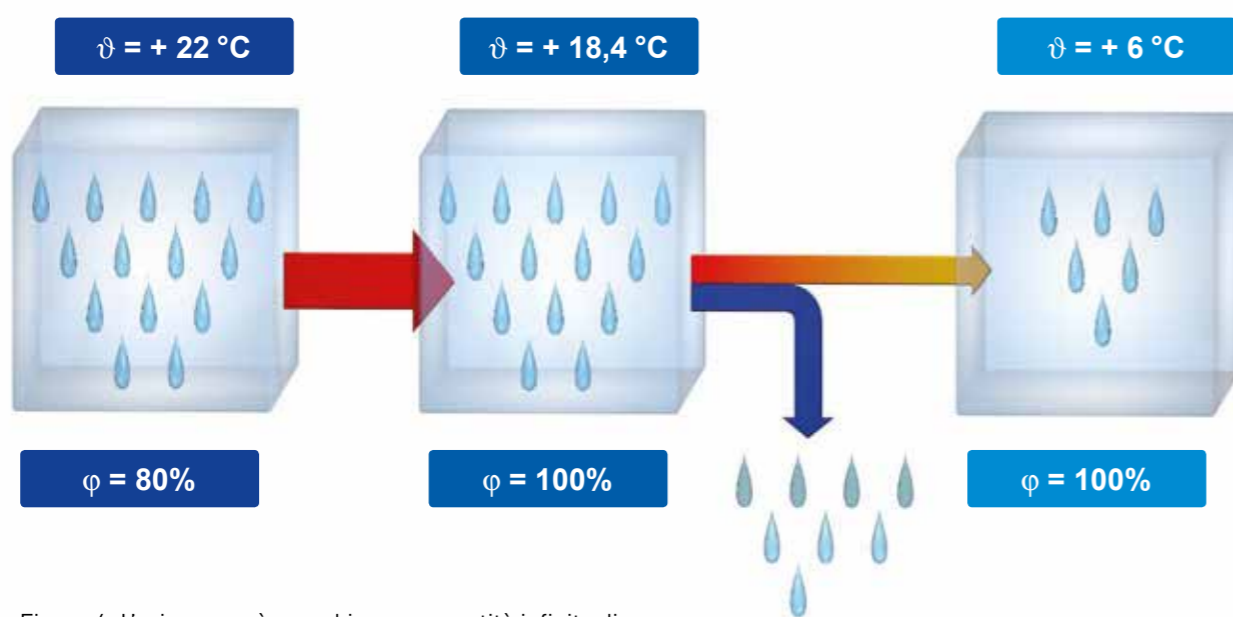


Figura 6: L'aria non può assorbire una quantità infinita di vapore acqueo

## Épaisseur de la couche d'air de différents matériaux équivalant à la diffusion de vapeur d'eau

Isolation	Épaisseur de la couche d'air équivalant à la diffusion de vapeur d'eau
Air $\mu = 1, s = 100\text{ mm}$	$s_d = 0,1\text{ m}$
Laine minérale $\mu = 1, s = 100\text{ mm}$	$s_d = 0,1\text{ m}$
Polyuréthane $\mu = 100, s = 100\text{ mm}$	$s_d = 10\text{ m}$
FEF $\mu \geq 5\ 000, s = 100\text{ mm}$ $s = 19\text{ mm}$	$s_d = 500\text{ m}, s_d = 95\text{ m}$
AF/Armaflex $\mu \geq 10\ 000, s = 100\text{ mm}$ $s = 19\text{ mm}$	$s_d = 1\ 000\text{ m}, s_d = 190\text{ m}$

Figura 7: Spessore dello strato di aria equivalente per la diffusione del vapore acqueo in vari materiali

### Dispersioni di energia elevate dovute all'assorbimento dell'umidità

Nelle applicazioni fredde è fondamentale che il materiale isolante sia protetto contro la penetrazione dell'umidità. Il potere isolante di un materiale è fortemente ridotto dall'umidità. Di conseguenza, quando si sceglie e si calcola lo spessore dell'isolamento in tali applicazioni, è necessario tenere a mente che utilizzando materiali isolanti con un  $\mu$  basso le dispersioni di energia possono aumentare in maniera considerevole durante la vita utile dell'attrezzatura a causa della penetrazione dell'umidità. L'acqua ha una maggiore conducibilità termica rispetto ai materiali isolanti. Pertanto l'assorbimento dell'umidità ha sempre come effetto l'aumento della conducibilità termica del materiale isolante e una riduzione della sua capacità di isolamento. Con qualsiasi contenuto di umidità in % in volume, la conducibilità termica aumenta e il potere isolante peggiora. La conseguenza non è solo una maggiore dispersione di energia, ma anche una diminuzione della temperatura superficiale. Se questa scende al di sotto del punto di rugiada si verifica la condensa. Solo se la conducibilità termica del materiale isolante non aumenta significativamente in seguito alla penetrazione dell'umidità si può essere certi che la temperatura superficiale resterà sopra il punto di rugiada anche dopo molti anni di funzionamento.

L'aumento della conducibilità termica dei materiali isolanti in dipendenza del contenuto di umidità è stato documentato già negli anni Ottanta da Joachim Achtziger

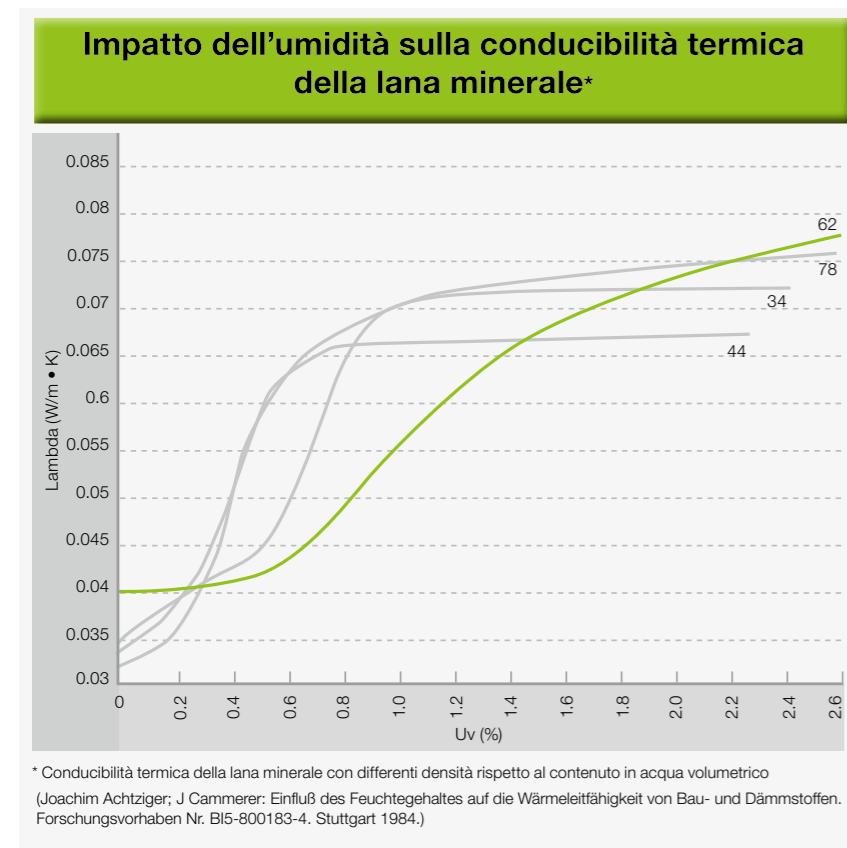


Figura 8: Impatto dell'umidità sulla conducibilità termica della lana minerale



Come non dovrebbe essere: un isolamento che all'inizio è efficace ma su cui dopo che l'attrezzatura è stata in funzione per un certo periodo si formano condensa o - come in questo caso - ghiaccio

Come dovrebbe essere: l'utilizzo di materiali idonei e correttamente dimensionati previene la formazione della condensa



e J. Cammerer. Le loro ricerche si sono concentrate sull'influsso dell'umidità sul potere isolante di vari materiali a base di lana minerale con densità grezze oscillanti tra 34 e 78 kg/m<sup>3</sup>.

I materiali isolanti sono stati applicati su una tubazione in rame di 35 mm di diametro, con una temperatura della linea di 60 °C e una temperatura ambiente di 22 °C. Come mostra la figura 8, la conducibilità termica di un isolante in lana minerale con una densità di 62 kg/m<sup>3</sup> (linea verde) è pari a 0,040 W/(m · K) con un contenuto di umidità dello 0%, ma sale a 0,075 W/(m · K) quando il contenuto di umidità è del 2,5 %. Anche nel caso di un assorbimento di umidità così ridotto l'isolante dovrebbe essere aumentato di quattro volte (da 30 a 120 mm) per ottenere lo stesso risparmio energetico.

I materiali isolanti elastomerici flessibili (FEF) hanno una struttura a cellule completamente chiuse e un'elevata resistenza alla diffusione del vapore acqueo. Nel caso dei materiali isolanti Armacell la barriera al vapore non è concentrata su una lamina sottile o su un materiale simile, ma è ottenuta con lo spessore dell'isolamento in ciascuna cellula. Pertanto non è necessario applicare una barriera al vapore separata.

### **Maggiore risparmio energetico grazie all'isolamento ad alto rendimento**

La prevenzione della formazione di condensa sulla superficie è un requisito minimo che ogni isolamento deve soddisfare nel lungo periodo e anche in condizioni critiche. I prerequisiti a questo scopo sono una qualità elevata del materiale e dell'esecuzione e uno spessore corretto dell'isolamento. I progettisti e gli installatori che rinunciano alla qualità per mantenere bassi i costi, che non utilizzano materiali idonei o progettano e installano isolamenti di spessore troppo sottile vanno incontro a rischi incalcolabili.

Spessori dell'isolamento minimi, che prevengono unicamente la formazione della condensa, non sono in genere ottimali per la riduzione delle dispersioni energetiche.

L'installazione di spessori maggiori ha come effetto un risparmio significativamente maggiore di energia e di emissioni di CO<sub>2</sub>. Quantità maggiori di isolante - cioè spessori che vanno oltre il controllo della condensa - richiedono investimenti leggermente superiori ma si ripagano durante il ciclo di vita e permettono di ottenere notevoli risparmi economici dopo appena pochi anni.



## **AUTHOR**

**Georgios Eleftheriadis**

Armacell Manager Technical  
Marketing EMEA

### **Armacell Italia Srl**

Centro Direzionale Torri Bianche, ed. Betulla  
Via Torri Bianche 10 • 20871 Vimercate (MB)  
Telefono +39 039 94 57 001  
info.it@armacell.com • www.armacell.it