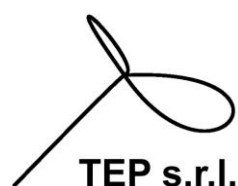


INDICE

0	PREMESSA.....	5
1	INTRODUZIONE NORMATIVA	5
2	TEORIA	6
2.1	<i>I limiti del modello di Glaser (UNI EN ISO 13788)</i>	<i>6</i>
2.2	<i>Igroscopia in regime variabile (UNI EN 15026).....</i>	<i>6</i>
3	ESEMPIO DI CALCOLO PREDITTIVO	8
3.1	<i>Valutazioni in regime stazionario</i>	<i>9</i>
3.2	<i>Valutazioni in regime variabile</i>	<i>10</i>
3.3	<i>Confronto dei risultati e conclusioni</i>	<i>15</i>
4	CARATTERISTICHE IGROTERMICHE	16
4.1	<i>Influenza dell'umidità per il lambda di progetto</i>	<i>16</i>
4.2	<i>Caratteristiche dei materiali da costruzione.....</i>	<i>17</i>
5	CONCLUSIONI	18
6	SISTEMA D'ISOLAMENTO MINERALE MULTIPOR	19

Realizzato da:



0 PREMESSA

La riqualificazione energetica di un edificio esistente spesso si scontra con l'impossibilità di isolare dall'esterno le pareti perimetrali a causa di vincoli sulle distanze dai confini, vincoli per edifici storici, facciate con mattoni a vista, presenza di modanature difficilmente rimovibili, interventi parziali che non riguardano tutto l'edificio, ecc. In queste situazioni pertanto si procede sfruttando l'eventuale intercapedine della muratura o isolando la parete dal lato interno.

In particolare in quest'ultimo caso le tecniche solitamente utilizzate prevedono l'impiego di una controparete, in muratura o in lastre, abbinata alla posa in opera di pannelli isolanti e della barriera al vapore. La barriera al vapore tuttavia in alcune situazioni può essere un rischio, ad esempio in estate nel caso di inversione dei flussi igrometrici o in generale nel caso di errata posa in opera (continuità non garantita in corrispondenza di giunti, nodi costruttivi, scatole impiantistiche, ecc.).

Nelle pagine che seguono si cercherà di documentare la possibilità di evitare, in alcune circostanze, l'uso di una barriera al vapore, superando l'impostazione semplificata proposta dal metodo di Glaser (UNI EN ISO 13788) in accordo con altri metodi normativi più sofisticati (UNI EN 15026).

Tali metodi però richiedono una maggior attenzione alla scelta dei materiali, alla corretta installazione, alla verifica dei ponti termici e all'analisi preventiva dell'assenza di condensa e muffa.

1 INTRODUZIONE NORMATIVA

Il rischio di condensazione interstiziale e superficiale oltre che di formazione di muffa è un argomento presente in tutti gli interventi relativi ad edifici di nuova costruzione e a interventi sull'esistente: dal 2005 la richiesta del rispetto di tale verifica (rischio di condensa) è esplicita e da argomentare all'interno della relazione tecnica Legge 10/91 e s.m.i. da presentare all'Ufficio Tecnico del Comune.

Il calcolo predittivo è da realizzarsi in accordo con la norma UNI EN ISO 13788 (recentemente revisionata a livello europeo, in fase di recepimento da parte di UNI) che ha come scopo la definizione di un metodo di riferimento per determinare la temperatura superficiale interna minima dei componenti edilizi per evitare il rischio di crescita di muffe e condensazioni superficiali e interstiziali a valori prefissati di temperatura e umidità relativa interna. Il metodo però assume alcune importanti semplificazioni quali l'assenza di umidità da costruzione negli strati e non tiene conto di alcuni importanti fenomeni fisici quali:

- la dipendenza della conduttività termica dal contenuto di umidità;
- lo scambio di calore latente;
- la variazione delle proprietà dei materiali in funzione del contenuto di umidità;
- la risalita capillare e il trasporto di acqua liquida all'interno dei materiali;
- il moto dell'aria attraverso fessure o intercapedini;
- la capacità igroscopica dei materiali.

La stessa norma nell'introduzione indica che: "La trasmissione del vapore all'interno delle strutture edilizie è un processo molto complesso e la conoscenza dei suoi meccanismi, delle proprietà dei materiali, delle condizioni iniziali e al contorno è spesso insufficiente, inadeguata e ancora in via di sviluppo. Perciò la presente norma propone metodi di calcolo semplificati, basati sull'esperienza e sulle conoscenze comunemente accettate. La standardizzazione di questi metodi di calcolo non esclude l'uso di **metodi più avanzati**. I metodi di calcolo utilizzati forniscono in genere risultati cautelativi e quindi, **se una struttura non risulta idonea secondo questi in base ad un criterio di progettazione specificato, possono essere utilizzati metodi più accurati che ne dimostrino l'idoneità**". Dal 2007 con la pubblicazione della norma EN 15026 è disponibile un modello di calcolo predittivo più accurato che consente di studiare cosa accade ad una struttura in modo più vicino alla realtà.

Il seguente documento sintetizza i contenuti del metodo di calcolo individuando le criticità e i punti di forza dei due modelli.

2 TEORIA

2.1 I limiti del modello di Glaser (UNI EN ISO 13788)

Il modello di Glaser ripreso dalla norma UNI EN ISO 13788, essendo un modello di calcolo semplificato, ha come ipotesi di base che le condizioni al contorno siano costanti e non considera i seguenti aspetti presenti nelle situazioni reali:

- **Capacità di assorbimento dei materiali:** nel modello di Glaser due materiali con un fattore di resistenza al passaggio di vapore (μ) identico si comportano alla stessa maniera. È evidente invece che se, a parità di μ , hanno capacità di assorbimento di umidità differenti, la migrazione di umidità nella struttura sarà differente: nella parete con più capacità di assorbimento si avrà un accumulo o rilascio di una maggiore quantità di umidità piuttosto che nella parete con poca capacità di assorbimento.
- **Trasporto di umidità:** il modello di Glaser prevede un solo meccanismo di migrazione del vapore legato alla differenza di pressione parziale ovvero la migrazione per diffusione. In realtà oltre a questo meccanismo in presenza di umidità si instaura anche una migrazione per capillarità dovuta alla porosità dei materiali interessati. Nel caso di presenza d'acqua il modello di Glaser non è in grado di prevedere direzione e intensità della migrazione.
- **Eventi che influenzano la migrazione del vapore nella struttura:** sole, vento e pioggia sulla superficie esterna. Gli eventi citati possono accelerare la migrazione o aumentare la presenza di umidità negli strati esterni delle strutture. Con Glaser l'ambiente esterno si traduce solamente in una temperatura media dell'aria e un'umidità relativa ad essa associata.
- **Gestione interna dell'ambiente:** come accade per l'esterno anche l'ambiente interno non è semplicemente valutabile sulla base di una temperatura costante con una certa umidità relativa. Anche all'interno si rilevano oscillazioni della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa che possono creare le condizioni per la migrazione di vapore dalla struttura all'ambiente e viceversa.

Tutto questo implica che il modello di Glaser abbia dei limiti di applicabilità che possono essere fonti di risultati errati – si veda a tal proposito il paragrafo 6.3 “Limitazioni e fonti di errore” della norma.

2.2 Igroscopia in regime variabile (UNI EN 15026)

Per superare i limiti del modello di Glaser è possibile studiare il fenomeno dell'umidità nelle strutture in regime variabile in accordo con la norma di riferimento UNI EN 15026 “Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio, valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica” che nasce per poter affrontare le seguenti problematiche:

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

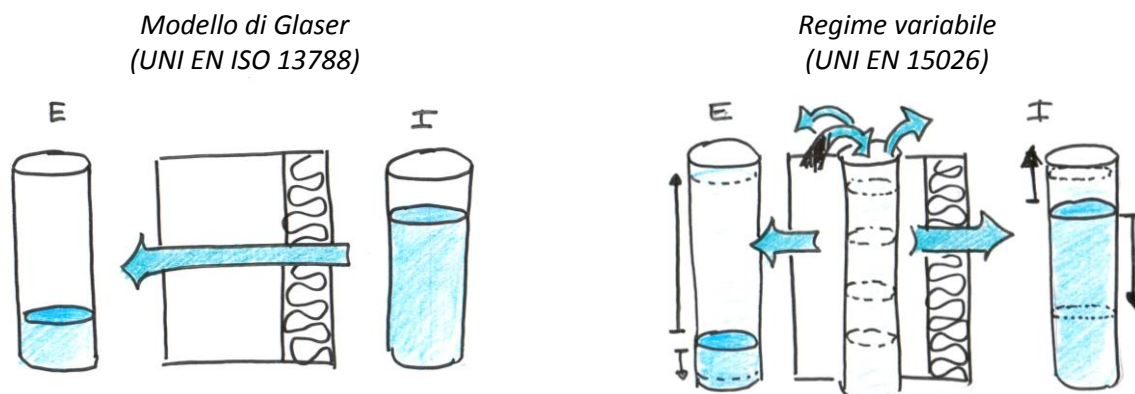
Tra le varie casistiche di intervento di isolamento termico che possono necessitare un'analisi in regime variabile in quanto le ipotesi del modello di Glaser non sono più accettabili si evidenzia l'intervento su strutture opache verticali con isolamento dall'interno.

In questo caso infatti si può riscontrare:

- la presenza di condensazione interstiziale in elevata quantità secondo il calcolo predittivo della UNI EN ISO 13788, ma non confermata dall'esperienza in opera;
- la presenza di problemi legati all'umidità di cantiere intrappolata nei materiali e la sua interazione con eventuali barriere e freni al vapore registrata in opera, non prevista dal calcolo predittivo della UNI EN ISO 13788.

Le due immagini sotto riportate riassumono le differenze tra il regime stazionario del modello di Glaser e quello variabile della UNI EN 15026: i serbatoi rappresentano la quantità di vapore acqueo presente nell'ambiente esterno, nella struttura e nell'ambiente interno. Le differenze di livello provocano la migrazione di vapore (e la direzione di migrazione).

Le possibilità offerte da un'analisi in regime variabile consentono di staccarsi da una valutazione media mensile e valutare il fenomeno nella sua complessità anche a piccoli intervalli di tempo.



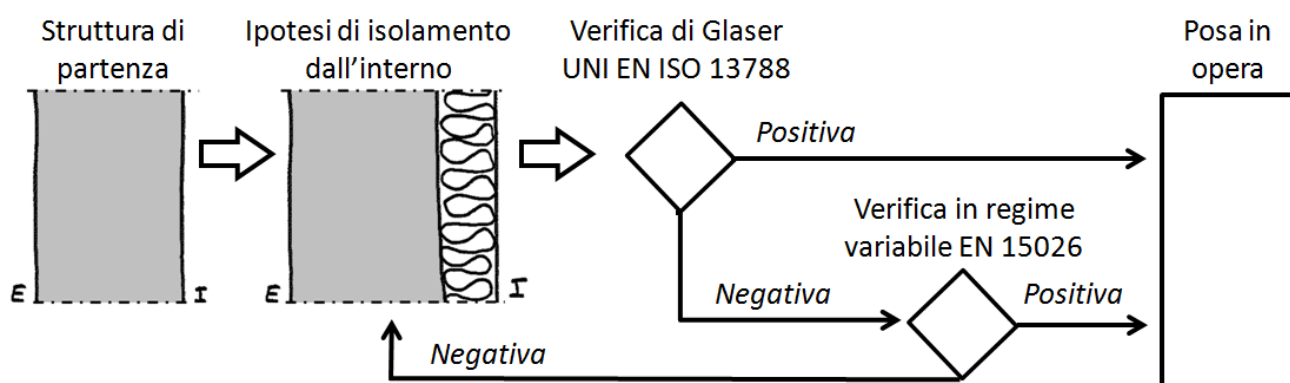
Regime stazionario e variabile a confronto. Nell'immagine di sinistra è rappresentata la migrazione del vapore in regime stazionario: condizioni costanti all'interno e all'esterno; nell'immagine di destra è indicata la migrazione del vapore in regime variabile: condizioni variabili all'interno e all'esterno e capacità di assorbimento di umidità relativa della struttura.

È possibile realizzare **simulazioni igrotermiche orarie** con software specifici in accordo con la norma UNI EN 15026. Sulla base delle caratteristiche igrotermiche dei materiali è possibile valutare ora per ora la temperatura e il contenuto d'acqua nei vari strati della struttura verificando che non vi sia nel tempo un aumento eccessivo dell'umidità.

Alcuni dei risultati che si possono ottenere a seguito di una modellazione di più anni sono:

- possibilità e tempi di asciugatura di uno o più strati che sono impregnati di umidità di cantiere;
- valutazione della condensazione interstiziale nei vari strati con verifica di condizioni limite superate o meno a seconda del tipo di materiale;
- corretta progettazione, posizionamento ed efficacia di membrane, freni e barriere al vapore (statiche o a S_D variabile);
- valore di trasmittanza U che tenga conto della variazione delle prestazioni del materiale in funzione dell'umidità relativa.

Per sapere se utilizzare simulazioni statiche o dinamiche è sufficiente seguire questo diagramma:



3 ESEMPIO DI CALCOLO PREDITTIVO

Si riporta di seguito un esempio di riqualificazione energetica di un appartamento in centro storico a Verona che ha previsto, tra i vari interventi civili e impiantistici, anche l'esecuzione di una coibentazione interna delle pareti con pannelli minerali in idrati di silicato di calcio (Multisor) dello spessore di 12cm.

Si tratta di un caso tipico in cui il modello predittivo della UNI EN ISO 13788 indica un'abbondante formazione di condensa interstiziale da correggere con l'inserimento di una barriera al vapore sul lato caldo dei pannelli isolanti, mentre il modello predittivo in regime variabile della EN ISO 15026 non prevede problemi di condensazione in accordo col comportamento reale della stratigrafia.

La scelta progettuale per il caso in esame è stata valutata ponendo l'attenzione sulle caratteristiche di igroscopicità dei pannelli e sulla cura dei dettagli costruttivi come mostrato nelle seguenti immagini.



L'edificio oggetto di riqualificazione.

La difficoltà di isolamento dall'esterno ha portato i progettisti ad approfondire le valutazioni energetiche e igrotermiche per ottimizzare l'intervento di isolamento dall'interno.



Posa in opera.

Le operazioni di posa dei pannelli minerali in idrati di silicato di calcio prevedono incollaggio dei pannelli, rasatura armata e finitura al civile.



Correzione di ponti termici.

Tutti i ponti termici generati da pareti ortogonali al muro esterno, solai, camini e pilastri sono stati eliminati posizionando su di essi un idoneo spessore di isolante.



Dettagli, nastri espandenti e tenuta all'aria.

Particolare cura è stata posta nella progettazione e realizzazione dei nodi architettonici connessi con i serramenti al fine di ridurre le dispersioni e garantire la tenuta all'aria dell'edificio

3.1 Valutazioni in regime stazionario

La parete perimetrale ha una stratigrafia composta dalla muratura esistente intonacata sui due lati a cui si aggiunge sul lato interno il pannello minerale in idrati di silicato di calcio (Multipor), oltre agli strati di incollaggio e rasatura dello stesso. Secondo il modello di Glaser, in corrispondenza dell'interfaccia tra la muratura esistente e il nuovo strato isolante, si verifica un forte accumulo di condensa che raggiunge un picco pari a circa 1700 g/m² a fronte di un limite suggerito dalla norma di 500 g/m².

Modello d'analisi: valutazione media mensile in regime stazionario in accordo con UNI EN ISO 13788.

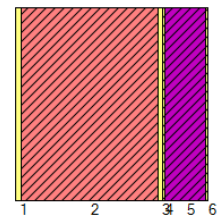
Software utilizzato: PAN realizzato e distribuito da ANIT.

Informazioni climatiche: dati medi mensili per la località di Verona.

Periodo considerato nel calcolo: 12 mesi da ottobre a settembre in accordo con UNI 10349.

Descrizione della stratigrafia:

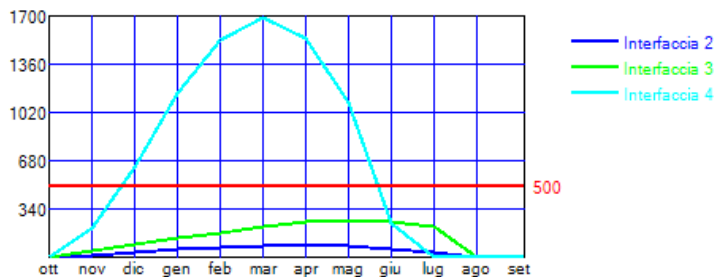
	Tipo	Descrizione	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Conduttività [W/m K]	Calore specifico [J/kg K]	Fattore resistenza vapore	Massa superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente aria [m]	Diffusività [m ² /Ms]
		Superficie esterna							0,04		
1	INT	Malta di calce o di calce e cemento	0,015	1800	0,900	837	20	27,0	0,017	0,300	0,598
2	ROC	Muratura esistente in blocchi di pietra arenaria	0,400	2700	1,800	770	73	1080,0	0,222	29,200	0,866
3	INT	Intonaco di calce e gesso	0,015	1400	0,700	837	10	21,0	0,021	0,150	0,598
4	INT	Rasatura	0,006	833	0,155	849	15	5,0	0,039	0,090	0,219
5	INT	Pannello di idrati di silicati di calcio	0,120	115	0,045	1300	4	13,8	2,667	0,492	0,301
6	INT	Rasatura	0,006	833	0,155	849	15	5,0	0,039	0,090	0,219
		Superficie interna							0,13		



Risultati del calcolo:

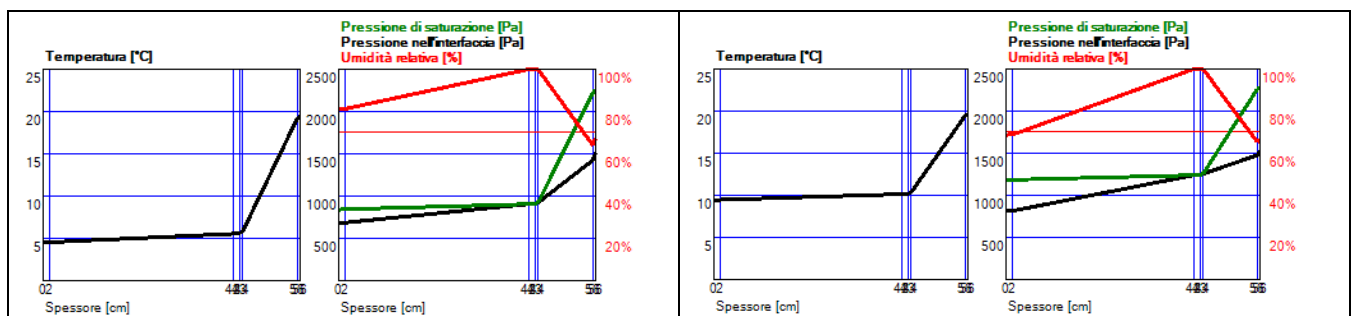
La simulazione indica una formazione di condensa sull'interfaccia tra parete esistente e nuova controparete da ottobre a marzo e un processo di evaporazione della condensa accumulata da aprile a luglio. Nei mesi di agosto e settembre la struttura non è soggetta a fenomeni di condensazione.

La verifica dà esito negativo perché la condensa accumulata supera la soglia limite fissata a 500 g/m².



Valutazione della condensa accumulata.

Le interfacce 2,3 e 4 sono quelle tra la muratura esistente e il nuovo strato isolante.



Diagrammi di Glaser per due mesi tipici invernali (dicembre a sinistra e marzo a destra) con la distribuzione di temperatura, andamento della pressione di saturazione, della pressione nell'interfaccia e andamento dell'umidità relativa lungo stratigrafia.

3.2 Valutazioni in regime variabile

Il modello di calcolo in questo caso considera oltre ai meccanismi di diffusione del vapore lungo gli strati anche tutti i fenomeni igroscopici in atto con un passo temporale non più mensile ma orario.

Le informazioni di partenza per la simulazione devono essere pertanto più raffinate rispetto a quelle comunemente usate nel modello di Glaser, perché comprendono dati su parametri quali ad esempio la capacità di assorbimento dei materiali, la variazione delle caratteristiche di conduttività termica e resistenza al vapore in funzione del contenuto di umidità e il coefficiente di trasporto d'acqua.

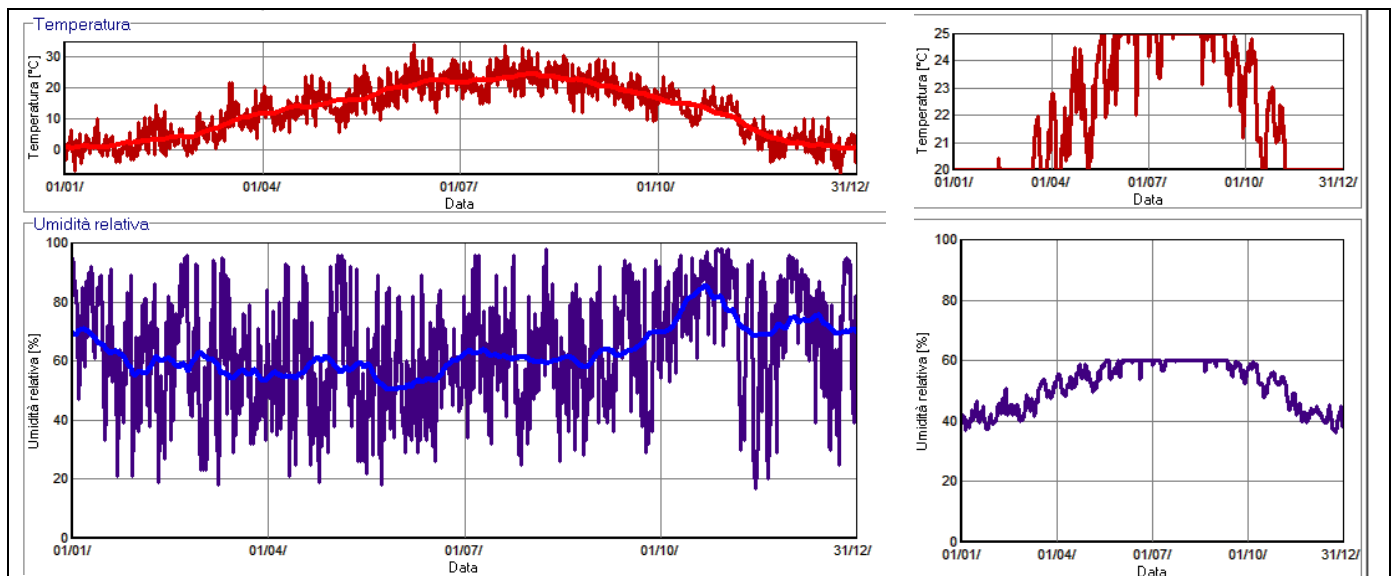
Anche da un punto di vista climatico le condizioni al contorno devono essere dettagliate con passo orario (e non mensile) e riguardare parametri quali temperatura, umidità e pressione interna ed esterna, umidità di cantiere intrappolata nei materiali, irraggiamento per esposizione, ventosità e piovosità del sito di progetto.

Dall'analisi risulta che la stratigrafia non presenta un accumulo di condensazione, le caratteristiche igroscopiche della controparete fanno da "volano" all'oscillazione dell'umidità interna senza generare problemi nelle interfacce della stratigrafia.

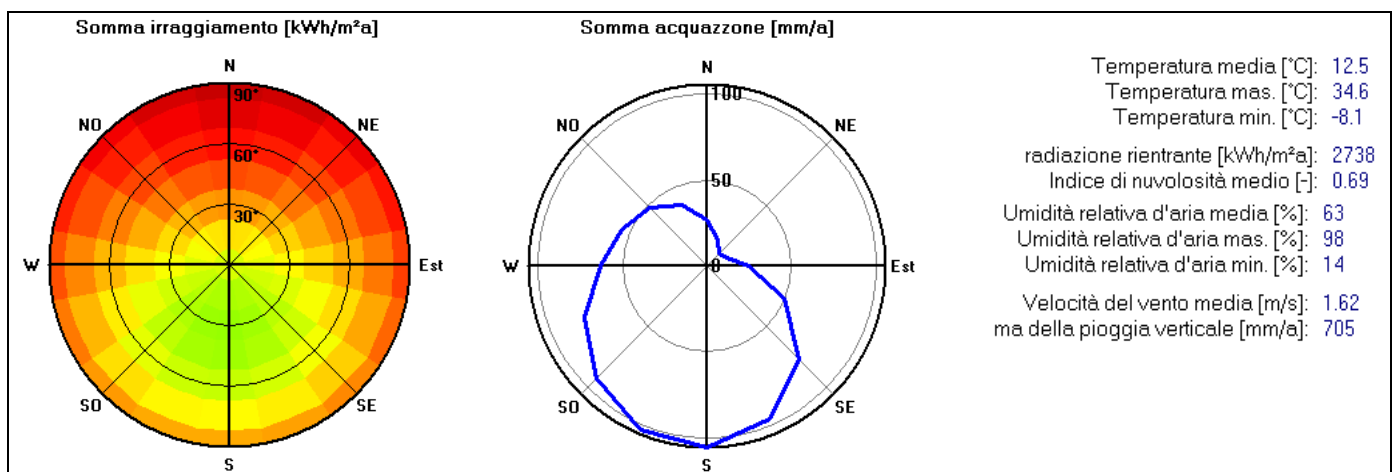
Modello d'analisi: valutazione in regime variabile oraria in accordo con EN ISO 15026.

Software utilizzato: WUFI Pro 5.2 distribuito da Fraunhofer IBP.

Informazioni climatiche: dati orari per la località di Bolzano (in assenza di informazioni dettagliate sul comune di Verona, la simulazione è stata eseguita utilizzando le informazioni climatiche disponibili più simili).



Dati climatici: distribuzione oraria di temperatura e umidità relativa esterna (sinistra) e interna (destra)

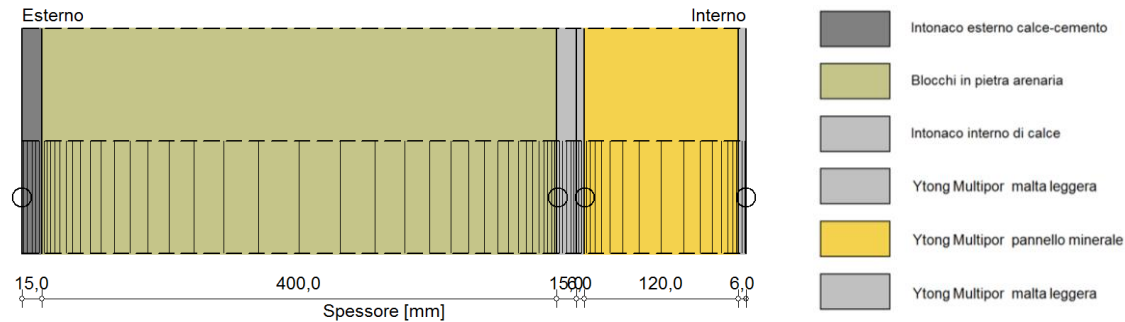


Dati climatici: somma dell'irraggiamento (a sinistra) e di pioggia e ventosità (a destra)

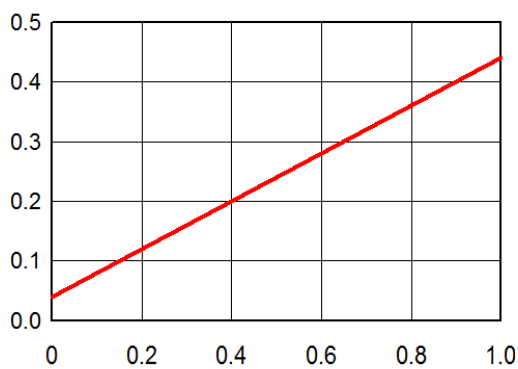
Periodo considerato nel calcolo: 10 anni consecutivi

Descrizione della stratigrafia:

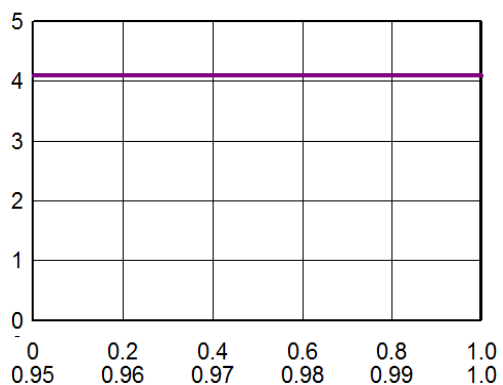
I materiali che compongono la stratigrafia, nel caso della simulazione dinamica, devono essere caratterizzati da molte più informazioni, si veda ad esempio il dettaglio relativo al pannello utilizzato per l'isolamento interno.



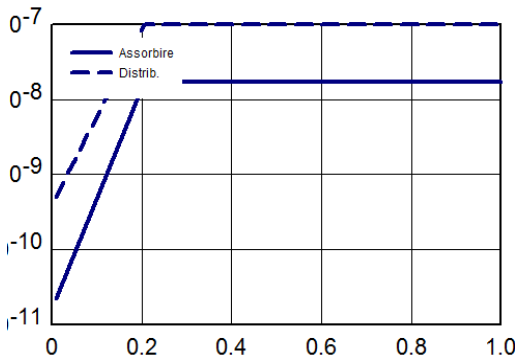
Caratteristiche del pannello minerale in idrati di silicato di calcio (Ytong - Multipor)



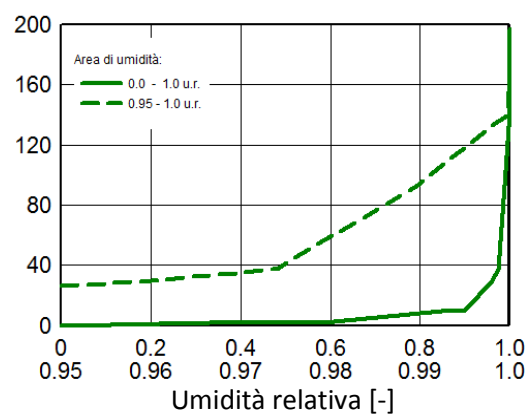
Conduttività termica
[W/mK]



Coef. di res. diffusione vapore
[-]

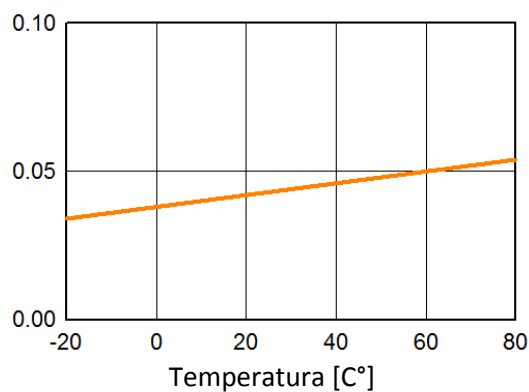


Coef. di trasporto d'acqua
[m²/s]



Contenuto d'acqua
[kg/m³]

Contenuto d'acqua standardizzato [-]



Conduttività termica
[W/mK]

Porosità [m³/m³]	0,96
Capacità termica a secco [J/kgK]	850,0
Conducibilità termica a secco, 10°C [W/mK]	0,04
Coefficiente di resistenza della diffusione di vapore acqua	4,1

Fattore di approssimazione	
Contenuto d'umidità di riferimento [kg/m³]	8,1
Libera saturazione acqua [kg/m³]	197,0
Fattore di assorbimento d'umidità [kg/m²s⁰.⁵]	0,013
Aumento della conduttività termica [%/M.-%]	1,2
Maggiorazione conduttività termica, temp. [W/mK²]	0,0002

Umidità cantiere tipica [kg/m³] 8,1

Spessore di strato [m] 0,12

Conduttività termica di design [W/mK] 0,045

Risultati del calcolo:

I risultati mostrano una diminuzione del contenuto totale d'acqua nella struttura (si passa da 3,29 a 1,89 kg/m² d'acqua) anche in una condizione iniziale con l'80% di umidità da cantiere nei materiali.

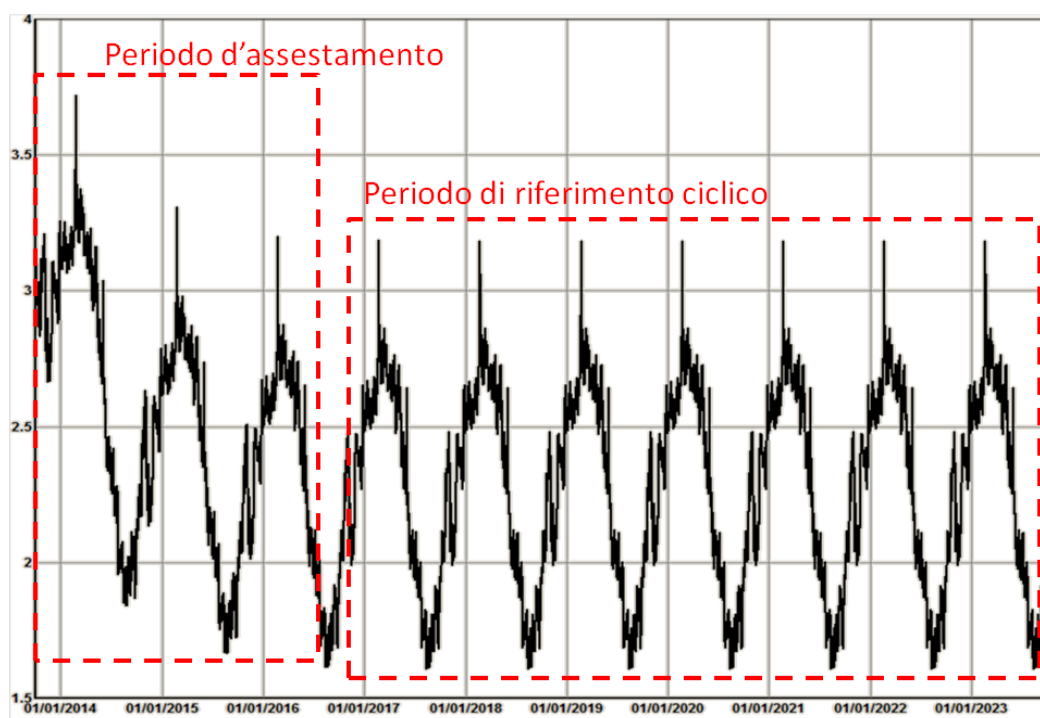
I grafici mostrano una ciclicità annuale nell'accumulo e rilascio del contenuto d'acqua sia complessivamente che nei singoli strati (di seguito il grafico dell'andamento del contenuto d'acqua totale e nel singolo pannello in idrati di silicato di calcio).

Contenuto d'acqua [kg/m²]

	Inizio	Fine	Min.	Max.
Contenuto d'acqua totale	3,29	1,89	1,61	3,72

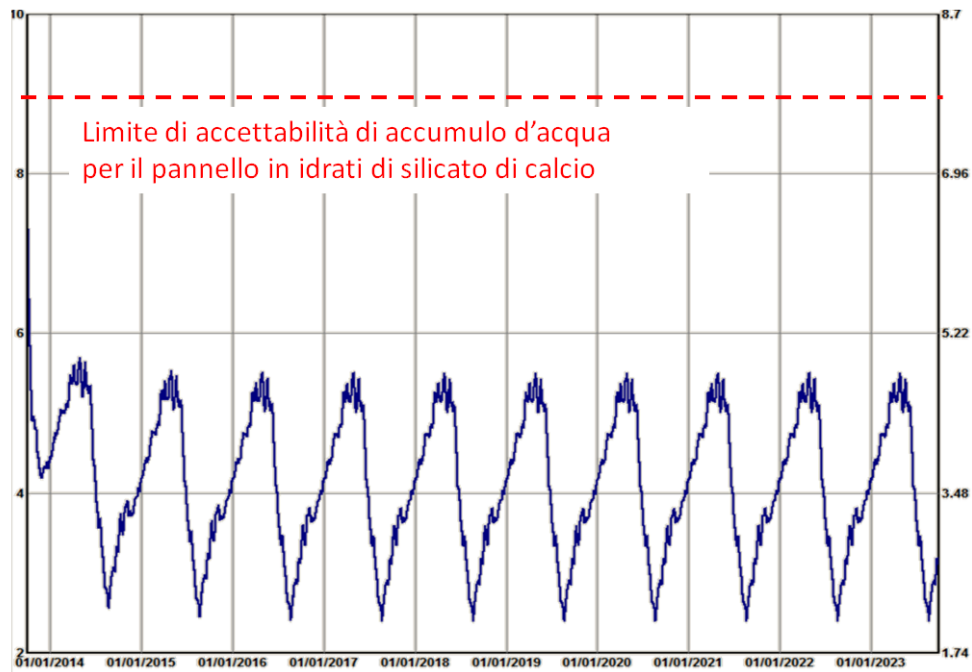
Contenuto d'acqua [kg/m³]

Strato/materiale	Inizio	Fine	Min.	Max.
Intonaco esterno in calce cemento	45,00	36,23	19,19	64,78
Blocchi in pietra arenaria	2,61	1,28	1,26	3,13
Intonaco esterno in calce cemento	30,00	26,23	22,67	53,55
Ytong Multipor malta leggera	12,55	6,42	3,83	20,26
Ytong Multipor pannello minerale	8,10	3,15	2,40	8,10
Ytong Multipor malta leggera	12,55	3,70	2,02	12,55

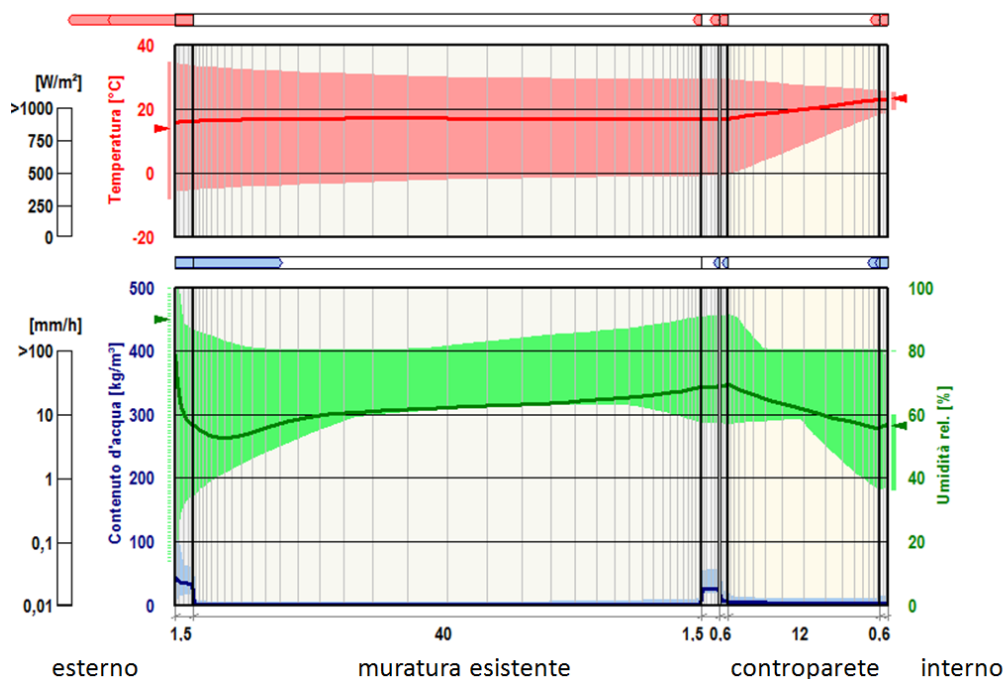


Contenuto d'acqua totale nella stratigrafia per i 10 anni simulati.

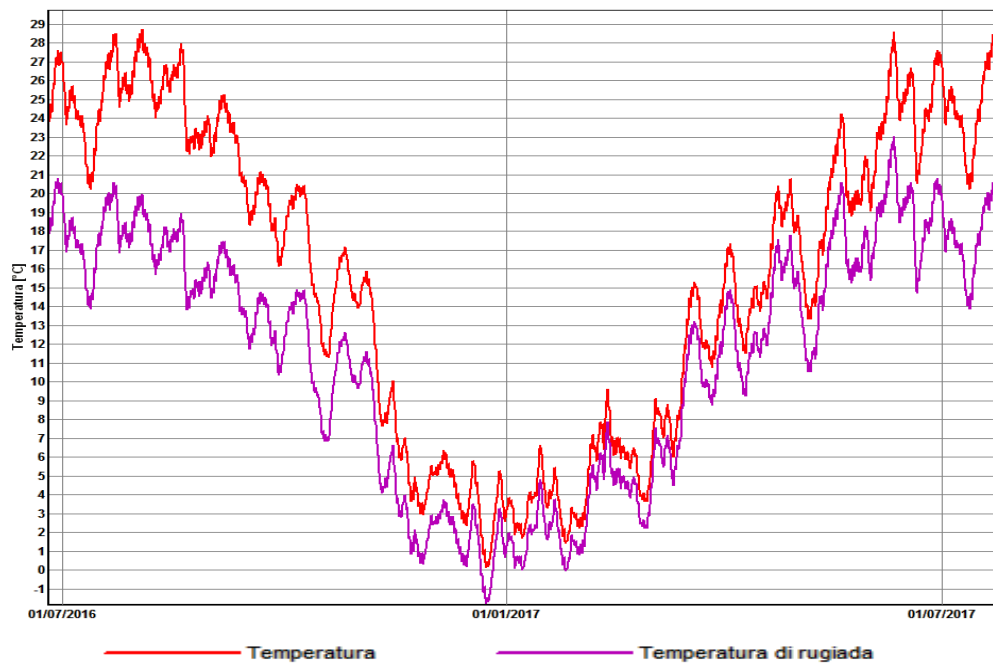
Si nota dopo i primi anni un assestamento ad un andamento ciclico di assorbimento e rilascio d'umidità da parte della struttura. Sull'asse verticale è indicato il bilancio d'acqua in kg/m².



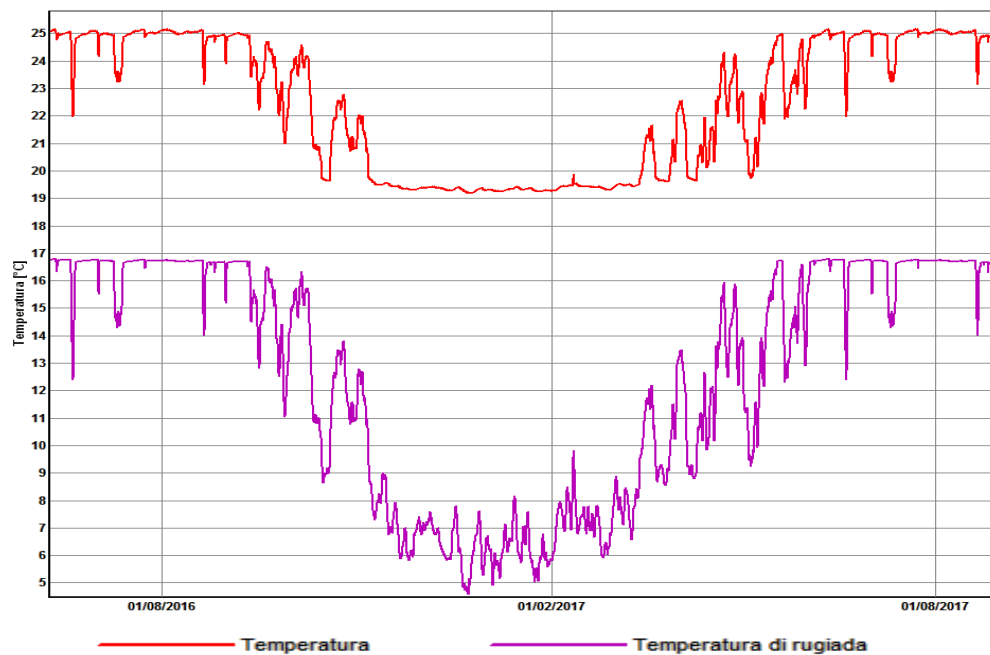
Contenuto d'acqua nel singolo strato del pannello minerale in idrati di silicato di calcio per i 10 anni simulati. Sull'asse verticale di sinistra è indicato il contenuto d'acqua in kg/m^3 e a destra in percentuale sulla massa [%]. Dopo il primo anno l'andamento si assesta in modo ciclico. Il limite di prestazione d'accumulo d'acqua del materiale (ovvero con umidità relativa interna all'80%) secondo dati di letteratura è pari a circa 9 kg/m^3 , ovvero doppio rispetto ai valori calcolati.



Rappresentazione grafica della distribuzione lungo la stratigrafia di temperatura (in rosso), contenuto d'acqua (in azzurro) e umidità relativa (in verde). Il grafico sintetizza la distribuzione dei suddetti parametri lungo l'intero periodo dalla simulazione, nel nostro caso 10 anni. L'interfaccia tra parete esistente e controparete presenta una concentrazione di vapore più alta rispetto agli altri strati per il quale è necessario un approfondimento circa l'andamento di temperatura e temperatura di rugiada (vd. grafici seguenti).



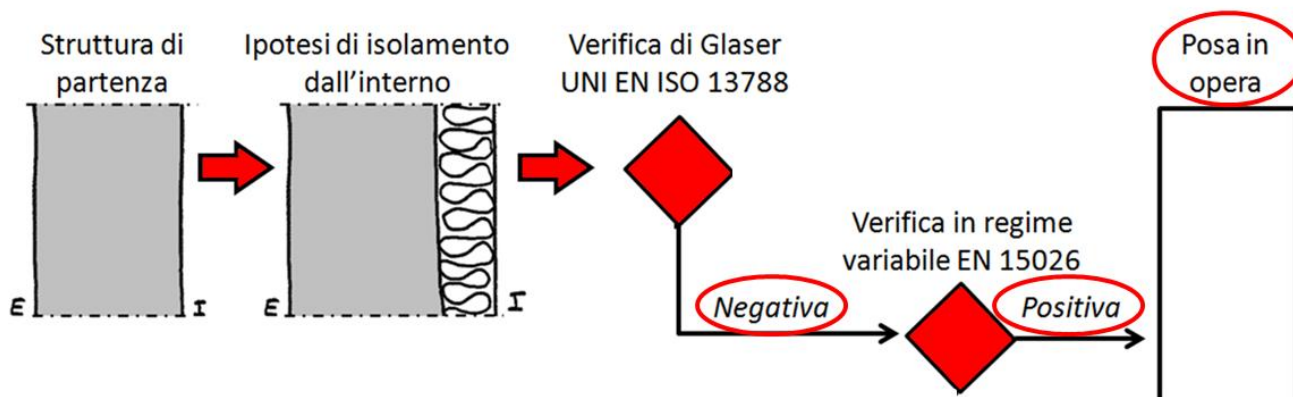
Andamento di temperatura e temperatura di rugiada nell'interfaccia tra muratura esistente e nuova controparete. Il grafico mostra un estratto dell'andamento simulato lungo i 10 anni dal quale si mostra la non sovrapposizione delle due curve, ovvero l'assenza del rischio di condensa interstiziale.



Andamento di temperatura e temperatura di rugiada sulla superficie interna (estratto dell'andamento). Anche in questo caso le due curve non si sovrappongono, ovvero le condizioni di progetto (in rosso) non corrispondono alle condizioni di rugiada (o condensa in viola). Non c'è pertanto rischio di condensazione superficiale interna.

3.3 Confronto dei risultati e conclusioni

Ricostruendo il flusso di calcolo presentato nelle pagine precedenti per il nostro esempio si ottiene il seguente diagramma:



La valutazione sui risultati in regime stazionario è molto semplice: con le condizioni al contorno impostate e l'analisi media mensile il modello di Glaser indica un'alta formazione di condensa nell'interfaccia tra parete esistente e nuova controparete.

Questo risultato non è confermato dall'analisi in regime variabile che invece mette in evidenza la capacità igroscopica dei materiali della stratigrafia e in particolare la capacità d'accumulo e rilascio di umidità della controparete (e in particolare del pannello isolante in idrati di silicato di calcio).

La simulazione in regime variabile è stata condotta su tutte le esposizioni e si è scelto di mostrare nell'esempio quella più critica, ovvero la struttura orientata a nord-est.

Ricordiamo che i dati climatici utilizzati non sono corrispondenti a Verona (località ove ha sede l'edificio in oggetto) a causa dell'assenza di informazioni orarie complete ma a Bolzano seguendo la logica del dato climatico più prossimo geograficamente ed eventualmente più sfavorevole.

Nonostante queste impostazioni (tutte a favore di sicurezza) e l'ipotesi di partenza che prevede una concentrazione d'umidità da cantiere nei materiali all'80%, la previsione valutata in regime variabile indica l'assenza di rischio di condensazione interstiziale.

4 CARATTERISTICHE IGROTERMICHE

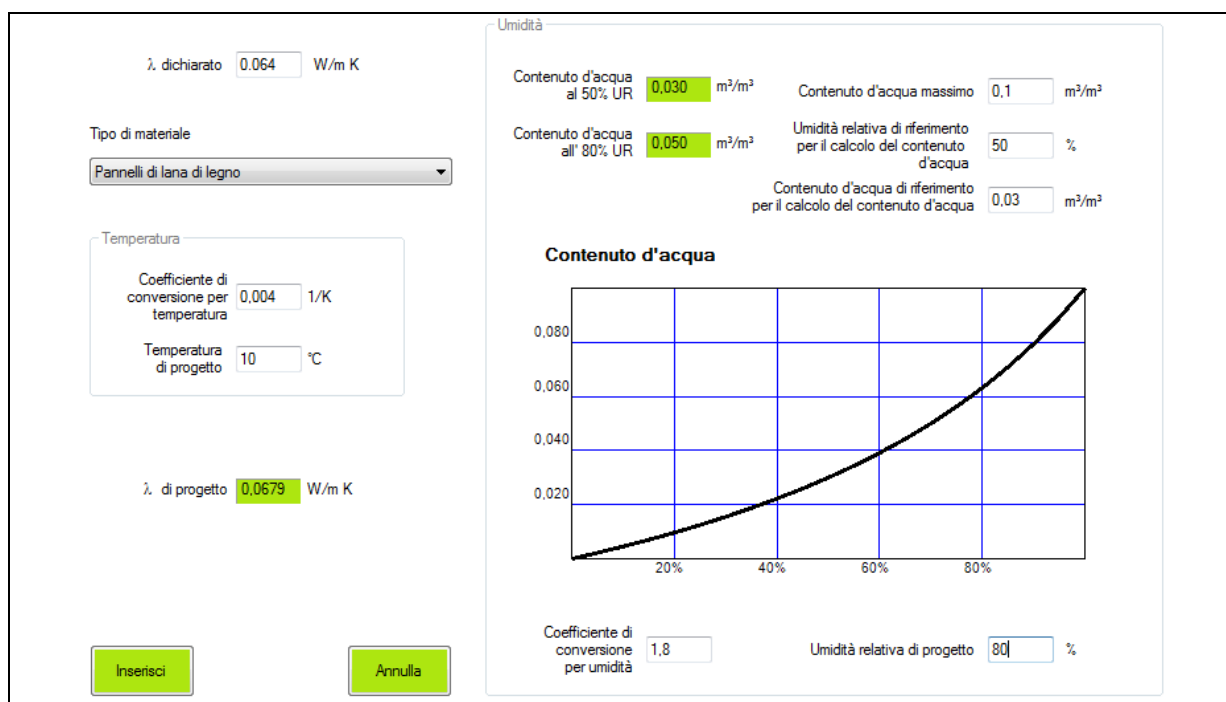
Le caratteristiche da conoscere per ogni materiale non si limitano alla conduttività termica λ e al coefficiente di resistenza al passaggio di vapore μ , sufficienti a spiegare la migrazione di calore per conduzione e di vapore in regime stazionario, ma devono essere aggiunte altre caratteristiche in accordo con le norme:

- UNI EN ISO 12571 - Prestazione igrotermica dei materiali e dei prodotti per edilizia, determinazione delle proprietà di assorbimento igroscopico,
- UNI EN ISO 10456 - Materiali e prodotti per edilizia, proprietà igrometriche, valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto,
- UNI EN ISO 7345 - Isolamento termico, grandezze fisiche e definizioni e
- UNI EN ISO 9346 - Prestazione termoigrometrica degli edifici e dei materiali da costruzione, grandezze fisiche per il trasferimento di massa, vocabolario.

Inoltre anche le caratteristiche dei materiali considerabili consolidate, come il λ dichiarato, sono oggetto di variazione in dipendenza dalla temperatura e dall'umidità.

4.1 Influenza dell'umidità per il λ di progetto

La conduttività termica è un parametro che dipende dal contenuto di umidità e dalla temperatura del materiale. In generale al crescere della temperatura e dell'umidità nel materiale la conduttività termica aumenta. Ogni materiale è caratterizzato da una propria curva che descrive il comportamento termico in funzione della variazione di temperatura e dell'umidità presente in esso. Tali curve possono essere costruite avendo a disposizione dei valori a determinate condizioni di temperatura e umidità relativa: nell'immagine è indicato un esempio di materiale isolante in riferimento ai dati della norma UNI EN ISO 10456; da $\lambda_D = 0.064$ W/mK (condizione 10°C e 50%UR) si passa al λ di progetto $\lambda = 0.0679$ W/mK se il materiale lavora in condizioni di progetto a 10°C in mezzera e all'80% di umidità relativa.



Valutazione del λ di progetto in funzione dell'umidità relativa e della temperatura di progetto col software PAN realizzato e distribuito da ANIT. Per descrivere in maniera adeguata tali curve è necessaria una caratterizzazione igroscopica approfondita del materiale: per alcuni materiali tali informazioni sono presenti nella UNI EN ISO 10456, per altri (rari) sono approfondite e messe a disposizione dei produttori e per altri ancora semplicemente non ci sono.

4.2 Caratteristiche dei materiali da costruzione

Oltre alla variazione di conduttività termica, il materiale è da caratterizzare attraverso parametri che ne spieghino il comportamento rispetto all'umidità (dove per umidità si intende acqua in fase aeriforme, liquida e solida). Ai fini dello studio della migrazione di vapore all'interno delle strutture è importante infatti valutare quanta umidità può essere immagazzinata da un materiale alla condizione di equilibrio.

Il valore del contenuto di umidità non è fisso ma varia a seconda delle condizioni di equilibrio da raggiungere: in un ambiente molto umido, 80% di umidità relativa e 23 °C, la quantità di umidità presente nel materiale sarà maggiore che in un ambiente con condizioni meno severe.

La norma UNI EN ISO 10456 per alcune tipologie di materiali indica i parametri per valutare il comportamento del materiale ai fini dell'assorbimento di umidità.

Ogni materiale può quindi essere descritto nel suo comportamento a seconda delle condizioni dell'ambiente attraverso curve di adsorbimento e deadsorbimento. La norma per poter effettuare le prove e per descrivere tali curve è la UNI EN ISO 12571.

L'elenco delle caratteristiche igrotermiche da conoscere è proposto nella seguente tabella.

L'edizione del gennaio 2013 del Volume 1 della collana editoriale ANIT "I materiali isolanti" riporta una raccolta di schede dei materiali isolanti con molte di queste indicazioni.

Tabella: Caratteristiche igrotermiche dei materiali da costruzione per le analisi in regime variabile.			
Elenco delle caratteristiche igrotermiche di un materiale			
	Descrizione		Fonte
λ	conduttività termica	W/mK	Produttore del materiale
s	spessore del materiale	m	Produttore del materiale
c	capacità termica specifica	J/kgK	UNI EN 1745
ρ	densità	kg/m ³	Produttore del materiale
a	diffusività termica	m ² / 10 ⁶ s	Calcolata sulla base delle altre grandezze
μ	coefficiente di resistenza al passaggio di vapore	-	Scheda tecnica del produttore (UNI EN ISO 12572) o UNI EN ISO 10456
f_{ψ}	coefficiente di conversione per effetto dell'umidità espresso in volume su unità di volume	[m ³ / m ³]	Scheda tecnica del produttore (UNI EN ISO 12572) o UNI EN ISO 10456
f_T	coefficiente di conversione per effetto della temperatura	1/K	Scheda tecnica del produttore (UNI EN ISO 12572) o UNI EN ISO 10456
	porosità	[m ³ /m ³]	Scheda tecnica del produttore
ψ	Contenuto di umidità in volume per unità di volume	[m ³ /m ³]	Misurata sulla base della UNI EN ISO 12571 La UNI EN ISO 10456 contiene i valori a 23 °C e 50% UR e 23 °C e 80% UR per alcuni materiali
u	Contenuto di umidità in massa per unità di massa	[kg/kg]	
w	Contenuto di umidità in massa per unità di volume (curva di adsorbimento)	[kg/m ³]	
Altri dati relativi al comportamento dell'umidità nel materiale ricavabili dalla UNI EN ISO 9346 sono: il coefficiente di trasporto d'acqua per assorbimento [m ² /s] il coefficiente di trasporto d'acqua per "ridistribuzione" [m ² /s] il coefficiente di assorbimento idrico espresso in [kg/m ² s ^½]			

5 CONCLUSIONI

Per molti interventi di isolamento su strutture di nuova costruzione o per interventi di riqualificazione energetica di edifici esistenti, la valutazione in regime variabile della migrazione di vapore diventa un aspetto prezioso da saper considerare a livello di calcolo predittivo per progettare in modo critico la stratigrafia e la scelta dei materiali e per valutare correttamente la necessità o meno di una barriera al vapore.

Il metodo è garantito da una norma europea recepita a livello nazionale (UNI EN 15026) e da software di simulazione sviluppati in accordo con essa. L'attuale norma di riferimento per le verifiche di condensazione interstiziale, superficiale e di muffa, la norma UNI EN 13788, richiama inoltre esplicitamente la possibilità di utilizzare metodi più sofisticati.

La criticità rispetto alla potenzialità delle valutazioni che si possono compiere è il reperimento dei dati climatici orari esterni e dei dati descrittivi dei materiali da costruzione. I primi possono eventualmente essere reperiti mediante software specifici dedicati alla simulazione climatica, per i materiali invece bisogna necessariamente riferirsi alla letteratura e/o reperire dati presso produttori o mediante analisi in situ.

Infine le condizioni ambientali interne legate al comportamento dell'utenza (temperatura dell'aria e umidità relativa), variabile di considerevole influenza sulle condizioni di rischio di condensazione superficiale e di formazione di muffa, sono comunque ipotizzate in funzioni di classi di concentrazione di vapore interne.

6 SISTEMA D'ISOLAMENTO MINERALE MULTIPOR

RESTAURO DI EDIFICI STORICI, RISTRUTTURAZIONE DELL'ESISTENTE E MOLTO ALTRO

Nel restauro di edifici con valenza storico-monumentale spesso non è possibile modificare le facciate esterne.

In questi casi e nelle ristrutturazioni parziali di edifici esistenti, l'isolamento interno costituisce l'unica possibilità di migliorare la coibentazione ed il benessere degli abitanti.

Il pannello minerale Multipor assicura la possibilità di isolamento evitando la barriera al vapore con i conseguenti rischi tipici della soluzione tradizionale, permette di mantenere la naturale traspirabilità della parete e di avere una finitura interna tipo intonaco, senza ricorrere a una controparete a secco in cartongesso.



Il pannello minerale Multipor viene utilizzato anche per l'isolamento di solai freddi, cappotti esterni, isolamento di coperture e, in abbinamento ai blocchi di calcestruzzo cellulare Ytong, per la correzione di ponti termici di edifici con struttura a telaio in c.a. e murature monostrato.

Per maggiori informazioni consulta il sito internet **www.ytong.it**.

CARATTERISTICHE TECNICHE

Il pannello isolante minerale Multipor ha ottenuto il benessere tecnico europeo ETA-05/00093 ed è certificato secondo lo standard Natureplus® - inoltre sul sito internet **www.ytong.it** è disponibile la Dichiarazione Ambientale di Prodotto, emesso dall'IBU tedesco secondo lo standard internazionale ISO 14025.

Dati tecnici	
Conduttività termica di calcolo λ_D	0,045 W/(m K)
Calore specifico	1300 J/kg K
Peso specifico	da ≥ 100 a ≤ 115 kg/m ³
Coeff. di diffusione del vapore acqueo	$\sim 3 \mu$
Coeff. di assorbimento acustico	α_w 0,35 Classe D
Resistenza al fuoco	non infiammabile Classe A1
Assorbimento d'acqua	$< 6,0\%$ in massa DIN EN 12571
Resistenza allo strappo	$> 0,08$ N/mm ² (valore medio)
Resistenza alla compressione	$\geq 0,30$ N/mm ² (valore medio)
Dimensione Pannello	60x39 cm
Spessore [cm]*	5 6 8 10 12 14 16 18 20
Resistenza Termica [m ² K/W]	1,1 1,3 1,8 2,2 2,7 3,1 3,6 4,0 4,4
Pallet (scarico con muletto o forche alte)	altezza ~195 cm / peso ~265 kg

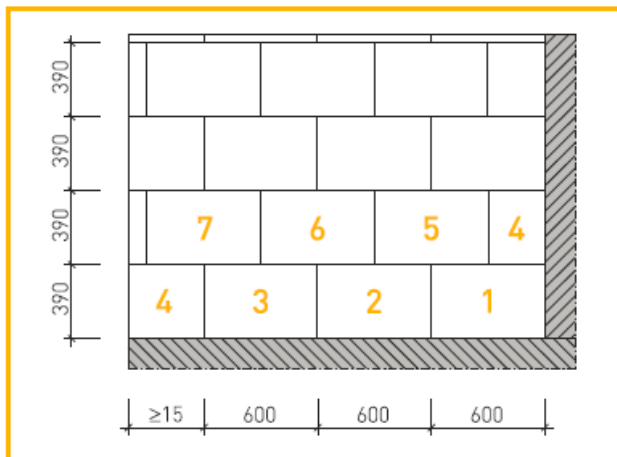
*A richiesta disponibili spessori fino a 30 cm.



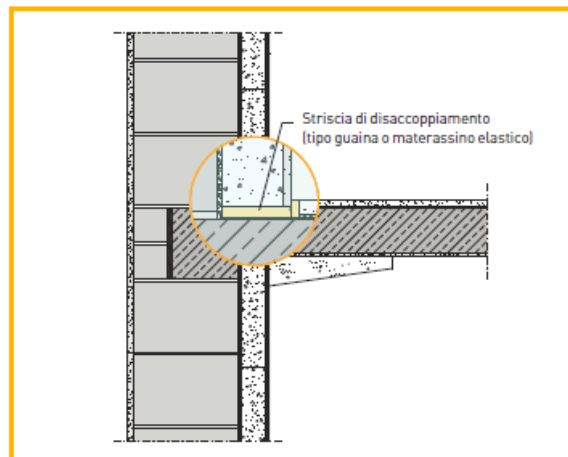
ISOLAMENTO INTERNO - APPLICAZIONE SEMPLICE E VELOCE

La posa del sistema minerale come isolamento interno prevede dei semplici dettagli costruttivi ed una posa estremamente veloce. Prima di iniziare la posa dei pannelli, controllare planarità e la consistenza della parete esistente. Seguire le indicazioni di taglio per ridurre gli sfidi di materiale, e procedere con la posa dei pannelli strettamente accostati e a giunti sfalsati.

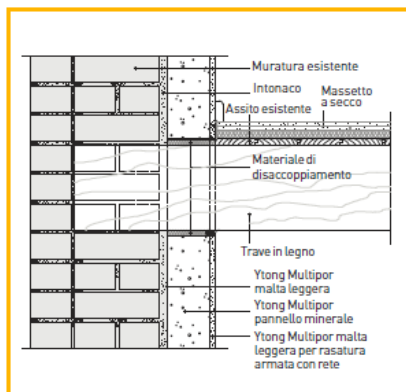
Ytong Multipor indicazioni



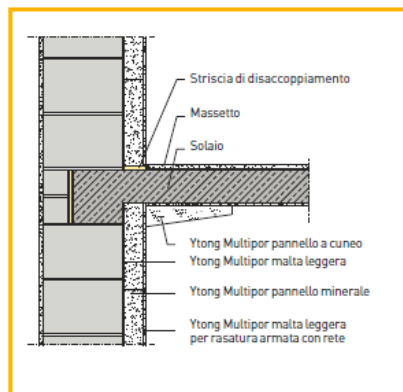
Disaccoppiamento a pavimento



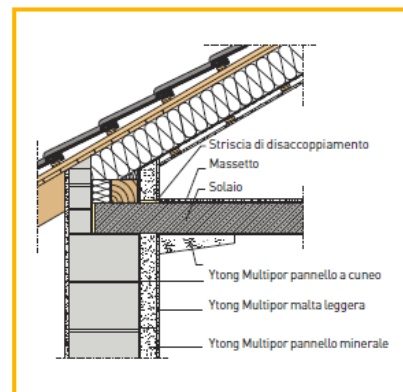
Solaio in legno



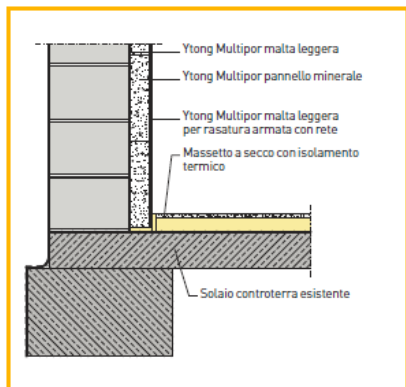
Solaio in laterocemento



Solaio sottotetto



Attacco a terra



Spallette aperture - sezione orizzontale

