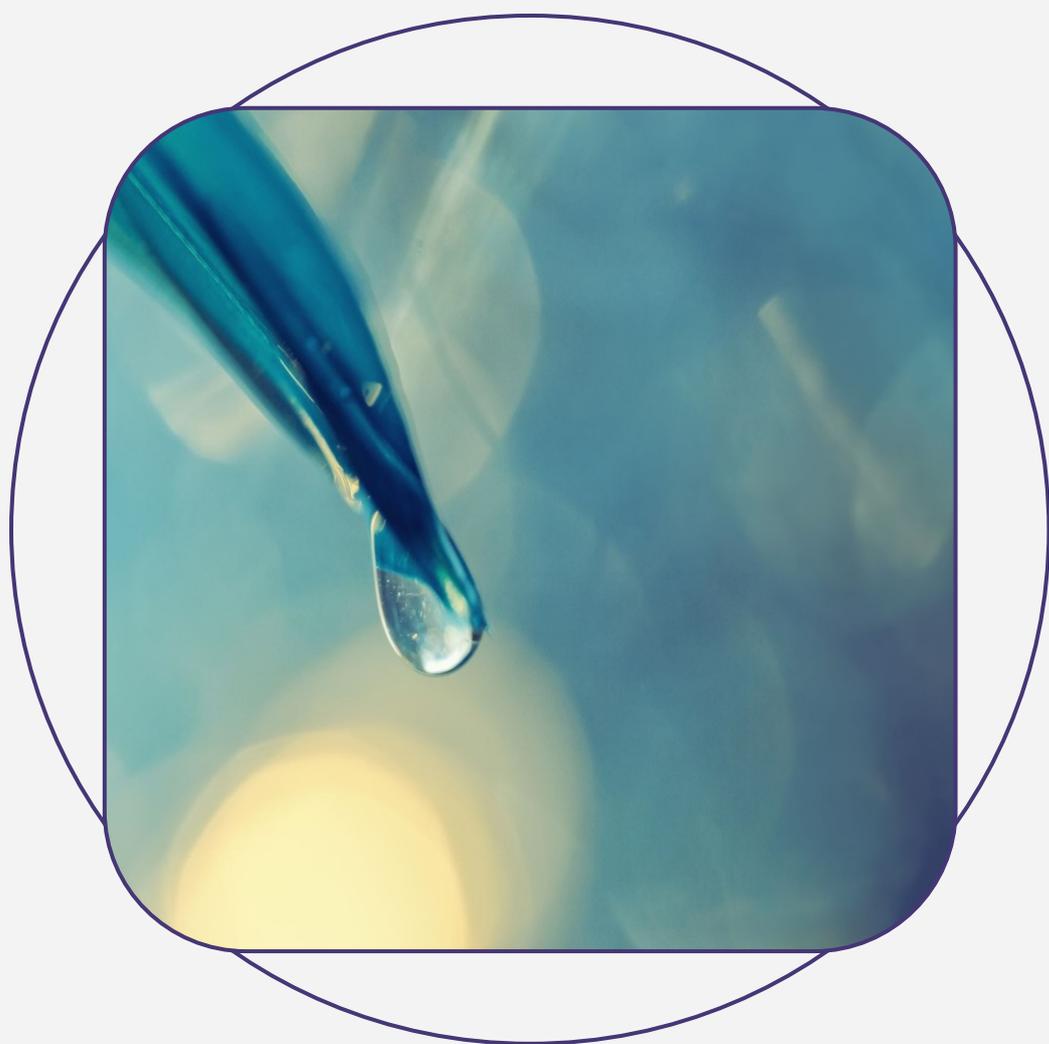




# ANALISI DEL RISCHIO DI CONDENSAZIONE

Valutazioni igrotermiche per pareti e coperture.  
Esempi con pannelli in poliuretano.



## I MANUALI ANIT

ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, pubblica periodicamente **guide e manuali** sulle tematiche legate all'efficienza energetica e all'isolamento acustico degli edifici.

Gli argomenti trattati riguardano la legislazione, le norme tecniche di riferimento, le tecnologie costruttive, le indicazioni di posa e molto altro.

Le **guide** sono riservate ai Soci ANIT e analizzano leggi e norme del settore, i **manuali** sono scaricabili per tutti gratuitamente e affrontano con un taglio pratico temi sviluppati in collaborazione con le Aziende associate.



## STRUMENTI PER I SOCI

I soci ricevono



Costante **aggiornamento** sulle **norme in vigore** con le GUIDE



I software per calcolare **tutti i parametri** energetici, igrotermici e acustici degli edifici



Servizio di **chiarimento tecnico** da parte dello Staff ANIT

I servizi e la quota di iscrizione variano in base alla categoria di associato (Individuale, Azienda, Onorario).

**Il presente manuale è realizzato in collaborazione con:**

***stiferite***<sup>®</sup>  
***l'isolante termico***

### Tutti i diritti sono riservati

Questo documento è stato realizzato da Tep s.r.l.

Le informazioni riportate sono da ritenersi indicative ed è sempre necessario riferirsi a eventuali documenti ufficiali in vigore. I contenuti sono aggiornati alla data in copertina. Si raccomanda di verificare sul sito [www.anit.it](http://www.anit.it) l'eventuale presenza di versioni più aggiornate.

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di Tep s.r.l.

# INDICE

<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>1 CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE E OBBLIGHI DI LEGGE.....</b>	<b>3</b>
1.1 <i>Le regole in vigore .....</i>	3
1.2 <i>L'evoluzione dagli anni '90 ad oggi .....</i>	4
<b>2 CONTROLLO IGROTERMICO O TRASPIRABILITÀ?.....</b>	<b>6</b>
2.1 <i>La trasmissione del vapore attraverso le strutture opache .....</i>	6
2.2 <i>Traspirabilità dai muri e ricambi d'aria dalle finestre .....</i>	7
2.3 <i>Condensa superficiale, interstiziale o muffa?.....</i>	9
2.4 <i>Le prestazioni igrotermiche dei materiali.....</i>	10
<b>3 IL CALCOLO DELLA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE .....</b>	<b>12</b>
3.1 <i>Analisi stazionaria col metodo di Glaser – UNI EN ISO 13788.....</i>	12
3.2 <i>Analisi igrotermica dinamica – UNI EN 15026 .....</i>	14
3.3 <i>Criteri di corretta progettazione.....</i>	16
<b>4 STRUTTURE ISOLATE CON PANNELLI IN POLIURETANO .....</b>	<b>17</b>
4.1 <i>Parete perimetrale: isolamento a cappotto su muratura .....</i>	17
4.2 <i>Parete perimetrale: isolante accoppiato a cartongesso senza telaio.....</i>	21
4.3 <i>Copertura piana zavorrata con lastrico solare .....</i>	25
4.4 <i>Copertura a falde: tetto caldo con membrana impermeabilizzante .....</i>	28
<b>CONTATTI .....</b>	<b>31</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>31</b>

## PREMESSA

Il controllo delle prestazioni igrotermiche di una struttura riqualificata (sia essa una parete o una copertura) è fondamentale per garantire la qualità di ogni progetto. In particolare, l'analisi del rischio di condensazione interstiziale gioca un ruolo cruciale nelle scelte dei materiali e nell'ordine degli strati nella stratigrafia progettata.

Questo manuale offre un riassunto legislativo sulle regole igrotermiche in vigore per le strutture dell'involucro opaco e un approfondimento normativo sui metodi di calcolo e sui concetti di condensazione, traspirabilità e rischio muffa, spesso confusi e sovrapposti tra loro.

Infine, nelle pagine conclusive, sono presentati alcuni esempi di analisi igrotermica per soluzioni di isolamento di pareti e coperture.

Il lavoro è stato realizzato in collaborazione con l'azienda STIFERITE associata ad ANIT dal 2018.

Buona lettura.

# 1 CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE E OBBLIGHI DI LEGGE

## 1.1 Le regole in vigore

La Legge italiana ad oggi prevede regole specifiche sul controllo del rischio di condensazione interstiziale ogni volta che si interviene sull'involucro opaco di un edificio sia di nuova costruzione sia esistente.

Queste regole rientrano nelle verifiche igrotermiche del DM 26/6/2015 "Decreto Requisiti minimi" riportate all'Art. 2.3 comma 2 dell'Allegato 1 come segue:

*Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788), alla verifica dell'assenza:*

- *di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;*
- *di condensazioni interstiziali.*

*Le condizioni interne di utilizzazione sono quelle previste nell'appendice alla norma sopra citata, secondo il metodo delle classi di concentrazione. Le medesime verifiche possono essere effettuate con riferimento a condizioni diverse, qualora esista un sistema di controllo dell'umidità interna e se ne tenga conto nella determinazione dei fabbisogni di energia primaria per riscaldamento e raffrescamento.*

Queste indicazioni, in vigore dal 1° ottobre 2015, si applicano a tutti gli ambiti d'applicazione che riguardano l'involucro edilizio, ovvero:

- edifici di nuova costruzione;
- interventi di demolizione e ricostruzione;
- ampliamenti volumetrici e recupero di volumi esistenti;
- ristrutturazioni importanti di 1° e 2° livello,
- riqualificazioni energetiche d'involucro.

A completare il quadro legislativo, ricordiamo anche le 3 FAQ ministeriali con cui il legislatore ha commentato il suddetto passaggio:

### **FAQ 2.24 di agosto 2016.**

*Considerando il fatto che la norma UNI EN ISO 13788 prevede la possibilità di utilizzare metodi più raffinati ed eventualmente dinamici, la verifica legislativa può essere eseguita anche in accordo con tali metodi (nдр. ovvero attraverso un'analisi igrotermica dinamica secondo UNI EN 15026).*

### **FAQ 2.25 di agosto 2016.**

*Per il controllo del rischio muffa con l'espressione "con particolare attenzione ai ponti termici" si intende che la verifica deve essere effettuata sia sulla sezione corrente che sul ponte termico. Il calcolo deve essere effettuato con riferimento alle norme UNI EN ISO 13788 e UNI EN ISO 10211.*

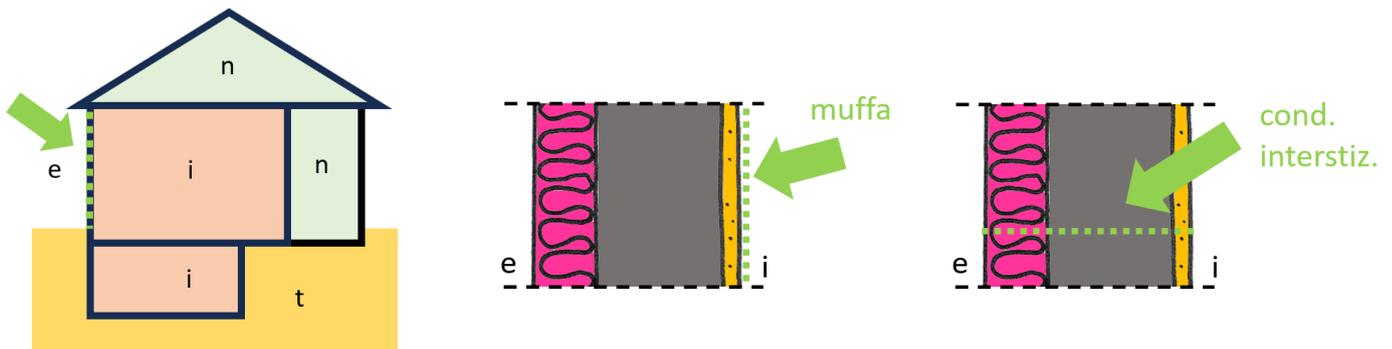
(nдр. i soci ANIT possono eseguire tali verifiche con i software PAN e IRIS).

### **FAQ 3.11 di dicembre 2018.**

*Per la verifica della condensa interstiziale si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788). Si ritiene che la condensazione interstiziale possa considerarsi assente quando siano soddisfatte le condizioni poste dalla norma, ovvero la quantità massima ammissibile e nessun residuo alla fine di un ciclo annuale.*

Riassumendo quindi l'insieme delle indicazioni legislative (testo di legge e FAQ), possiamo dire che:

- 1- Le verifiche igrotermiche toccano 2 aspetti fondamentali:
  - il controllo del rischio di muffa sulla superficie interna delle strutture,
  - il controllo del rischio di condensazione lungo la sezione delle strutture.
- 2- Le verifiche si applicano solo agli elementi d'involucro che hanno queste caratteristiche:
  - sono strutture opache;
  - sono oggetto di intervento;
  - delimitano il volume climatizzato verso l'esterno.
- 3- I calcoli igrotermici devono essere eseguiti in accordo alla norma UNI EN ISO 13788 oppure alla norma UNI EN 15026.



**Figura 1.** Le verifiche igrotermiche si applicano alle sole strutture opache oggetto di intervento che separano l'ambiente interno climatizzato dall'ambiente esterno. La verifica del rischio di muffa riguarda un controllo delle condizioni superficiali interne della struttura in esame, mentre la verifica del rischio di condensazione interstiziale un controllo lungo tutta la sezione della stratigrafia in esame.

## 1.2 L'evoluzione dagli anni '90 ad oggi

Possiamo riassumere lo sviluppo legislativo e normativo, inteso come evoluzione delle indicazioni di legge e delle procedure di calcolo, con lo schema riportato in Figura 2.

### Evoluzione legislativa

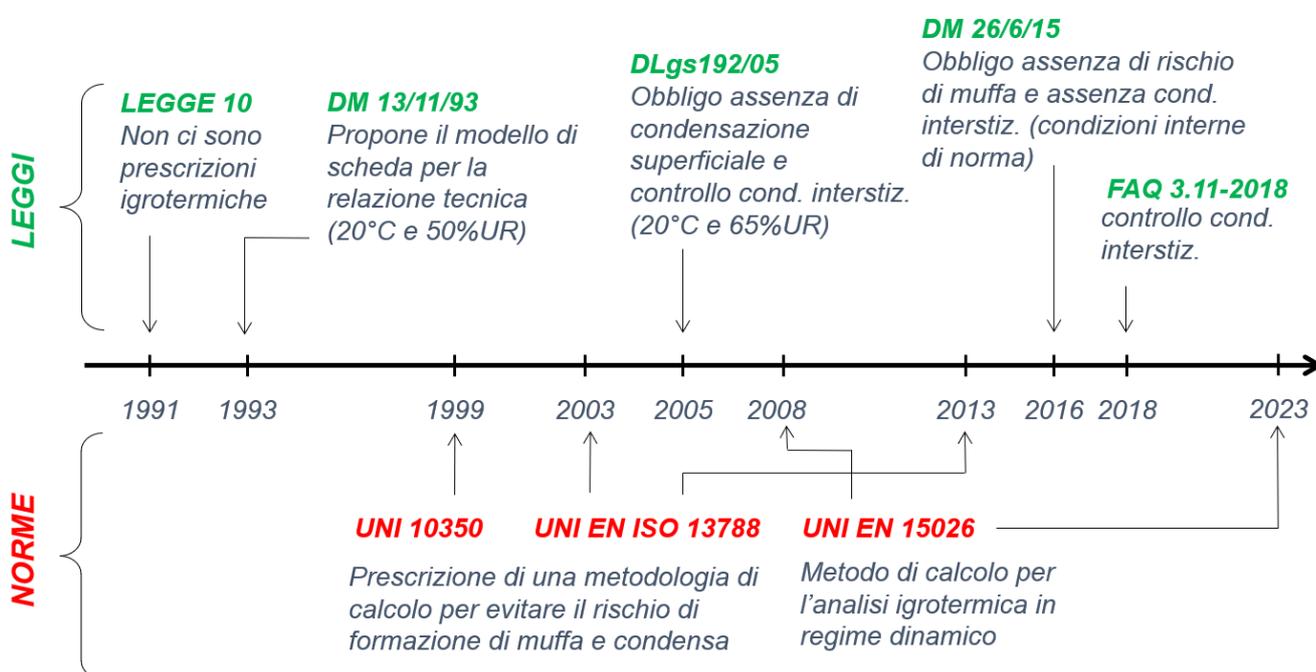
- La Legge 10 pubblicata nel 1991 e il suo decreto attuativo DM 13/11/93, in vigore negli anni '90 e nei primi anni 2000, non imponevano esplicitamente un controllo del rischio di condensazione interstiziale o superficiale, ma semplicemente invitavano il progettista a compilare una scheda per ogni stratigrafia chiedendo indicazioni sui risultati ottenuti (presenza o assenza di condensazione).
- Il DLgs 192/2005, in vigore dall'8 ottobre 2005, segna un importante spartiacque per il controllo igrotermico imponendo finalmente una verifica esplicita del rischio di condensazione superficiale e interstiziale a partire da un calcolo con un ambiente interno a 20°C e 65%UR.
- Il DM 26/6/2015, in vigore dal 1° ottobre 2015, come detto cambia nuovamente le regole spostando la verifica superficiale sul controllo del rischio muffa e confermando la necessità di un controllo del rischio di condensazione interstiziale. Le modalità di calcolo cambiano e si allineano completamente alle indicazioni di norma (senza più imporre condizioni interne fisse).

### Evoluzione normativa

- La prima norma UNI che codifica l'analisi igrotermica delle strutture opache è la UNI 10351:1999 "Componenti edilizi e strutture edilizie - Prestazioni igrotermiche - Stima della temperatura superficiale interna per evitare umidità critica superficiale e valutazione del rischio di condensazione interstiziale".

La norma descrive le modalità di calcolo del rischio di muffa, del rischio di condensa superficiale e del rischio di condensazione interstiziale.

- Nel 2003 e poi nel 2013 la norma UNI 10350 viene sostituita dalla UNI EN ISO 13788 “Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo”. Questa nuova veste internazionale non cambia le modalità di calcolo per identificare le temperature critiche di rischio muffa e condensa superficiale e continua a proporre il cosiddetto “metodo di Glaser” per il controllo del rischio di condensazione interstiziale.
- Nel 2008 e poi nel 2023 viene pubblicata la norma UNI EN 15026 “Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio - Valutazione del trasferimento di umidità mediante simulazione numerica”. Questa norma, di derivazione tedesca, introduce la possibilità di superare le semplificazioni della UNI EN ISO 13788 a favore di un calcolo igrotermico dinamico.



**Figura 2.** Evoluzione legislativa e normativa sul controllo igrotermico delle strutture opache. In alto in verde la cronologia dei testi di leggi che hanno introdotto indicazioni sulle verifiche igrotermiche. In basso in rosso le norme che hanno proposto procedure di calcolo per il controllo igrotermico.

## 2 CONTROLLO IGROTERMICO O TRASPIRABILITÀ?

### 2.1 La trasmissione del vapore attraverso le strutture opache

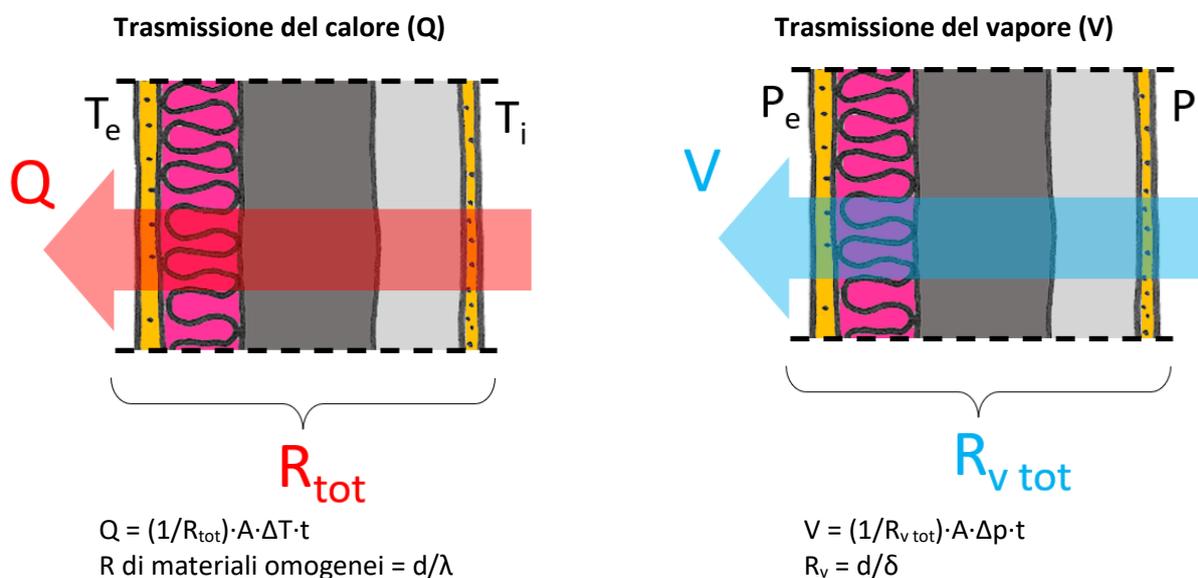
La trasmissione del vapore attraverso una struttura opaca, come ad esempio la parete perimetrale di un edificio, avviene principalmente per “diffusione del vapore”, ovvero grazie alla spinta generata dal salto di pressione tra il vapore nell’ambiente interno e quello dell’ambiente esterno e alle caratteristiche di resistenza al passaggio di vapore dei materiali presenti nella stratigrafia.

Questo fenomeno si comprende facilmente se confrontato con il più noto meccanismo di trasmissione del calore come mostrato in Figura 3. Infatti se per definire la quantità di energia  $Q$  che attraversa una parete in un dato lasso di tempo, è necessario conoscere:

- una caratteristica geometrica, ovvero l’area  $A$  [m<sup>2</sup>] della struttura in esame;
- una caratteristica climatica, ovvero il salto termico  $\Delta T$  [°C] tra interno ed esterno;
- una caratteristica tecnica, ovvero la trasmittanza  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] della stratigrafia, calcolata a partire dalle resistenze termiche  $R$  [m<sup>2</sup>K/W] dei singoli strati, a loro volta calcolate (per i materiali omogenei) come rapporto tra spessore  $s$  [m] e conduttività termica  $\lambda$  [W/mK].

Allo stesso modo, per conoscere la quantità  $V$  di vapore che attraversa la stessa struttura nello stesso intervallo di tempo, è necessario definire:

- una caratteristica geometrica, ovvero l’area  $A$  [m<sup>2</sup>] della struttura in esame;
- una caratteristica climatica, ovvero il salto di pressione di vapore  $\Delta P$  [Pa] tra interno ed esterno;
- una caratteristica tecnica, calcolata a partire dalle resistenze al vapore  $R_v$  [Pa m<sup>2</sup> s/kg] dei singoli strati. Resistenze a loro volta calcolate come rapporto tra spessore  $s$  [m] e permeabilità al vapore  $\delta$  [W/mK].



**Figura 3.** A sinistra lo schema della trasmissione del calore ( $Q$ ) attraverso una stratigrafia opaca. A destra lo schema della trasmissione del vapore ( $V$ ) per diffusione attraverso la stessa struttura. La resistenza al vapore  $R_v$  di uno strato è definita come rapporto tra lo spessore  $d$  e la permeabilità al vapore  $\delta$  (in Tabella 1 sono riassunti i parametri che descrivono le prestazioni al passaggio di vapore).

## 2.2 Traspirabilità dai muri e ricambi d'aria dalle finestre

Come visto nei capitoli precedenti, la legge italiana impone un controllo del rischio di condensazione interstiziale senza aggiungere indicazioni sulla traspirabilità delle strutture opache. Ma qual è il legame tra il controllo igrotermico e il concetto di traspirabilità?

Questi concetti spesso sono confusi e sovrapposti, ma in realtà riguardano due argomenti differenti:

- Il controllo igrotermico riguarda la verifica del rischio di condensazione interstiziale e il rischio formazione di muffa sulla superficie interna di una struttura. Tali verifiche sono affrontate attraverso procedure di calcolo codificate da norme UNI e sono obbligatorie per tutti gli interventi sull'involucro edilizio richiamati dal DM 26/6/2015.
- Il concetto di traspirabilità riguarda invece la capacità di una struttura opaca a favorire il passaggio di vapore corrispondente a una bassa resistenza  $R_v$ . È un concetto slegato da vincoli legislativi o normativi (nel senso che non è richiamato dalla legge) e riguarda una libera scelta progettuale.

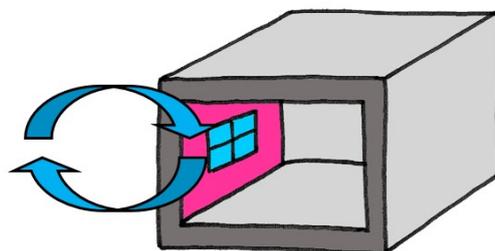
Inoltre al concetto di traspirabilità non vanno attribuiti "poteri" di ricambio d'aria degli ambienti interni. Ovvero non è corretto pensare che senza traspirabilità si creino condizioni interne poco confortevoli dal punto di vista dell'umidità interna.

L'esempio che riportiamo nel box sottostante mostra chiaramente che anche con la massima traspirabilità la quantità di umidità smaltibile dalle strutture opache è infinitesima rispetto a quella smaltita dall'apertura di una finestra.

**In sintesi quindi la traspirabilità di una struttura opaca può essere un elemento del progetto architettonico, ma non va né legata agli obblighi di legge, né correlata al concetto di salubrità degli ambienti interni: una struttura opaca ben progettata e senza rischi igrotermici può avere sia un'alta che una bassa traspirabilità.**

### L'umidità esce dai muri o dalla finestra?

Supponiamo di voler valutare il flusso di vapore che può essere smaltito all'interno di una stanza sia attraverso le pareti che attraverso l'apertura di una finestra.



#### 1. Quanto vapore passa dalla parete?

Il vapore passante attraverso la parete perimetrale si valuta a partire dalla resistenza al passaggio di vapore  $R_v$  di ogni strato ( $R_v$  è pari al rapporto  $s/\delta$ ). Immaginando una stratigrafia caratterizzata da una buona traspirabilità (vd. sotto) si ottiene un valore di  $R_v$  pari a  $0.014767 \cdot 10^{12}$  Pa m<sup>2</sup>s/kg.

	$s$ [m]	$\delta$ [kg/msPa]	$R_v$ [Pa m <sup>2</sup> s/kg]
Intonaco	0.015	5.00 $\cdot 10^{-12}$	0.003000 $\cdot 10^{12}$
Forato 12cm	0.12	18.75 $\cdot 10^{-12}$	0.006400 $\cdot 10^{12}$
Lana di vetro	0.04	150.00 $\cdot 10^{-12}$	0.000267 $\cdot 10^{12}$
Forato da 8cm	0.08	18.75 $\cdot 10^{-12}$	0.004267 $\cdot 10^{12}$
Intonaco	0.015	18.00 $\cdot 10^{-12}$	0.000833 $\cdot 10^{12}$
		totale =	0.014767 $\cdot 10^{12}$

Ipotizzando una stanza di medie dimensioni e le condizioni climatiche di una tipica giornata invernale si ha:

- superficie disperdente verso l'esterno = 23.4 m<sup>2</sup>
- ambiente interno: T=20°C; UR= 62%; Pvi=1450 Pa
- ambiente esterno: T=4.2°C; UR= 80%; Pve=660 Pa

A questo punto possiamo calcolare il flusso di vapore attraverso la parete come segue:

$$\Delta P / R_v \text{ totale} = (1450-660) / 0.014767 \cdot 10^{12} = 5.35 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s m}^2$$

Il flusso di vapore attraverso la facciata si trova moltiplicando questo risultato per l'area in gioco:

$$V = 5.35 \cdot 10^{-8} \cdot 23.4 = 125 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}$$

Infine il flusso di vapore orario smaltito dalla parete si ottiene moltiplicando il risultato per 3600:

$$g'_{\text{orario}} = 125 \cdot 10^{-8} \cdot 3600 = 0.0045 \text{ kg/h} \quad \text{ovvero} \quad \mathbf{4.5 \text{ g/h}}$$

## 2. Quanto vapore esce dalla finestra?

Verifichiamo ora le possibilità di smaltimento del vapore attraverso l'apertura della finestra ipotizzando un ricambio d'aria pari a 0.5 vol/ora e un ambiente con un volume di 56 m<sup>3</sup>.

Da questi dati si ottiene un ricambio d'aria pari a: volume · 0.5 ric/h = 28 m<sup>3</sup>/h

Ricordando che la densità dell'aria è pari a 1.3 kg/m<sup>3</sup>, la massa d'aria di ricambio vale:

$$1.3 \text{ kg/m}^3 \cdot 28 \text{ m}^3/\text{h} = 36.4 \text{ kg/h}$$

Dal diagramma psicrometrico si ricava che:

- il contenuto di umidità dell'aria interna che esce con l'apertura della finestra = 9 g/kg
- il contenuto di umidità dell'aria esterna che entra con l'apertura della finestra = 4 g/kg

Da cui ne consegue che:

- con l'aria in entrata si immettono: 4 g/kg · 36.4 kg/h = 146 g/h di vapore
- con l'aria in uscita si eliminano: 9 g/kg · 36.4 kg/h = 328 g/h di vapore

Con un risultato complessivo di umidità smaltita pari a: (328 – 146) g/h = **182 g/h**

## 3. Conclusioni

Questo esempio mostra come l'aerazione di un locale dipende dall'apertura dei serramenti (o da altri sistemi di ventilazione) responsabile di un flusso di vapore pari a circa 200 g/h quando attivata, e non dalla traspirabilità delle pareti responsabile di un flusso di pochi grammi all'ora.

**Quindi la scelta progettuale di aumentare o diminuire la traspirabilità delle strutture opache non ha effetto sulla qualità dell'aria interna, influenzata invece dalla strategia di ventilazione adottata.**



Condominio a Genova riqualificato con cappotto esterno in PU.

Fonte: Stiferite

## 2.3 Condensa superficiale, interstiziale o muffa?

Il rischio di condensa superficiale, interstiziale o muffa, spesso viene confuso e sovrapposto. Per fare chiarezza riportiamo in tabella le principali differenze:

	Dove si verifica	In che tempi	Condizioni scatenanti
<b>Rischio di condensazione superficiale</b>	Sulle superfici	In modo istantaneo	La temperatura superficiale è più bassa della temperatura di rugiada
<b>Rischio di condensazione interstiziale</b>	All'interno della stratigrafia	In modo istantaneo	La pressione di vapore di uno strato raggiunge la pressione di saturazione
<b>Rischio di formazione di muffa</b>	Sulle superfici	Nell'arco di qualche settimana	Basse temperature superficiali e alta umidità dei locali costanti per lunghi periodi (settimane). Queste condizioni favoriscono la crescita di colonie di muffe sulle superfici interne opache.

Per evitare questi problemi, la regola generale per chi si occupa di progettazione o riqualificazione dell'involucro edilizio, prevede di:

- isolare le strutture opache (pareti, soffitti, pavimenti, ponti termici), in modo da annullare il rischio di condensazione superficiale e il rischio di formazione di muffa;
- controllare l'ordine dei materiali nella stratigrafia, in modo da controllare il flusso di vapore attraverso la struttura (su questo punto vd. capitolo 3 "Il calcolo della condensazione interstiziale").

**Una struttura ben isolata e progettata non avrà problemi di questo tipo.**



Ospedale Madonna del Soccorso a S. Benedetto del Tronto (AP) con cappotto, facciata ventilata e copertura con isolamento in PU. Fonte: Stiferite.

## 2.4 Le prestazioni igrotermiche dei materiali

### La resistenza al passaggio di vapore

La caratteristica igrotermica principale di un materiale è data dalla sua capacità di opporsi (o non opporsi) al flusso di vapore generato da una differenza di pressione di vapore.

Questa caratteristica può essere valutata attraverso la resistenza al passaggio di vapore  $R_v$ , data dal rapporto tra lo spessore del materiale e la sua permeabilità al vapore (vd. Figura 3).

Sebbene però la permeabilità al vapore fornisca un'informazione diretta sul comportamento igrotermico di un materiale, ad oggi è praticamente sostituita da altri due parametri: il "fattore di resistenza al vapore" e lo "spessore equivalente d'aria".

Si tratta di altri indicatori legati al concetto di resistenza al vapore comunemente utilizzati nelle schede di prodotto e nelle informazioni della marcatura CE.

La tabella seguente mostra come i 3 parametri possono essere ricavati l'un l'altro.

**Tabella 1**

Permeabilità al vapore ( $\delta$ ) <i>delta</i>	[kg/msPa]	Rappresenta l'attitudine di un materiale a trasmettere per diffusione il vapor d'acqua presente nell'aria.
Fattore di resistenza al vapore ( $\mu$ ) <i>mu</i>	[-]	Parametro adimensionale definito dal rapporto tra la permeabilità dell'aria (considerata costante) e quella del materiale, ovvero: $\mu = \delta_{\text{aria}} / \delta_{\text{materiale}}$ con $\delta_{\text{aria}} = 187,52 \cdot 10^{-12}$ kg/msPa
Spessore equivalente d'aria ( $S_D$ )	[m]	Spessore di uno strato d'aria in quiete avente la stessa resistenza al vapore dello strato di materiale in esame misurato in metri. Il parametro è solitamente usato per definire la prestazione di teli e membrane. La norma UNI 11470 distingue tra "membrane traspiranti" con $S_D < 0.3$ ; "schermi freno vapore" con $2 < S_D < 100$ ; "schermi barriera vapore" con $S_D > 100$ . $S_D$ e $\mu$ sono legati dalla seguente relazione, dove $d$ è lo spessore in metri del materiale: $S_D = \mu \cdot d$

### Parametri igrotermici avanzati

La resistenza al passaggio di vapore è una caratteristica intrinseca di un materiale o di un sistema che consente di valutare cosa succede quando la stratigrafia divide due ambienti asciutti a differente pressione di vapore.

È una caratteristica che "fotografa" correttamente la prestazione igrotermica in buona parte delle condizioni al contorno di interesse progettuale ed è alla base dello standard di calcolo più diffuso dato dalla norma UNI EN ISO 13788 (vd. capitolo 3.1).

Ma in alcuni casi particolari, soprattutto in presenza di materiali sensibili in condizioni umide, può essere utile non accontentarsi della sola prestazione di resistenza al vapore e abbracciare più parametri igrotermici.

L'uso di parametri igrotermici avanzati, infatti consente di eseguire una valutazione più approfondita in accordo con il modello dinamico dato dalla norma UNI EN 15026 (vd. capitolo 3.2).

I parametri che entrano in gioco per questo tipo di analisi sono però più rari e non disponibili per tutti i materiali come per quelli citati nella Tabella 1.

La Tabella 2 mostra l'elenco delle principali caratteristiche igrotermiche avanzate necessarie al calcolo dinamico della UNI EN 15026.

**Tabella 2**

Funzione di equilibrio igroscopico (w)	[kg/m <sup>3</sup> ]	Detta anche funzione d'accumulo di umidità, indica il contenuto di umidità presente in un materiale per ogni livello di UR dell'ambiente.
Coefficiente di trasporto liquido di assorbimento (Dws)	[m]	Descrive l'assorbimento capillare dell'acqua quando la superficie è completamente bagnata (per esempio in caso di pioggia su una facciata)
Coefficiente di trasporto liquido di redistribuzione (Dww)	[m <sup>2</sup> /s]	Descrive la diffusione dell'acqua assorbita quando il fenomeno esterno è concluso e l'acqua presente nel materiale si sta redistribuendo (in una facciata questo corrisponde alla migrazione di umidità in assenza di pioggia).
Andamento del fattore di resistenza al vapore ( $\mu$ )	[-]	Andamento del fattore in funzione dell'umidità relativa.
Andamento della conduttività termica ( $\lambda$ )	[W/m <sup>2</sup> K]	Andamento in funzione del contenuto d'acqua e della temperatura



Edificio riqualificato con sistema di isolamento dall'esterno, realizzato a secco, Wallevo Cappotto rinforzato.  
Fonte: Stiferite.

## 3 IL CALCOLO DELLA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE

### 3.1 Analisi stazionaria col metodo di Glaser – UNI EN ISO 13788

Per studiare i fenomeni di condensazione interstiziale il legislatore suggerisce di adottare il metodo di calcolo descritto dalla norma UNI EN ISO 13788 comunemente denominato “metodo di Glaser”.

Tale metodo consente di verificare se in una struttura piana, supposta inizialmente asciutta, possa verificarsi condensazione di vapore una volta fissate le condizioni termoigrometriche interne ed esterne medie mensili.

La procedura si basa sul confronto della variazione di due parametri all'interno degli strati che compongono la stratigrafia esaminata:

- pressione di saturazione;
- pressione di vapore.

Per il calcolo, la stratigrafia è suddivisa in una serie di strati fittizi, delimitati dalle loro interfacce, con una resistenza termica non superiore a 0.25 m<sup>2</sup>K/W. Dopodiché per ciascuna interfaccia viene calcolata la temperatura di progetto (avendo fissato le temperature climatiche medie interne ed esterne e le resistenze termiche) e la pressione di saturazione ( $P_{sat}$  misurata in Pa), attraverso la seguente formula:

$$P_{sat} = 610.5 \cdot e^{[(17.269 \cdot T)/237.3 + T]} \quad [1]$$

Dove T è la temperatura dell'aria misurata in K.

A partire invece dall'informazione climatica della pressione di vapore interna ed esterna e dal valore della resistenza al vapore dei vari strati, si ricava la pressione di vapore ( $P_{vap}$  misurata in Pa) per ogni interfaccia attraverso la seguente formula:

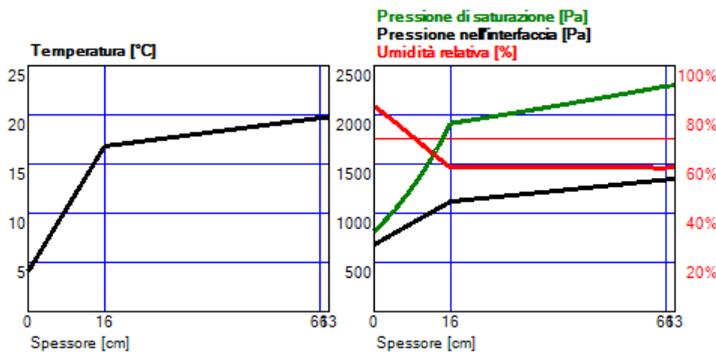
$$P_{vap,n} = P_{vap,e} + \frac{R_{v,n}}{R_{v,tot}} (P_{vap,i} + P_{vap,e}) \quad [2]$$

Dove  $P_{vap,e}$  e  $P_{vap,i}$  sono rispettivamente le pressioni di vapore dell'ambiente esterno ed interno [Pa], mentre  $R_{v,n}$  ed  $R_{v,tot}$  sono le resistenze al vapore all'interfaccia considerata e totale [(Pa m<sup>2</sup> s)/kg].

Applicando questi algoritmi all'intera stratigrafia e per tutti i 12 mesi dell'anno si ottengono una serie di dati solitamente rappresentati in forma grafica (vd. Figura 4) attraverso i cosiddetti “diagrammi di Glaser”.

Questi diagrammi mostrano l'andamento della pressione di saturazione e della pressione di vapore sovrapposti allo schema della stratigrafia e servono per valutare il rischio di condensazione interstiziale:

- se le linee non si toccano significa che la struttura non è soggetta a fenomeni di condensazione, in quanto le condizioni di saturazione non sono mai raggiunte dalle condizioni di progetto;
- se al contrario hanno un punto di contatto, significa che in tale interfaccia si ha formazione di condensazione interstiziale.



**Figura 4**

*Esempio di diagrammi di Glaser. A sinistra l'andamento della temperatura lungo una stratigrafia. A destra la linea verde rappresenta la pressione di saturazione [Pa], la linea nera l'andamento della pressione di vapore nell'interfaccia, mentre la linea rossa l'andamento dell'umidità relativa interstiziale [%]. Esempio eseguito con il software PAN.*

**In caso di formazione di condensazione**

In caso di condensazione interstiziale il vapore che condensa è pari alla differenza tra la quantità di vapore che giunge all'interfaccia, soggetta a condensazione, e la quantità di vapore che diffonde nello strato successivo. La quantità di vapore che diffonde tra due strati, denominati 1 e 2, a diversa pressione di vapore, è calcolata da:

$$g = \frac{(P_{vap,1} + P_{vap,2})}{R_{v,tot}} \tag{3}$$

dove  $g$  rappresenta il flusso (o portata specifica) di vapore [ $kg/m^2s$ ],  $P_{vap,1}$  e  $P_{vap,2}$  sono le pressioni di vapore nel primo e nel secondo strato di calcolo [Pa] e  $R_{v,tot}$  è la resistenza al passaggio di vapore della struttura compresa tra i due interfacce. Dalla formula [3] si ricava:

dall'interno verso il piano di condensazione: 
$$g' = \frac{(P_{vap,i} - P_{vap,pianoCond})}{R'_v} \tag{4}$$

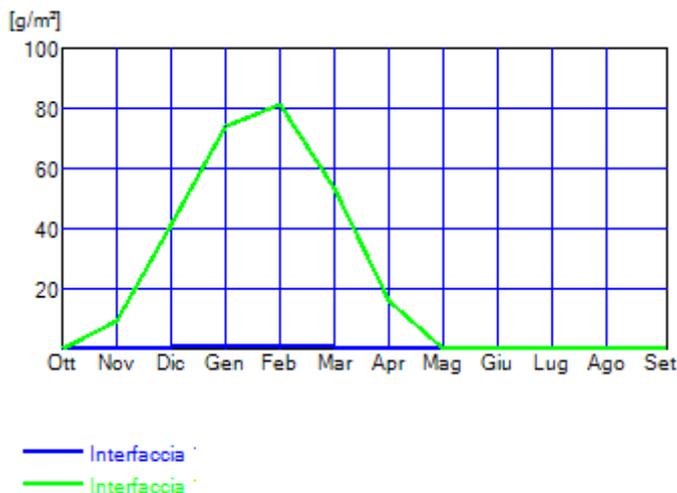
dal piano di condensazione verso l'esterno: 
$$g'' = \frac{(P_{vap,pianoCond} - P_{vap,e})}{R''_v} \tag{5}$$

con  $R'_v$  resistenza al vapore degli strati dall'interno fino al piano di condensazione [ $(Pa \cdot m^2 \cdot s)/kg$ ],  $R''_v$  resistenza al vapore degli strati dal piano di condensazione all'esterno [ $(Pa \cdot m^2 \cdot s)/kg$ ].

Dalla differenza dei due valori  $g'$  e  $g''$  moltiplicata per la lunghezza del mese analizzato si ottiene la quantità di condensa accumulata. Il calcolo va ripetuto per tutti i mesi dell'anno.

Il risultato va poi confrontato rispetto alle indicazioni di norma, ovvero:

- rievaporazione totale della condensa accumulata entro i 12 mesi di calcolo;
- formazione di condensa entro i limiti e comunque non oltre i  $500 g/m^2$ .



**Figura 5**

*Analisi della quantità di condensazione interstiziale. In questo esempio la stratigrafia ha 2 interfacce coinvolte dal rischio di condensazione interstiziale, ma sia la quantità massima raggiunta ( $80 g/m^2$ ) che il periodo di condensazione (da ottobre a maggio) non sfiorano le condizioni di criticità suggerite dalla norma. Esempio eseguito con il software PAN.*

### 3.2 Analisi igrotermica dinamica – UNI EN 15026

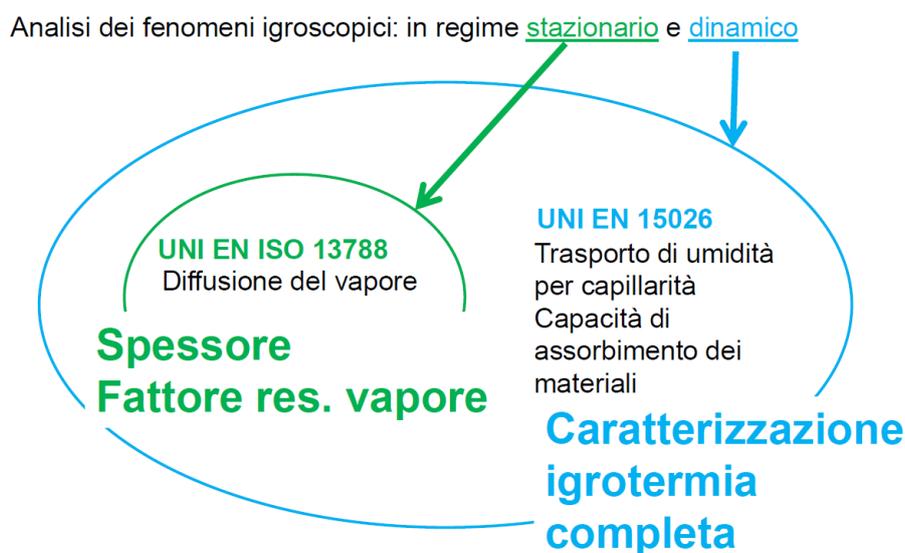
Per superare le semplificazioni del metodo mensile stazionario è possibile eseguire un'analisi igrotermica dinamica oraria in accordo con la norma UNI EN 15026.

Questa analisi, più complessa, è in grado di simulare:

- i fenomeni di condensazione interstiziale in regime variabile,
- l'influenza dell'irraggiamento sulla migrazione del vapore,
- l'influenza della pioggia sulla migrazione del vapore,
- i fenomeni legati all'asciugatura delle strutture,
- il comportamento dell'utenza.

Un'analisi igrotermica dinamica ha però bisogno di una caratterizzazione igrotermica completa sia delle condizioni climatiche al contorno (temperatura, umidità, pressione, pioggia, vento, irraggiamento, ecc.) sia dei materiali che compongono la stratigrafia (curva di equilibrio igroscopico, porosità, relazione tra conduttività termica, umidità relativa e temperatura, variazione del fattore di resistenza al vapore rispetto all'umidità, ecc.).

È bene specificare che vista la complessità della simulazione dinamica rispetto alla verifica tradizionale, è consigliabile eseguire prima una verifica della stratigrafia di progetto con il metodo stazionario e poi, a seconda del risultato ottenuto, un'eventuale verifica dinamica. Se la verifica di Glaser dà come risultato l'assenza di rischio di condensazione, è possibile ritenere ragionevolmente conclusa l'analisi; in caso contrario può essere interessante studiare la stratigrafia con un'analisi dinamica per capire se la condensazione è effettivamente presente o è dovuta alle semplificazioni del primo metodo di calcolo.



**Figura 6.** Norme di riferimento per l'analisi dei fenomeni igroscopici. La norma UNI EN ISO 13788 propone un metodo per il calcolo in regime stazionario medio mensile per la diffusione del vapore, mentre la norma UNI EN 15026 un metodo dinamico orario che abbraccia anche i meccanismi di migrazione del vapore legati al trasporto dell'umidità per capillarità e alla capacità di assorbimento dei materiali.

## Come leggere un grafico di un'analisi igrotermica dinamica

Una delle principali difficoltà con l'analisi igrotermica dinamica è la valutazione dei risultati finali. Infatti purtroppo la norma UNI EN 15026 non dà suggerimenti e lascia all'utente l'analisi critica dei dati ottenuti. In questo manuale, le simulazioni igrotermiche dinamiche del capitolo 4 verranno presentate con grafici come quello riportato in Figura 7, ovvero attraverso lo studio dell'andamento del contenuto di umidità.

Il grafico di Figura 7 mostra delle linee colorate rappresentative dell'andamento d'umidità totale nella stratigrafia in differenti condizioni:

- **arancione** in assenza di isolamento (ad esempio immaginando una parete esistente non isolata),
- **blu** con isolamento (ad esempio dopo una riqualificazione energetica con pannelli di poliuretano).

Il contenuto di umidità inoltre:

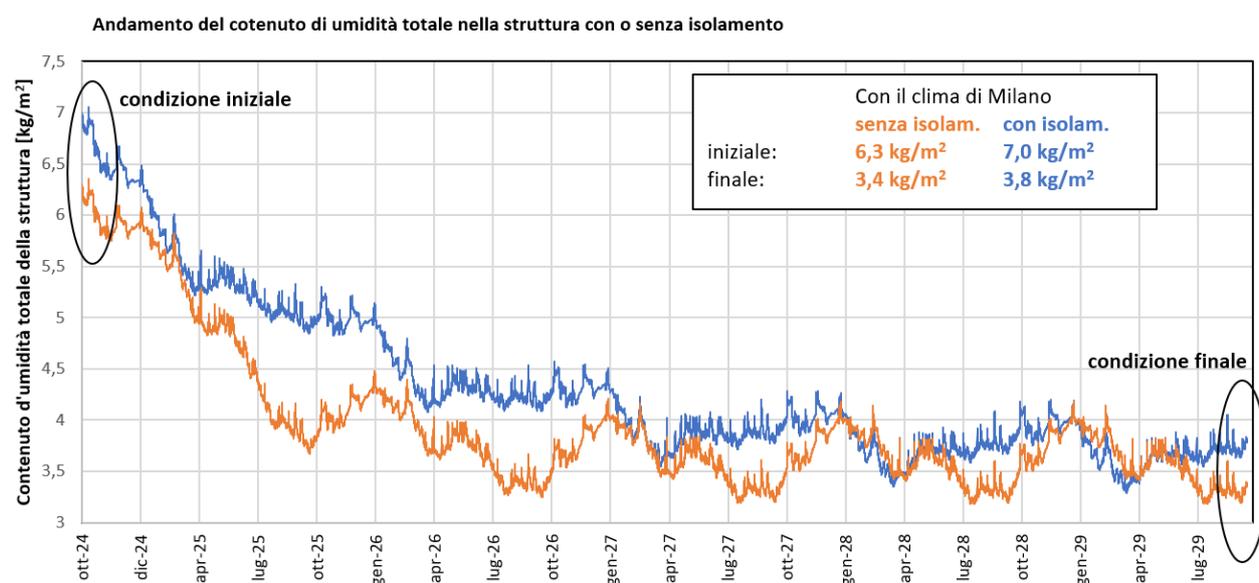
- è simulato per un periodo di tempo di più anni (nel nostro caso 5 anni) per verificare se i cicli stagionali modificano l'andamento dell'umidità presente. Nel grafico si vede dall'asse orizzontale come la simulazione inizi ad ottobre 2024 e finisce a settembre 2029;
- è forzatamente alto all'inizio del calcolo. Infatti la condizione iniziale riportata a sinistra corrisponde a un ipotetico momento in cui la struttura si trova in equilibrio con un ambiente molto umido (con l'80% di umidità relativa). Si tratta di una condizione volutamente alta per enfatizzare i meccanismi di migrazione del vapore in atto durante la simulazione. L'origine di questa umidità (nell'esempio tra i 6 e i 7 kg/m<sup>2</sup>) può essere dovuta ad esempio alla pioggia, alla risalita capillare o a umidità assorbita dai materiali durante la fase di cantiere.

Quello che si osserva per analizzare il grafico riguarda due aspetti:

- la differenza o similitudine di andamento tra la linea arancione e quella blu;
- la tendenza generale verso il basso o verso l'alto delle stesse linee nell'intero periodo.

Se i dati, come nel caso della Figura 7, evidenziano una forte similitudine tra le due linee e una condizione finale nettamente più bassa di quella iniziale, significa che l'isolamento della struttura non ha modificato l'equilibrio igroscopico preesistente (ovvero non ha bloccato la migrazione dell'umidità), e che la struttura è riuscita a smaltire l'eccesso di umidità presente in partenza nell'arco di pochi anni.

In altri termini: l'isolamento ha giovato energeticamente alla parete senza creare problemi di umidità.



**Figura 7.** Esempio di una simulazione igrotermica dinamica. Il grafico mostra l'andamento del contenuto d'acqua totale di una parete con e senza isolamento nell'arco di più anni. L'andamento riportato è tipico di una stratigrafia senza problemi igrotermici. Risultati ottenuti con il software WUFI [12].

### 3.3 Criteri di corretta progettazione

Sintetizzando quanto visto nei capitoli precedenti, per l'analisi del rischio di condensazione interstiziale possiamo dire che, come suggerito dal legislatore, il primo passo riguarda una verifica effettuata secondo la norma UNI EN ISO 13788.

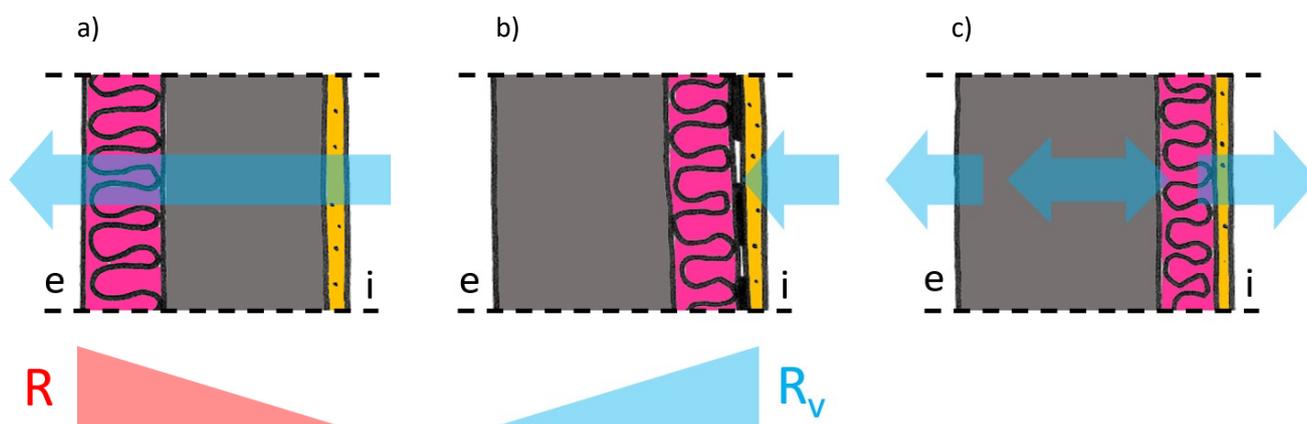
Questa norma semplifica l'analisi igrotermica e fornisce un risultato solamente legato al passaggio di vapore per diffusione nella stratigrafia e valutato in condizioni stazionarie medie mensili.

Per soddisfare la verifica condotta con tale metodo, ovvero per evitare problemi di condensazione interstiziale, i criteri da adottare nella progettazione della stratigrafia sono:

- **disporre i materiali in ordine crescente di resistenza termica dall'interno all'esterno,**
- **disporre i materiali in ordine decrescente di resistenza al vapore dall'interno all'esterno.**

La norma UNI EN ISO 13788, però data la sua semplificazione, può segnalare problemi di condensazione interstiziale anche dove in realtà non ci sono problemi. È il caso tipico di stratigrafie che non rispettano i suddetti due criteri e ad esempio prevedono il posizionamento di un materiale isolante sul lato interno senza barriera al vapore.

In un caso come questo, o in generale, ogni volta che si vuole approfondire l'analisi igrotermica, è possibile procedere ad un calcolo più dettagliato in simulazione dinamica oraria secondo UNI EN 15026.

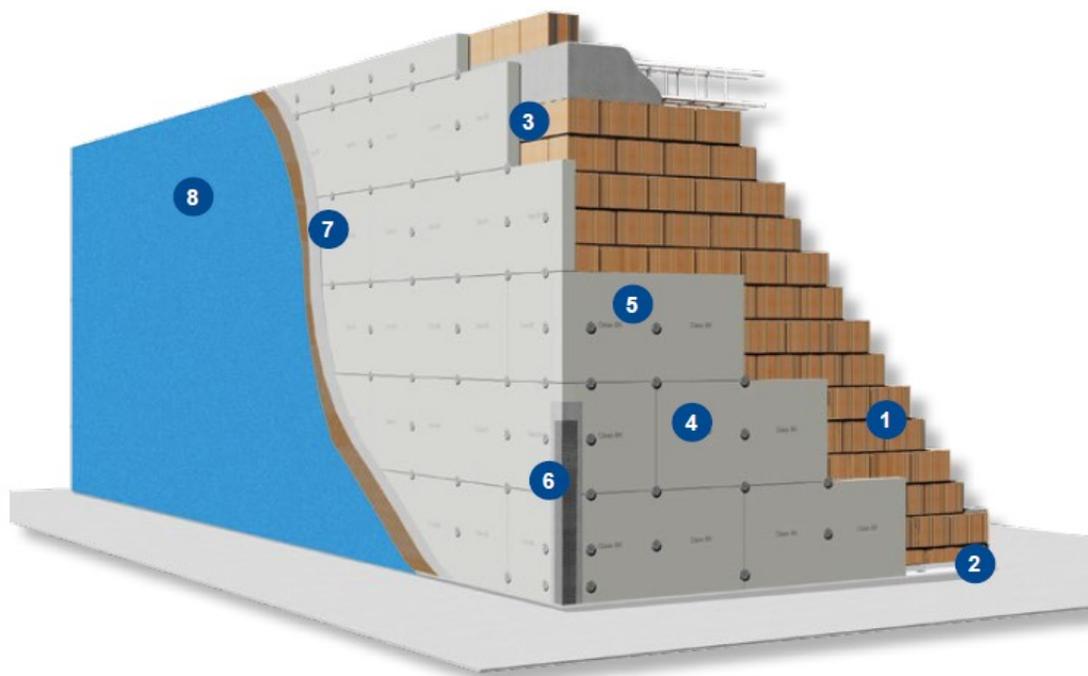


**Figura 8.** Criteri di progettazione igrotermica. Secondo la norma UNI EN ISO 13788 per evitare il rischio di condensazione interstiziale i criteri di progettazione sono quelli rappresentati nello schema a) e b), ovvero disporre i materiali in ordine crescente di resistenza termica dall'interno all'esterno oppure in ordine decrescente di resistenza al vapore dall'interno all'esterno. La norma UNI EN 15026 invece non suggerisce un criterio base di verifica: ogni struttura è analizzata considerando l'interezza dei fenomeni igroscopici in regime dinamico (schema c).

## 4 STRUTTURE ISOLATE CON PANNELLI IN POLIURETANO

### 4.1 Parete perimetrale: isolamento a cappotto su muratura

Esempio di riqualificazione energetica di un edificio esistente con isolamento dall'esterno.



#### Legenda

1. Muratura portante
2. Profilo metallico di partenza
3. Collante
4. Pannello isolante: Stiferite Class SK
5. Tasselli per fissaggio
6. Profilo protettivo degli spigoli
7. Intonaco di fondo e armatura, costituito da due mani di intonaco con interposta rete di armatura in fibra di vetro apprettata
8. Intonaco di finitura

#### Prodotto isolante utilizzato:

**STIFERITE Class SK**



**Descrizione della stratigrafia e principali risultati di calcolo**

		Tipo	Descrizione
	1	ISO	CLASS SK, 160 mm, è un pannello isolante in schiuma PIR, rivestito su entrambe le facce con velo vetro saturato. Class SK è indicato per pareti a cappotto ETICS, ponti termici e sottoporticati
	2	MUR	Mattoni semipieni spessore 30 cm
	3	INT	Intonaco interno

	s [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c_p$ [J/kgK]	$\mu$ [-]	$m_s$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]	$S_D$ [m]	$\alpha$ [m <sup>2</sup> /Ms]
							0,04		
1	0,160	35	0,025	1459	56	5,6	6,400	8,960	0,490
2	0,300	1000	0,337	1000	10	300,0	0,890	3,000	0,337
3	0,020	1400	0,700	1000	10	28,0	0,029	0,200	0,500
							0,130		

*Parametri stazionari*

Spessore totale [m]	0,480
Massa superficiale [kg/m <sup>2</sup> ]	333,6
Massa superficiale esclusi intonaci [kg/m <sup>2</sup> ]	305,6
Resistenza [m <sup>2</sup> K/W]	7,49
Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	0,134
Capacità termica totale [kJ/m <sup>2</sup> K]	336,2

*Parametri dinamici*

	Valori invernali	Valori estivi
Trasmittanza periodica [W/m <sup>2</sup> K]	0,007	0,007
Fattore di attenuazione [-]	0,051	0,052
Sfasamento [-]	16h 14'	16h 13'
Capacità termica periodica interna [kJ/m <sup>2</sup> K]	51,18	52,02
Capacità termica periodica esterna [kJ/m <sup>2</sup> K]	3,72	3,70
Ammetenza interna [W/m <sup>2</sup> K]	3,722	3,783
Ammetenza esterna [W/m <sup>2</sup> K]	0,272	0,271

*Legenda*

Spessore	s	m
Densità	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Conduktività	$\lambda$	W/mK
Calore specifico	$c_p$	J/kgK
Fattore di resistenza al vapore	$\mu$	-

Massa superficiale	$m_s$	kg/m <sup>2</sup>
Resistenza termica invernale	$R_i$	m <sup>2</sup> K/W
Spessore equivalente d'aria	$S_D$	m
Diffusività	$\alpha$	m <sup>2</sup> /Ms

**Analisi del rischio di formazione di muffa e condensazione interstiziale (UNI EN ISO 13788)**

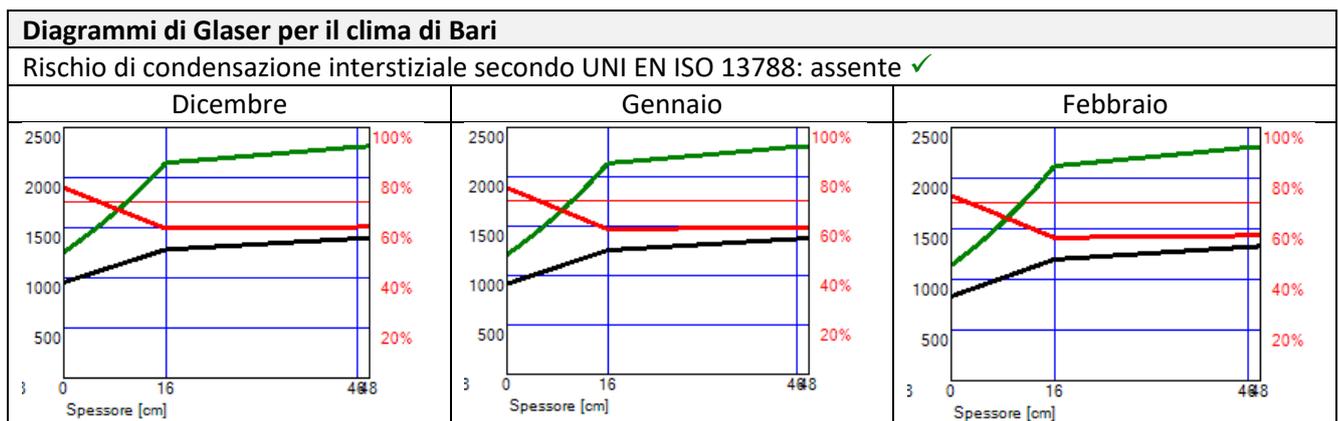
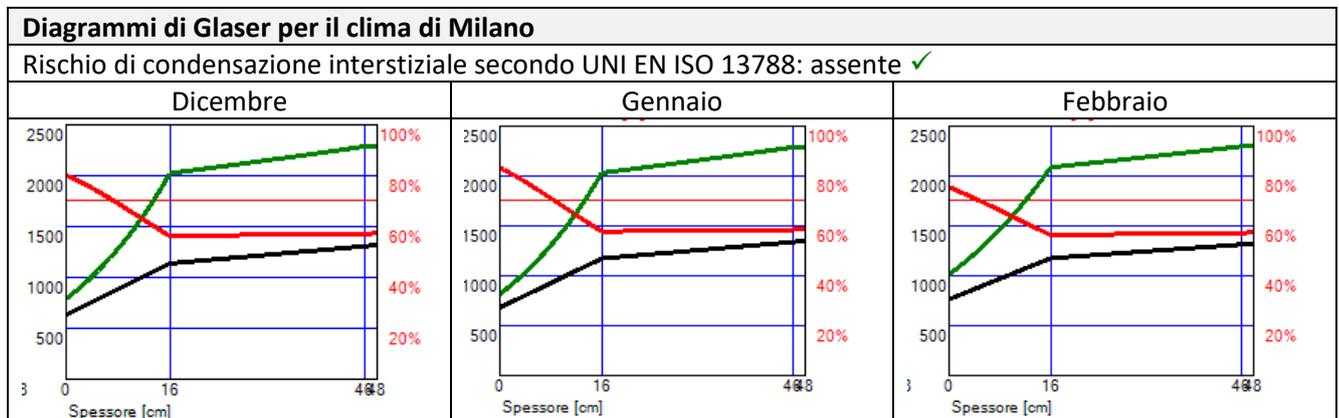
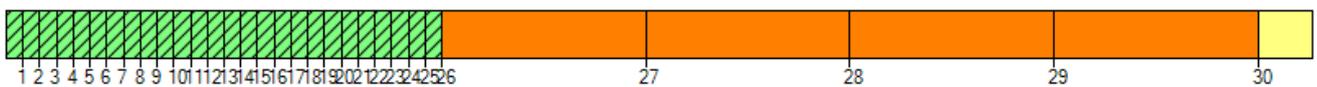
La simulazione è stata condotta per due località climatiche (Milano e Bari).

I risultati del calcolo in regime mensile stazionario mostrano l'assenza sia del rischio di formazione di muffa che di condensazione interstiziale.

Rischio formazione muffa		
Condizioni climatiche	Milano	Bari
Mese critico	Gennaio	Novembre
Resistenza minima accettabile [m <sup>2</sup> K/W]	0,776	0,551
Resistenza termica di progetto [m <sup>2</sup> K/W]	7,489	7,489
Verifica limite	✓	✓

**Rischio di condensazione interstiziale**

Schema delle interfacce di controllo



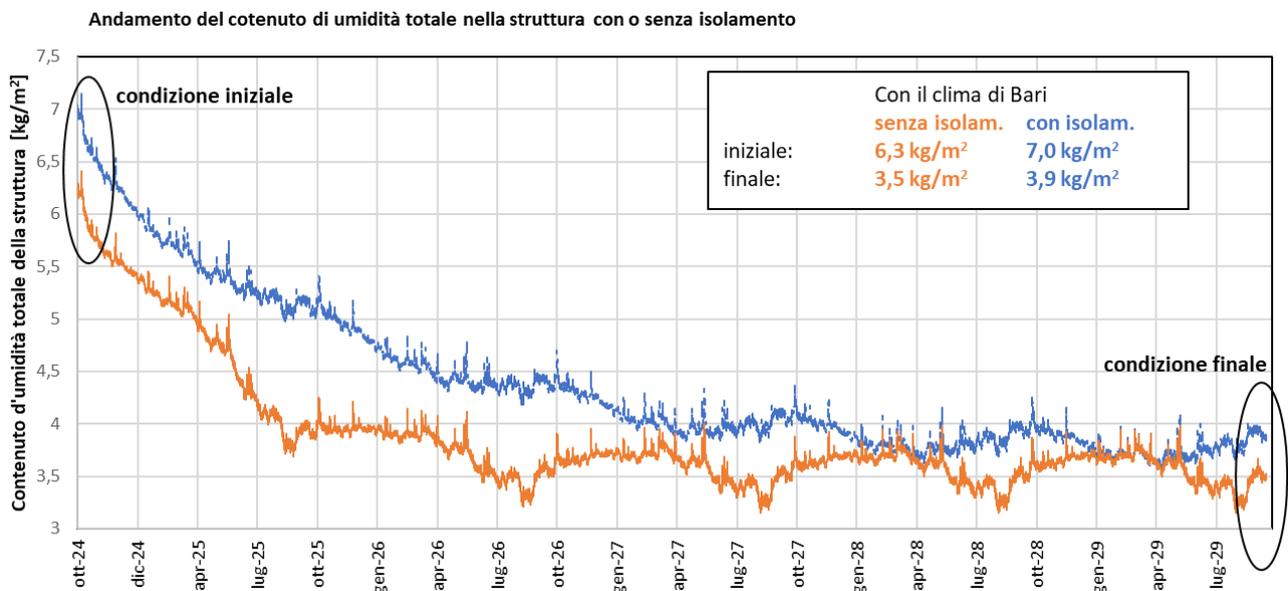
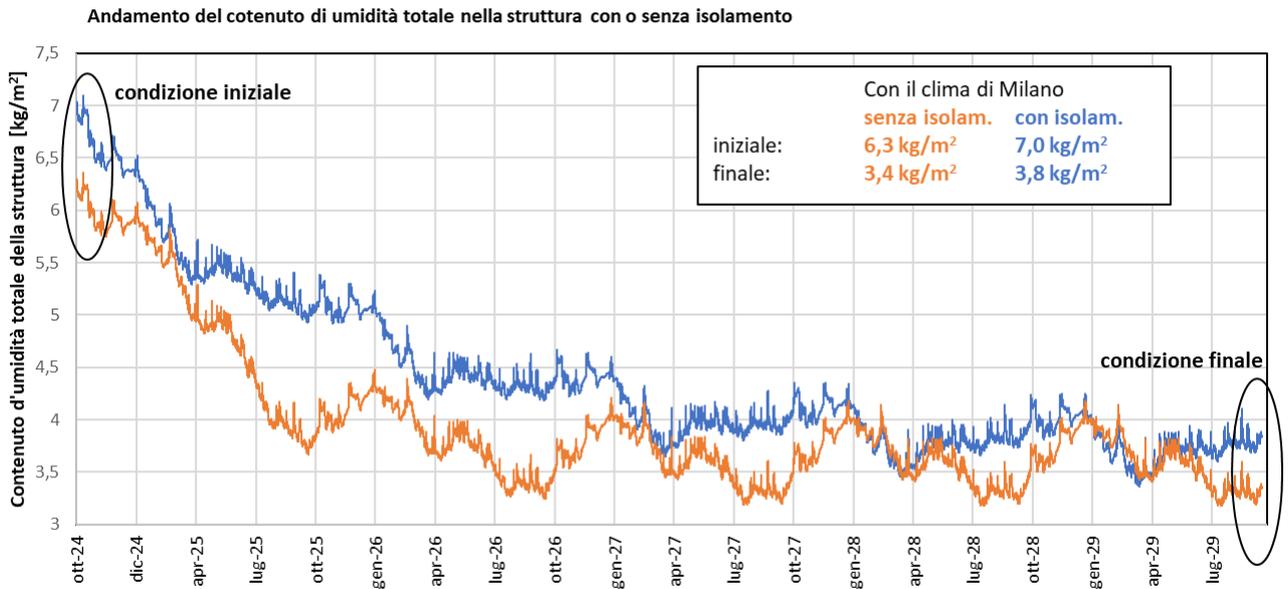
**Legenda**

Pressione di saturazione	<b>Linea verde</b>	Pa
Pressione nell'interfaccia	<b>Linea nera</b>	Pa
Umidità relativa	<b>Linea rossa</b>	%

**Simulazione igrotermica in regime dinamico (UNI EN 15026)**

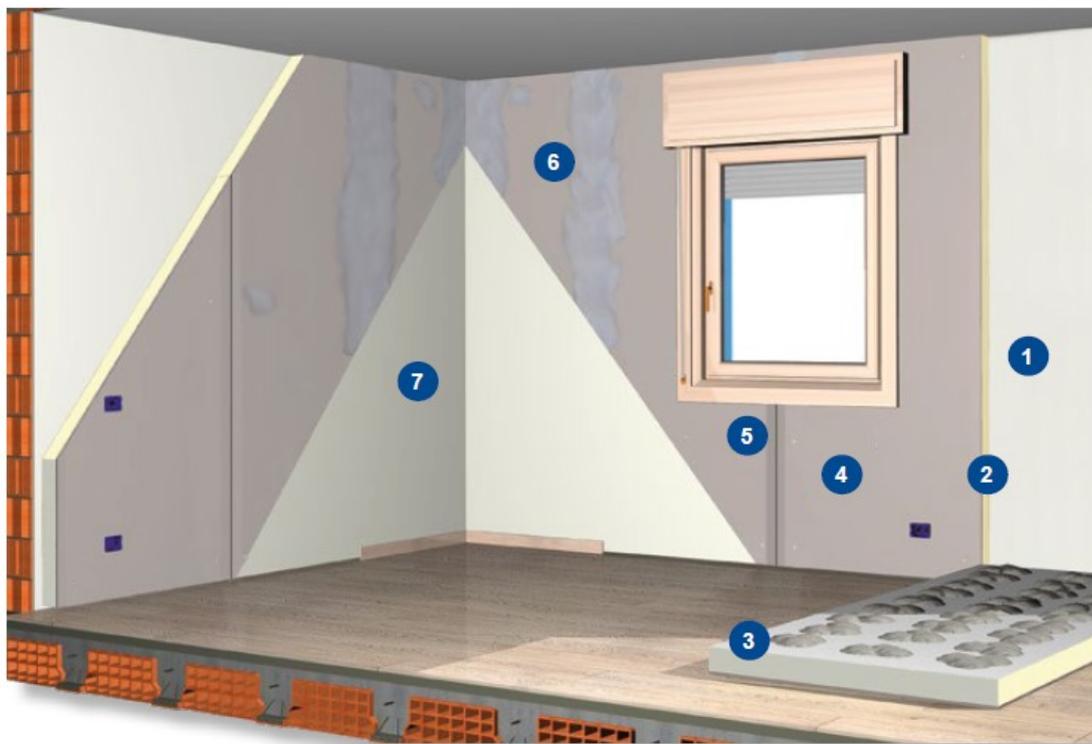
Per questo esempio sono state condotte delle simulazioni in regime igrotermico dinamico. I risultati sono qui riportati in modo sintetico tramite i grafici dell'andamento del contenuto di umidità nella stratigrafia in un arco di 5 anni.

Le simulazioni mettono a confronto il dato per una struttura senza isolamento (linea arancione), immaginando una parete di un edificio esistente, e la stessa struttura con l'aggiunta di uno strato di isolamento (linea blu). Partendo da una condizione iniziale con contenuto di umidità forzatamente alto, entrambe le strutture (non isolata e isolata) si liberano di questa umidità in eccesso e raggiungono una concentrazione più bassa. La somiglianza dell'andamento della linea arancione e della linea blu mostra che l'equilibrio igroscopico della struttura non è alterato dalla riqualificazione energetica.



## 4.2 Parete perimetrale: isolante accoppiato a cartongesso senza telaio

Esempio di riqualificazione energetica di un edificio esistente con isolamento dall'interno. Il pannello isolante posto sul lato interno è rifinito internamente con una lastra in cartongesso.

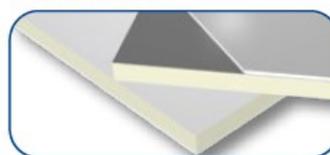


### Legenda

1. Muratura
2. Pannello isolante: Stiferite RP
3. Adesivo distribuito per punti
4. Tasselli con viti in acciaio inox
5. Nastro microforato per il rinforzo dei giunti
6. Stuccatura dei giunti e de punti di fissaggio
7. Strato di finitura

### Prodotto isolante utilizzato:

**STIFERITE RP**



**Descrizione della stratigrafia e principali risultati di calcolo**

		Tipo	Descrizione
	1	INT	Intonaco esterno
	2	MUR	Mattoni semipieni spessore 30 cm
	3	ISO	GTE, di spessore 100 mm, è un pannello sandwich costituito da schiuma PIR, rivestita con alluminio multistrato rinforzato su entrambe le facce
4	ISO	Lastra di gesso costituita da un nucleo in gesso emidratato reidratato, rivestito su entrambe le facce da materiale celluloso con funzione di armatura esterna	

	s [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c_p$ [J/kgK]	$\mu$ [-]	$m_s$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]	$S_D$ [m]	$\alpha$ [m <sup>2</sup> /Ms]
							0,04		
1	0,020	1800	0,900	1000	10	36,0	0,022	0,200	0,500
2	0,300	1000	0,337	1000	10	300,0	0,890	3,000	0,337
3	0,100	34	0,022	1439	89900	3,4	4,545	8990,000	0,450
4	0,013	736	0,210	999	4	9,6	0,062	0,052	0,286
							0,130		

*Parametri stazionari*

Spessore totale [m]	0,433
Massa superficiale [kg/m <sup>2</sup> ]	349,0
Massa superficiale esclusi intonaci [kg/m <sup>2</sup> ]	313,0
Resistenza [m <sup>2</sup> K/W]	5,69
Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	0,176
Capacità termica totale [kJ/m <sup>2</sup> K]	350,4

*Parametri dinamici*

	Valori invernali	Valori estivi
Trasmittanza periodica [W/m <sup>2</sup> K]	0,014	0,012
Fattore di attenuazione [-]	0,078	0,069
Sfasamento [-]	14h 27'	14h 54'
Capacità termica periodica interna [kJ/m <sup>2</sup> K]	11,13	11,13
Capacità termica periodica esterna [kJ/m <sup>2</sup> K]	76,92	67,36
Ammettenza interna [W/m <sup>2</sup> K]	0,813	0,814
Ammettenza esterna [W/m <sup>2</sup> K]	5,592	4,897

*Legenda*

Spessore	s	m
Densità	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Conduttività	$\lambda$	W/mK
Calore specifico	$c_p$	J/kgK
Fattore di resistenza al vapore	$\mu$	-

Massa superficiale	$m_s$	kg/m <sup>2</sup>
Resistenza termica invernale	$R_i$	m <sup>2</sup> K/W
Spessore equivalente d'aria	$S_D$	m
Diffusività	$\alpha$	m <sup>2</sup> /Ms

**Analisi del rischio di formazione di muffa e condensazione interstiziale (UNI EN ISO 13788)**

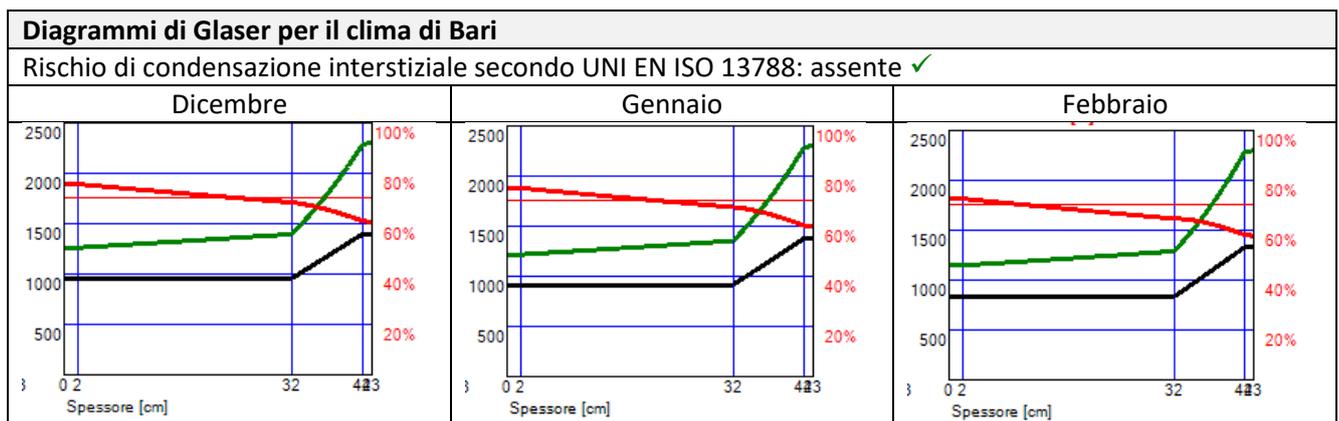
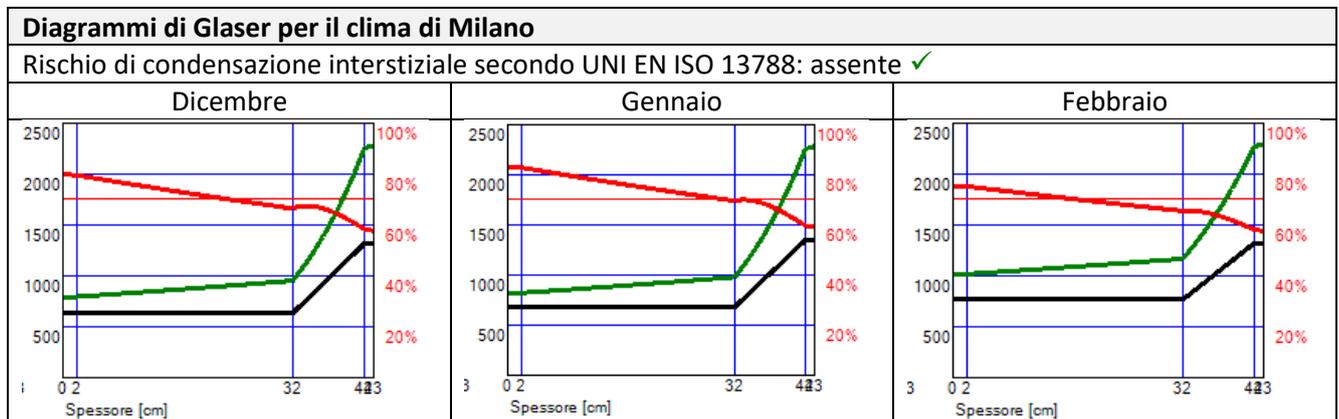
La simulazione è stata condotta per due località climatiche (Milano e Bari).

I risultati del calcolo in regime mensile stazionario mostrano l'assenza sia del rischio di formazione di muffa che di condensazione interstiziale.

Rischio formazione muffa		
Condizioni climatiche	Milano	Bari
Mese critico	Gennaio	Novembre
Resistenza minima accettabile [m <sup>2</sup> K/W]	0,776	0,551
Resistenza termica di progetto [m <sup>2</sup> K/W]	5,690	5,690
Verifica limite	✓	✓

**Rischio di condensazione interstiziale**

Schema delle interfacce di controllo



**Legenda**

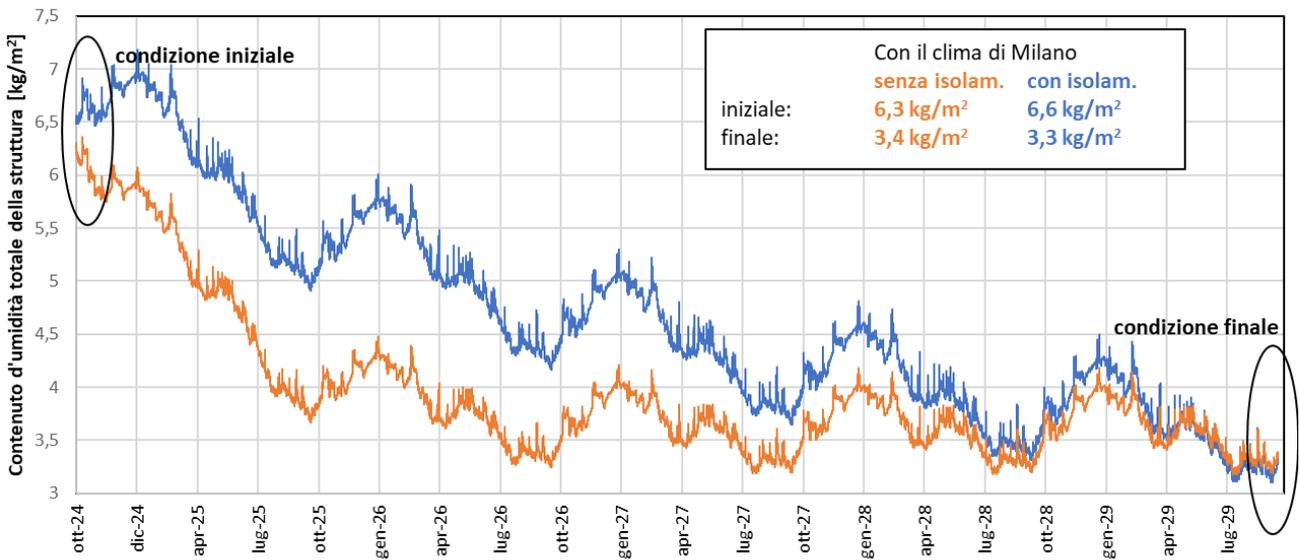
Pressione di saturazione	Linea verde	Pa
Pressione nell'interfaccia	Linea nera	Pa
Umidità relativa	Linea rossa	%

**Simulazione igrotermica in regime dinamico (UNI EN 15026)**

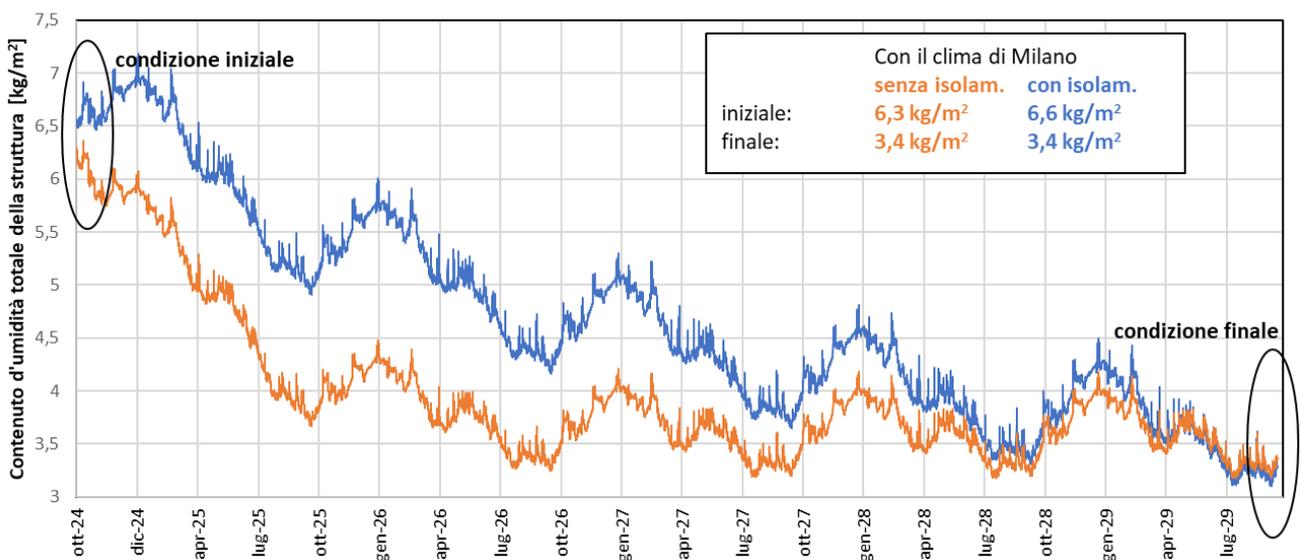
Per questo esempio sono state condotte delle simulazioni in regime igrotermico dinamico. I risultati sono qui riportati in modo sintetico tramite i grafici dell'andamento del contenuto di umidità nella stratigrafia in un arco di 5 anni.

Le simulazioni mettono a confronto il dato per una struttura senza isolamento (linea arancione), immaginando una parete di un edificio esistente, e la stessa struttura con l'aggiunta di uno strato di isolamento (linea blu). Partendo da una condizione iniziale con contenuto di umidità forzatamente alto, entrambe le strutture (non isolata e isolata) si liberano di questa umidità in eccesso e raggiungono una concentrazione più bassa. La somiglianza dell'andamento della linea arancione e della linea blu mostra che l'equilibrio igroscopico della struttura non è alterato dalla riqualificazione energetica.

Andamento del cotenuto di umidità totale nella struttura con o senza isolamento

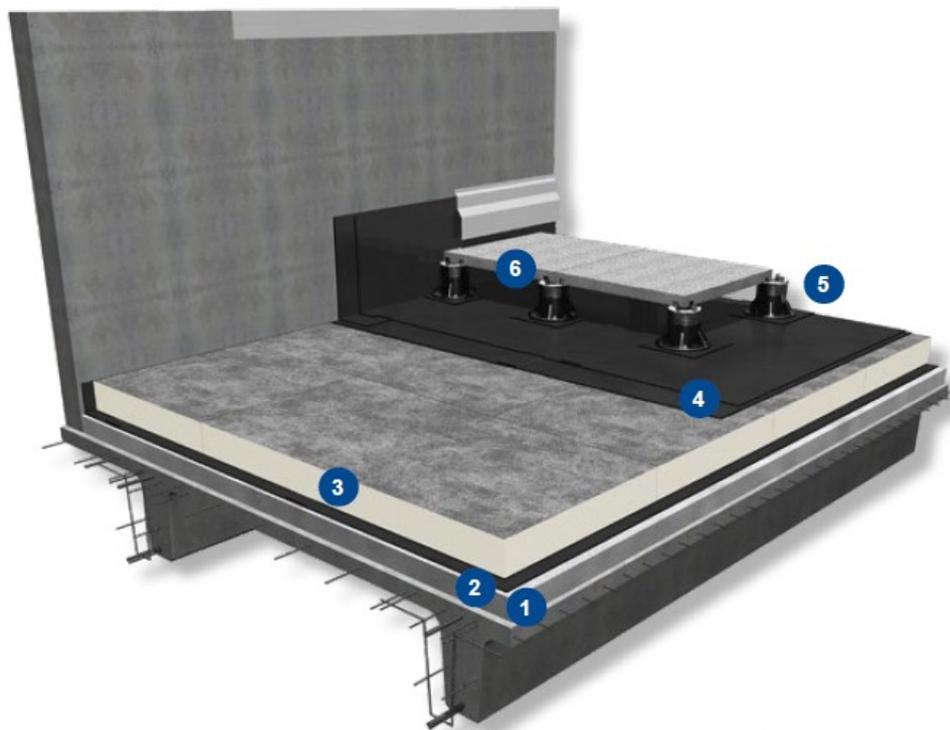


Andamento del cotenuto di umidità totale nella struttura con o senza isolamento



### 4.3 Copertura piana zavorrata con lastrico solare

Esempio di isolamento di una copertura piana con strato di impermeabilizzazione bituminosa all'estradosso e pavimentazione esterna rialzata montata a secco.

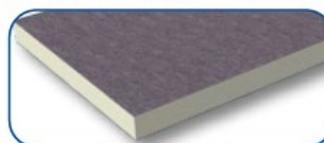


#### Legenda

1. Piano di posa
2. Barriera/schermo al vapore con risalite verticali
3. Pannello isolante: Stiferite Class B
4. Doppio strato di membrana bituminosa con risalite verticali
5. Piedini regolabili su fazzoletti di membrana bituminosa
6. Quadrotti cementizi

#### Prodotto isolante utilizzato:

**STIFERITE Class B**



prodotti alternativi:  
**STIFERITE Class S**

**Descrizione della stratigrafia e principali risultati di calcolo**

	Tipo	Descrizione
1	IMP	Bitume polimero su PPL sp.3 mm
2	ISO	Class B, 140 mm, è un pannello isolante PIR, rivestito con velo di vetro bitumato acc. a PP, idoneo all'applicazione per sfiammatura, per coperture sotto manti impermeabili bituminosi
3	IMP	Barriera al vapore con lamina di alluminio
4	CLS	Calcestruzzo armato

	s [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c_p$ [J/kgK]	$\mu$ [-]	$m_s$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]	$S_D$ [m]	$\alpha$ [m <sup>2</sup> /Ms]
							0,040	0,074	
1	0,003	1000	0,200	920	60000	3,0	0,015	0,015	180,000
2	0,140	44	0,025	1459	33	6,2	5,600	5,600	4,620
3	0,001	1000	0,200	920	1000000	1,0	0,005	0,005	1000,000
4	0,250	2400	2,000	1000	80	600,0	0,125	0,125	20,000
							0,100	0,161	

*Parametri stazionari*

Spessore totale [m]	0,394
Massa superficiale [kg/m <sup>2</sup> ]	610,2
Massa superficiale esclusi intonaci [kg/m <sup>2</sup> ]	610,2
Resistenza [m <sup>2</sup> K/W]	5,89
Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	0,170
Capacità termica totale [kJ/m <sup>2</sup> K]	612,7

*Parametri dinamici*

	Valori invernali	Valori estivi
Trasmittanza periodica [W/m <sup>2</sup> K]	0,023	0,016
Fattore di attenuazione [-]	0,134	0,095
Sfasamento [-]	10h 41'	11h 1'
Capacità termica periodica interna [kJ/m <sup>2</sup> K]	98,46	69,05
Capacità termica periodica esterna [kJ/m <sup>2</sup> K]	6,53	6,40
Ammettenza interna [W/m <sup>2</sup> K]	7,137	5,006
Ammettenza esterna [W/m <sup>2</sup> K]	0,457	0,454

*Legenda*

Spessore	s	m
Densità	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Conduktività	$\lambda$	W/mK
Calore specifico	$c_p$	J/kgK
Fattore di resistenza al vapore	$\mu$	-

Massa superficiale	$m_s$	kg/m <sup>2</sup>
Resistenza termica invernale	$R_i$	m <sup>2</sup> K/W
Spessore equivalente d'aria	$S_D$	m
Diffusività	$\alpha$	m <sup>2</sup> /Ms

**Analisi del rischio di formazione di muffa e condensazione interstiziale (UNI EN ISO 13788)**

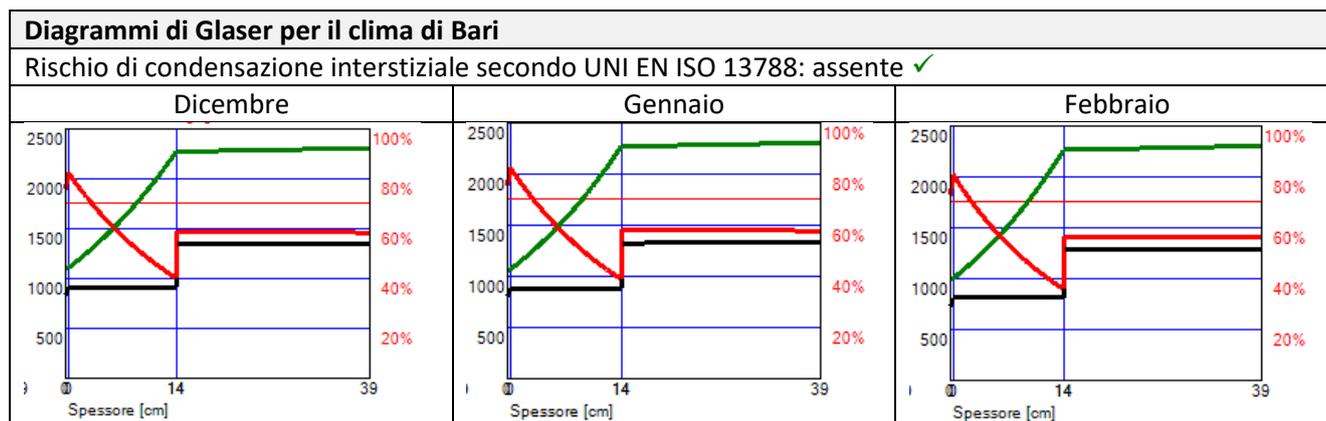
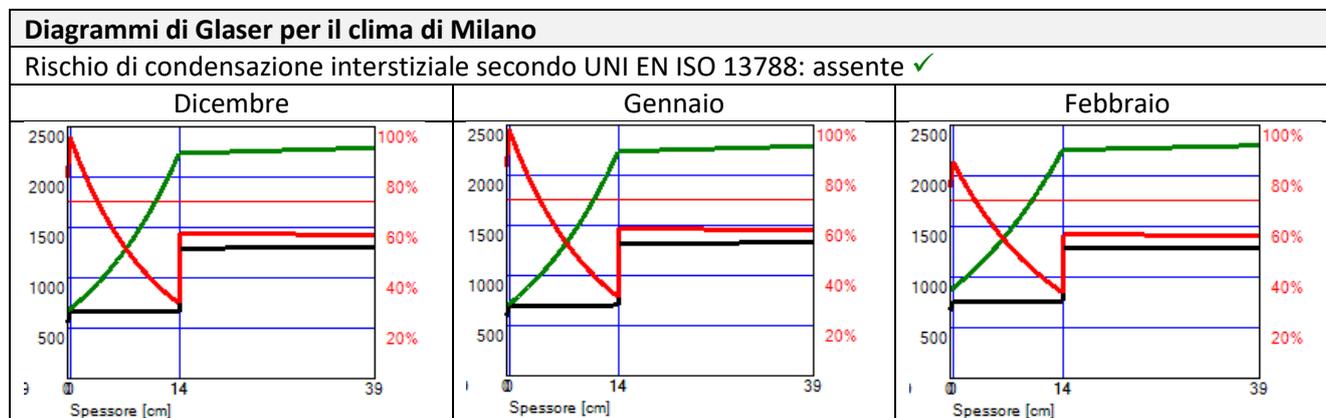
La simulazione è stata condotta per due località climatiche (Milano e Bari).

I risultati del calcolo in regime mensile stazionario mostrano l'assenza sia del rischio di formazione di muffa che di condensazione interstiziale.

Rischio formazione muffa		
Condizioni climatiche	Milano	Bari
Mese critico	Gennaio	Gennaio
Resistenza minima accettabile [m <sup>2</sup> K/W]	0,837	0,572
Resistenza termica di progetto [m <sup>2</sup> K/W]	5,885	5,885
Verifica limite	✓	✓

**Rischio di condensazione interstiziale**

Schema delle interfacce di controllo

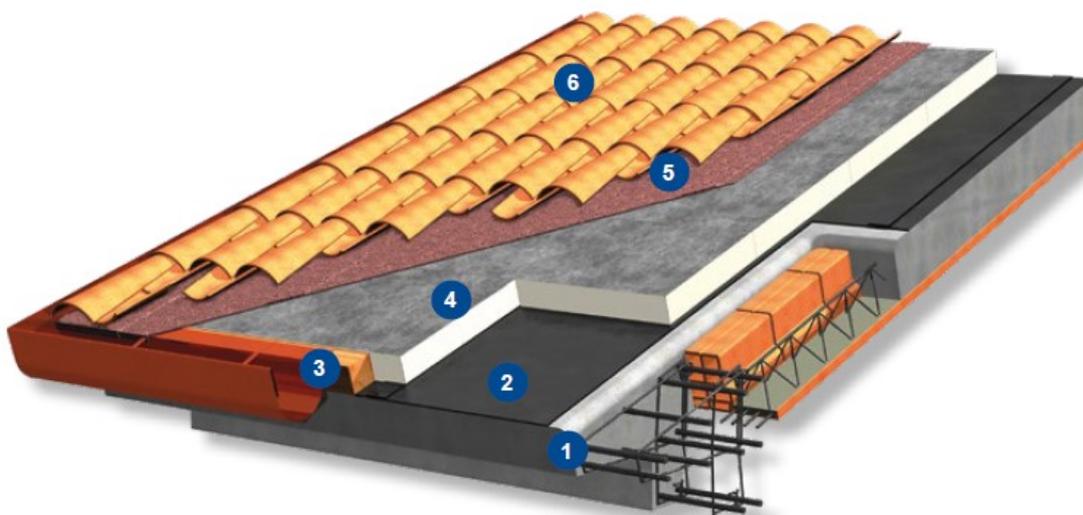


*Legenda*

Pressione di saturazione	<b>Linea verde</b>	Pa
Pressione nell'interfaccia	<b>Linea nera</b>	Pa
Umidità relativa	<b>Linea rossa</b>	%

## 4.4 Copertura a falde: tetto caldo con membrana impermeabilizzante

Esempio di isolamento di una copertura inclinata con struttura in laterocemento, strato di impermeabilizzazione bituminosa all'estradosso e rivestimento esterno in coppi o tegole.

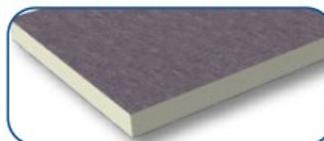


### Legenda

1. Solai in laterocemento
2. Barriera/schermo al vapore
3. Dente di arresto e grondaia
4. Pannello isolante: Stiferite Class B
5. Membrana bituminosa con finitura ardesiata
6. Manto di copertura in coppi o tegole

### Prodotto isolante utilizzato:

**STIFERITE Class B**



prodotti alternativi:

**STIFERITE Class S**

**STIFERITE GT3 - GT4 - GT5**

**Descrizione della stratigrafia e principali risultati di calcolo**

	Tipo	Descrizione
1	IMP	Bitume polimero su PPL sp.3 mm
2	ISO	Class B, 140 mm, è un pannello isolante PIR, rivestito con velo di vetro bitumato acc. a PP, idoneo all'applicazione per sfiammatura, per coperture sotto manti impermeabili bituminosi
3	IMP	Barriera al vapore con lamina di alluminio
4	SOL	Solaio in laterocemento con blocchi 20x49,5x25cm e caldana cls 6cm rif 2.1.04b - sp.solaio 26cm
5	INT	Intonaco interno

	s [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c_p$ [J/kgK]	$\mu$ [-]	$m_s$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]	$S_D$ [m]	$\alpha$ [m <sup>2</sup> /Ms]
							0,04		
1	0,003	1000	0,200	920	60000	3,0	0,015	180,000	0,217
2	0,140	44	0,025	1459	33	6,2	5,600	4,620	0,389
3	0,001	1000	0,200	920	1000000	1,0	0,005	1000,000	0,217
4	0,260	1146	0,743	1000	15	298,0	0,350	3,900	0,648
5	0,020	1400	0,700	1000	10	28,0	0,029	0,200	0,500
							0,100		

*Parametri stazionari*

Spessore totale [m]	0,424
Massa superficiale [kg/m <sup>2</sup> ]	336,1
Massa superficiale esclusi intonaci [kg/m <sup>2</sup> ]	308,1
Resistenza [m <sup>2</sup> K/W]	6,14
Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	0,163
Capacità termica totale [kJ/m <sup>2</sup> K]	338,6

*Parametri dinamici*

	Valori invernali	Valori estivi
Trasmittanza periodica [W/m <sup>2</sup> K]	0,023	0,018
Fattore di attenuazione [-]	0,141	0,111
Sfasamento [-]	11h 48'	12h 13'
Capacità termica periodica interna [kJ/m <sup>2</sup> K]	66,97	52,54
Capacità termica periodica esterna [kJ/m <sup>2</sup> K]	6,49	6,38
Ammetenza interna [W/m <sup>2</sup> K]	4,849	3,804
Ammetenza esterna [W/m <sup>2</sup> K]	0,459	0,455

*Legenda*

Spessore	s	m
Densità	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Conducibilità	$\lambda$	W/mK
Calore specifico	$c_p$	J/kgK
Fattore di resistenza al vapore	$\mu$	-

Massa superficiale	$m_s$	kg/m <sup>2</sup>
Resistenza termica invernale	$R_i$	m <sup>2</sup> K/W
Spessore equivalente d'aria	$S_D$	m
Diffusività	$\alpha$	m <sup>2</sup> /Ms

**Analisi del rischio di formazione di muffa e condensazione interstiziale (UNI EN ISO 13788)**

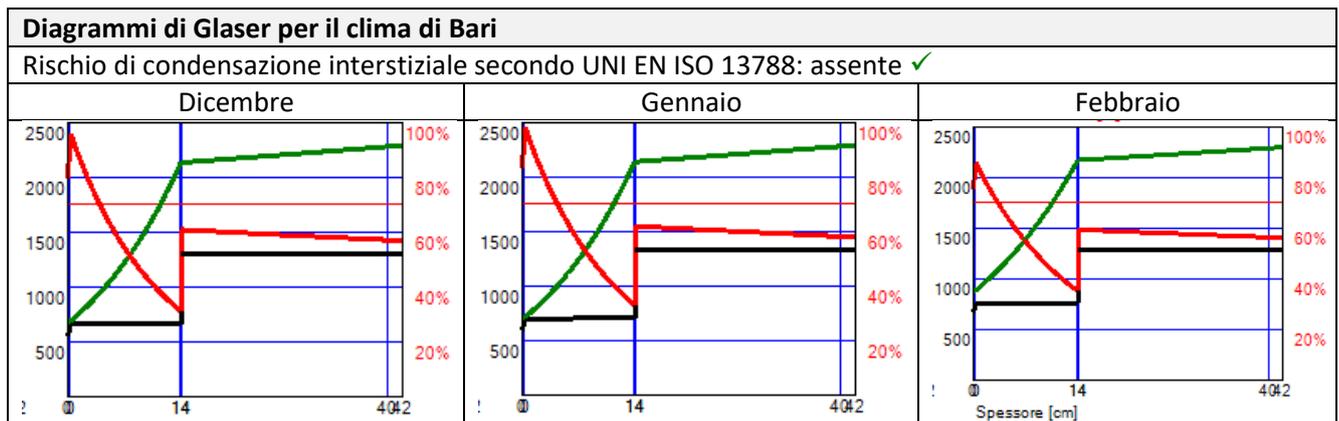
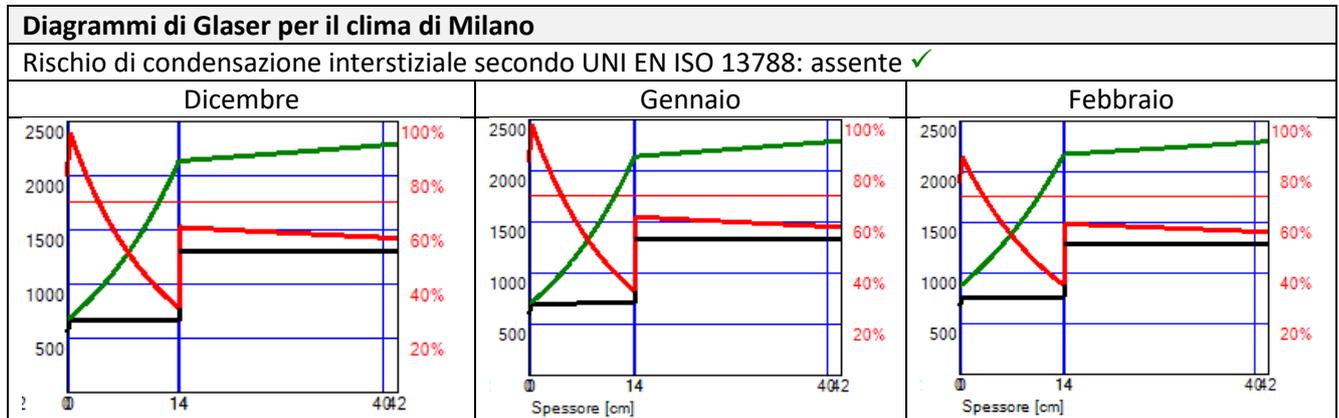
La simulazione è stata condotta per due località climatiche (Milano e Bari).

I risultati del calcolo in regime mensile stazionario mostrano l'assenza sia del rischio di formazione di muffa che di condensazione interstiziale.

Rischio formazione muffa		
Condizioni climatiche	Milano	Bari
Mese critico	Gennaio	Gennaio
Resistenza minima accettabile [m²K/W]	0,837	0,572
Resistenza termica di progetto [m²K/W]	6,139	6,139
Verifica limite	✓	✓

**Rischio di condensazione interstiziale**

Schema delle interfacce di controllo



**Legenda**

Pressione di saturazione	<b>Linea verde</b>	Pa
Pressione nell'interfaccia	<b>Linea nera</b>	Pa
Umidità relativa	<b>Linea rossa</b>	%

## CONTATTI

- ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico  
[www.anit.it](http://www.anit.it)  
[info@anit.it](mailto:info@anit.it)
- Stiferite  
[www.stiferite.com](http://www.stiferite.com)  
[info@stiferite.com](mailto:info@stiferite.com)

## BIBLIOGRAFIA

- [1] **Decreto Ministeriale 26 giugno 2015**, *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*, GU n. 162 del 15 luglio 2015
- [2] R. Esposti, G. Galbusera, A. Panzeri, C. Salani, **Volume 4 – Muffa, condensa e ponti termici**, Ed. TEP srl, 2° ed. Gennaio 2014
- [3] **Guida ANIT - Requisiti minimi e certificazione energetica degli edifici**, 7 settembre 2023
- [4] **Manuale ANIT – La tenuta all'aria degli edifici**, settembre 2022
- [5] **Manuale ANIT – Risanamento termico di murature umide e degradate**, novembre 2021
- [6] **Manuale ANIT – Progettazione igrotermica delle coperture**, marzo 2017
- [7] **UNI 10351:2021**, *Materiali da costruzione - Proprietà termoigrometriche - Procedura per la scelta dei valori di progetto*
- [8] **UNI EN ISO 10456:2008**, *Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto*
- [9] **UNI 11470:2015**, *Coperture discontinue - Schermi e membrane traspiranti sintetiche - Definizione, campo di applicazione e posa in opera*
- [10] **UNI EN ISO 13788:2013**, *Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo*
- [11] **UNI EN 15026:2023**, *Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio - Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica*
- [12] **WUFI**, Wärme und Feuchte Instationär, software di simulazione igrotermica dinamica, sviluppato dal Fraunhofer IBP, [www.wufi.it](http://www.wufi.it)



ASSOCIAZIONE NAZIONALE  
PER L'ISOLAMENTO TERMICO E ACUSTICO

**ANIT**, Associazione Nazionale per l'isolamento Termico e acustico, ha tra gli obiettivi generali la diffusione, la promozione e lo sviluppo dell'isolamento termico ed acustico nell'edilizia e nell'industria come mezzo per salvaguardare l'ambiente e il benessere delle persone.

#### **ANIT**

- diffonde la corretta informazione sull'isolamento termico e acustico degli edifici,
- promuove la normativa legislativa e tecnica,
- raccoglie, verifica e diffonde le informazioni scientifiche sull'isolamento termico e acustico,
- promuove ricerche e studi di carattere tecnico, normativo, economico e di mercato.

I soci **ANIT** si dividono nelle categorie

- **SOCI INDIVIDUALI**: Professionisti e studi di progettazione,
- **SOCI AZIENDA**: Produttori di materiali e sistemi per l'isolamento termico e acustico,
- **SOCI ONORARI**: Enti pubblici e privati, Università e Scuole Edili, Ordini e Collegi professionali.

[www.anit.it](http://www.anit.it)



[info@anit.it](mailto:info@anit.it)

Tel. 0289415126