

PROBLEMI IGROTHERMICI

Le tecnologie "leggere" in pannelli fibrosi che cominciano a diffondersi anche in Italia richiedono un'attenta valutazione degli aspetti legati alla diffusione del vapore. Uno studio dell'Università delle Marche

M. D'Orazio, D. Dogana

Nelle coperture in legno moderne è oggi frequente trovare impiegate tecnologie "leggere", basate sull'uso di pannelli in OSB accoppiati a isolanti di natura fibrosa. Le motivazioni di tale crescente utilizzo risiedono principalmente nella facilità di montaggio che elimina le operazioni relative alla realizzazione di singoli strati e porta in alcuni casi a preferirle a realizzazioni più tradizionali. Queste tecnologie sono estremamente diffuse nei paesi del nord-europa e del nord-america, meno nel nostro contesto geografico e proprio questa ancora limitata diffusione pone problemi relativi alla mancata conoscenza delle prestazioni offerte da tali sistemi soprattutto in termini di durata. Questi sistemi impiegano infatti materiali (pannelli e isolanti fibrosi) per i quali è nota la forte sensibilità rispet-

to alle variazioni di tipo termoigrometrico sia in termini di durata sia in termini di possibile variazione della conducibilità termica (riferendoci in questo caso ai soli isolanti). Convenzionalmente per limitare l'accumulo di umidità nei materiali di copertura ci si basa sul controllo del flusso di vapore acqueo che per diffusione tende a migrare attraverso la copertura per effetto del gradiente di pressione; a tal fine vengono impiegati barriere e freni al vapore dotati di una ridotta permeabilità.

Solo di recente, accanto alle strategie classiche di controllo igrometrico, si stanno sviluppando materiali dotati di un comportamento dinamico nei confronti della diffusione del vapore. Queste membrane, agendo da tampone igroscopico, sono in grado di assorbire umidità in maniera

A sinistra, Chiesa di Mas-Peron (BI), copertura in legno lamellare realizzata da Holzbau.
Al centro, Centro Commerciale Carrefour di Limbiate (MI), copertura in legno lamellare realizzata da Holzbau.

selettiva al posto dei materiali sensibili con cui vengono posti a contatto.

Per dare una prima risposta a tali problematiche, a seguito di una ricerca sperimentale volta a caratterizzare i materiali che compongono questi sistemi dal punto di vista igroscopico, si è sviluppata una campagna di simulazioni parametriche condotte con il software WUFI, con l'obiettivo di valutare la performance di tali tipologie di coperture, in relazione al loro comportamento igroscopico, in alcune condizioni climatiche italiane. Si è in particolare simulato, mediante il software sviluppato dal Fraunhofer Institute, il comportamento igrometrico annuale di 6 tipi di coperture con e senza l'uso di barriere al vapore in 5 contesti climatici differenti caratteristici della variabilità del clima italiano.

La ricerca ha messo in evidenza che in climi italiani ed in condizioni di produzione di vapore interno ai locali compatibili con un utilizzo residenziale, tali soluzioni risultano sempre accettabili. Anche in assenza di barriere o freni al vapore posti sul lato caldo del coibente termico non si verificano significativi accumuli igroscopici a carico dei pannelli e/o dei coibenti di natura fibrosa. Anche se per questi si rileva una sensibile riduzione delle proprietà coibenti rispetto ai valori iniziali. Solo in condizioni di elevata produzione di vapore negli ambienti (andando però al di fuori di situazioni tipiche dell'ambito residenziale) si pongono problemi di durabilità dei sistemi qui analizzati.

Le soluzioni costruttive di copertura a confronto

Nella simulazione sono state considerate sei varianti tipologiche differenti tanto per la strati-

grafia quanto per la tipologia dei materiali impiegati. Fissata la tipologia costruttiva di riferimento costituita da un tetto a sandwich non ventilato costituito da pannelli lignei preassemblati con interposto isolante, si sono esaminate le varianti descritte (vedi tabella nella pagina successiva) ciascuna individuata con la denominazione utilizzata nei grafici.

Si tratta in particolare di soluzioni costruttive che hanno come base un pacchetto preassemblato costituito da pannelli in OSB o compensato con

interposti isolanti naturali fibrosi di origine vegetale e accoppiate barriere al vapore di diversa natura disposte in diverse posizioni. Questi sistemi costruttivi sono noti in nordamerica con il nome di SIPs "Structural Insulated Panels".

È stato valutato l'impiego delle seguenti tipologie di membrane:

- membrane impermeabili traspiranti in poliolefine;
- barriere al vapore del tipo "carta kraft";
- barriera al vapore dinamica.

Una nota esplicativa riguarda la barriera al vapore dinamica: è una particolare barriera al vapore dinamica che consiste in un feltro in polipropilene igroscopico rivestito su entrambi i lati con strisce in polietilene. Il feltro è costruito con diverse fibre sintetiche che gli conferiscono proprietà igroscopiche permanenti mentre la necessaria resistenza alla diffusione viene ottenuta grazie alle strisce in polietilene parzialmente sovrapposte. La dinamicità di comportamento consiste principalmente nel possedere un comportamento selettivo nei confronti del flusso di vapore al variare dell'U.R.% ambientale. Sino a quando non si verifica condensazione superficiale su una delle facce, la barriera al vapore dinamica si

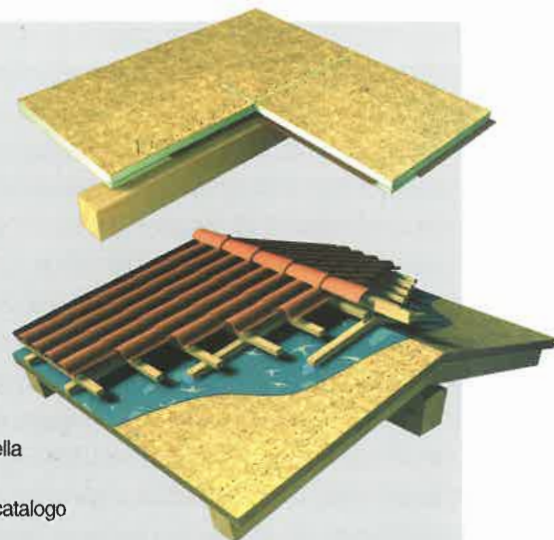


Structural Insulated Panels

Soluzioni costruttive che hanno come base un pacchetto pre-assemblato costituito da pannelli in OSB o compensato con interposti isolanti naturali fibrosi di origine vegetale e accoppiate barriere al vapore di diversa natura disposte in diverse posizioni.

A sinistra, tre tipologie di pannello autoportante con altrettante finiture: OSB su entrambe le facce, con finitura per interno in compensato di conifera (abete o pino) con e senza effetto "perlinato" (fonte catalogo prodotti della gamma Tettostyr® prodotti da Maxitalia).

A destra, posa in opera dei pannelli autoportanti (fonte catalogo prodotti della gamma Tettostyr® prodotti da Maxitalia).



comporta come una barriera al vapore convenzionale ($\mu=17800$) mentre quando questa ha luogo diviene preponderante l'assorbimento per capillarità e la capacità di accumulare umidità al posto dei materiali suscettibili di degrado come il tavolato ligneo.

Riguardo agli isolanti termici la scelta è ricaduta sui materiali fibrosi di origine vegetale in quanto, pur essendo fortemente igroscopici, sono molto diffusi nei sistemi costruttivi sopraccitati. Quanto alle proprietà termoigrometriche dei materiali si è fatto riferimento ai valori forniti dal database del software WUFI che sono riportati nella tabella a fianco.

Per quanto riguarda le condizioni climatiche al contorno esterne si sono considerate tre città italiane rappresentative di altrettante zone climatiche (Brescia, Roma, Palermo); per valutare invece il comportamento delle stesse soluzioni costruttive in un contesto freddo e continentale si è fatto riferimento a Monaco di Baviera. Le condizioni al contorno interne ricalcano quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 13788 per le classi di concentrazione di vapore interno ai locali: si è considerata una concentrazione di vapore medio-alta pari a 8 g di vapore/m³. E' stata inoltre considerata una condizione limite di produzione di vapore corrispondente ad un ambiente con U.R.% dell'85% con una temperatura di 25°C.

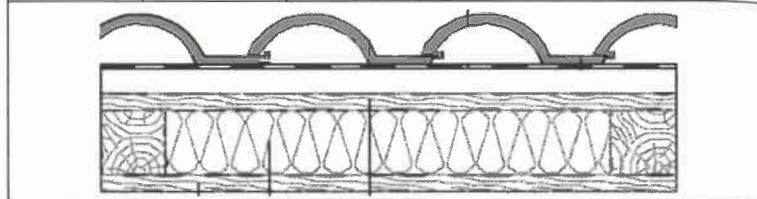
La messa a punto di indicatori di performance

Come la norma UNI EN ISO 13788 stessa stabilisce, per giudicare le prestazioni delle strutture relativamente alle problematiche di umidità, devono essere utilizzati i due criteri seguenti:

- il bilancio igroscopico (accumulo e rilascio) deve stabilizzarsi nell'arco temporale di un anno, cioè non si devono verificare fenomeni di accumulo progressivo nel lungo periodo;
- la massima quantità di umidità accumulata nei materiali deve comunque essere inferiore ai valori soglia. Il loro superamento porterebbe da un lato all'aumento della conduttività termica dell'isolante e dall'altro al degrado dei pannelli lignei dovuto all'attacco di funghi e muffe.

Il primo indicatore di performance riguarda il decadimento delle proprietà coibenti dell'isolante. Premesso che la normativa vigente non fissa un valore massimo di conduttività termica, quest'ultima è stata correlata al contenuto di umidità che viene fornito in output dal software. Tanto maggiore è l'aumento della conduttività termica dell'isolante, tanto più la soluzione costruttiva si discosta dalla situazione ideale di struttura com-

Soluzione	Descrizione
CK	Freno al vapore sul lato caldo dell'isolante tipo "carta kraft"
N	Soluzione priva di particolari membrane
TY	Membrana impermeabile traspirante sul lato freddo dell'OSB
TY+CK	Freno al vapore sul lato caldo dell'isolante tipo "carta kraft"+
HC	Barriera al vapore dinamica sul lato caldo dell'isolante
HF	Barriera al vapore dinamica sul lato freddo dell'isolante



	Densità [kg/m ³]	Porosità [m ³ /m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Conduttività termica [W/mK]	Fattore di resistenza al vapore d'acqua [μ]
Carta kraft	120	0.6	1500	0.42	3000
Barriera al vapore dinamica	318	0.92	2300	2.9	350-17800
Poliolefine	130	0.001	1500	2.3	20
Compensato	500	0.5	1500	0.1	700
OSB	600	0.6	1880	0.101	650
Fibra di legno	155	0.981	2000	0.042	3
Fibra di cellulosa	70	0.95	2500	0.04	1.5
Fibra di lino	38	0.95	1600	0.038	1.5

pletamente asciutta.

Il secondo indicatore è relativo all'accumulo igroscopico nei pannelli lignei: i contenuti di umidità soglia a carico dei pannelli di compensato ed OSB sono rintracciabili in letteratura e fanno riferimento a due valori. Il pannello può essere considerato asciutto per contenuti di umidità inferiori al 19%, mentre raggiunge lo stato di saturazione della fibre per contenuti del 28% in peso. Il permanere della saturazione comporta la sicura marcescenza del legno per attacco di muffe mentre per valori di umidità inferiori comunque superiori al 19%, il legno è soggetto a variazioni dimensionali.

Igroscopicità e conduttività termica

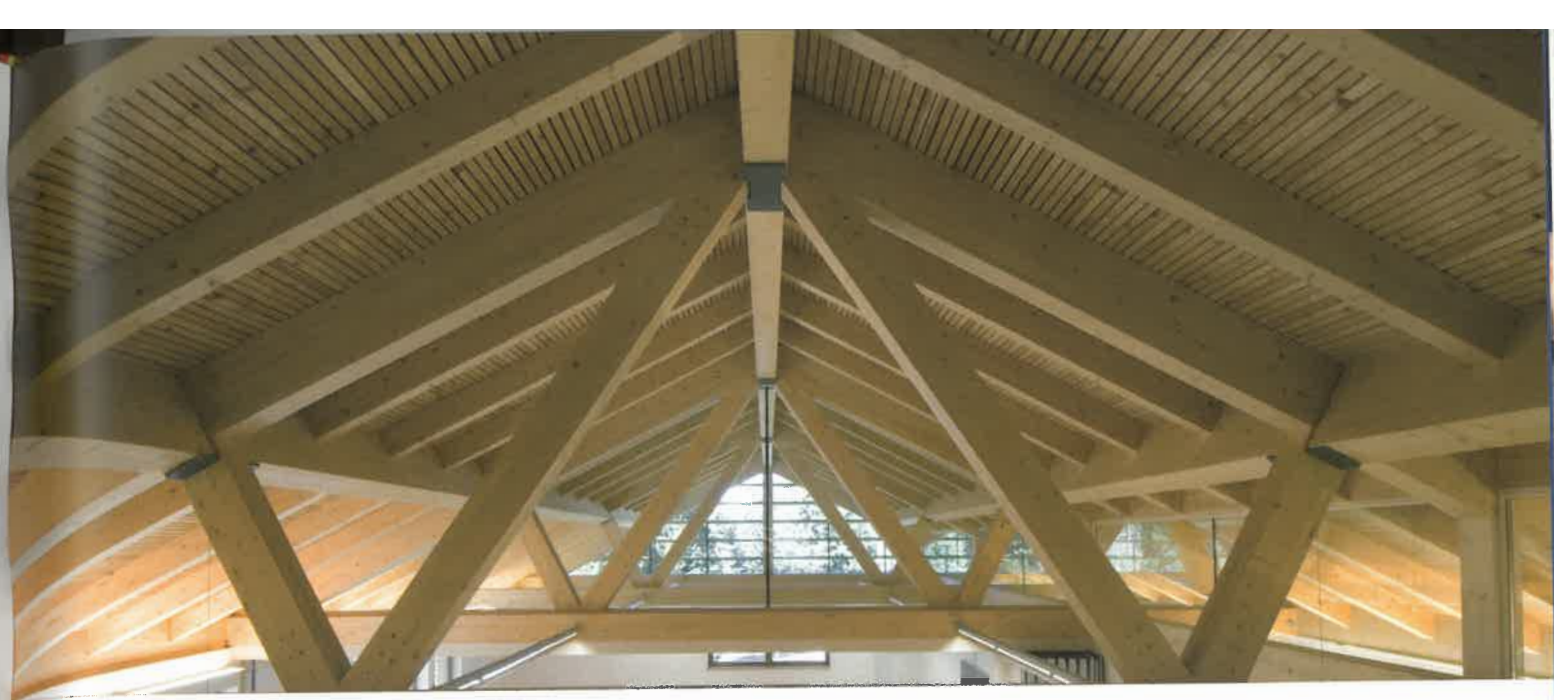
La definizione del 1° indicatore merita un approfondimento di carattere generale sul comportamento degli isolanti in presenza di umidità. L'igroscopicità di un materiale poroso, utilizzato come "isolante termico", deve essere di norma controllata e ridotta a livelli molto bassi in quanto costituisce un potenziale pericolo per il materiale coibente perché ne peggiora la prestazione principale: la conduttività termica.

L'igroscopicità è esaltata nei materiali con cavità totalmente interconnesse come quelli oggetto della presente ricerca in cui l'acqua può migrare facilmente dalla superficie esterna verso il volume interno del materiale.

Ipotizzando una semplice dipendenza lineare

In alto, le sei soluzioni costruttive a confronto.

Sopra, proprietà termoigrometriche dei materiali.



Scuola forestale Latemar a Novalavante (Bz), copertura in legno lamellare realizzata da Holzbau. Sotto, variazione delle conducibilità termica in funzione dell'U.R. in 6 tipologie di isolante. Le curve di assorbimento igroscopico relative ai materiali fibrosi di origine vegetale sono state ricavate sperimentalmente nell'ambito della presente ricerca (Fonte: IEA Annex 24 HAMTIE-Final Report-Task 3-Material Properties).

della conducibilità termica in funzione del contenuto d'acqua normalizzato vale la relazione seguente:

$$-\lambda(w) = \lambda_s \cdot (1 + b \cdot w / p_s)$$

in cui:

- $\lambda(w)$ è la conducibilità termica del materiale umido;
- λ_s è la conducibilità termica del materiale secco,
- p_s è la densità del materiale secco;
- b è un supplemento percentuale di conducibilità termica indotto dalla presenza di umidità: nel caso della fibra di cellulosa $b=1$ mentre per gli altri due isolanti $b=0.5$;
- w è il contenuto d'acqua del materiale in kg/m^3 .

Per avere un parametro di riferimento più consueto, la conducibilità termica può essere espressa in funzione dell'U.R.% ambientale anziché del contenuto d'acqua normalizzato che è il rapporto tra un dato contenuto d'acqua e il contenuto d'acqua massimo (dipendente dalla porosità).

I diagrammi che descrivono la dipendenza della conducibilità termica dall'U.R.% sono riportati nel grafico in basso per 6 tipologie di isolante tra le più diffuse, tre naturali di origine vegetale e altri tre di natura sintetica o mineral.

Dal confronto emerge che:

- 1) la conducibilità termica degli isolanti naturali è, nel range 0-60% di U.R., dal 20% al 30% superiore a quella di un isolante termico come il polistirene, il che significa che per ottenere pari potere coibente occorre impiegare spessori, per tali materiali, superiori almeno del 30% rispetto ad un isolante di natura sintetica;
- 2) oltre il 70-75% di U.R.% si incrementa la conducibilità termica in termini esponenziali, cosa che comporta, nel caso in cui si volesse mantenere inalterata la prestazione termica, la necessità di spessori doppi per questi materiali rispetto a quelli di natura sintetica.

I risultati delle simulazioni

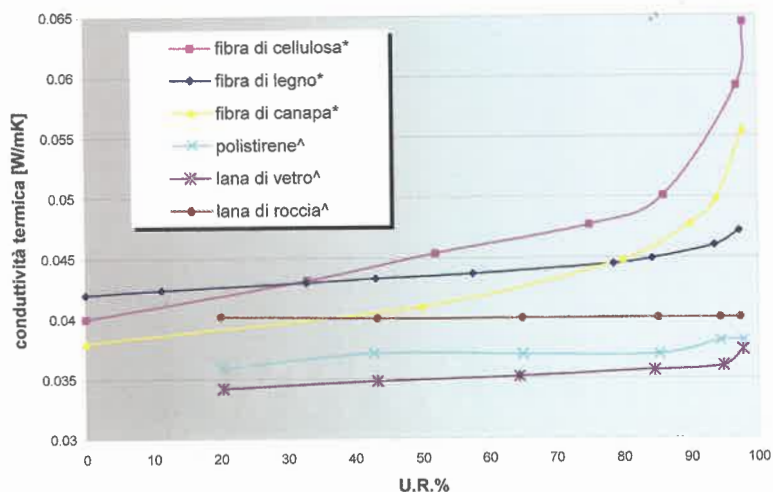
I sistemi a confronto: produzione di vapore interna medio-alta

In tutti i diciotto casi esaminati, durante il periodo invernale, il pannello di OSB non accumula una quantità di umidità tale (19%) da poter innescare fenomeni di degrado.

Anche per gli isolanti vale un discorso affine: gli accumuli igroscopici a carico del coibente non sono tali da comportare un aumento sostanziale della conducibilità termica in condizioni di esercizio.

Le fluttuazioni sono più accentuate per la fibra di cellulosa (la maggiore pendenza delle rette conferma la maggiore igroscopicità). Quanto all'idoneità delle soluzioni stratigrafiche, si evince che anche in assenza di barriera al vapore (N) questi sistemi costruttivi, non presentano problematiche di accumulo progressivo anche in ambienti aventi concentrazioni di vapore medio-alti.

Soluzioni conformi comunque migliorative (specie per il tavolato esterno più che per l'isolante) consistono nel predisporre una barriera o freno al vapore sul lato caldo dell'isolante.



I sistemi a confronto: produzione di vapore interna estrema

Si è voluto analizzare il comportamento degli stessi sistemi di copertura al variare di un altro parametro fondamentale: le condizioni di produzione di vapore interna ai locali. È stata condotta una simulazione con una condizione di UR media interna dell'80% con 25 °C di temperatura, una situazione che può verificarsi solo in edifici particolari come le piscine. Facendo riferimento a Brescia per il clima esterno i risultati comparativi si riferiscono esclusivamente ai sistemi costruttivi impieganti l'isolante in fibra di cellulosa (isolante risultato il più igroscopico). Come era lecito attendersi, raddoppiando la produzione di vapore interna ai locali, l'omissione della barriera al vapore diviene deleteria sia per l'isolante sia per il pannello di OSB.

I sistemi a confronto: l'influenza del clima esterno

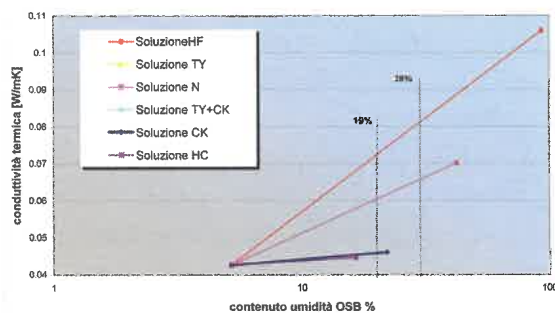
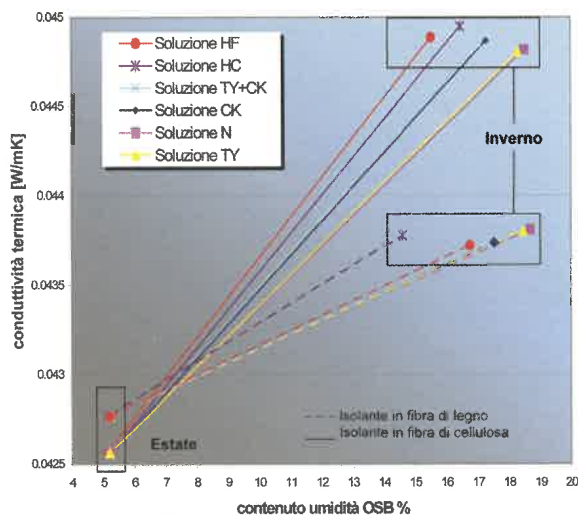
Per quantificare il peso di questo parametro si è fatto riferimento alla soluzione stratigrafica più comune con barriera al vapore sul lato caldo dell'isolante (soluzione CK isolata con isolante in fibra di cellulosa). Lo strato che maggiormente risente delle condizioni climatiche esterne è il pannello di OSB che in climi umidi e continentali (Brescia) raggiunge dei picchi di accumulo prossimi al 19%.

In climi mediterranei (Palermo e Roma) non sussiste alcun problema di durabilità connesso all'accumulo di umidità.

Solo in condizioni climatiche decisamente continentali subalpine, con inverni molto freddi (Monaco di Baviera), il ricorso alla barriera al vapore diventa condizione necessaria anche se non sufficiente per limitare l'accumulo di umidità critico nel tavolato ligneo esterno.

Conclusioni

In conclusione, le soluzioni costruttive analizzate evidenziano come non si pongano problemi di durabilità né per i pannelli in OSB né per gli isolanti termici considerati. L'accumulo igroscopico a carico degli isolanti, nelle varie soluzioni analizzate, non è tale da inficiare in modo sostanziale le proprietà coibenti in normali condizioni di esercizio.

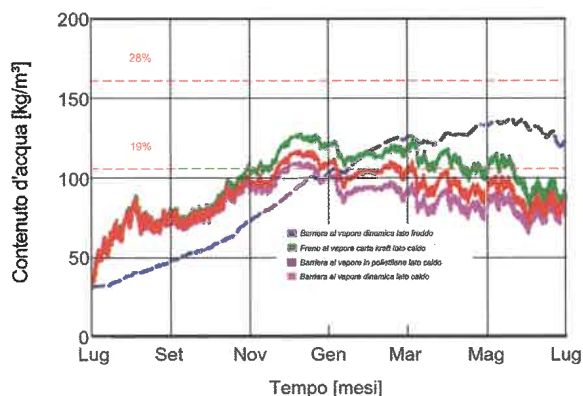
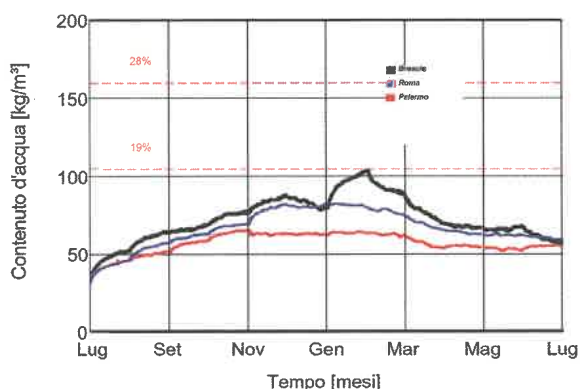


Si ribadisce il fatto che in condizioni di trasporto di vapore puramente diffusivo (tenuta dei giunti fra i pannelli sandwich), ed in assenza di infiltrazioni attraverso lo strato di tenuta, l'accumulo igroscopico a carico del tavolato ligneo è governato dalla ridotta permeabilità al vapore dei materiali che lo costituiscono (OSB e compensato) e non dall'isolante interposto.

Il massiccio ricorso a freni-barriere al vapore sul lato caldo del coibente non risulta del tutto giustificato, specie in contesti climatici con ridotto carico di umidità.

A sinistra, le soluzioni a confronto al variare della tipologia di isolante considerando l'effetto congiunto dell'accumulo di umidità sia nel pannello di OSB sia nell'isolante nel contesto climatico di Brescia. Le rette non rappresentano qualitativamente l'andamento reale di accumulo nell'arco temporale di un anno, ma si può ritenere che in inverno si attinge al valore massimo mentre in estate a quello minimo. Le rette corrispondenti alle soluzioni costruttive isolate con la fibra di lino, che non sono qui riportate, si collocano più in basso rispetto alle altre 12 isolate con la fibra di cellulosa e la fibra di legno. Ciò è dovuto al fatto che l'isolante in fibra di lino presenta una conduttività termica inferiore agli altri due.

Sopra, le sei soluzioni a confronto per l'isolante in fibra di cellulosa.



A sinistra, accumulo igroscopico a carico del pannello di OSB in differenti contesti climatici

A fianco, quattro soluzioni a confronto con l'isolante in fibra di cellulosa in clima nord-europeo: Monaco di Baviera.