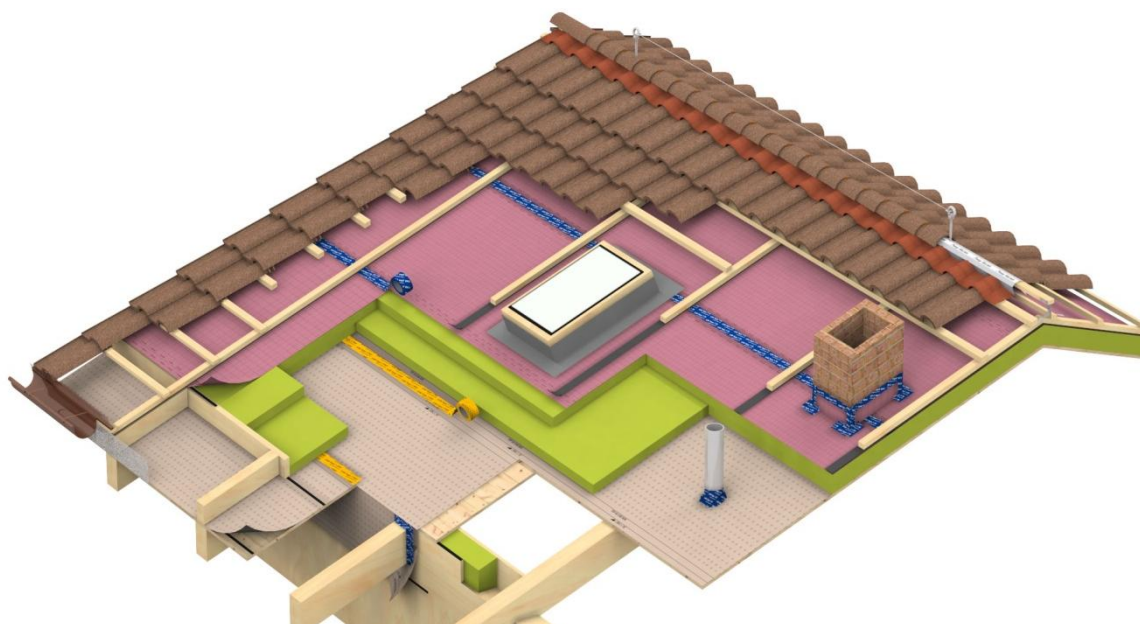




PROGETTAZIONE IGROTERMICA DELLE COPERTURE

MANUALE ANIT DI APPROFONDIMENTO TECNICO

Marzo 2017



Tutti i diritti sono riservati.

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

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 **PAN, ECHO, LETO, IRIS e APOLLO** per calcolare **tutti gli aspetti** dell'efficienza energetica e dell'acustica degli edifici



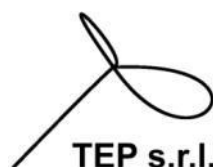
Servizio di **chiarimento tecnico** da parte dello Staff ANIT



Abbonamento alla rivista specializzata **Neo-Eubios**

La quota associativa ha un costo di **€ 95 + IVA** e validità di **12 mesi**.

Il presente manuale è realizzato in collaborazione con:



Tutti i diritti sono riservati

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di ANIT. I contenuti sono curati dallo Staff ANIT e sono aggiornati alla data in copertina.

Le informazioni riportate sono da ritenersi comunque indicative ed è sempre necessario riferirsi anche a eventuali documenti ufficiali. Sul sito www.anit.it sono disponibili i testi di legge.

Si raccomanda di verificare sul sito l'eventuale presenza di versioni più aggiornate di questo documento.

INDICE

PREMESSA	2
1 LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO	3
1.1 Cosa prescrive la legge	3
1.2 Normativa tecnica di riferimento	4
1.3 Il controllo della progettazione igrotermica	5
2 CASO DI STUDIO – ERRORE DI PROGETTAZIONE	9
2.1 Descrizione del caso di studio	9
2.2 Analisi igrotermica del caso di studio	10
3 CORRETTA PROGETTAZIONE	13
3.1 Criteri per la corretta progettazione igrotermica	13
3.2 La progettazione di una copertura: barriere, freni e membrane traspiranti	14
3.3 Errori da evitare	15
4 STRATIGRAFIE DI ESEMPIO	16
4.1 Tetto in legno con coibentazione esterna	16
4.2 Tetto in legno con coibentazione interposta nella struttura	17
4.3 Tetto in laterocemento con coibentazione esterna	18
4.4 Tetto in laterocemento con coibentazione interna	19
5 CONTATTI	20
6 BIBLIOGRAFIA	20

PREMESSA

Gli obblighi di legge introdotti col DM 26/6/15, e in vigore dal 1° ottobre 2015, hanno modificato sostanzialmente il quadro delle verifiche igrotermiche per le strutture dell'involucro edilizio.

Siamo passati infatti da un'analisi del solo rischio di condensazione in condizioni forfettarie (ambiente interno a 20°C e 65%UR) a uno studio dettagliato del rischio di formazione di muffa e dell'assenza totale di condensazione interstiziale in condizioni più realistiche, ovvero tenendo conto delle criticità climatiche e delle diverse tipologie di utenza.

Questa evoluzione legislativa ha coinvolto in particolar modo la progettazione delle coperture. Infatti nel "pacchetto" di una copertura coesistono strati isolanti ad alta resistenza termica e membrane impermeabili ad alta resistenza al vapore il cui mix necessita obbligatoriamente di una particolare attenzione sotto il profilo igrotermico.

Pertanto, al fine del rispetto delle verifiche di legge, ma soprattutto al fine di una corretta progettazione del manufatto, al progettista è richiesto un alto livello di competenze sia tecniche che normative.

Col presente manuale si vuole fare il punto sulle modalità di calcolo offerte dalla normativa di settore e fornire una serie di esempi di soluzioni tecniche pensate in collaborazione con l'azienda RIWEGA associata ad ANIT dal 2009.

Sperando di dare un contributo d'approfondimento a tutti gli interessati, non ci resta che augurare buona lettura.

ANIT

1 LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

1.1 Cosa prescrive la legge

Ad oggi le prescrizioni di legge in merito alle verifiche igrotermiche sono così articolate:

DM 26/6/2015, All.1 Art. 2.3 comma 2

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.

Il testo è preso dal decreto nazionale, ma è riportato con la stessa formulazione anche in diversi regolamenti regionali autonomi (ad es. Regione Lombardia e Regione Emilia Romagna).

Quindi dalla data di applicazione del decreto (1° ottobre 2015) non sono più valide le condizioni al contorno fisse pari a 20°C e 65% UR così come previste dal DPR 59/09.

Per quanto riguarda le verifiche superficiali, finalmente l'obbligo si è spostato dalla verifica del rischio di condensazione alla verifica del rischio di muffa. Grazie al DM 26/6/15, infatti si è superata l'incongruenza tra le precedenti disposizioni di legge (concentrate sulla condensazione superficiale) e le procedure delle norme tecniche (concentrate sulle prassi progettuali per evitare la formazione di muffa) (vd. Figura 1).

Per quanto riguarda la verifica della condensazione interstiziale, il legislatore ha deciso di rendere più severa la prescrizione passando da un'indicazione di controllo della condensazione interstiziale alla dimostrazione dell'assenza totale della stessa.

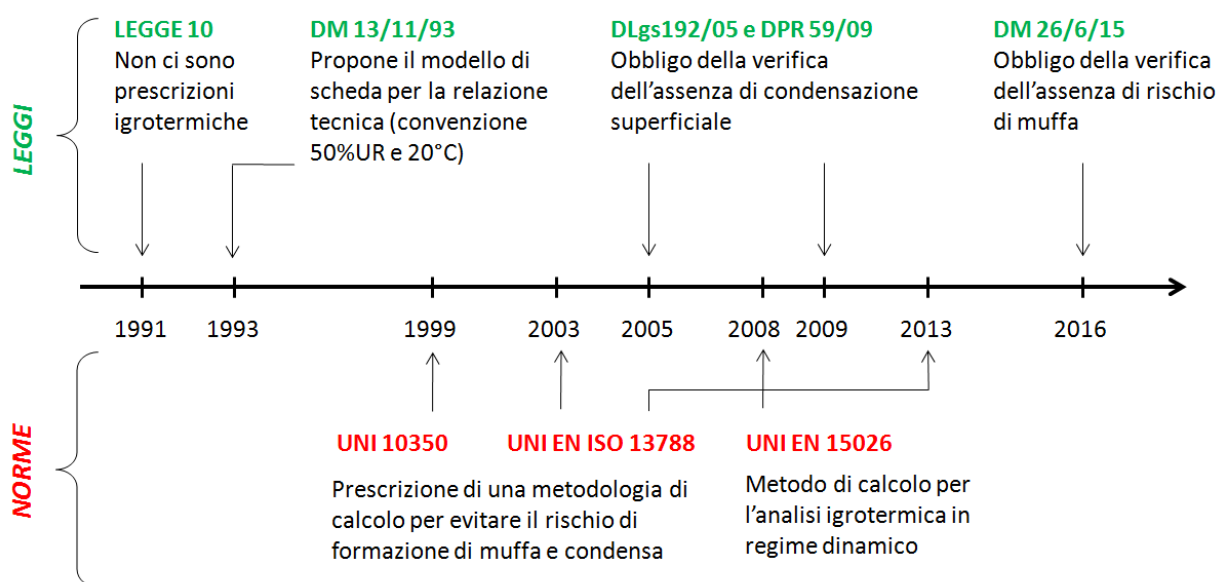


Figura 1 Evoluzione dell'obbligo delle verifiche igrotermiche superficiali dal 1991 ad oggi. Con il DM 26/6/15 si è raggiunta finalmente la congruenza tra obblighi di legge e procedure normative.

1.2 Normativa tecnica di riferimento

Le norme tecniche di riferimento ad oggi in vigore sono:

- **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;
- **UNI EN 15026:2008**. Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio - Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica

Entrambe le norme sono utilizzabili come riferimento ufficiale per la progettazione igrotermica. Infatti la UNI EN ISO 13788 è citata direttamente dal legislatore nel testo del DM 26/6/15 (come visto alla pagina precedente), mentre la UNI EN 15026 è indicata come alternativa di calcolo più sofisticata in una FAQ di chiarimento pubblicata dal Ministero dello Sviluppo Economico ad Agosto 2016 (si legge infatti nella FAQ 2.24 *“l’eventuale verifica di formazione di muffa o condensa interstiziale può essere effettuata anche con metodi dinamici più raffinati.”*)

Le due norme, che affrontano lo stesso tema, si differenziano per il livello d’approfondimento proposto:

- la norma UNI EN ISO 13788 propone un modello d’analisi semplificato (modello di Glaser) basato su uno studio della diffusione del vapore attraverso i materiali in condizioni stazionarie medie mensili;
- la norma UNI EN 15026 propone un metodo di simulazione numerica per l’analisi di tutti i fenomeni igroscopici (non solo della diffusione del vapore) in condizioni dinamiche orarie.

Viste le nuove richieste di legge, e in particolare l’obbligo di dimostrazione dell’assenza totale di condensazione interstiziale nelle strutture opache, in alcune casi non è più sufficiente l’analisi in condizioni stazionarie ma è necessario uno studio approfondito con simulazione dinamica.

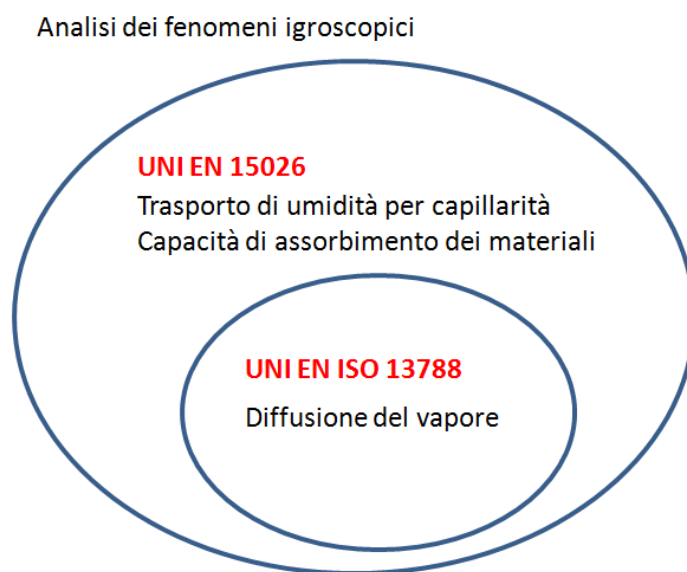
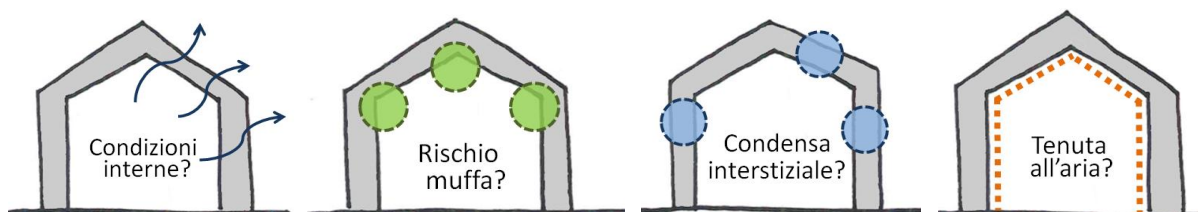


Figura 2 Norme di riferimento per l’analisi dei fenomeni igroscopici. La norma UNI EN ISO 13788 propone un metodo per il calcolo della diffusione del vapore, mentre la norma UNI EN 15026 un metodo che abbraccia anche i meccanismi di migrazione del vapore legati anche al trasporto dell’umidità per capillarità e alla capacità di assorbimento dei materiali. Inoltre le due norme si differenziano per la tipologia del modello di calcolo: pensato su base stazionaria mensile nel caso della UNI EN ISO 13788 e su base dinamica oraria per la UNI EN 15026.

1.3 Il controllo della progettazione igrotermica

Il controllo della progettazione igrotermica è l'insieme delle verifiche atte a dimostrare la qualità del progetto rispetto al tema della migrazione del vapore attraverso l'involucro. Come visto, questo controllo passa attraverso le due verifiche di legge sul rischio muffa e sull'assenza di condensa interstiziale a partire da condizioni climatiche determinate dalla normativa tecnica. In aggiunta segnaliamo anche l'importanza del controllo della tenuta all'aria dell'edificio per migliorare sia il progetto igrotermico che energetico. Nelle pagine che seguono proponiamo un breve approfondimento su questi quattro temi.



La scelta delle condizioni climatiche interne

Le condizioni climatiche interne possono essere ipotizzate sulla base delle indicazioni della norma UNI EN ISO 13788 attraverso il metodo delle "Classi di produzione di vapore".

Questa stima si basa sul principio che le condizioni interne dipendono:

- dalle condizioni climatiche esterne (in particolare temperatura, umidità e pressione di vapore)
- dalla tipologia di utenza degli ambienti interni.

Le classi di produzione di vapore identificate dalla norma sono:

- classe 1: magazzini di stoccaggio di materiale secco, edifici non occupati
- classe 2: uffici, negozi, alloggi con ventilazione meccanica controllata
- classe 3: alloggi senza ventilazione meccanica controllata, edifici con indice di affollamento non noto
- classe 4: palestre, cucine, mense
- classe 5: edifici particolari, per esempio lavanderie, distillerie, piscine

Ad ognuna di esse è abbinata una funzione di trasformazione che lega i parametri climatici esterni a quelli interni. In Figura 3 è riportato un esempio di calcolo per un edificio residenziale.

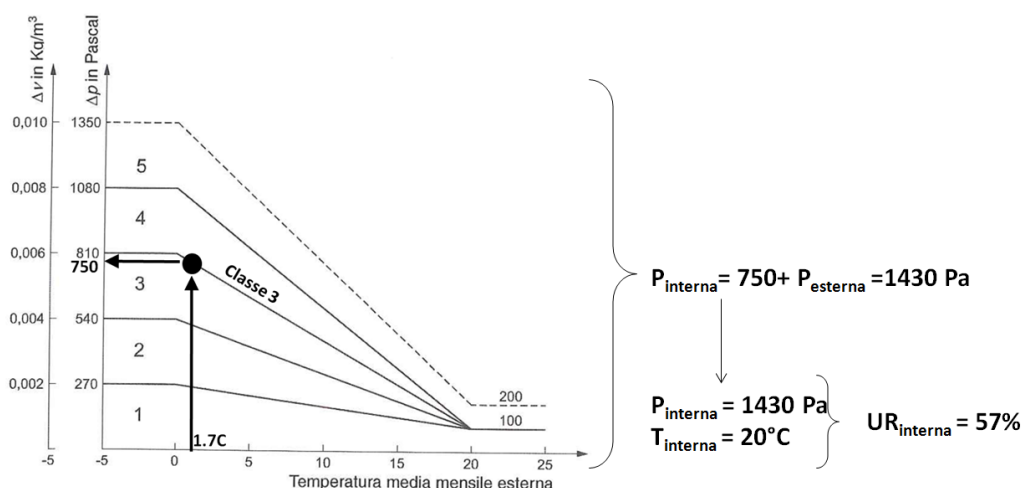


Figura 3 Esempio di calcolo col metodo delle "Classi di produzione di vapore" per un edificio residenziale sito a Milano a gennaio. Le informazioni note sono la temperatura esterna (1.7°C) e la pressione esterna (590 Pa). Con una classe di vapore 3 dal grafico si ottiene il valore di 750 Pa che sommato alla pressione esterna porta al valore di pressione interna di 1340Pa. Questa informazione (rielaborata con le norme opportune) porta a identificare il livello di umidità relativa degli ambienti interni, che nel nostro caso è pari al 57%.

Il rischio di formazione di muffa

Dall'esperienza e dallo studio biologico della muffa emerge che per numerose specie le condizioni ideali per proliferare si manifestano su superfici con un valore di umidità relativa dall'80 al 100%.

A partire proprio da questa informazione la norma UNI EN ISO 13788 in un capitolo dal titolo evocativo "Progettazione per evitare la crescita di muffe, la corrosione e altri danni dovuti all'umidità", propone un metodo per calcolare la soglia d'allarme con cui il progettista confronta i suoi risultati considerando il valore di UR superficiale pari all'80% (in Figura 4 è proposto un esempio di calcolo).

La dimostrazione dell'assenza di rischio di formazione di muffa, passa quindi dal confronto tra la temperatura di rischio muffa e la temperatura di progetto sulla superficie interna della struttura oggetto d'analisi. La prima è legata alle ipotesi climatiche dell'ambiente interno, la seconda alla resistenza termica totale della struttura analizzata. Nei capitoli che seguono è proposto un approfondimento su questi temi.

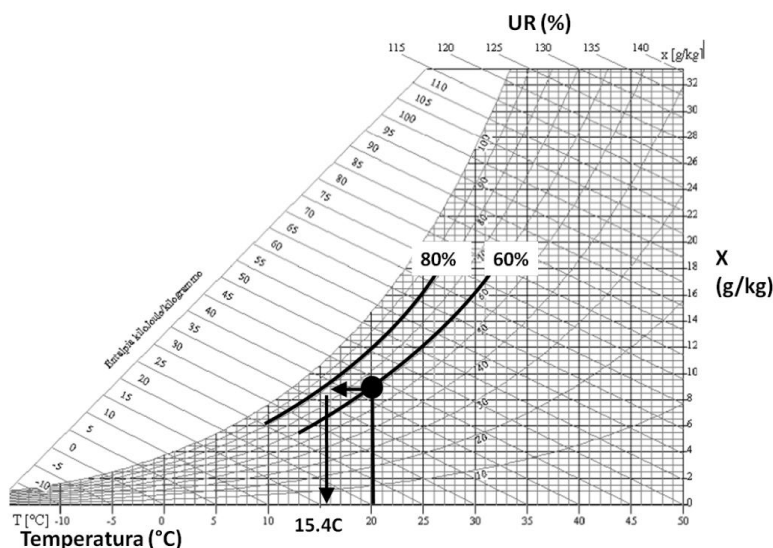


Figura 4 Esempio di calcolo della temperatura di rischio muffa attraverso il diagramma psicrometrico. Per un ambiente a 20°C e 60% UR (evidenziato dal punto nero nel grafico), la temperatura di rischio muffa si trova graficamente intercettando orizzontalmente la curva dell'80%. In queste condizioni superfici con temperatura costantemente inferiore a 15.4°C sono soggette al rischio di formazione di muffa.

Per stimare il rischio di formazione muffe la normativa tecnica UNI EN ISO 13788 propone un metodo basato sul cosiddetto fattore di rischio f_{Rsi} :

$$f_{Rsi} = \frac{(T_{rischio} - T_e)}{(T_i - T_e)}$$

dove:

$T_{rischio}$ è la temperatura superficiale di rischio di formazione di muffa

T_i è la temperatura dell'aria interna

T_e è la temperatura dell'aria esterna

La verifica del rischio muffa si effettua confrontando la trasmittanza termica U (o resistenza termica R) critica con quella di progetto; l'uso del fattore di rischio semplifica tale confronto come segue:

Condizione per la quale non si ha rischio muffa:

$$U_{progetto} < U_{critica} \quad \text{oppure} \quad R_{progetto} > R_{critica}$$

con

$$U_{critica} = 4 \cdot (1 - f_{Rsi,max}) \quad \text{e} \quad R_{critica} = 1 / U_{critica}$$

La verifica è effettuata per tutti i mesi della stagione di riscaldamento. Il mese maggiormente a rischio è quello con il fattore di rischio più alto $f_{Rsi,max}$. Di seguito un esempio di calcolo.

Esempio di calcolo del rischio di muffa

Consideriamo una copertura piana con trasmittanza nota $U_{progetto}$ pari a $0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$ e quindi una resistenza termica $R_{progetto}$ pari a $3.33 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Dal punto di vista climatico ipotizziamo una localizzazione dell'edificio a Bologna e una caratterizzazione interna tipica residenziale, ovvero una classe 3 di concentrazione di vapore.

Con questi dati e con l'aiuto degli algoritmi visti nei capitoli precedenti è possibile identificare per ogni mese:

- il valore dell'umidità relativa interna UR_i a partire dalle condizioni climatiche T_e , UR_e e T_i
- il valore della temperatura di rischio muffa $T_{rischio}$
- il valore del fattore di rischio f_{Rsi}

	T_e [°C]	UR_e [%]	T_i [°C]	UR_i [%]	$T_{rischio}$ [°C]	f_{Rsi} [-]
Gennaio	1.3	80	20	55.7	14.3	0.693
Febbraio	5.4	58	20	48.8	12.2	0.469
Marzo	9.6	58	20	49.6	12.5	0.280
Aprile	13.5	63	20	55.8	14.3	0.121
Maggio	17.7	57	18	64.7	14.7	-8.778
Giugno	22.2	53	22.2	56.7	16.6	0.000
Luglio	24.8	45	24.8	48.5	16.6	0.000
Agosto	21.6	56	21.6	60.0	17.0	0.000
Settembre	19.3	67	19.3	72.8	17.8	0.000
Ottobre	15.6	76	20	68.4	17.5	0.432
Novembre	9.2	77	20	59.3	15.2	0.558
Dicembre	3.7	81	20	56.6	14.5	0.664

Il mese di Gennaio ha il fattore di rischio più alto con $f_{Rsi, max} = 0.693$.

Da questo dato si ricava il valore della trasmittanza critica: $U_{critica} = 4 \cdot (1 - f_{Rsi, max}) = 1.23 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dato che la trasmittanza di progetto è pari a $0.30 \text{ m}^2\text{K/W}$, la verifica è superata.

Il rischio di condensazione interstiziale

Il vapore presente nell'aria tende a spostarsi dall'ambiente a più alta concentrazione di vapore verso l'ambiente a più bassa concentrazione. L'involucro edilizio, che separa due ambienti con concentrazioni di vapore molto differenti per diversi mesi dell'anno, è quindi attraversato da un flusso di vapore continuo.

Questo flusso, sebbene molto piccolo in termini assoluti, può creare problemi qualora si creino le condizioni perché avvenga la condensazione tra due strati contigui o all'interno di un materiale.

Come visto nel capitolo precedente, esistono due normative di riferimento per il controllo del rischio di condensazione interstiziale. Il metodo della norma UNI EN ISO 13788, comunemente definito come "metodo di Glaser", prevede uno studio semplificato delle pressioni di vapore e di saturazione medie mensili attraverso tutti gli strati dell'elemento analizzato. Il metodo della norma UNI EN 15026 prevede invece un'analisi dettagliata dei fenomeni igroscopici in atto ora per ora.

Gli effetti dei fenomeni di condensazione interstiziale sono tanti e diversi come ad esempio la perdita delle proprietà dei materiali, la formazione di efflorescenze o di subflorescenze o il degrado completo dell'elemento edilizio. Un esempio in tal senso è riportato nel capitolo 2 del presente manuale.

Il controllo della tenuta all'aria

La tenuta all'aria riguarda la capacità di un edificio di impedire il passaggio incontrollato di aria dall'interno verso l'esterno o viceversa dall'esterno verso l'interno (in questo caso si definisce anche tenuta al vento). Questa caratteristica sebbene non sia soggetta ad obblighi di legge (la legislazione italiana non ne parla) è molto importante per il controllo delle prestazioni sia igrotermiche che energetiche dell'involucro edilizio. Infatti un elemento non opportunamente sigillato espone:

- localmente la stratigrafia ad un alto rischio di condensazione interstiziale e a un calo delle prestazioni termiche dei materiali coinvolti nel passaggio d'aria
- globalmente l'involucro a un calo delle prestazioni energetiche incrementando le perdite per infiltrazione e un abbassamento generale del comfort interno.

La tenuta all'aria di un edificio può essere misurata in opera attraverso un "Blower door test". Il riferimento normativo per tale prova è la norma UNI EN ISO 9972:2015 "Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore".



Figura 5 La prova di tenuta all'aria di un edificio con "Blower door test". La prova consiste nel forzare una condizione di sovra pressione (o depressione) degli ambienti interni attraverso l'uso di un ventilatore. Attraverso la misurazione della portata d'aria necessaria a mantenere una differenza barometrica tra interno ed esterno di 50 Pascal si ricava per via indiretta la qualità della tenuta all'aria dell'edifici.

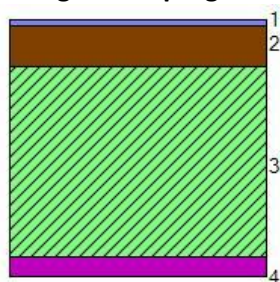
2 CASO DI STUDIO – ERRORE DI PROGETTAZIONE

2.1 Descrizione del caso di studio

Presentiamo il caso di una copertura leggera con gravi problemi di condensazione interstiziale. La struttura sebbene isolata e impermeabilizzata non è stata verificata preliminarmente rispetto al rischio di condensazione interstiziale. Il risultato è un totale ammaloramento della struttura in legno e un degrado dello strato isolante sottostante (come mostrato in Figura 6).

Di seguito riportiamo l'analisi della stratigrafia così come progettata con l'evidenza della formazione della condensazione interstiziale.

Stratigrafia di progetto



1	IMP	Bitume
2	LEG	Abete (flusso perpendicolare alle fibre)
3	ISO	Materiale isolante ad alta permeabilità al vapore ($\lambda=0.035\text{W/mK}$; $\mu=1$; $\rho= 60 \text{ kg/m}^3$)
4	VAR	Cartongesso in lastre



Figura 6 Tetto in legno con degrado da condensazione interstiziale. La condensa formatasi sotto la membrana impermeabile ha portato all'ammaloramento della struttura in legno e alla perdita di capacità coibente dello strato di materiale isolante.

2.2 Analisi igrotermica del caso di studio

Struttura: copertura in legno

Localizzazione: Caldaro (BZ), 3074 Gradi Giorni Zona F

Metodo di calcolo: UNI EN ISO 13788

	s [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	μ [-]	M_s [kg/m ²]	R [m ² K/W]	S_D [m]	a [m ² /Ms]
							0,04		
1	0,004	1200,0	0,170	920,5	20000,0	4,8	0,02	80,00	0,154
2	0,025	450,0	0,120	2719,6	60,0	11,3	0,21	1,50	0,098
3	0,120	60,0	0,035	1030,0	1,0	7,2	3,43	0,12	0,566
4	0,013	900,0	0,210	836,8	8,0	11,3	0,06	0,10	0,279
							0,10		

Elenco simboli

s	Spessore
ρ	Densità
λ	Conduktivität
c	Calore specifico
μ	Fattore di resistenza al vapore
M_s	Massa superficiale
R	Resistenza termica
S_D	Spessore equivalente d'aria
a	Diffusività

Parametri stazionari		
Spessore totale	0,162	m
Massa superficiale	34,5	kg/m ²
Resistenza	3,86	m ² K/W
Trasmittanza U	0,26	W/m ² K

Condizioni climatiche esterne e interne

Analisi condotta ipotizzando un ambiente interno con classe di concentrazione di vapore 3.

Mese	Temperatura esterna [°C]	Pressione esterna [Pa]	Umidità relativa esterna [%]	Temperatura interna [°C]	Pressione interna [Pa]	Umidità relativa interna [%]
ottobre	10,3	915	73,2	20,0	1490	63,7
novembre	4,5	527	62,7	20,0	1257	53,8
dicembre	0,4	400	63,7	20,0	1258	53,8
gennaio	-0,8	260	45,3	20,0	1140	48,8
febbraio	3,5	474	60,3	20,0	1230	52,6
marzo	7,7	498	47,4	20,0	1107	47,4
aprile	10,5	609	48,1	20,0	1133	48,5
maggio	15,4	916	52,3	18,0	1303	63,1
giugno	18,7	1376	64,0	20,7	1658	68,1
luglio	19,6	1332	58,2	21,6	1606	62,1
agosto	19,4	1228	54,5	21,4	1489	58,4
settembre	16,5	1205	64,2	18,5	1591	74,8

Verifica del rischio di formazione di muffe superficiali

Il mese col fattore di rischio f_{Rsi} più alto è dicembre.

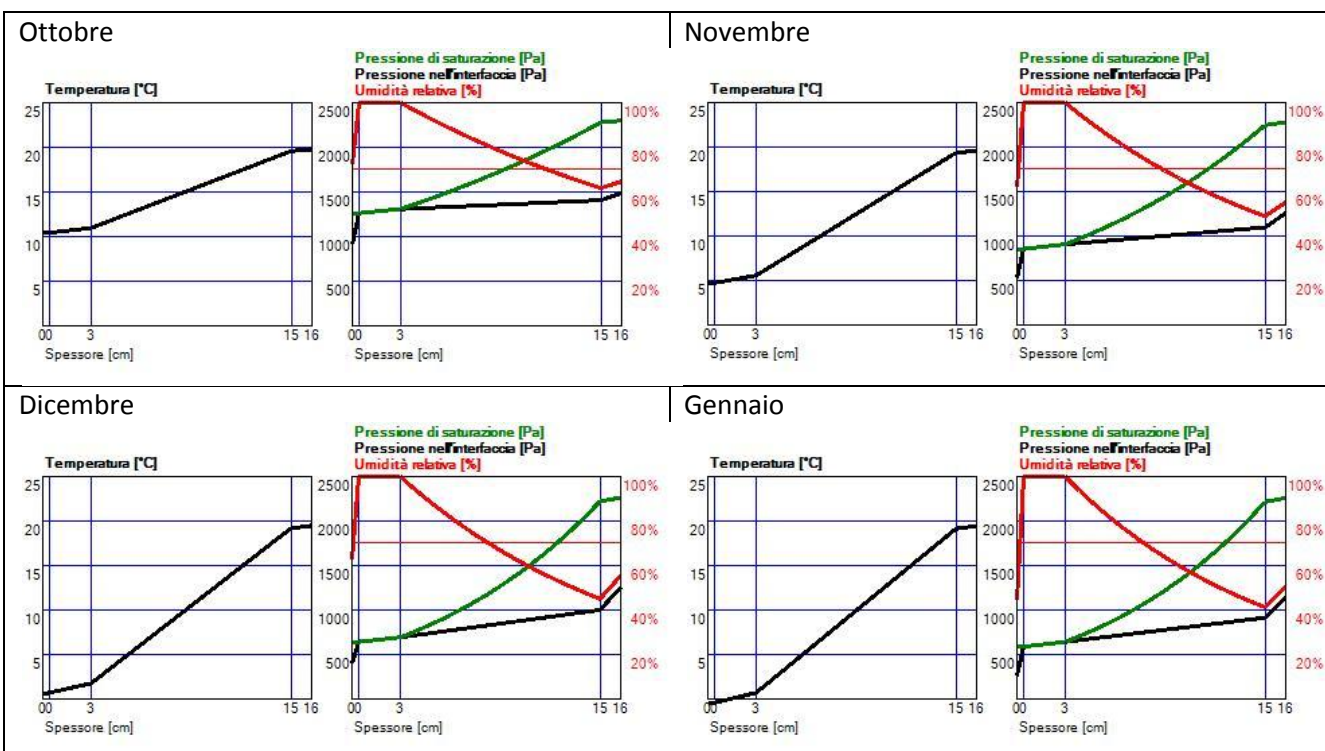
La struttura non presenta rischio muffa avendo una resistenza termica più alta di quella minima accettabile.

Rischio formazione muffe		
Mese	Temperatura minima superficiale [°C]	Fattore di temperatura f_{Rsi} [-]
ottobre	16,4	0,628
novembre	13,7	0,597
dicembre	13,8	0,682
gennaio	12,2	0,626
febbraio	13,4	0,600
marzo	11,8	0,333
aprile	12,2	0,177

Rischio formazione muffe	
Mese critico	dicembre
Fattore di temperatura	0,682
Resistenza minima accettabile	0,78 m ² K/W
Resistenza dell'elemento	3,86 m ² K/W

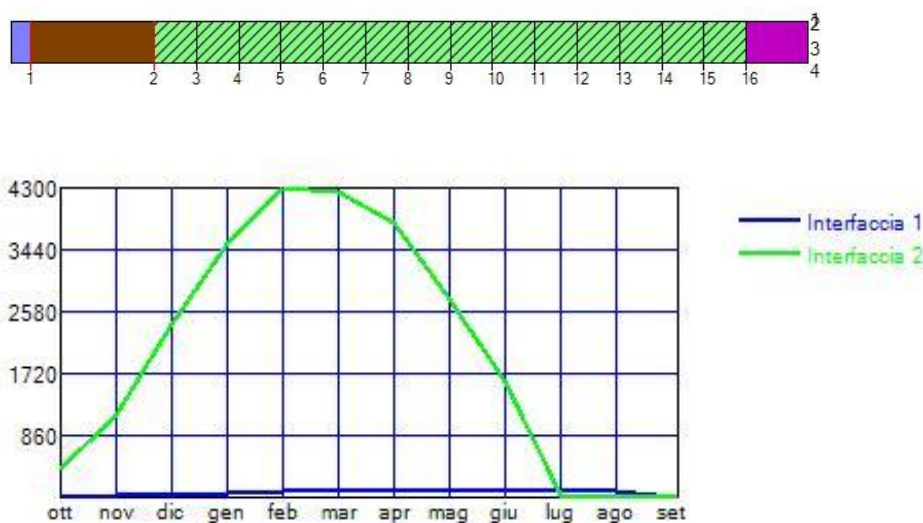
Verifica della condensa interstiziale

Di seguito i diagrammi di Glaser per i mesi da ottobre a gennaio. Le curve rappresentano la distribuzione lungo la stratigrafia della pressione di saturazione (in verde), della pressione dell'interfaccia (in nero) e dell'umidità relativa (in rosso). L'intersezione della curva nera (pressione nell'interfaccia) e verde (pressione di saturazione) è il segnale che la stratigrafia è soggetta a formazione di condensa interstiziale.



Condensa accumulata

Gli strati interessati dalla formazione di condensa sono quelli dell'interfaccia 1 (tra la membrana impermeabile e la struttura di legno) e dell'interfaccia 2 (tra la struttura in legno e il materiale isolante). La struttura è soggetta ad un'alta formazione di condensa interstiziale.



	Interfaccia 1		Interfaccia 2	
Mese	Condensa prodotta nel mese [g/m²]	Condensa accumulata [g/m²]	Condensa prodotta nel mese [g/m²]	Condensa accumulata [g/m²]
ottobre	12,8	12,8	396,0	396,0
novembre	14,6	27,5	753,6	1149,6
dicembre	15,5	42,9	1267,7	2417,3
gennaio	15,5	58,4	1113,7	3531,0
febbraio	13,7	72,2	758,8	4289,8
marzo	12,9	85,0	-33,3	4256,6
aprile	10,3	95,4	-436,9	3819,7
maggio	0,0	95,3	-1073,4	2746,2
giugno	0,0	95,3	-1132,3	1614,0
luglio	-0,9	94,5	-1599,2	14,8
agosto	-1,4	93,1	-1792,4	0,0
settembre	-85,4	7,7	0,0	0,0

Legenda

	Condensa prodotta
	Condensa evaporata
	Condensa accumulata

Conclusioni

Dall'analisi igrotermica condotta secondo la norma UNI EN ISO 13788 emerge un grande problema di condensazione interstiziale. Il fenomeno, localizzato in prossimità degli strati esterni della copertura, interessa tutti i mesi dell'anno con picchi di condensazione tra febbraio e marzo.

Per evitare il degrado in opera della struttura analizzata, sarebbe bastata una verifica igrotermica preventiva del progetto.

3 CORRETTA PROGETTAZIONE

3.1 Criteri per la corretta progettazione igrotermica

Si può parlare di corretta progettazione igrotermica quando a livello preventivo si dimostra l'assenza di rischi igrotermici (muffa e condensa interstiziale) e in opera si realizza una buona tenuta all'aria dell'edificio.

Per la corretta progettazione di una copertura è necessario pertanto:

- verificare gli spessori degli strati isolanti in modo da superare le resistenze minime accettabili per il superamento del rischio muffa
- verificare i punti deboli della struttura (spigoli, innesti di travi, ecc.) per la correzione dei ponti termici e il controllo della tenuta all'aria dell'edificio
- verificare la disposizione degli strati rispetto al loro comportamento termico e igrometrico per scongiurare il rischio di condensazione interstiziale.

Rispetto a questo ultimo problema, secondo la norma UNI EN ISO 13788, per evitare la condensazione interstiziale i criteri da adottare 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.

Rispettando i criteri di cui sopra, la norma garantisce l'assenza di rischio. Non è però sempre vero il contrario, cioè che il mancato rispetto dei suddetti criteri porti nella realtà alla formazione di condensazione. Questo perché, come spiegato nel primo capitolo, la norma è in grado di prevedere i soli fenomeni legati alla "diffusione del vapore" e non l'interezza del comportamento "igroscopico" dei materiali.

Pertanto nel caso di necessità o di interesse è possibile verificare una struttura anche attraverso una simulazione dinamica in accordo con la norma UNI EN 15026.

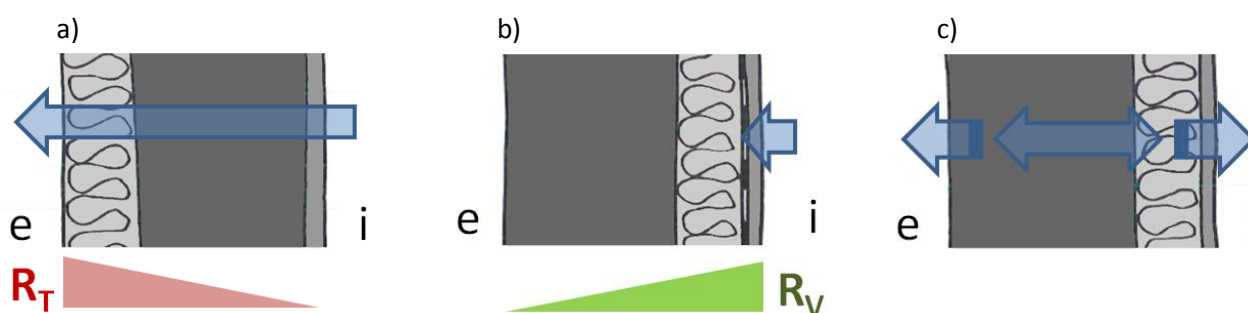


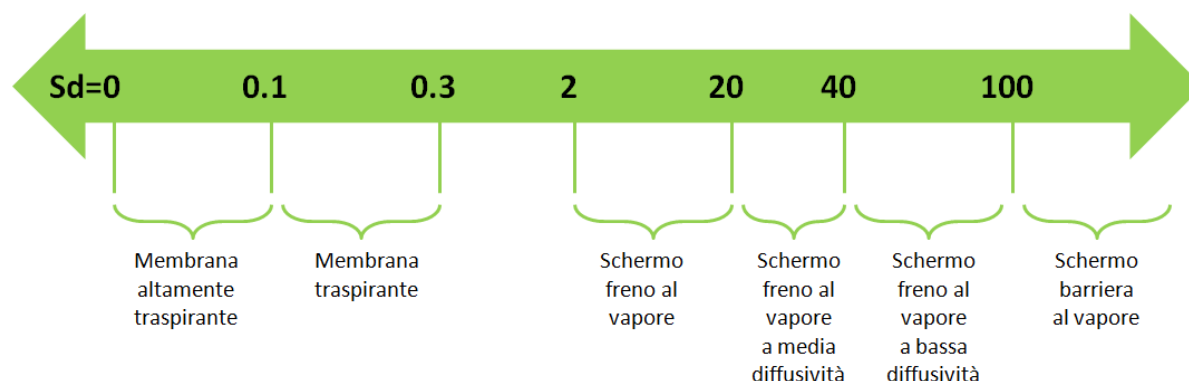
Figura 7 Criteri di progettazione igrotermica. Secondo la norma UNI EN ISO 13788 per evitare il rischio di condensazione interstiziale i criteri di progettazione sono quelli rappresentati nello schema a) e b), ovvero disporre i materiali in ordine crescente di resistenza termica dall'interno all'esterno oppure in ordine decrescente di resistenza al vapore. 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).

3.2 La progettazione di una copertura: barriere, freni e membrane traspiranti

Rispetto ai casi presentati in Figura 7, solitamente per una copertura si ricade nello schema b) ovvero in presenza di strati isolanti con alta resistenza termica e membrane con alta resistenza al vapore. È quindi importante saper riconoscere e posizionare correttamente le membrane per evitare problemi igrotermici.

Su questo argomento la norma UNI 11470:2015 “Coperture discontinue - Schermi e membrane traspiranti sintetiche - Definizione, campo di applicazione e posa in opera” propone una classificazione basata sul valore S_d definito come “Spessore equivalente d’aria” ovvero lo spessore in metri di uno strato d’aria avente la stessa resistenza al vapore della membrana.

La classificazione della norma UNI 11470 è la seguente:



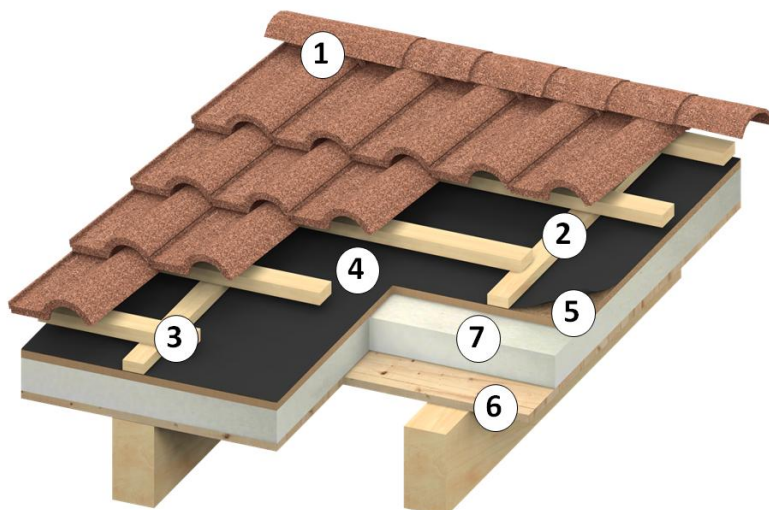
Esistono membrane che possono modificare la propria capacità di trasmissione del vapore e possono coprire più categorie tra quelle sopra elencate.

A cui si aggiungono le seguenti definizioni:

Membrana traspirante e altamente traspirante:	elemento impermeabile di tenuta al vento, avente la funzione di consentire il convogliamento di acqua meteorica, proveniente da rotture o dislocazioni accidentali degli elementi di tenuta, verso i dispositivi di raccolta e smaltimento. Deve consentire la permeazione del vapore acqueo proveniente dagli ambienti confinati sottostanti la copertura per fenomeni di diffusione (nella condizioni di progetto). Non può sostituire l'elemento di tenuta in quanto tale.
Schermo freno vapore:	elemento impermeabile di tenuta all'aria avente la funzione di ridurre il passaggio del vapor acqueo per controllare il fenomeno della condensa all'interno dei pacchetti di copertura. È definito schermo freno vapore a media diffusività l'elemento con S_d tra 20 e 40 e a bassa diffusività tra 40 e 100.
Schermo barriera vapore:	elemento impermeabile di tenuta all'aria avente funzione di limitare fortemente il passaggio di vapor acqueo per controllare il fenomeno della condensa all'interno dei pacchetti di copertura.

3.3 Errori da evitare

Ormai è chiaro che gli errori da evitare riguardano la disposizione degli strati e l'analisi del comportamento igrotermico delle membrane e dei materiali adottati. Dalla pratica emergono però anche altri problemi legati a sottovalutazioni tecnologiche. Di seguito proponiamo una breve sintesi degli errori più comuni:



1- Colmo non ventilato

- a. Umidità sotto la copertura con rischio di marcescenze
- b. Mancato passaggio dell'aria
- c. Infiltrazione d'acqua piovana

2- Mancata ventilazione

- a. Surriscaldamento del pacchetto coibente
- b. Passaggio incontrollato del calore nell'ambiente interno
- c. Accumulo di umidità nello strato isolante

3- Mancata impermeabilizzazione all'acqua nei punti di fissaggio

- a. Infiltrazione d'acqua nello strato isolante e nell'ambiente interno

4- Membrana traspirante di bassa qualità

- a. Scarsa durabilità
- b. Scarsa tenuta meccanica al calpestio durante la posa
- c. Scarsa resistenza ai raggi UV
- d. Rischio d'infiltrazione d'acqua
- e. Perdite di tenuta al vento

5- Pannello dello strato di supporto rigido non traspirante

- a. Impedimento al passaggio di vapore
- b. Formazione di condensa nello strato isolante

6- Assenza del freno al vapore

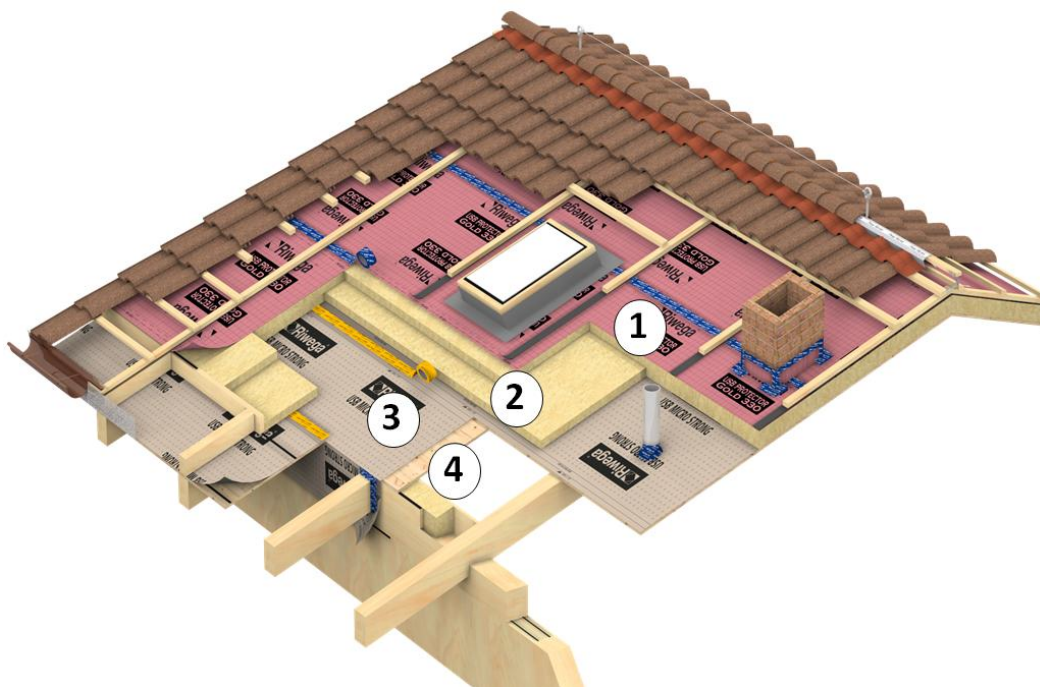
- a. Migrazione non controllata di umidità nello strato isolante
- b. Formazione di condensa interstiziale
- c. Mancata tenuta all'aria

7- Spessore inadeguato dello strato isolante

- a. Dispersioni termiche
- b. Assenza di comfort interno invernale ed estivo
- c. Rischio di formazione di muffa sui punti a temperatura più bassa

4 STRATIGRAFIE DI ESEMPIO

4.1 Tetto in legno con coibentazione esterna



Legenda:

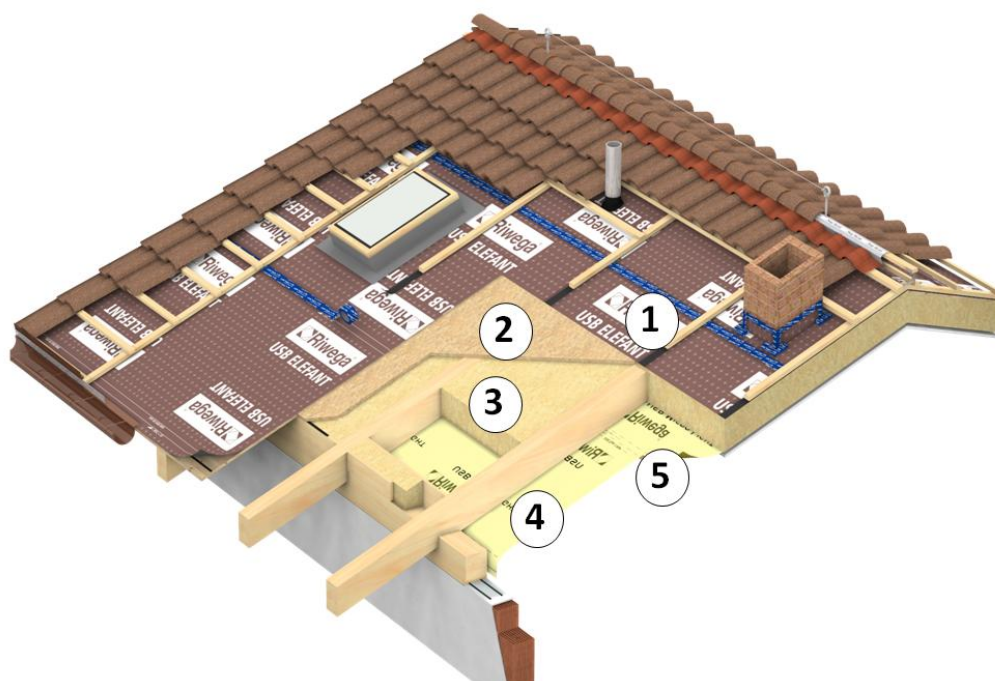
1.	membrana traspirante esterna tipo USB Protecotor GOLD 330 (classe A, UDB/USB , Sd: 0.1m)
2.	materiale isolante
3.	schermo freno vapore tipo USB Micro Strong (Classe A, Sd >2m)
4.	strato di finitura interna

Descrizione:

In questa stratigrafia si rappresenta una copertura con struttura in legno e coibentazione continua all'estradosso della struttura stessa; lo schermo freno al vapore è rappresentato dal prodotto USB MICRO STRONG con valore $S_d > 2$ metri e Classe A di massa areica (≥ 200 g/mq); queste caratteristiche sono richieste per coperture con pendenza inferiore o uguale al 30% ($16,7^\circ$) e con isolanti ad alta permeabilità al vapore; in caso di pendenza superiore al 30% è possibile utilizzare anche Schermi in classe B di massa areica (es. USB MICRO da 155 g/mq) mentre in caso di impiego di isolanti a bassa permeabilità al vapore si dovrà prevedere uno Schermo freno al vapore con un valore S_d più elevato (es. USB MICRO 230/20 con $S_d = 20$ m).

La membrana traspirante sopra il coibente è rappresentata dal prodotto USB PROTECTOR GOLD 330 (Classe A di massa areica e valore $S_d = 0,1$ m), altamente resistente dal punto di vista meccanico, ai raggi UV e alle alte temperature, tanto da conferirgli una garanzia di 20 anni. Se la pendenza del tetto è superiore al 30% ($16,7^\circ$) è possibile usare anche membrane traspiranti in Classe B di massa areica (≥ 140 g/mq) come il prodotto USB CLASSIC (185 g/mq; $S_d = 0,02$ m; garanzia 10 anni).

4.2 Tetto in legno con coibentazione interposta nella struttura



Legenda:

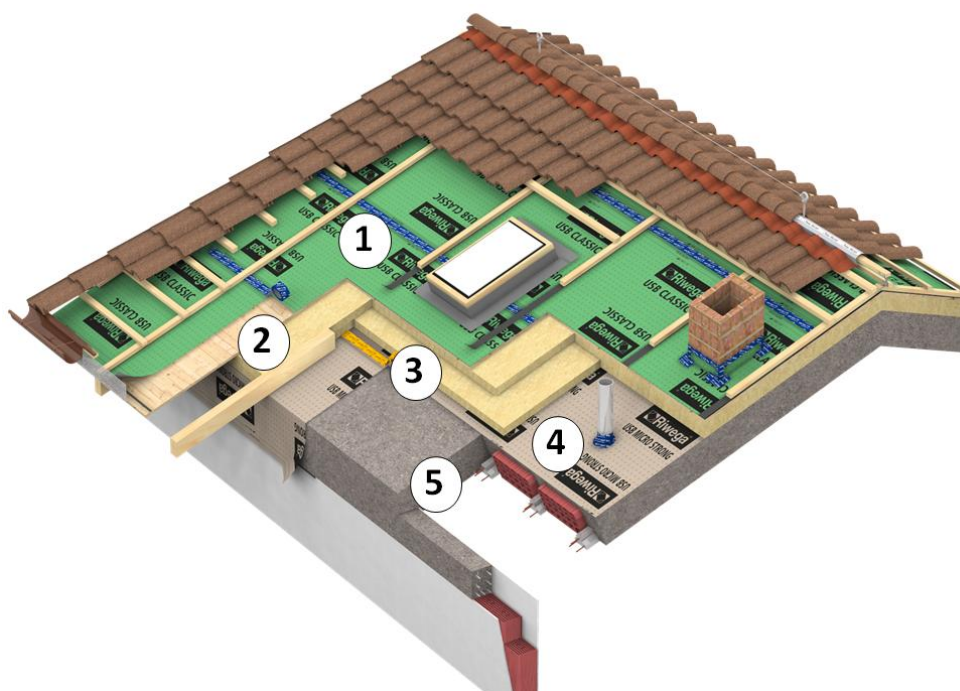
1.	membrana traspirante esterna tipo USB Elephant (classe A, UDB/USB, Sd: 0,02m)
2.	assito in legno
3.	materiale isolante
4.	schermo freno vapore tipo USB Micro Light (Classe D, Sd =10m) (da verificare con calcolo termoigrometrico in regime dinamico secondo UNI EN 15026)
5.	strato di finitura interna

Descrizione:

Nel caso di coibentazione discontinua interposta nella struttura in legno (tra le travi), la situazione cambia in quanto non abbiamo continuità di isolamento, ma riscontriamo dei valori inferiori nel punto dove il coibente si interrompe per fare posto alla trave in legno. In questo caso cambiano completamente le esigenze dello Schermo freno al vapore: dal punto di vista meccanico, lavorando dall'interno non servono più Schermi in classe A o B di massa areica, ma sono più comodi ed indicati prodotti in classe D ($< 130 \text{ g/mq}$); dal punto di vista igroscopico, invece, abbiamo l'esigenza di alzare il valore Sd per evitare fenomeni di condensa nei seppur minimi ponti termici che si formano nei punti di incontro tra coibente e struttura. Ecco allora che si possono proporre Schermi freno al vapore come USB MICRO LIGHT (120 g/mq e valore Sd $>10 \text{ m}$) oppure USB MICRO 100/20 (100 g/mq e valore Sd = 20 m). In alcune occasioni, i calcoli hanno evidenziato la necessità di usare uno Schermo igrosensibile con il valore Sd variabile, come il prodotto USB MICRO VARIO (100 g/mq e valore Sd $0,2\text{-}20 \text{ m}$).

Come membrana traspirante in alternativa alla USB PROTECTOR è stata inserita la USB ELEFANT, anch'essa in Classe A di massa areica, con valore Sd = $0,02 \text{ m}$ e con garanzia di 10 anni. Inoltre, in caso di impiego di prodotti coibenti leggeri come quelli a bassa permeabilità al vapore potrebbe essere utile l'impiego della membrana traspirante riflettente USB REFLEX PLUS (200 g/mq ; Sd = $0,045 \text{ m}$) per migliorare le prestazioni estive del pacchetto coibente, sfruttando i valori di riflettività ed emissività di questo prodotto.

4.3 Tetto in laterocemento con coibentazione esterna



Legenda:

1.	membrana traspirante esterna tipo USB classic (classe B, UDB/USB , Sd: 0.02m)
2.	assito in legno
3.	materiale isolante
4.	schermo freno vapore tipo USB Micro Strong (Classe A, Sd >2m)
5.	solaio in laterocemento

Descrizione:

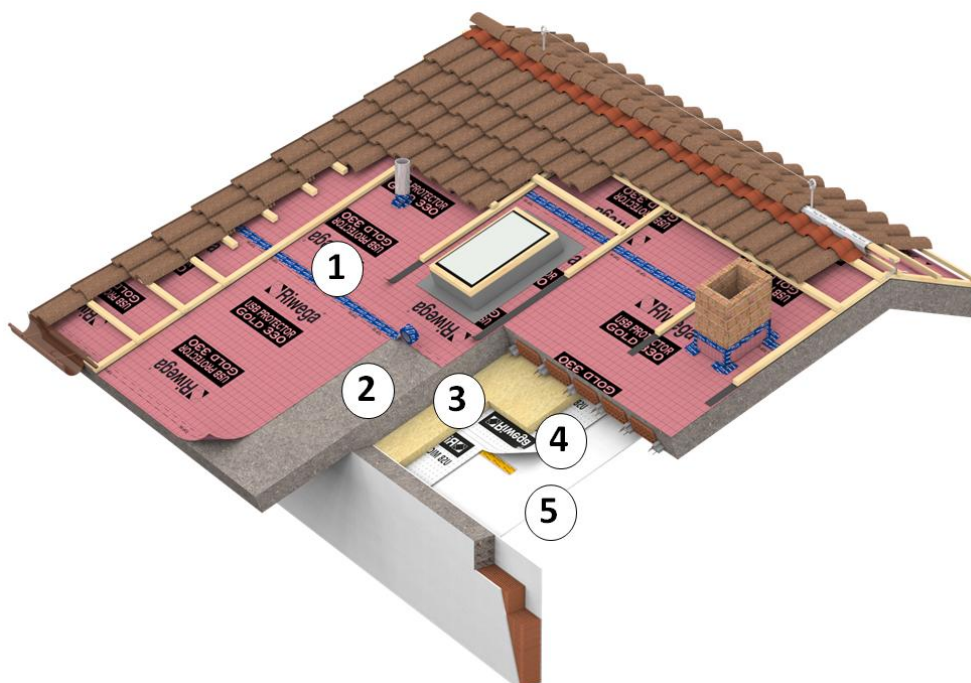
Questa stratigrafia rappresenta una copertura con falda in laterocemento; a differenza della struttura in legno, in questo caso lo schermo freno al vapore potrà essere solo in classe A di massa areica ($\geq 200 \text{ g/mq}$) a prescindere dalla pendenza del tetto; non variano invece i criteri di scelta a riguardo del valore Sd, quindi si opterà per lo Schermo freno al vapore USB MICRO STRONG ($S_d > 2 \text{ m}$) con isolanti ad alta permeabilità al vapore, o in alternativa USB MICRO 230/20 con isolanti a bassa permeabilità al vapore.

Non si deve cadere nell'errore di pensare che questo tipo di strutture sia sufficientemente chiuso al passaggio del vapore da non necessitare di uno schermo superiore; è vero che il vapore attraverserà più lentamente lo strato in laterocemento rispetto ad un tavolato in legno, ma una volta attraversata la struttura il flusso sarà continuo e andrà regolato con l'apporto dello Schermo freno al vapore.

Il risvolto laterale dello Schermo freno al vapore sulla parete viene realizzato al fine di creare la tenuta all'aria nella connessione tra tetto e parete; ovviamente il risvolto dovrà coprire la parete fin sotto il cordolo di appoggio del tetto.

La membrana traspirante rappresentata è USB CLASSIC (185 g/mq ; $S_d = 0,02 \text{ m}$; garanzia 10 anni) in Classe B di massa areica; in caso di pendenze inferiori al 30% ($16,7^\circ$) è opportuno ricordarsi che la norma UNI 11470:2015 richiede l'impiego di prodotti in Classe A di massa areica.

4.4 Tetto in laterocemento con coibentazione interna



Legenda:

1.	membrana traspirante esterna tipo USB Protecotor GOLD 330 (classe A, UDB/USB , Sd: 0.1m)
2.	solaio in laterocemento
3.	materiale isolante
4.	schermo freno vapore tipo USB Micro 100/20(Classe D, Sd: 20m) (da verificare con calcolo termoigrometrico in regime dinamico secondo UNI EN 15026)
5.	strato di finitura interna

Descrizione:

Qualora ci trovassimo di fronte al risanamento con efficientamento energetico di un tetto in laterocemento che necessiti di una coibentazione posta all'intradosso della struttura, si dovrà ragionare in funzione della bassa traspirazione che offre questo tipo di struttura rispetto a quella del coibente che sta all'interno; in questo caso, quindi, si parte dal concetto di chiudere maggiormente il passaggio del vapore fin dall'interno con uno Schermo freno al vapore USB MICRO 100/20 (100 g/mq e valore Sd = 20 m), posizionato tra il pacchetto coibente e la finitura interna (es. cartongesso, fibrogesso, perlina, o altro). In alcune occasioni, i calcoli hanno evidenziato la necessità di usare uno Schermo igrosensibile con il valore Sd variabile, come il prodotto USB MICRO VARIO (100 g/mq e valore Sd 0,2-20 m) che consenta una retro-asciugatura estiva dell'umidità accumulata nel periodo invernale.

La membrana traspirante che viene posata direttamente sulla superficie cementizia, come richiesto dalla norma UNI 11470:2015, dovrà avere caratteristiche di Classe A di massa areica (> 200 g/mq) in modo da essere sufficientemente resistente al calpestio e all'abrasione inferiore prodotta dalla superficie ruvida del massetto cementizio; in questo caso viene proposta la membrana traspirante USB PROTECTOR GOLD 330 (Classe A di massa areica, valore Sd = 0,1 m e garanzia 20 anni).

5 CONTATTI

Per ogni eventuale ulteriore richiesta di approfondimento o chiarimento segnaliamo i seguenti contatti:

- **ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico**

www.anit.it

info@anit.it

- **RIWEGA**

www.riwega.com

info@riwega.com

Banca dati materiali Riwega per software ANIT

- [Database Riwega](#)

6 BIBLIOGRAFIA

1. R. Esposti, G. Galbusera, A. Panzeri, C. Salani, **Muffa condensa e ponti termici. Volume IV collana di ANIT.** Ed. da TEP srl, Terza edizione Gennaio 2016
2. E. Marra, **Le simulazioni igrotermiche dinamiche Neo Eubios 55.** Ed. da TEP srl, Marzo 2016
3. H. M. Künzeli, **La funzione di equilibrio igroscopico per i materiali da costruzione. Neo Eubios 52.** Ed. da TEP srl, Giugno 2015
4. M. Demattio, P. Erlacher, **L'intervento di coibentazione interna per il risanamento. Neo Eubios 49.** Ed. da TEP srl, Settembre 2014
5. ANIT, **Isolamento termico dall'interno senza barriera al vapore**, Manuale ANIT, versione settembre 2013
6. A. Panzeri e C. Salani, **Igrotermica in regime variabile, Neo Eubios 44,** Ed. da TEP srl, Giugno 2013
7. Galbusera e A. Riva, **Isolare dall'interno senza barriera al vapore, Neo Eubios 45,** Ed. da TEP srl, Settembre 2013
8. Wufi Workshop 2012, **Dispense del corso, Holzkirchen (D) dicembre 2012,** Fraunhofer IBP
9. G. Galbusera, **Analisi del rischio di muffa e condensa: dalle verifiche di legge alla diagnosi strumentale. Neo Eubios 41.** Ed. da TEP srl, Settembre 2012
10. M. Krus, **Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials.** Fraunhofer IRB Verlag, 1996
11. F. Piva, **Legno Costruire Abitare.** Ed. da Riwega - 3therm - RoofRox, 2015
12. **UNI 11470:2015, Coperture discontinue - Schermi e membrane traspiranti sintetiche - Definizione, campo di applicazione e posa in opera**
13. **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**
14. **UNI EN 15026:2008, Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio - Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica**
15. Catalogo Eternity Comfort 2016 Riwega



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 relative all'isolamento termico ed 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 IMPRESA**: Imprese di costruzione
- **SOCI ONORARI**: Enti pubblici e privati, Università e Scuole Edili, Ordini e Collegi professionali

I soci individuali ricevono:



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



I software **ANIT**, per
calcolare tutti gli aspetti
dell'efficienza energetica e
dell'acustica degli edifici



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



Abbonamento alla rivista
specializzata **Neo-Eubios**

La quota associativa ha un costo di **€ 95 + IVA** e validità di **12 mesi**. Per informazioni: www.anit.it

ANIT - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
Via Savona 1B - 20144 – Milano