

2

approfondimento –
approfondimento –

bio-geo

Sito <http://pciricillo.wixsite.com/bio-architetto>
Pagina News
Rubrica WaLibrary



Indice

Prefazione

1. Analisi termoigrometrica della parete-tipo	1-6
1.1. Verifica assenza muffa superficiale	
1.2. Verifica assenza condensa interstiziale	
1.3. Condizioni di verifica al contorno (U , Y_{ie})	
2. Modelli analizzati	7-9
2.1. Pareti-tipo in provincia di Caltanissetta	
2.2. Pareti-tipo in provincia di Enna e Campobasso	
2.3. Pareti-tipo in provincia di Cuneo	
Scheda materiali	10
• ANALISI PONTI TERMICI	11-16
Schede di pareti-tipo 1, 3, 5 suddivise per ordine numerico e località	17-28
Tavole grafiche CAD	29-35
Bibliografia	
Testi consultabili	

Argomenti di approfondimento successivi:

- Accorgimenti antincendio
 - *Il comportamento del legno in caso di incendio*
 - *Precauzioni in fase d'opera*
 - *Particolare stratificazione parete antincendio*

Prefazione

Il presente approfondimento intende fornire in principio informazioni di carattere generale sulla analisi termoigrometrica delle pareti opache, di queste unicamente quelle destinate a separare ambienti interni dall'esterno.

In ordine successivo l'approfondimento intende applicare i presupposti della normativa nazionale (DM 26/06/2015) e quella di derivazione europea (UNI) per analizzare alcuni modelli di parete a telaio leggero in legno di abete.

Il percorso di analisi confida in alcune scelte progettuali:

- La parete-tipo intende avvalersi di un sistema costruttivo ad intelaiatura di legno (parete leggera);
- Il sistema a telaio leggero deve poter garantire flessibilità in termini di:
 - conversione del sistema costruttivo, da intelaiato a tralicciato, mediante l'unione di aste oblique alla restante parte di aste ortogonali.
 - aggregazione di componenti edilizi (infisso, vetrata a tutta altezza)¹;
 - aggregazione di elementi edilizi (mattone, cappotto, intercapedini).

L'adozione del sistema a telaio leggero vuole offrire una valida alternativa al modello di parete massiccia e al modello di parete con compensato di tavole.

L'analisi della parete-tipo ha previsto l'impiego di alcuni fogli elettronici e software in grado di diagnosticare le prestazioni di quest'ultima dal punto di vista della trasmittanza termica e della trasmigrazione di vapore acqueo in fase addensante².

Con queste premesse il presente volume vuole in breve offrire dei casi studio indicativi in grado di aggiungere delle valide alternative di parete al campionario esistente.

Buona lettura

¹ Vedi la news intitolata "WalLibrary_Le pareti esterne 2.0" [[pdf](#)]

² Nell'ordine: un foglio elettronico excel di Andrea Ursini (analisi trasmittanza in regime stazionario e periodico); un foglio elettronico excel da me concepito intitolato "V-MC_b-a" (analisi termoigrometrica); il software PAN7 (analisi termoigrometrica).

Analisi termoigrometrica della parete-tipo

L'analisi in questione prende sostanza dall'intero corpo di disposizioni normative divulgate a livello europeo e nazionale (norma UNI e il decreto sui requisiti di efficienza energetica degli edifici).

In fase iniziale ho provveduto alla identificazione delle località da sottoporre ad esame, avvalendomi dei dati presentati nella UNI 10349 – dati climatici.

Dalla suddetta ho deciso di prendere ad esempio alcune provincie, scelte in funzione della loro quota altimetrica e della loro zona climatica. Tra le tante elencate nella norma mi sono interessato soprattutto a quelle località che possono raggiungere quote maggiori, capaci di prevedere forti escursioni in termini di temperatura e di umidità relativa dell'aria esterna-interna.

La scelta è ricaduta in particolare sulle località di Caltanissetta (zona D) e di Enna (zona E) in Sicilia, offrendo nell'ultimo caso un valido paragone con Campobasso (Molise). A seguire la mia attenzione è ricaduta sulla località di Cuneo (zona F) in Piemonte.

Queste località mi consentono di vagliare al meglio tutte le possibili proposte di parete-tipo che intendo esporre. Infatti le diverse altitudini, irradiazioni solari medie mensili, temperature esterne e umidità dell'aria esterna, permettono di esaminare le possibili vulnerabilità di una parete.

Nel proseguo dell'analisi ho sviluppato un foglio elettronico in excel capace di monitorare e verificare la formazione di muffa superficiale e di condensa interstiziale.

Questo foglio elettronico si avvale dei presupposti di analisi stabiliti dalla norma UNI EN ISO 13788 – prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia –, restituendo in formato grafico (Glaser) le pressioni di vapore d'acqua allo stato saturo e in forma concentrata sulle interfacce degli strati di parete.

La verifica della parete-tipo confida soprattutto nel monitorare e dimostrare se l'interfaccia interna della parete può presentare della muffa, in presenza di un valore di umidità relativa³ dell'aria interna dell'80 %. In aggiunta a questa condizione l'analisi della parete-tipo prosegue prendendo a riferimento le resistenze termiche e di vapore su base stratigrafica.

Tali valori offrono una panoramica sulla trasmittanza termica della parete-tipo e sulla sua contingenza tra $P_{v\text{sat}}/P_{vi}$ ⁴.

L'esito di questa valutazione deve assicurare che non si formano addensamenti di vapore in prossimità di nessuno degli strati di parete esaminati. L'esito va ricondotto ad uno schema grafico cartesiano P_v-R_v ⁶ in cui occorre dimostrare che la retta obliqua delle pressioni parziali di vapore non interseca mai la curva della pressione di saturazione.

Nel processo di valutazione delle stratigrafie di parete mi sono avvalso delle norme UNI 10351⁷ e UNI EN ISO 6946⁸ per identificare materiali e valori di riferimento (S_p , λ , δ_a , μ)⁹.

³ altrimenti indicata con UR

⁴ pressione di saturazione del vapore acqueo (nel caso di UR = 80%);

⁵ pressione parziale di vapore acqueo, addensato sull'interfaccia dello strato interno di parete.

⁶ P_v-R_v descrive il rapporto che sussiste tra l'ordinata P_v (pressione di vapore acqueo) e l'ascissa R_v (resistenza di vapore degli strati). Lo schema è definito grafico Glaser.

⁷ Norma sulle proprietà termoigrometriche dei materiali.

⁸ Norma sulle resistenze e trasmittanze termiche.

⁹ Nell'ordine indicato intendo spessore di materiale (mm), coeff. di conduzione termica; coeff. di permeabilità al vapore acqueo, coeff. di resistenza alla diffusione del vapore acqueo.

Nel processo di identificazione dei materiali e dei loro parametri caratteristici mi sono avvalso anche della fonte internet. In particolare ho deciso di inserire nei calcoli i dati di riferimento di alcune case produttrici, ritenendoli al caso più indicativi di quelli contenuti nella norma ufficiale.

In conclusione ho deciso di confrontare i miei dati con quelli scaturiti da un software attualmente proposto dall'ANIT¹⁰, PAN7¹¹.

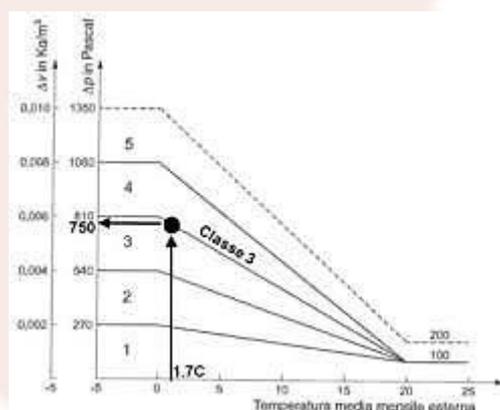
Questo software si è dimostrato maneggevole, di facile configurazione dei dati personalizzati. La banca dati è aggiornata alle norme UNI e l'analisi verte sulla verifica introdotta dalla recente UNI 13788 e dal DM 2015. All'atto della verifica restituisce sia i valori di trasmittanza termica in regime stazionario e variabile, sia una misura del tempo di asciugatura delle interfacce di parete.

Verifica assenza muffa superficiale

La norma UNI 13788 attribuisce a questa analisi un ruolo fondamentale, in quanto progetta sin dal principio le basi di un'analisi più approfondita che si dipana nella seconda parte (verifica assenza di condensa interstiziale). Per convergere verso questa prima analisi occorre conoscere la località d'indagine, i suoi dati climatici e la zona di appartenenza.

Seguendo dal principio i calcoli salienti occorre precisare che la pressione di saturazione e la conseguente umidità relativa esterna sono quantificati secondo formule matematiche¹². Stabilito poi in maniera generale il periodo di accensione dell'impianto termico si provvede a identificare temperatura e relativa pressione di saturazione del vapore nello spazio abitato (vedi prospetto E1, UNI 13788). Ricordo che la norma stabilisce che la temperatura media mensile interna deve essere stabilita attribuendo, di regola, 20 °C al mese in cui si ritiene opportuno accendere l'impianto di riscaldamento e 18 °C agli altri mesi (periodo estivo).

La pressione parziale di vapore interna richiede l'impiego di un grafico che individua i valori di contributo da fonti di vapore interno (secondo classe d'uso, da 1 a 5)¹³. Le pressioni mensili sono ricavate dalla somma della pressione esterna con i suddetti valori¹⁴. L'UR scaturisce dal rapporto di pressione parziale e pressione di saturazione, mensile¹⁵.



¹⁰ Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico (ANIT).

¹¹ Versione PAN 7.0.1.15. Scaricabile anche in formato demo, utilizzabile per 30 gg.

¹² Vedi appendice E3, UNI 13788.

¹³ Fare attenzione al grafico utilizzato. L'attuale norma UNI 13788_2013 prevede una modifica sostanziale, la retta compresa tra i valori di ascissa 20-25 °C ha di base un Δp pari a 100 per le classi d'uso 1-4 e 200 per la classe d'uso 5.

¹⁴ Formula: $p_{vi} = p_{ve} + \Delta p$

¹⁵ Formula: $UR = p_{vi}/p_{vsat.i}$

Nel processo di valutazione della muffa superficiale si puntualizza che occorre sottoporre ad indagine il caso in cui l'attività delle spore accenna a manifestarsi in modo cruciale, ovvero alla presenza di una percentuale di umidità relativa dell'aria interna uguale o superiore all'80 %.

Questa condizione comporta la necessità di valutare lo stato della parete in occasione di un accenno di pressione di saturazione più bassa (da 100 a 80 %) ¹⁶.

Ne consegue che la parete deve verificare una pressione di saturazione minima, mensile, che non oltrepassa tale fenomeno ¹⁷. In base a questa data pressione si calcolano rispettivamente temperatura superficiale interna minima e fattore di temperatura superficiale interna minimo per ogni mese ($f_{Rsi,min}$) ¹⁸. Il fattore mensile maggiore esprime il valore limite di riferimento.

A questo punto si identifica la stratigrafia di parete che si intende sottoporre a valutazione e si procede a determinare il fattore di temperatura superficiale, questo in ragione della trasmittanza termica della parete ¹⁹. Dai calcoli deve emergere sempre la seguente condizione di verifica ²⁰:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi.min}$$

Verifica assenza condensa interstiziale

Questa verifica richiede di conoscere oltre alla località di riferimento e i dati climatici che la contraddistinguono anche:

- la temperatura e le pressioni di vapore dell'aria esterna;
- la temperatura superficiale interna;
- le pressioni di vapore acqueo dell'aria interna (parziale, di saturazione);

Sulla base di questi dati iniziali si procede col determinare e diagrammare le resistenze termiche e di vapore della stratigrafia di parete in oggetto. I materiali impiegabili nella stratigrafia devono poter avvicinare l'esatto comportamento che avrebbero nella realtà. Nella mia analisi ho deciso di avvalermi dei dati di alcune case produttrici ²¹.

In fase di analisi si procede col scegliere di ogni materiale, con la dovuta cura ed esattezza, i valori di spessore che possono riscontrarsi in commercio e di ogni caso le specifiche caratteristiche.

La permeabilità al vapore (δ_a) del materiale va di solito considerata "a secco" e la resistenza al vapore che ammette deve poter seguire la grandezza scalare convenzionale del δ_a .

¹⁶ Secondo norma la quantità di vapore acqueo presente nell'aria in un dato ambiente raggiunge lo stato di saturazione quando condensa, ovvero al passaggio dallo stato gassoso allo stato liquido. Il diagramma psicrometrico identifica questo addensamento liquido al raggiungimento di una percentuale di umidità nell'aria del 100%. Secondo la stessa norma l'attacco fungino particolarmente aggressivo si manifesta intorno all'80%, come tale l'analisi richiede di spostare il livello di attenzione più in basso di quello convenzionale. La stessa norma puntualizza che la curva con UR=80% si identifica di conseguenza con quella massima ammissibile e dunque la curva di riferimento effettivo.

¹⁷ Formula: $p_{vsat.mini} = p_{vi}/0.80$

¹⁸ Formula (2), in 3.1.2, UNI 13788.

¹⁹ Definita la stratigrafia di parete si calcolano le resistenze termiche degli strati. Sulla base del rapporto conclusivo $1/\sum R_{ti}$ si ottiene la trasmittanza termica in regime stazionario della parete. Il fattore di temperatura superficiale è ottenuto mediante formula: $f_{Rsi} = (U^{-1} - R_{si})/U^{-1}$.

²⁰ Un formulario esauriente è stato inserito nel foglio elettronico excel, scaricabile dal sito.

²¹ Naturalia-bau per gli isolanti in fibra di legno, Riwega per le membrane e gli schermi, il materiale dataholz.com per i pannelli di truciolato, Ton Gruppe per i pannelli e blocchi di terra cruda.

Con i dati alla mano si procede nel determinare per prime le temperature superficiali di ogni interfaccia e per seconde le pressioni parziali di vapore acqueo che si registrano sulle stesse²².

La pressione di saturazione di ogni interfaccia viene calcolata in ragione della temperatura superficiale di ogni strato²³.

I dati consentono di delineare due curve, quella della pressione parziale con andamento rettilineo²⁴ e quella della pressione di saturazione con andamento retto-discontinuo.

Secondo norma queste rette devono mostrare andamento non incrociato, ovvero l'assenza di condensa interstiziale si manifesta nel solo caso in cui non ci sono punti di intersezione. Nel qual caso si intersecano in uno o più punti vuol dire che in prossimità degli stessi c'è addensamento di vapore acqueo. Applicando il formulario della norma²⁵ si possono manifestare fenomeni di condensa se il dato numerico ha segno positivo, oppure di evaporazione se il dato numerico ha segno negativo.

Nel primo caso occorre ricercare a ritroso il mese in cui si manifesta maggiore condensa e provvedere a rettificare la stratigrafia. Nel secondo caso l'evaporazione è considerata una forma di addensamento che viene sottratto dalla parete per normale flusso dinamico di vapore.

Se ci si attiene alle condizioni prescrittive attualmente in vigore occorre precisare che ogni fenomeno di condensa deve essere risolto, in ogni caso un addensamento di vapore deve poter evaporare nel corso di un anno.

Quest'ultima condizione è stata recentemente ribadita nelle FAQ del 2018 riferite alla giusta interpretazione che occorre dare ai contenuti del DM 26/06/2015.

Riporto qui di seguito la parte del testo indicato:

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

Tale norma definisce infatti la quantità ammissibile di condensa presente in un elemento al termine del periodo di condensazione. Lo stesso paragrafo specifica anche che tutta la condensa formatasi all'interno di un elemento deve sempre evaporare completamente alla fine di un ciclo annuale.

²² La temperatura d'interfaccia è calcolata mediante formula (20), in 6.4.4, UNI 13788. La pressione parziale d'interfaccia può essere calcolata nel seguente modo: $p_{ki} = p_e + \frac{\sum R_{vi}}{R_v} * (p_i - p_e)$; in alternativa $p_{ki} = p_i - \frac{\sum R_{vi}}{R_v} * (p_i - p_e)$

²³ Vedi appendice E3, UNI 13788.

²⁴ L'andamento retto orizzontale od obliquo è ottenuto applicando i presupposti del grafico Glaser, ovvero identificando la stratigrafia della parete entro un diagramma cartesiano p_v/R_v (pressione vapore strato i-esimo/resistenza vapore strato i-esimo) [Pa/m²sPa/kg]

²⁵ Individuato il punto critico di addensamento di vapore vanno applicate le formule (22), (23), (24) della norma UNI 13788, che consentono il calcolo di condensa/evaporazione per un solo punto d'intersezione o per due punti.

Condizioni di verifica al contorno (U, Yie)

Nel processo di verifica delle condizioni prescrittive di una parete è necessario fare una puntualizzazione importante: una *parete multistrato* deve poter sempre essere confezionata in modo che ogni strato adempia ad una funzione cruciale.

Un modo di aggregare insieme gli strati consiste nel ripartire la parete in almeno tre zone:

- *una zona più esterna* che raccoglie materiali di rivestimento e strati passivi; (che rivestono la facciata e preservano la parete dall'ingresso di calore estivo mediante massa termica o intercapedine ventilata)
- *una zona intermedia* che accoglie materiali isolanti; (che oppongono resistenza al flusso di calore verso l'esterno in inverno e non oppongono particolare resistenza alla trasmigrazione di vapore)
- *una zona più interna* composta di materiali che adeguano la parete. (che rafforzano il sistema composito, mediante massa termica o intercapedine non ventilata)

In questa ottica ogni parete confida su tre parti distinte e nel contempo concorrenti. Infatti ogni parete deve mostrarsi in grado di limitare la dispersione termica invernale e fronteggiare efficacemente il passaggio di calore estivo verso gli ambienti interni.

Queste condizioni sono affrontate nel decreto 26 giugno 2015 nella misura in cui ogni parete deve poter assicurare un valore limite in termini di trasmittanza termica in regime stazionario (U) e periodico (Yie).

La norma impone dei valori limite da rispettare nel primo caso, distinti in funzione della zona climatica di appartenenza. Nel caso della trasmittanza in regime periodico precisa che:

- in tutte le zone più fredde che non superano il limite di irradianza di 290 W/m^2 è possibile costruire strutture pesanti o leggere senza tener conto di alcun correttivo;
- nelle zone con irradianza $> 290 \text{ W/m}^2$:
 - costruire pareti pesanti (con $M_s > 230 \text{ kg/m}^2$) vuol dire non dover tenere conto del correttivo del valore di trasmittanza termica in regime periodico.
 - costruire pareti leggere (con $M_s < 230 \text{ kg/m}^2$) vuol dire ammettere una ulteriore verifica di contorno: $Y_{ie} < 0.10$

I modelli di parete che propongo nelle pagine seguenti confidano in una composizione stratigrafica leggera, che di regola ammette la verifica di entrambi i correttivi di legge.

Secondo trasmittanza termica U:

Località	Zona climatica DM 2015	Limite imposto – 2021
CALTANISSETTA	D	0.29
ENNA	E	0.26
CUNEO	F	0.24

Secondo trasmittanza termica periodica Y_{ie} :

Località	Irradianza UNI 10349	Limite imposto
CALTANISSETTA	$326 > 290 \text{ W/m}^2$	0.10, con $M_s < 230 \text{ kg/m}^2$
ENNA	$331 > 290 \text{ W/m}^2$	
CUNEO	$235 < 290 \text{ W/m}^2$	Nessuna condizione

Dai dati appena esposti emerge chiaramente quanto segue:

- Caltanissetta consente di vedere realizzate pareti a telaio leggero nel qual caso ammettono trasmittanze $U < 0.29$ e $Y_{ie} < 0.10$.
 - La presente condizione può richiedere solamente la verifica di U nel qual caso, la parete a telaio leggero, si riserva la possibilità di aggiungere sulla faccia interna un ulteriore strato che aumenta la massa superficiale (M_s).
- Enna presenta le stesse condizioni di Caltanissetta, la differenza risiede nelle condizioni climatiche. La presenza di una minore percentuale di umidità nell'aria interna rispetto a Caltanissetta offre la possibilità di utilizzare pareti meno massive.
- Cuneo deve garantire la verifica del solo valore di trasmittanza in regime stazionario. La posizione geografica permette di impiegare anche pareti meno massive.

L'analisi dei vari modelli di parete multistrato che propongo di seguito sono stati sottoposti ad esame per mezzo di due fogli elettronici. Il primo ideato dall'autore delle presente pubblicazione (scaricabile dalla home del sito) ed il secondo scaricato da internet²⁶.

I dati sono stati inoltre confrontati con quelli ottenuti per mezzo del software PAN7 (dell'ANIT).

²⁶ Andrea Ursini_www.mygreenbuildings.org

Modelli analizzati

Dall'analisi delle stratigrafie è emerso un aspetto importante, riguardante la natura geografica delle località poste sotto esame. Nello specifico:

- Caltanissetta presenta una condizione climatica tale per cui a parità di temperatura e pressione di vapore nell'aria, l'umidità che si riversa negli ambienti interni tende a raggiungere valori elevati nei mesi estivi: 98% a giugno, superiori al 100% negli altri due mesi successivi.

Questa particolare condizione climatica immette negli ambienti interni una percentuale di umidità che supera il valore saturo. Come tale l'ambiente confinato ed abitato tende sempre a manifestare una lieve condensazione di vapore negli strati di parete, anche quando si impiegano schermi freno vapore o perfino barriere al vapore sul lato interno.

Questa particolare condizione richiede due soli possibili interventi:

- *Mantenimento della classe d'uso 3 e impiego di materiale sul lato interno capace di controllare la trasmigrazione di vapore estiva (blocchi di terra cruda);*
- *Passaggio di classe d'uso da 3 a 2, prevedendo l'impiego di un impianto di ventilazione meccanica.* In questo caso si ottiene un aumento di temperatura interna e un conseguente aumento di pressione di saturazione. Il rapporto di pressioni interne²⁷ riducono la percentuale di umidità, facendo rientrare il rischio di condensa dei mesi estivi.
- Enna conferma l'importanza delle diverse contingenze che legano quota altimetrica, temperature e pressioni esterne ed interne. Nel suo caso si registrano valori di umidità interna nella norma. La parete leggera riesce pienamente ad evitare la condensa.
- Cuneo manifesta le stesse condizioni ed opportunità riscontrate per Enna.

Pareti-tipo in provincia di Caltanissetta

La particolare condizione geografica di Caltanissetta (zona D, quota 568 m.s.l.m., elevate temperature estive, più accentuate pressioni di vapore) impone una diversa interpretazione del sistema stratigrafico di parete leggera. Infatti il riscontro di una forte umidità nell'aria e in particolare negli ambienti confinati sottende un'attenta costruzione degli strati.

Nella mia analisi ho deciso di mantenere fissi alcuni parametri di base, come quello di identificazione della classe di destinazione d'uso degli ambienti. La scelta è ricaduta sulla classe d'uso tradizionale (3), che non prevede accorgimenti riguardo al condizionamento dell'aria durante i mesi estivi. Questa scelta però ha comportato la necessità di seguire una strada impervia, nel momento in cui ho dovuto decidere di aggregare strati interni di maggiore controllo del flusso di vapore.

Nei tre esempi di modellazione non manca mai uno specifico materiale, si tratta del blocco di terra cruda²⁸. Le caratteristiche specifiche della terra cruda forniscono un elevato comfort interno, in

²⁷ $UR = \frac{p_{vi}}{p_{v.sat.i}}$

²⁸ In commercio se ne annoverano alcuni, quelli sui quali sento di poter fare maggiore affidamento sono il krioton80 e krioton120 della Ton-gruppe, oppure il LaterActive di 120 mm della Terragena.

particolare riescono ad attenuare la formazione e passaggio di umidità nel corso dell'intera giornata. L'argilla se mantenuta in forma compatta e cruda riesce a captare e trattenere sia calore termico sia vapore acqueo.

Le fattezze del blocco lo rendono ideale per risolvere questo tipo di inconvenienti stagionali in quanto si presenta a forte densità anche quando ridotto di spessore (80 mm).

Nei tre modelli che propongo il lato interno impiega questo materiale in prossimità dello strato bagnato. A completarlo interviene uno schermo capace di frenare il flusso di vapore addensante e un intonaco di argilla rinforzato, con uguale finalità.

Pareti-tipo in provincia di Enna e Campobasso

I casi studio che ho deciso di seguire appena dopo quello di Caltanissetta hanno riguardato la località di Enna e di Campobasso, entrambe appartenenti alla zona climatica E.

Enna in Sicilia si rivela essere la località di zona E a maggiore quota altimetrica (931 m.s.l.m.) mentre Campobasso in Molise rappresenta un valevole modello di raffronto (posto a quota altimetrica medio-alta).

La condizione climatica di Enna ammette valori di umidità relativa nell'aria esterna al di sotto del 50% e valori di UR interna tendenzialmente bassi, in media del 63%.

Queste condizioni permettono di affermare che l'aria esterna si mostra più secca e quella interna perfettamente nella norma. I dati che emergono dal mio foglio elettronico excel testimoniano quanto detto, infatti è facile constatare che l'uso di una parete leggera (poco massiva) e provvista di una leggera schermatura sul lato interno riesce ad annullare ogni possibile fenomeno di condensa o di solo addensamento di vapore in fase di evaporazione.

Per il caso in oggetto ho deciso di concepire tre modelli di parete capaci di differenziarsi tra loro soprattutto in merito al materiale impiegato nella zona esterna. Le interfacce più esterne sono trattate rispettivamente mediante:

- l'inserimento di un'intercapedine ventilata a ridosso di un pannello OSB;
- l'inserimento di un'intercapedine ventilata a ridosso di un tavolato di abete (sistema sandwich);
- l'inserimento di uno strato massivo composto di blocchi di terra cruda rivestiti d'intonaco di calce, a ridosso della zona intermedia.

L'ultimo caso esposto richiede un particolare accorgimento tecnico, i blocchi sono appoggiati in facciata su un tavolame giunto ad incastro con l'intelaiatura di parete. L'intonaco di calce prevede un rasante ed uno strato di rifinitura pregiato. La solidità dello strato intero è garantita dalla presenza di una rete in fibra di vetro sottile affogata nel rasante e agganciata ad intervalli regolari lungo la facciata, in prossimità di ogni passo di tavolame²⁹.

L'analisi è proseguita raffrontando quanto sopra con il caso studio di Campobasso. Questa località mostra in ugual modo valori di umidità dell'aria esterna e interna simili a quelli di Enna.

L'intervento in questa zona non ha richiesto ugualmente particolari aggiunte di materiale a carattere massivo sul lato interno. La verifica dell'assenza di muffa superficiale e di condensa interstiziale è avvenuta senza particolari inconvenienti.

²⁹ Vedi Tavole grafiche CAD_ particolare tecnico di parete P5.

Pareti-tipo in provincia di Cuneo

L'ultimo caso esaminato riguarda la provincia di Cuneo. L'analisi ha rilevato che i fattori concatenativi temperatura-pressione di vapore esterna ed interna producono livelli di umidità tendenzialmente bassi all'esterno e più accentuati in ambiente confinato e abitato.

Per mantenere in equilibrio il processo di trasmigrazione del vapore acqueo nell'intero arco di un anno ho fatto leva su pareti provviste di schermo freno vapore sul lato interno. Questo strato aggregativo si mostra significativo in tutti i modelli impiegati.

La costruzione stratigrafica dei tre modelli, esposti di seguito, si servono degli stessi presupposti di confezionamento adottati per Enna e ogni altra provincia. In particolare il caso in esame ha previsto:

- in zona esterna un'intercapedine ventilata protetta da un rivestimento in tavole di legno, oppure la presenza di uno strato massivo in blocchi di terra cruda;
- in prossimità della zona intermedia un cappotto di isolante in fibra minerale rigido, a densità medio-alta;
- in zona intermedia dell'isolante in fibra minerale flessibile, a densità media;
- in zona interna un corpo di elementi più o meno massivi (pannellature intonacate) oppure l'aggiunta di una intercapedine non ventilata.

In tutti i casi ho deciso di confezionare l'intera parete in modo tale che dall'esito delle analisi emergesse una piena verifica di entrambe le trasmittanze (U , Y_{ie}).

Va puntualizzato che la provincia di Cuneo prevede un valore di irradianza minore del valore limite indicato nel decreto del 26 giugno 2015 ($290 \text{ W/m}^2\text{k}$). Questa condizione ammette la possibilità di proporre pareti leggere capaci di verificare il solo valore-limite di trasmittanza termica in regime stazionario, che in zona F equivale a $0.24 \text{ W/m}^2\text{k}$.

Nota aggiuntiva alle tavole-CAD

Le pareti sono pensate per assicurare una giusta resa in termini di calore e vapore, in aggiunta la costruzione grafica intende affrontare anche alcuni aspetti di assemblaggio.

Le facce interne prevedono comunemente l'aggiunta di pannellature a base di legno o di terra cruda rivestite. La loro giusta apposizione dipende dal pacchetto, ma in linea generale concorda con la seguente disposizione:

- il pannello OSB di supporto e di complanarità è montato nel verso verticale, considerato che la sua lunghezza può raggiungere l'altezza netta del piano. L'assemblaggio può avvenire mediante graffe distanziate in modo da coprire un numero sufficiente a mq.
- Il pannello in terra cruda ha una dimensione minore (c.a. $60 \times 120 \text{ cm}$) e come tale va posizionato nel verso capovolto, secondo quanto è possibile riscontrare anche nelle schede tecniche di supporto³⁰.

Riguardo alla faccia esterna, ventilata o non:

- Il pannello OSB è posizionato in verticale, rivestendo nel contempo la funzione di controventatura e di complanarità. Il cappotto insieme al pannello può essere montato mediante tasselli sui listelli del telaio. Il fissaggio mediante tasselli consente di impiegare anche isolanti ad alta densità.

³⁰ Un esempio pratico di montaggio di pannellature in terra cruda è rintracciabile nel sito della Ton Gruppe.

Scheda materiali

Prodotti isolanti in fibra minerale naturale³¹

Nome	Sp (mm)	λ	δa	μ
Isolante in fibra di legno - pannello rigido	20 – 40	0.04	40	5
Isolante in fibra di legno - pannello flessibile	120	0.04	100	2

Prodotti a base di terra cruda³²

Nome	Sp (mm)	λ	δa	μ
Pannello in terra cruda rinforzato	16 – 22	0.47	25	7.5
Blocco in terra cruda	80 - 120	0.248	20	10

Prodotti a base di legno³³

Nome	Sp (mm)	λ	δa	μ
Pannello OSB	10 – 20	0.13	3.75	50
Tavolame in legno di abete	30	0.15	4.5	41.67
Tavolame da rivestimento in larice	20	0.15	4.5	41.67

Intonaci³⁴

Nome	Sp (mm)	λ	δa	μ
Intonaco a base di terra cruda	20	0.75	25	7.5
Intonaco a base di calce idraulica naturale	15	0.7	25	7.5

Membrane e schermi³⁵

Nome	Sd (m)	Sp (mm)	λ	δa	μ
Schermo freno vapore	2	7.8	0.22	0.075	2564
	10	5.7	0.22	0.011	17544
	20	4.2	0.22	0.041	47619
Membrana AV ³⁶ , traspirante, impermeabile		4	0.22	4	50

Scheda informazioni aggregative

Nome	Densità	Calore specifico	Nome	Densità	Calore specifico
Isolante FMN – rigido	120	2400	Intonaco d'argilla	1300	720
Isolante FMN – flessibile	50	2100	Intonaco di calce NHL	1500	1000
Pannello in terra cruda	1200	1000	Schermo FV Sd2m	200	1700
Blocco in terra cruda	1478	1100	Schermo FV Sd10m	211	
Pannello OSB	600	1700	Schermo FV Sd20m	238	
Tavolame in legno – abete	400	2500	Membrana antivento traspirante impermeabile	300	1700
Tavolame in legno - larice	600	2500			

³¹ I dati si riferiscono ad alcuni prodotti messi in commercio da Naturalia-Bau srl: Naturaflex (per riempimenti); Naturatherm (pannello rigido); Naturatherm Plus (pannello universale).

³² I dati si riferiscono ad alcuni prodotti messi in commercio dalla Ton Gruppe: Kartonsan16-22; Krioton 80-120.

³³ I dati si riferiscono ad alcuni prodotti in commercio, di varie ditte.

³⁴ idem

³⁵ I dati sono stati estratti dalle schede tecniche di alcuni prodotti messi in commercio dalla Riwega: USB Micro; USB Micro-Light; USB Micro 100/20; USB WALL 100.

³⁶ Antivento - destinata a fornire alla parete una protezione esterna correlata a fenomeni dispersivi (correnti fredde d'inverno o calde d'estate).

ANALISI PONTI TERMICI

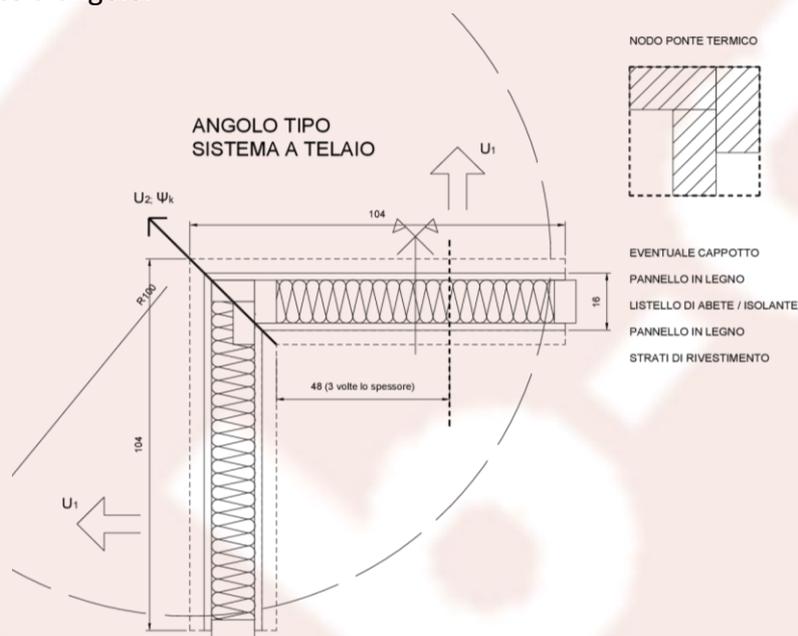
Le pareti esaminate nelle pagine precedenti sono state sottoposte ad una verifica termoigrometrica secondo quanto stabilito dalla norma UNI 13788.

Procedendo oltre si rivela essenziale analizzare le stesse anche sotto il profilo della dispersione termica nei punti di maggiore salto termico (UNI 10211). Questo approccio analitico intende proporre un caso ipotetico in particolare, tra gli altri, in cui si può riscontrare disomogeneità interne alla parete. Il caso ideale è quello di angolo-parete, capace di fornire un modello prossimo alla realtà.

La disomogeneità di materiali si manifesta maggiormente in prossimità dell'angolo, nel quale la tipica costruzione del sistema a telaio leggero prevede la presenza di listelli di legno (abete) che permettono l'aggancio di parete.

L'angolo è formato come conseguenza da due tratti di parete identiche nella stratigrafia e da un nodo disomogeneo. Quest'ultimo raccoglie al suo interno tre listelli, due di questi rappresentano gli elementi di chiusura dei due tratti di parete. Il terzo listello aggancia e sostiene rigidamente il vincolo d'angolo.

Per una maggiore comprensione dello schema di base ripropongo qui di seguito un'immagine del nodo e della parete d'angolo.



L'analisi è stata condotta mediante un approccio analitico, attribuendo valore a seconda dei casi alla presenza di una intercapedine debolmente ventilata (casi P1, P3). La modellazione della parete confida su materiali che ho inserito nella banca dati del software IRIS (dell'ANIT).

Per una maggiore comprensione dei dati di risulta ho preferito confrontare quest'ultimi con un metodo di calcolo analitico che ho configurato su un file excel nominato V-PT_b-a.³⁷

³⁷ Il file è scaricabile gratuitamente dalla home del sito <http://pciricillo.wixsite.com/bio-architetto>.

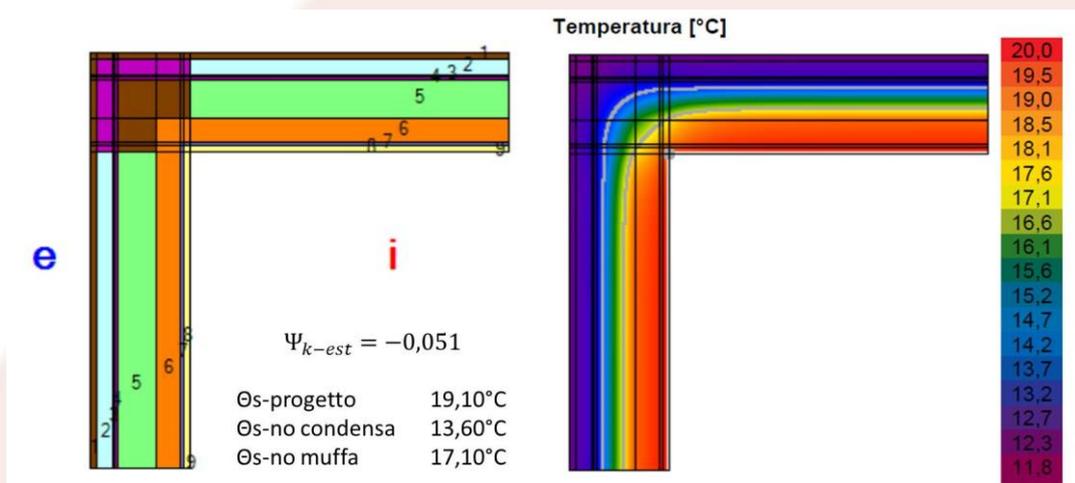
Nelle pagine seguenti illustro i risultati del software IRIS, mettendo in risalto la termografia di ogni modello di parete-angolo. I casi ripetono le stratigrafie che ho proposto per le quattro località esaminate in partenza: Caltanissetta, Enna, Campobasso e Cuneo.

Secondo norma UNI 10211 la porzione di parete da sottoporre ad esame deve prolungarsi per almeno tre volte il suo spessore oppure per almeno un metro. Questa condizione è strettamente necessaria in quanto ogni effetto indotto sulla stratigrafia e sul nodo tende ad annullarsi soltanto dopo aver percorso tale distanza minima.

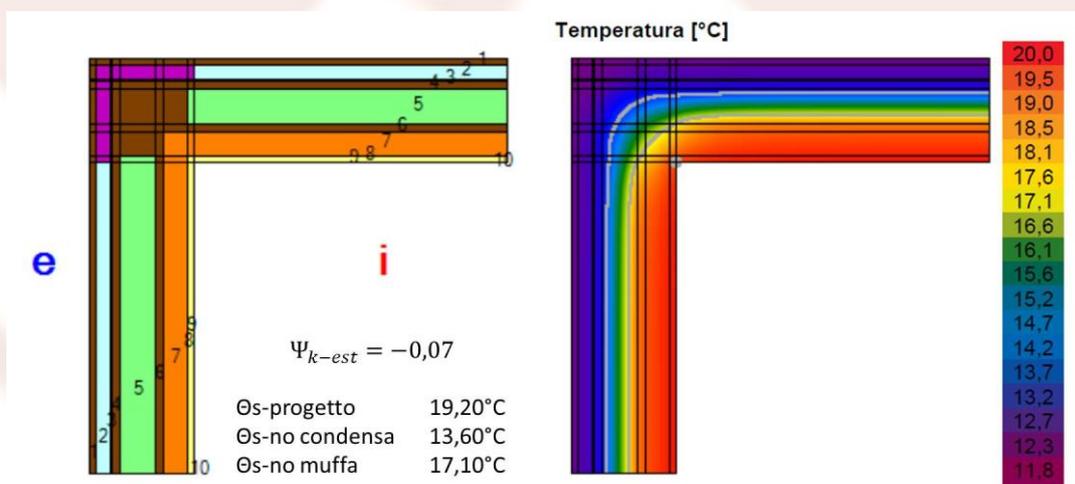
La norma impone inoltre di osservare alcune condizioni di calcolo nel qual caso intervengono più di tre temperature limite, come in alcuni casi proposti. Le condizioni base sono inserite nel Prospetto C.5 e prevedono il calcolo di coefficienti di accoppiamento parziali, al fine di ottenere quello totale (L2b).

Concludo questa introduzione ricordando che per semplificare i calcoli è possibile attribuire al modello di calcolo dei valori di trasmittanza termica lineica tabellati. Quest'ultimi sono esposti nell'abaco della norma UNI 14683.

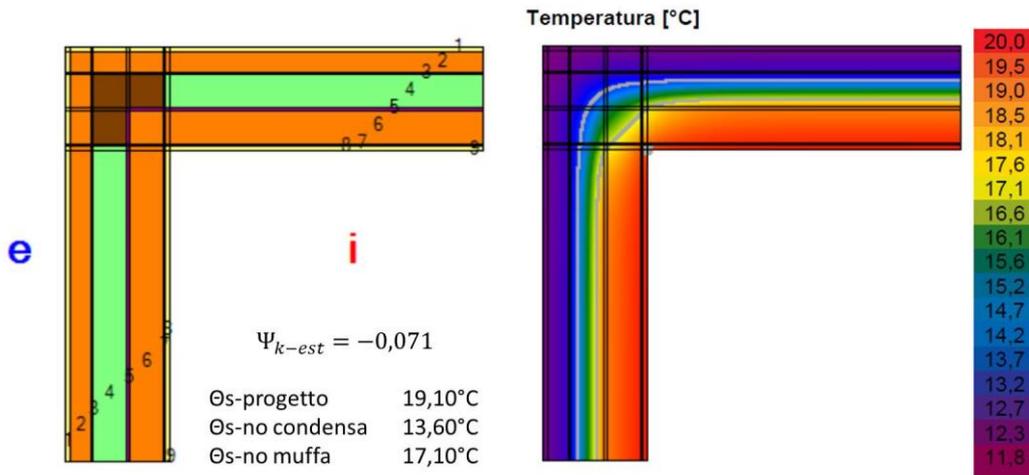
Modello P1_01_CL – CALTANISSETTA – Zona climatica D



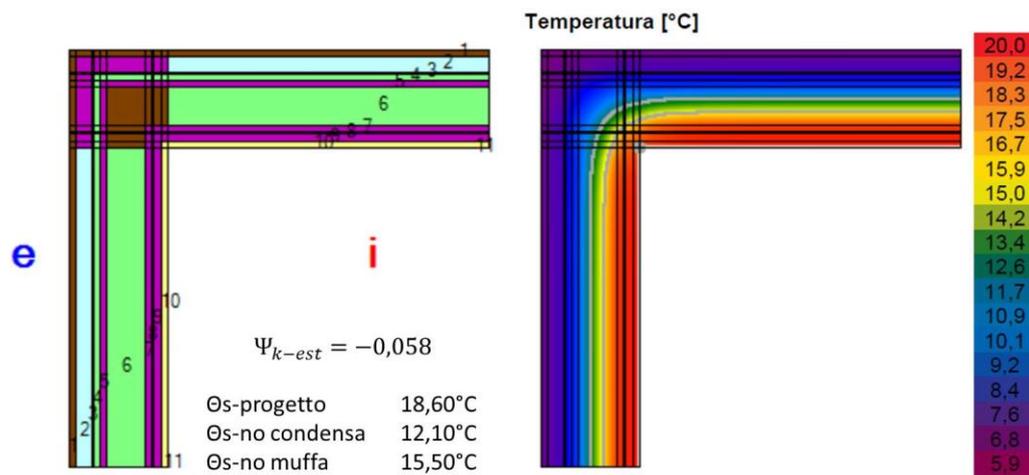
Modello P3_01_CL – CALTANISSETTA – Zona climatica D



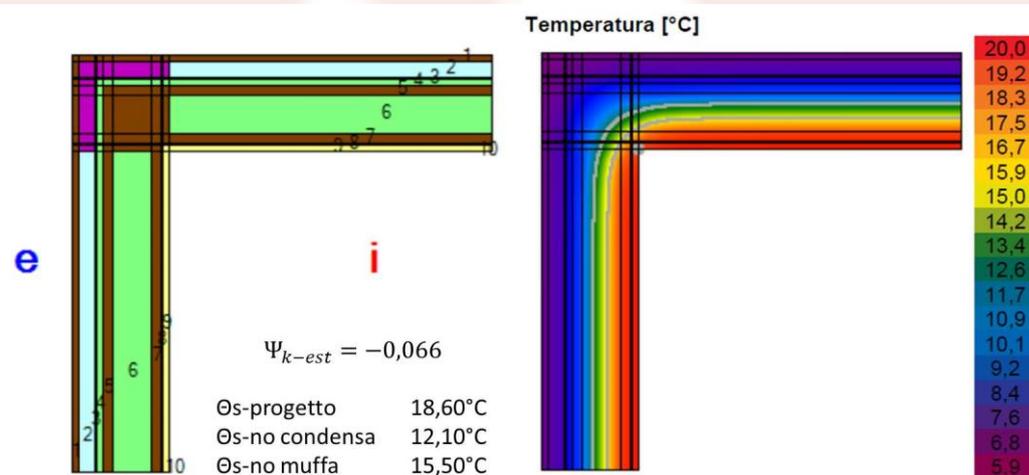
Modello P5_01_CL – CALTANISSETTA – Zona climatica D



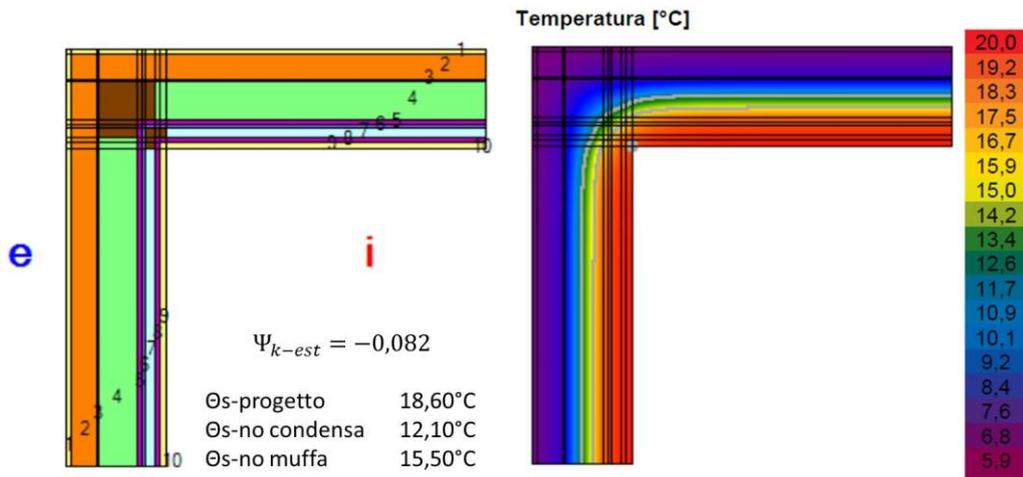
Modello P1_02.01_EN – ENNA – Zona climatica E



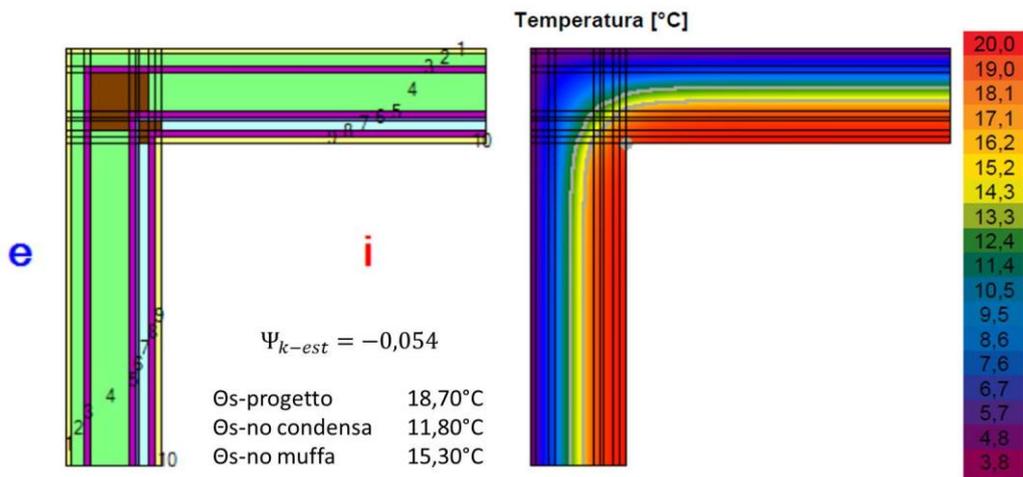
Modello P3_02.01_EN – ENNA – Zona climatica E



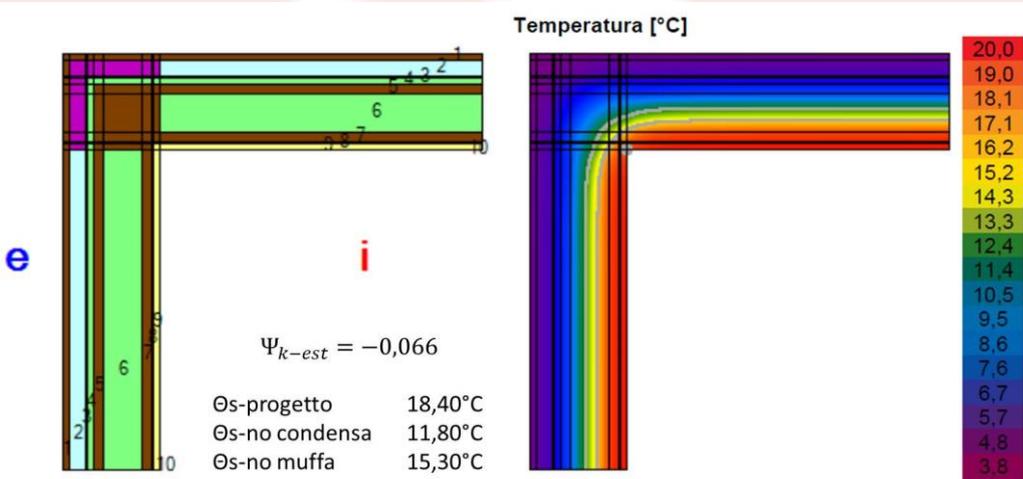
Modello P5_01_EN – ENNA – Zona climatica E



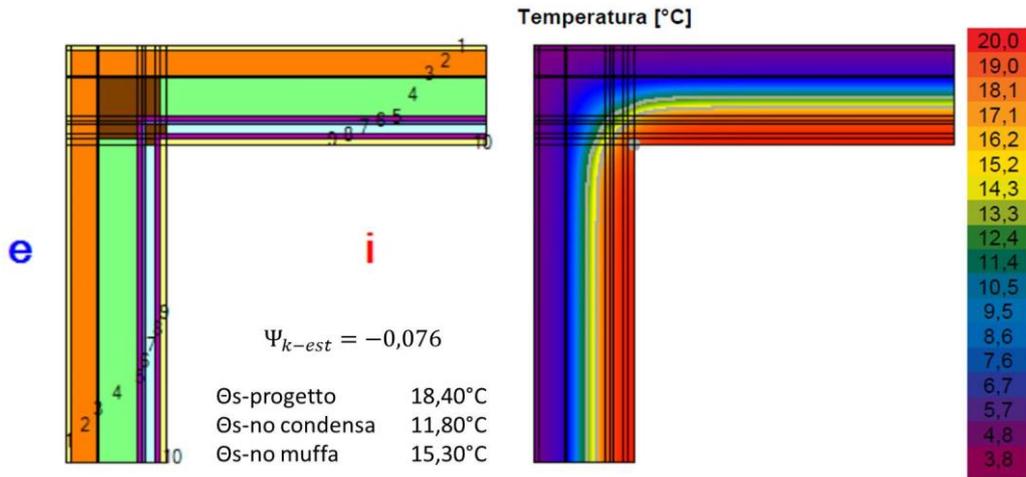
Modello P1_04_CB – CAMPOBASSO – Zona climatica E



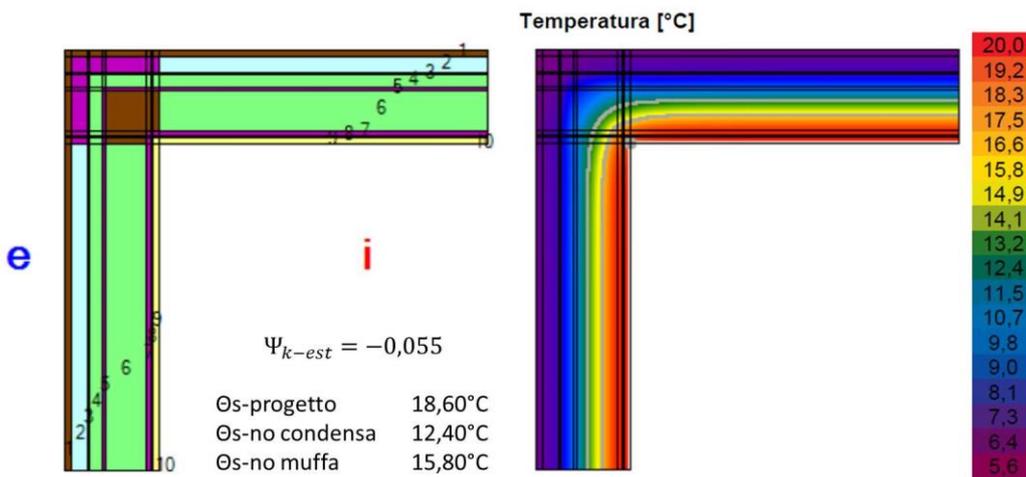
Modello P3_02.01_CB – CAMPOBASSO – Zona climatica E



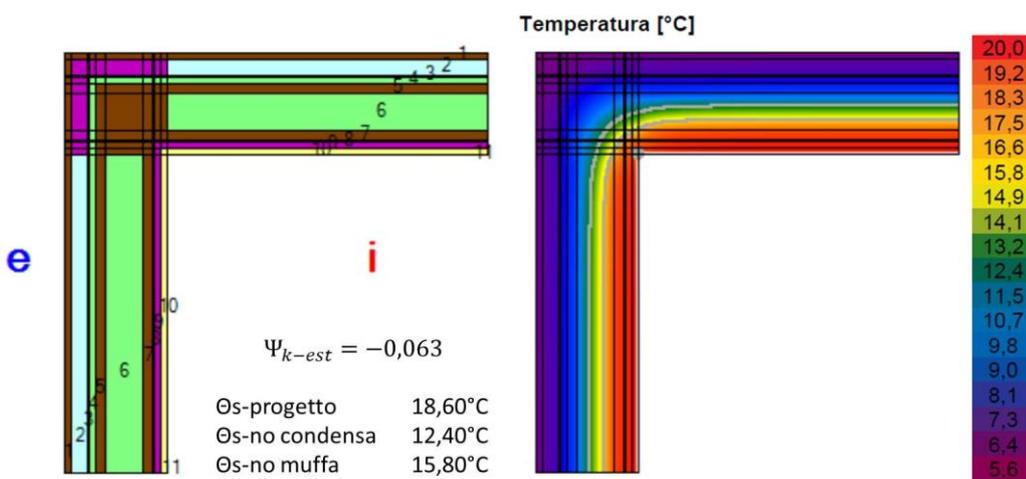
Modello P5_01_CB – CAMPOBASSO – Zona climatica E



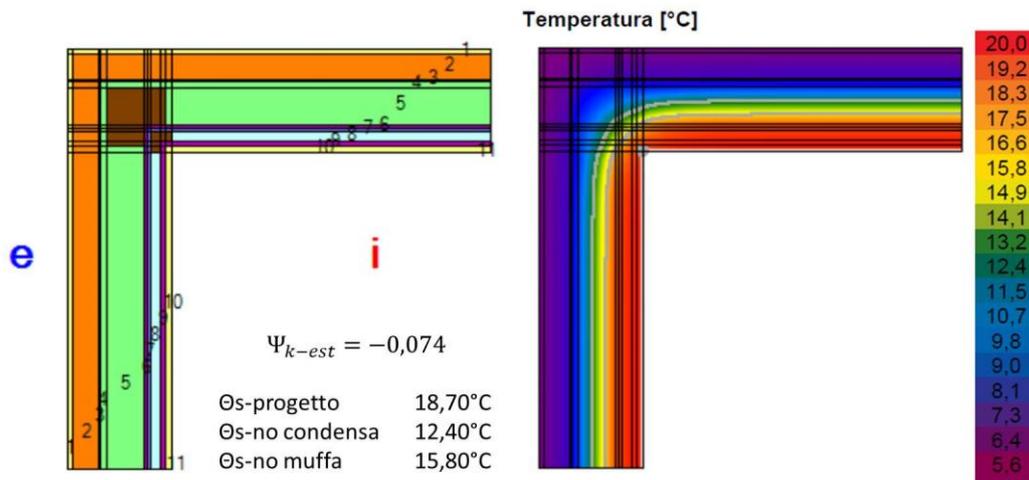
Modello P1_02_CU – CUNEO – Zona climatica F



Modello P3_03_CU – CUNEO – Zona climatica F



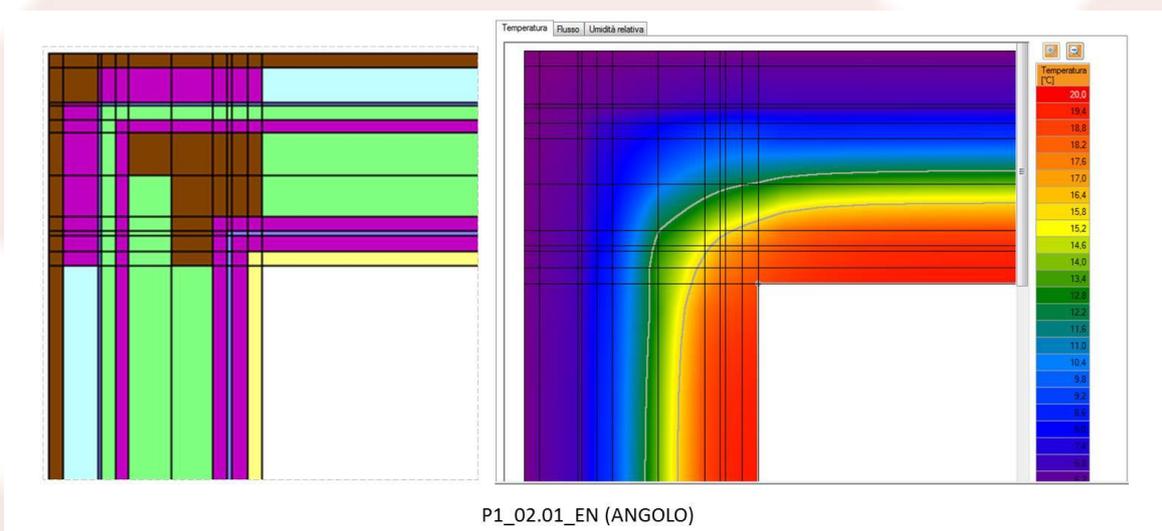
Modello P5_02_CU – CUNEO – Zona climatica F



Note conclusive

Dall’analisi termografica si evince che ogni stratigrafia di parete-angolo riesce a preservare una temperatura di progetto superiore a quella critica, scongiurando ogni rischio di formazione muffa e di condensa superficiale³⁸.

Il calcolo della trasmittanza termica media (U_m)³⁹ è improntato su un modello di parete-angolo basato sulle dimensioni esterne, di conseguenza la trasmittanza termica lineica (Ψ_k) è dimezzata (mediante un coefficiente correttivo f_k pari a 0.5). I valori di U_m si dimostrano inferiori a quelli previsti dal DM 26/06/2015 in riferimento al caso in oggetto (parete opaca di nuova costruzione). Per una maggiore comprensione del comportamento termico del nodo riporto una termografia disegnata sul reale posizionamento dei listelli:



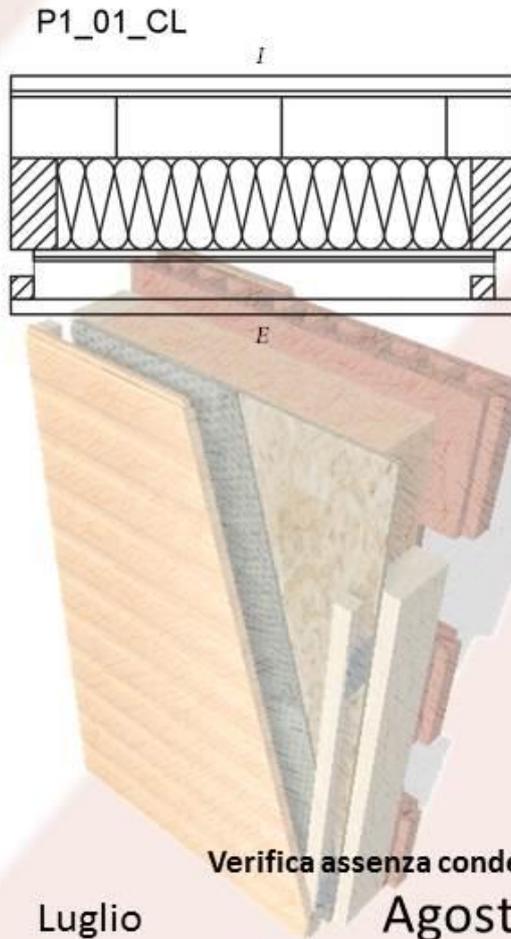
P1_02.01_EN (ANGOLO)

Nelle seguenti schede di pareti-tipo è riportato il corrispettivo valore di trasmittanza termica media e quello posto a limite dalla normativa nazionale.

³⁸ I valori delle temperature possono essere facilmente dedotti dal diagramma psicrometrico, considerando la temperatura di progetto e l’umidità relativa dell’aria interna.

³⁹ $U_m = \frac{\sum U_i \cdot A_i + f_k \cdot \Psi_k \cdot l_k}{A_{tot}}$ con $\Psi_k = L_{2D} - \sum U_i \cdot l_i$

CALTANISSETTA – zona D



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Schemo freno vapore Sd 2m	7,8 mm
Blocco di argilla cruda (tipo krioton80)	80 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Pannello OSB	10 mm
Membrana antivento traspirante	5 mm
Intercapedine ventilata	50 mm
Rivestimento in tavole di legno	20 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (Um)	0,26	0,29
Massa superficiale (Ms)	145 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Yie	0,068	0,10
Sfasamento (φ)	10,82 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7		
NOVEMBRE	Muffa	verifica
GENNAIO	Condensa	verifica

Risultati foglio elettronico excel - b-a	
Verifica assenza muffa superficiale interna	
0,86 > 0,63	verifica

Verifica assenza condensa interstiziale



P1-01_CL

Sistema stratigrafico:
facciata ventilata – isolante – massa termica

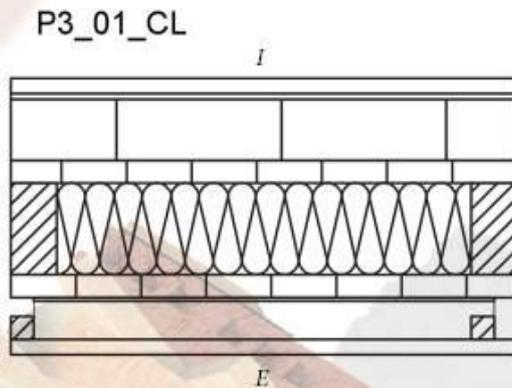
Conclusioni:

Il pacchetto prevede un leggero addensamento di vapore acqueo in evaporazione nei mesi estivi (luglio, agosto). L'addensamento di vapore si manifesta in prossimità dello strato massivo in blocco di terra cruda. Il materiale selezionato riesce a gestire al meglio questa trasmigrazione di vapore.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

CALTANISSETTA – zona D



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Schemo freno vapore Sd 20m	4,2 mm
Blocco di argilla cruda (tipo krioton80)	80 mm
Tavolame di abete	30 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Tavolame di abete con membrana AV	35 mm
Intercapedine ventilata	50 mm
Rivestimento in tavole di legno	20 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (Um)	0,23	0,29
Massa superficiale (Ms)	163 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Yie	0,035	0,10
Sfasamento (φ)	14,22 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7

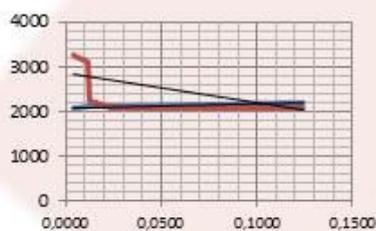
NOVEMBRE	Muffa	verifica
GENNAIO	Condensa	verifica

Risultati foglio elettronico excel - b-a

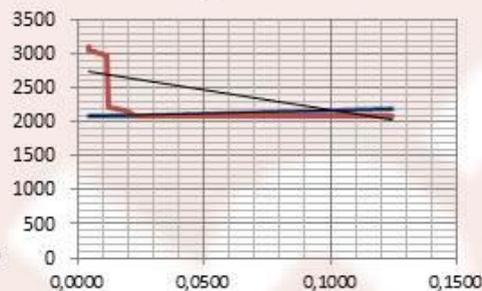
Verifica assenza muffa superficiale interna	
0,90 > 0,63	verifica

Verifica assenza condensa interstiziale

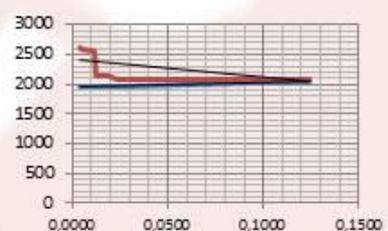
Luglio



Agosto



Settembre



P3-01_CL

Sistema stratigrafico:

facciata ventilata – isolante – massa termica

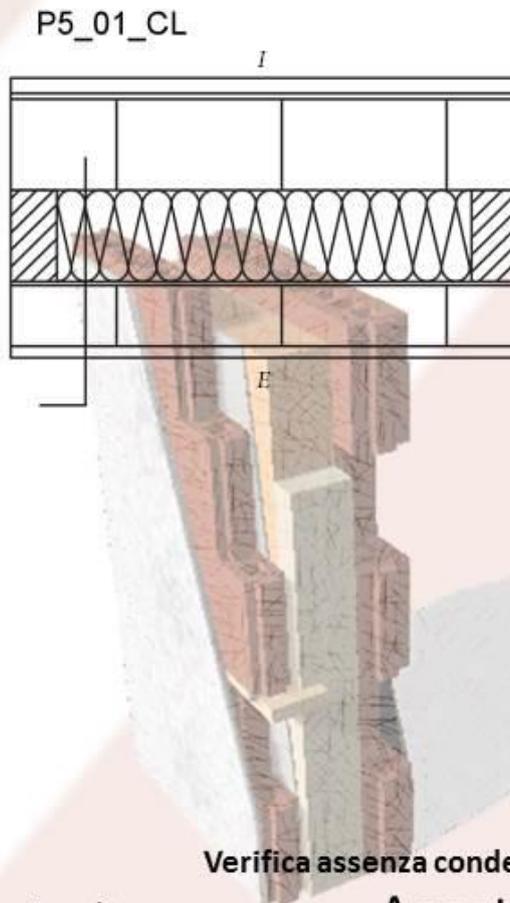
Conclusioni:

Il pacchetto prevede un leggero addensamento di vapore acqueo in evaporazione nei mesi estivi (luglio, agosto). L'addensamento di vapore si manifesta in prossimità dello strato massivo in blocco di terra cruda. Il materiale selezionato riesce a gestire al meglio questa trasmigrazione di vapore.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

CALTANISSETTA – zona D



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Schemo freno vapore Sd 10m	5,7 mm
Blocco di argilla cruda (tipo krioton120)	120 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Rinzaffo (malta di calce o a base di argilla)	5 mm
Blocco di argilla cruda (tipo krioton80)	80 mm
Rasante e intonaco di calce NHL	15 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (Um)	0,24	0,29
Massa superficiale (Ms)	312 kg/m ²	> 230
Trasmittanza Yie	0,020	0,10
Sfasamento (φ)	16,65 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7

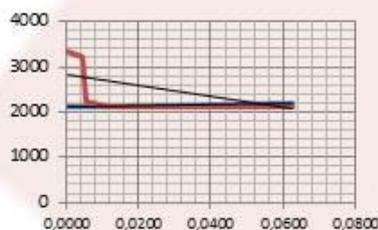
NOVEMBRE	Muffa	verifica
GENNAIO	Condensa	verifica

Risultati foglio elettronico excel - b-a

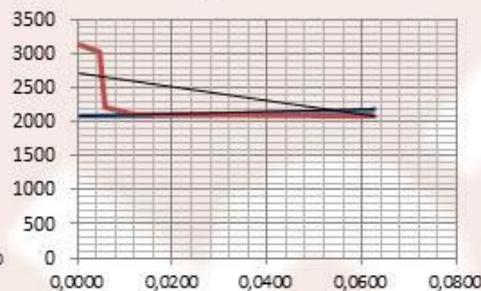
Verifica assenza muffa superficiale interna	
0,88 > 0,63	verifica

Verifica assenza condensa interstiziale

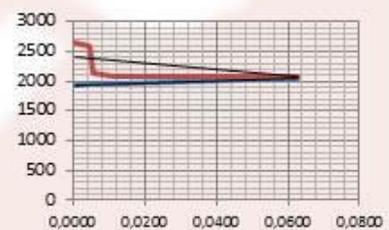
Luglio



Agosto



Settembre



P5-01_CL

Sistema stratigrafico:

massa termica – isolante – massa termica

Conclusioni:

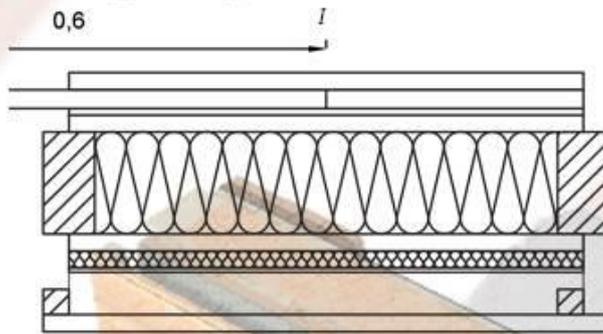
Il pacchetto prevede un leggero addensamento di vapore acqueo in evaporazione nei mesi estivi (luglio, agosto). L'addensamento di vapore si manifesta in prossimità dello strato massivo in blocco di terra cruda. Il materiale selezionato riesce a gestire al meglio questa trasmigrazione di vapore.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

P1_02.01_EN

ENNA – zona E



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Pannello di terra cruda (tipo kartonsan22)	22 mm
Pannello OSB con schermo FV Sd2m	27,8 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Pannello OSB	20 mm
Strato isolante FMN con membrana AV	25 mm
Intercapedine ventilata	50 mm
Rivestimento di tavole in legno	20 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (Um)	0,22	0,26
Massa superficiale (Ms)	73,8 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Yie	0,087	0,10
Sfasamento (φ)	10,17 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7

DICEMBRE	Muffa	verifica
FEBBRAIO	Condensa	verifica

Risultati foglio elettronico excel - b-a

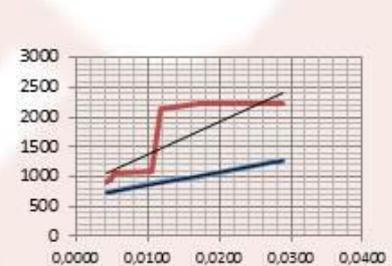
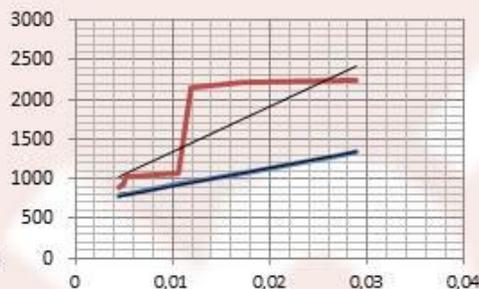
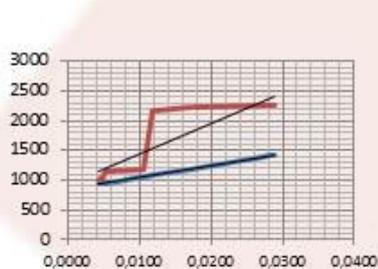
Verifica assenza muffa superficiale interna	
0,85 > 0,68	verifica

Verifica assenza condensa interstiziale

Dicembre

Gennaio

Febbraio



P1-02.01_EN

Sistema stratigrafico:

facciata ventilata – isolante – massa termica ridotta

Conclusioni:

Il pacchetto non prevede alcun tipo di addensamento di vapore nell'arco dell'anno.

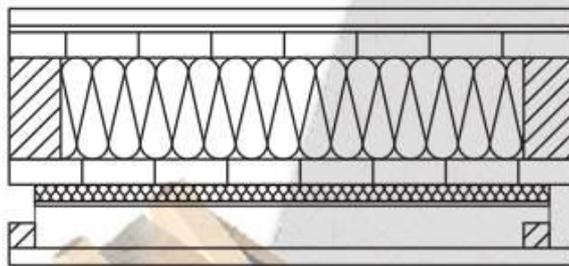
Il cappotto in pannelli rigidi di densità medio-alta migliora la trasmittanza termica periodica della parete. Lo schermo freno vapore posto sul lato interno attenua il livello di pressione parziale che si manifesta sulle interfacce più esterne in inverno.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

ENNA – zona E

P3_02.01_EN



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Schermo freno vapore Sd 10m	5,7 mm
Tavolame di abete	30 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Tavolame di abete	30 mm
Strato isolante FMN con membrana AV	25 mm
Intercapedine ventilata	50 mm
Rivestimento di tavole in legno	20 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (Um)	0,21	0,26
Massa superficiale (Ms)	47,1 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Yie	0,07	0,10
Sfasamento (φ)	10,62 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7

DICEMBRE	Muffa	verifica
FEBBRAIO	Condensa	verifica

Risultati foglio elettronico excel - b-a

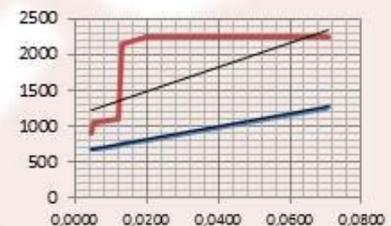
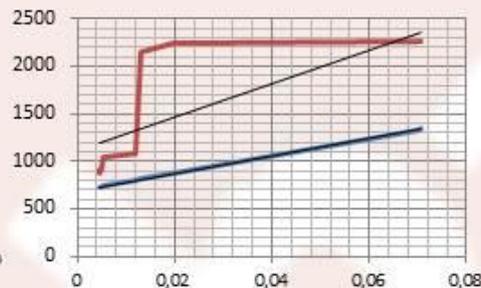
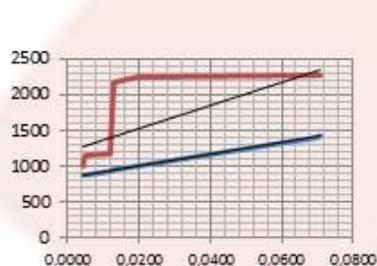
Verifica assenza muffa superficiale interna	0,86 > 0,68	verifica
---	-------------	----------

Verifica assenza condensa interstiziale

Dicembre

Gennaio

Febbraio



P3-02.01_EN

Sistema stratigrafico:

facciata ventilata – isolante – massa termica ridotta

Conclusioni:

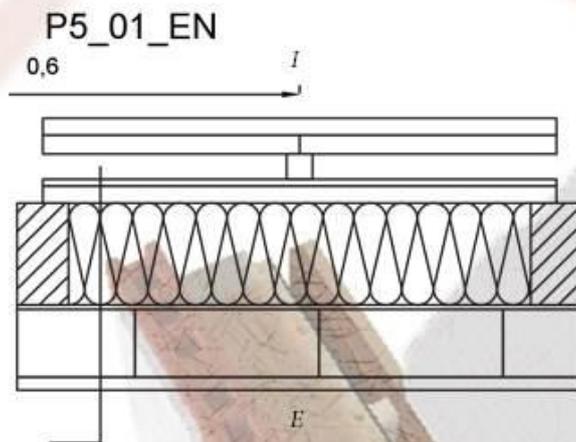
Il pacchetto non prevede alcun tipo di addensamento di vapore nell'arco dell'anno.

Il cappotto in pannelli rigidi di densità medio-alta migliora la trasmittanza termica periodica della parete. Lo schermo freno vapore posto sul lato interno attenua il livello di pressione parziale che si manifesta sulle interfacce più esterne in inverno.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

ENNA – zona E



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Pannello di terra cruda (tipo kartonsan16)	16 mm
Intercapedine d'aria non ventilata	30 mm
Pannello OSB con FV Sd2m	27,8 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Rinazzo (malta di calce o a base di argilla)	5 mm
Blocco di terra cruda (tipo krioton80)	80 mm
Rasante e intonaco di calce NHL	15 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (Um)	0,25	0,26
Massa superficiale (Ms)	166 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Yie	0,077	0,10
Sfasamento (φ)	11,59 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7

DICEMBRE	Muffa	verifica
FEBBRAIO	Condensa	verifica

Risultati foglio elettronico excel - b-a

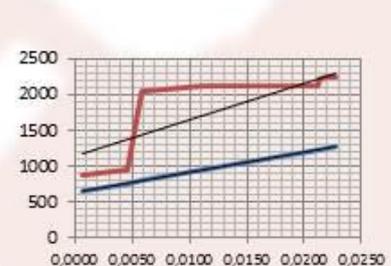
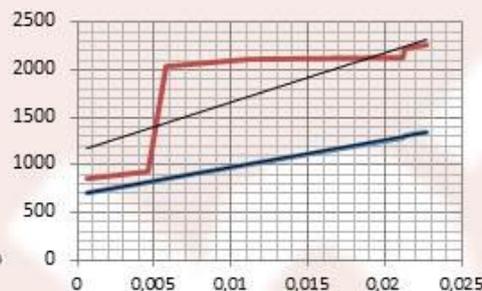
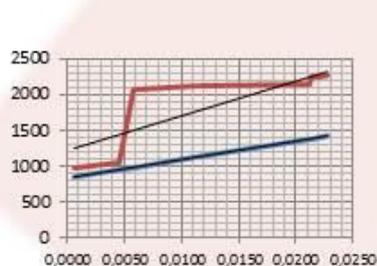
Verifica assenza muffa superficiale interna	0,86 > 0,68	verifica
---	-------------	----------

Verifica assenza condensa interstiziale

Dicembre

Gennaio

Febbraio



P5-01_EN

Sistema stratigrafico:

massa termica – isolante – intercapedine e massa termica ridotta

Conclusioni:

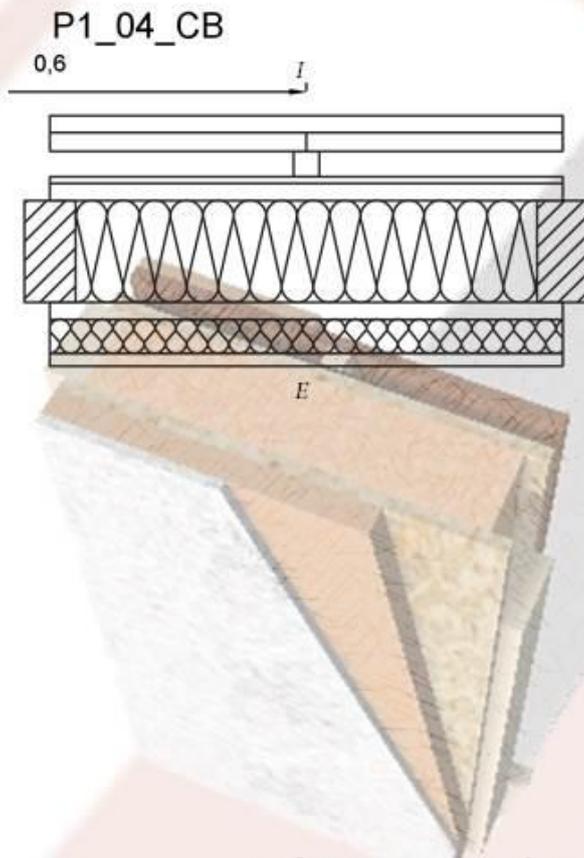
Il pacchetto non prevede alcun tipo di addensamento di vapore nell'arco dell'anno.

Lo schermo freno vapore posto sul lato interno attenua il livello di pressione parziale che si manifesta sulle interfacce più esterne in inverno. L'intercapedine può ospitare le condotte di impianto.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

CAMPOBASSO – zona E



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Pannello di terra cruda (tipo kartonsan22)	22 mm
Intercapedine d'aria non ventilata	30 mm
Pannello OSB con FV Sd2m	27,8 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Pannello OSB	20 mm
Strato isolante in FMN rigido	40 mm
Rasante e intonaco di calce NHL	15 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (U_m)	0,21	0,26
Massa superficiale (M_s)	62,8 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Y_{ie}	0,062	0,10
Sfasamento (ϕ)	11,08 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7

DICEMBRE	Muffa	verifica
DICEMBRE	Condensa	verifica

Risultati foglio elettronico excel - b-a

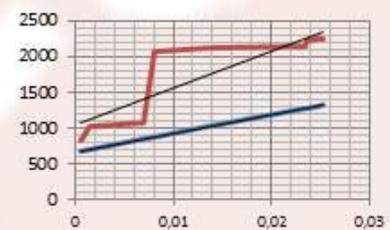
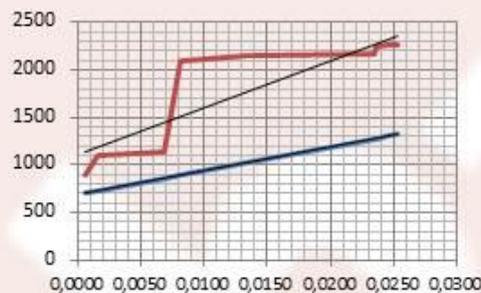
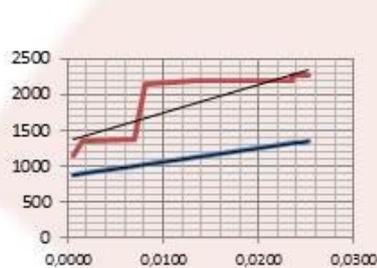
Verifica assenza muffa superficiale interna	0,84 > 0,81	verifica
---	-------------	----------

Verifica assenza condensa interstiziale

Novembre

Dicembre

Gennaio



P1-04_CB

Sistema stratigrafico:

cappotto – isolante – intercapedine e massa termica ridotta

Conclusioni:

Il pacchetto non prevede alcun tipo di addensamento di vapore nell'arco dell'anno.

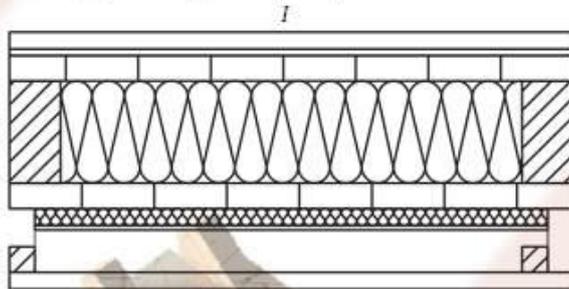
Lo schermo freno vapore posto sul lato interno attenua il livello di pressione parziale che si manifesta sulle interfacce più esterne in inverno. L'intercapedine può ospitare le condotte di impianto.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

CAMPOBASSO – zona E

P3_02.01_CB (EN)



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Schermo freno vapore Sd 10m	5,7 mm
Tavolame di abete	30 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Tavolame di abete	30 mm
Strato isolante FMN con membrana AV	25 mm
Intercapedine ventilata	50 mm
Rivestimento di tavole in legno	20 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (Um)	0,21	0,26
Massa superficiale (Ms)	47,1 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Yie	0,07	0,10
Sfasamento (φ)	10,62 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7		
DICEMBRE	Muffa	verifica
DICEMBRE	Condensa	verifica

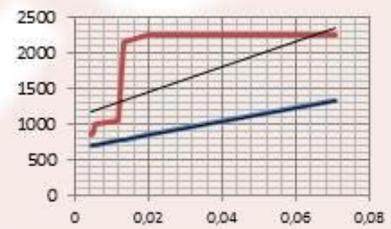
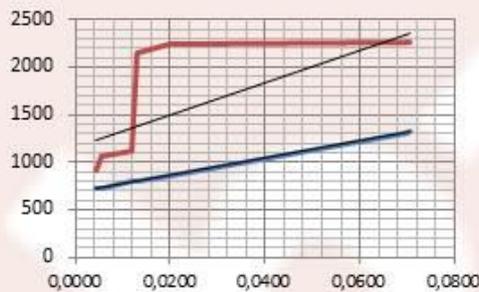
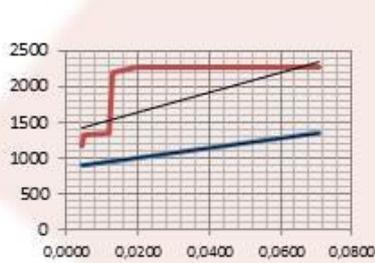
Risultati foglio elettronico excel - b-a		
Verifica assenza muffa superficiale interna		
0,86 > 0,81		verifica

Verifica assenza condensa interstiziale

Novembre

Dicembre

Gennaio



P3-02.01_CB

Sistema stratigrafico:

facciata ventilata – isolante – massa termica ridotta

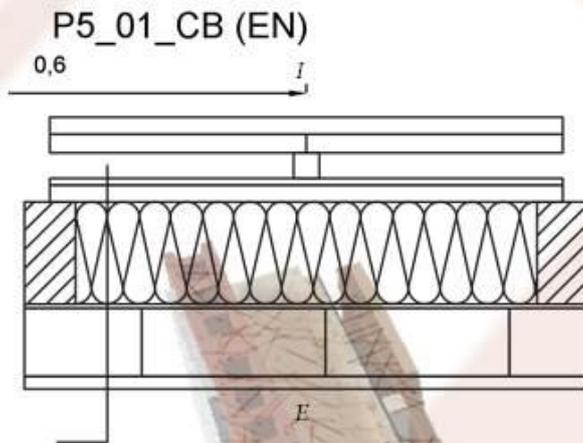
Conclusioni:

Il pacchetto non prevede alcun tipo di addensamento di vapore nell'arco dell'anno. Lo schermo freno vapore posto sul lato interno attenua il livello di pressione parziale che si manifesta sulle interfacce più esterne in inverno.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

CAMPOBASSO – zona E



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Pannello di terra cruda (tipo kartonsan16)	16 mm
Intercapedine d'aria non ventilata	30 mm
Pannello OSB con FV Sd2m	27,8 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Rinzaffo (malta di calce o a base di argilla)	5 mm
Blocco di terra cruda (tipo krioton80)	80 mm
Rasante e intonaco di calce NHL	15 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (Um)	0,25	0,26
Massa superficiale (Ms)	166 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Yie	0,077	0,10
Sfasamento (φ)	11,59 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7

DICEMBRE	Muffa	verifica
DICEMBRE	Condensa	verifica

Risultati foglio elettronico excel - b-a

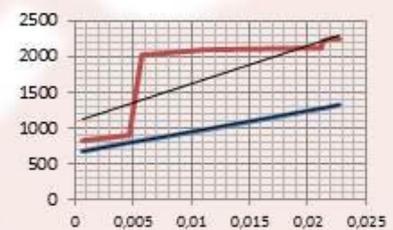
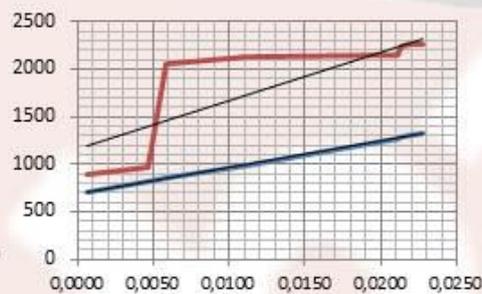
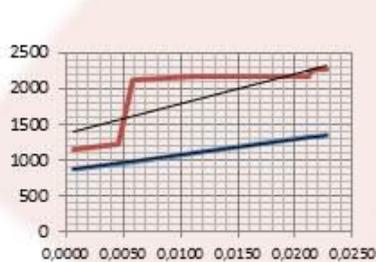
Verifica assenza muffa superficiale interna	
0,86 > 0,81	verifica

Verifica assenza condensa interstiziale

Novembre

Dicembre

Gennaio



P5-01_CB

Sistema stratigrafico:

massa termica – isolante – intercapedine e massa termica ridotta

Conclusioni:

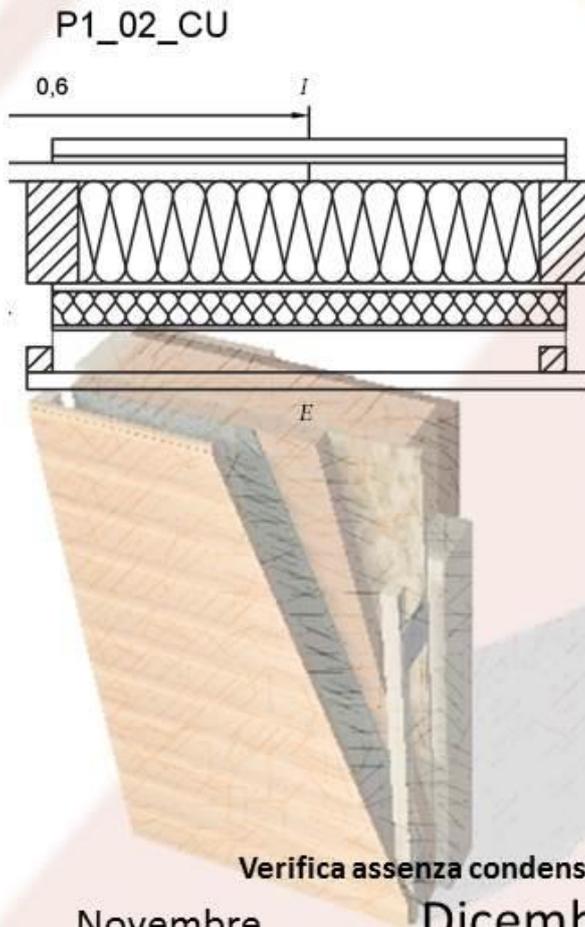
Il pacchetto non prevede alcun tipo di addensamento di vapore nell'arco dell'anno.

Lo schermo freno vapore posto sul lato interno attenua il livello di pressione parziale che si manifesta sulle interfacce più esterne in inverno. L'intercapedine può ospitare le condotte di impianto.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

CUNEO – zona F



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Schermo freno vapore Sd 10m	5,7 mm
Pannello di terra cruda (tipo kartonsan16)	16 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Pannello OSB	10 mm
Strato isolante in FMN con membrana AV	45 mm
Intercapedine ventilata	50 mm
Rivestimento di tavole in legno	20 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (Um)	0,21	0,24
Massa superficiale (Ms)	51 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Yie	0,10	nessuno
Sfasamento (φ)	8,87 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7		
NOVEMBRE	Muffa	verifica
DICEMBRE	Condensa	verifica

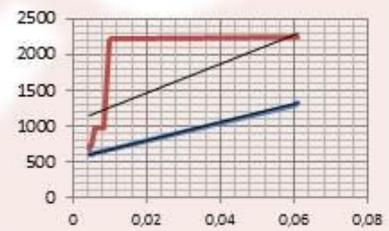
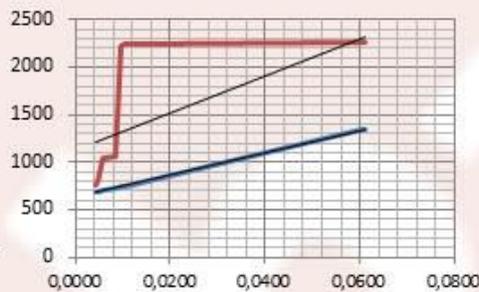
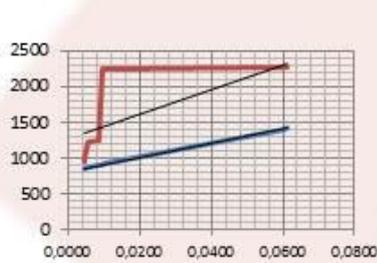
Risultati foglio elettronico excel - b-a		
Verifica assenza muffa superficiale interna		
0,80 > 0,71		verifica

Verifica assenza condensa interstiziale

Novembre

Dicembre

Gennaio



P1-02_CU

Sistema stratigrafico:

facciata ventilata – isolante – massa termica ridotta

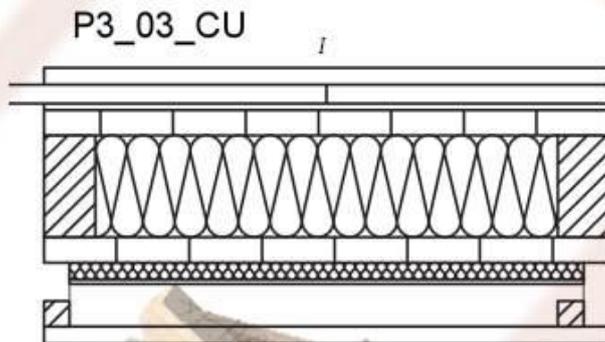
Conclusioni:

Il pacchetto non prevede alcun tipo di addensamento di vapore nell'arco dell'anno. Lo schermo freno vapore posto sul lato interno attenua il livello di pressione parziale che si manifesta sulle interfacce più esterne in inverno. L'irradianza è maggiore del valore imposto, come tale non occorre verificare la trasmittanza periodica.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

CUNEO – zona F



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Pannello di terra cruda (tipo kartonsan16)	16 mm
Tavolame di abete con FV Sd10m	35,7 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Tavolame di abete	30 mm
Strato isolante in FMN con membrana AV	25 mm
Intercapedine ventilata	50 mm
Rivestimento di tavole in legno	20 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (Um)	0,21	0,24
Massa superficiale (Ms)	66 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Yie	0,062	nessuno
Sfasamento (φ)	11,41 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7

NOVEMBRE	Muffa	verifica
DICEMBRE	Condensa	verifica

Risultati foglio elettronico excel - b-a

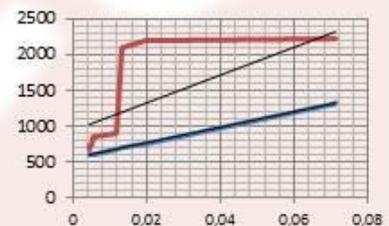
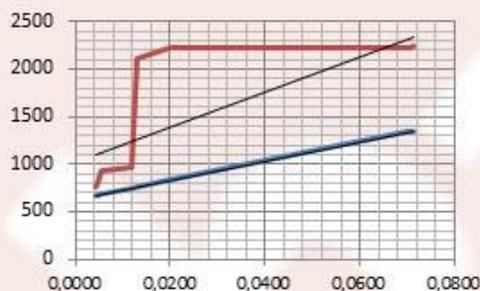
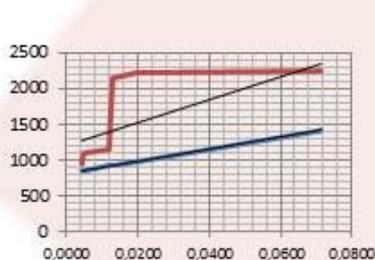
Verifica assenza muffa superficiale interna	0,86 > 0,71	verifica
---	-------------	----------

Verifica assenza condensa interstiziale

Novembre

Dicembre

Gennaio



P3-03_CU

Sistema stratigrafico:

facciata ventilata – isolante – massa termica ridotta

Conclusioni:

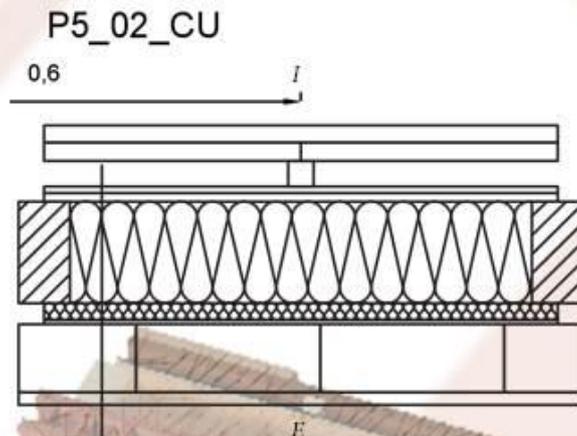
Il pacchetto non prevede alcun tipo di addensamento di vapore nell'arco dell'anno.

Lo schermo freno vapore posto sul lato interno attenua il livello di pressione parziale che si manifesta sulle interfacce più esterne in inverno. L'irradianza è maggiore del valore imposto, come tale non occorre verificare la trasmittanza periodica.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

CUNEO – zona F



Stratificazione parete	spessore
Rasante e intonaco di argilla cruda	20 mm
Pannello di terra cruda (tipo kartonsan16)	16 mm
Intercapedine d'aria non ventilata	30 mm
Pannello OSB con FV Sd2m	17,8 mm
Strato isolante in FMN	120 mm
Strato isolante in FMN con rinforzo	25 mm
Blocco di terra cruda (tipo krioton80)	80 mm
Rasante e intonaco di calce NHL	15 mm

caratteristiche	valori	limite
Trasmittanza media (U_m)	0,22	0,24
Massa superficiale (M_s)	162 kg/m ²	< 230
Trasmittanza Y_{ie}	0,072	nessuno
Sfasamento (ϕ)	11,65 h	—

Mesi critici – classe 3 – PAN7

NOVEMBRE	Muffa	verifica
DICEMBRE	Condensa	verifica

Risultati foglio elettronico excel - b-a

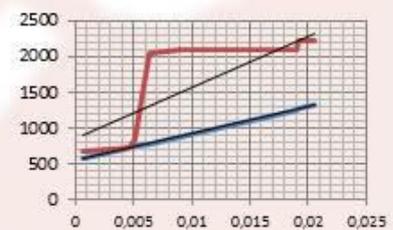
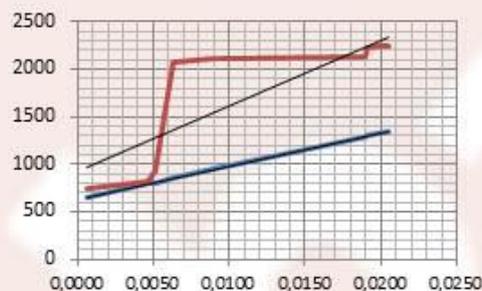
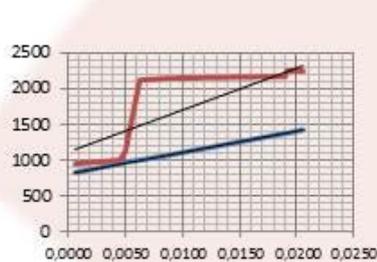
Verifica assenza muffa superficiale interna	0,85 > 0,71	verifica
---	-------------	----------

Verifica assenza condensa interstiziale

Novembre

Dicembre

Gennaio



P5-02_CU

Sistema stratigrafico:

massa termica – isolante – intercapedine e massa termica ridotta

Conclusioni:

Il pacchetto non prevede alcun tipo di addensamento di vapore nell'arco dell'anno.

Lo schermo freno vapore posto sul lato interno attenua il livello di pressione parziale.

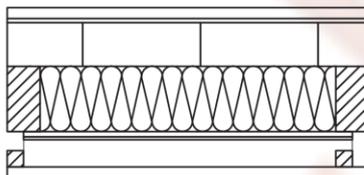
L'intercapedine può ospitare le condotte di impianto. L'irradianza è maggiore del valore imposto, come tale non occorre verificare la trasmittanza periodica.

NOTA

Il software PAN7 verifica l'assenza di muffa e di condensa interstiziale.

CALTANISSETTA - zona D

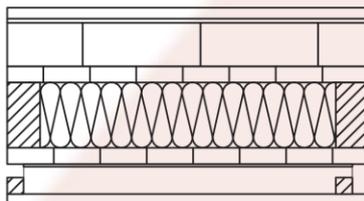
P1_01_CL



LEGENDA

rasante e intonaco d'argilla	20 mm
schermo freno vapore Sd 2m	7.8 mm
blocco d'argilla cruda (krioton)	80 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
pannello OSB	10 mm
membrana antivento traspirante	5 mm
intercapedine ventilata	50 mm
rivestimento in tavole di legno	20 mm

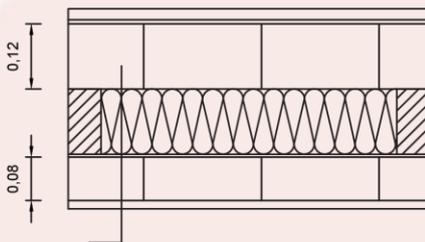
P3_01_CL



LEGENDA

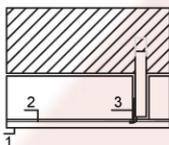
rasante e intonaco d'argilla	20 mm
schermo freno vapore Sd 20m	4.2 mm
blocco d'argilla cruda (krioton)	80 mm
strato di tavole oblique	30 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
strato di tavole oblique	30 mm
membrana antivento traspirante	5 mm
intercapedine ventilata	50 mm
rivestimento in tavole di legno	20 mm

P5_01_CL



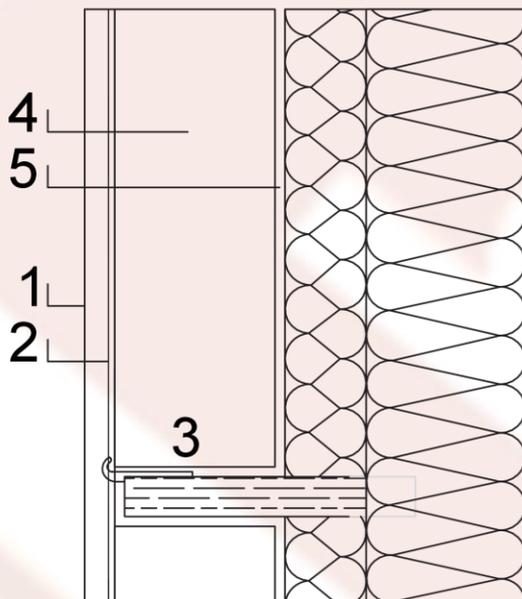
LEGENDA

- 1- rasante e intonaco di calce NHL
- 2- rete in fibra di vetro
- 3- gancio fissato alla tavola di legno



LEGENDA

rasante e intonaco d'argilla	20 mm
schermo freno vapore Sd 10m	5.7 mm
blocco d'argilla cruda (krioton)	120 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
rinzaffo (malta di calce)	5 mm
blocco d'argilla cruda (krioton)	80 mm
rasante e intonaco di calce NHL	15 mm



P5_01_CL

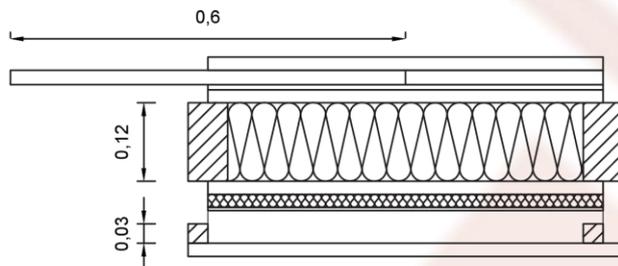
P5_01_EN (CB)

LEGENDA

- 1- rasante e intonaco di calce NHL
- 2- rete in fibra di vetro
- 3- gancio fissato alla tavola di legno
- 4- blocco di terra cruda (80 mm)
- 5- rinzaffo (malta di calce)

ENNA - zona E

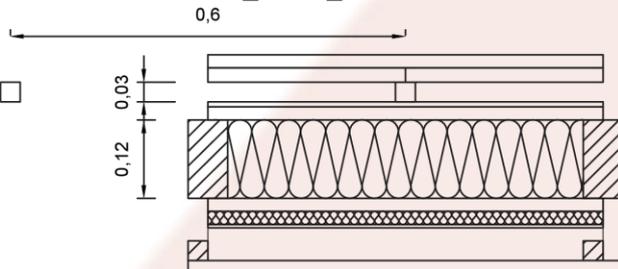
P1_02.01_EN



LEGENDA

rasante e intonaco d'argilla	20 mm
pannello in terra cruda rinforzata	22 mm
schermo freno vapore Sd 2m	7.8 mm
pannello OSB	20 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
pannello OSB	20 mm
strato isolante in fibra minerale	20 mm
membrana antivento traspirante	5 mm
intercapedine ventilata	50 mm
rivestimento in tavole di legno	20 mm

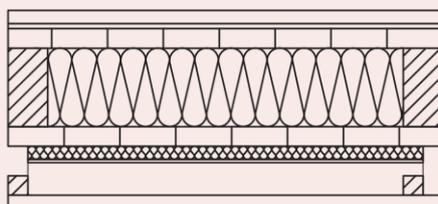
P1_02.02_EN



LEGENDA

rasante e intonaco d'argilla	20 mm
pannello in terra cruda rinforzata	16 mm
intercapedine d'aria	30 mm
schermo freno vapore Sd 2m	7.8 mm
pannello OSB	20 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
pannello OSB	20 mm
strato isolante in fibra minerale	20 mm
membrana antivento traspirante	5 mm
intercapedine ventilata	50 mm
rivestimento in tavole di legno	20 mm

P3_02.01_EN



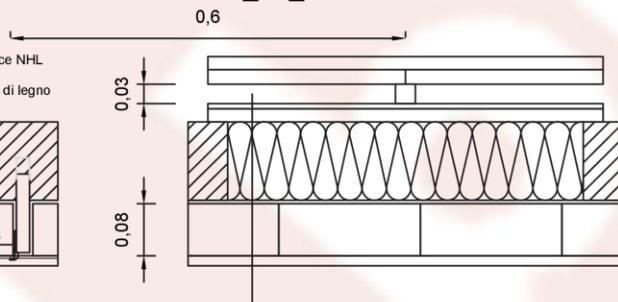
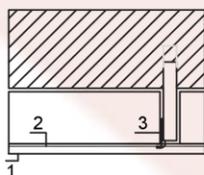
LEGENDA

rasante e intonaco d'argilla	20 mm
schermo freno vapore Sd 10m	5.7 mm
strato di tavole oblique	30 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
strato di tavole oblique	30 mm
strato isolante in fibra minerale	20 mm
membrana antivento traspirante	5 mm
intercapedine ventilata	50 mm
rivestimento in tavole di legno	20 mm

P5_01_EN

LEGENDA

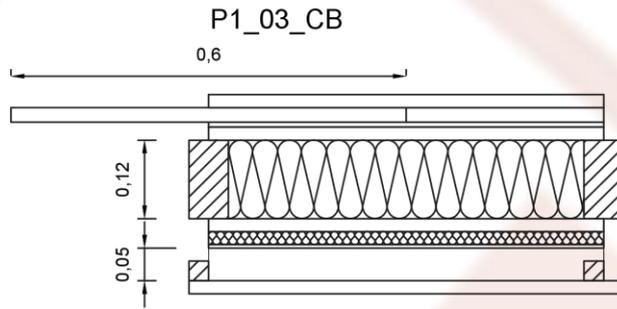
- 1- rasante e intonaco di calce NHL
- 2- rete in fibra di vetro
- 3- gancio fissato alla tavola di legno



LEGENDA

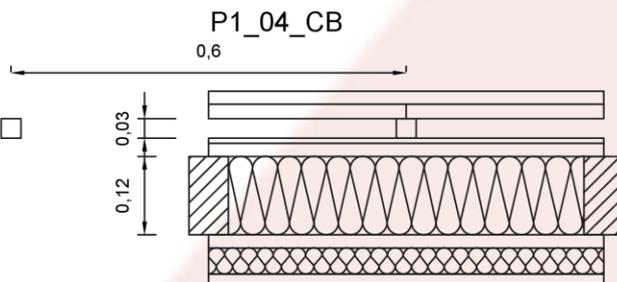
rasante e intonaco d'argilla	20 mm
pannello in terra cruda rinforzato	16 mm
intercapedine d'aria	30 mm
schermo freno vapore Sd 2m	7.8 mm
pannello OSB	20 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
rinzaffo (malta di calce)	5 mm
blocco d'argilla cruda (krioton)	80 mm
rasante e intonaco di calce NHL	15 mm

CAMPOBASSO - zona E



LEGENDA

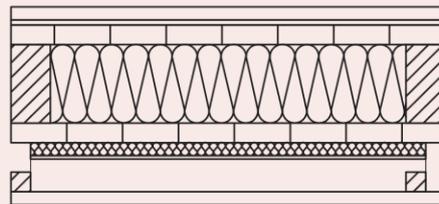
rasante e intonaco d'argilla	20 mm
pannello in terra cruda rinforzata	22 mm
schermo freno vapore Sd 2m	7,8 mm
pannello OSB	20 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
pannello OSB	20 mm
strato isolante in fibra minerale	20 mm
membrana antivento traspirante	5 mm
intercapedine ventilata	50 mm
rivestimento in tavole di legno	20 mm



LEGENDA

rasante e intonaco d'argilla	20 mm
pannello in terra cruda rinforzata	22 mm
intercapedine d'aria	30 mm
schermo freno vapore Sd 2m	7,8 mm
pannello OSB	20 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
pannello OSB	20 mm
strato isolante in fibra minerale	40 mm
rasante e intonaco di calce NHL	15 mm

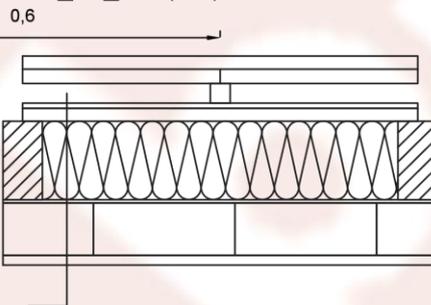
P3_02.01_CB (EN)



LEGENDA

rasante e intonaco d'argilla	20 mm
schermo freno vapore Sd 10m	5,7 mm
strato di tavole oblique	30 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
strato di tavole oblique	30 mm
strato isolante in fibra minerale	20 mm
membrana antivento traspirante	5 mm
intercapedine ventilata	50 mm
rivestimento in tavole di legno	20 mm

P5_01_CB (EN)

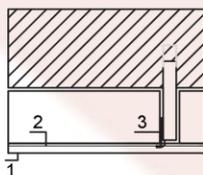


LEGENDA

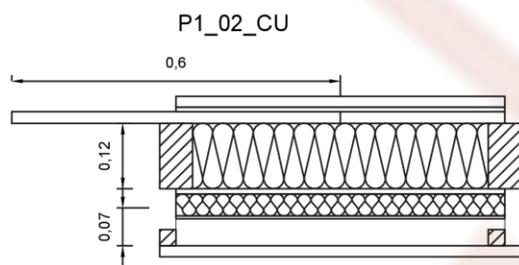
rasante e intonaco d'argilla	20 mm
pannello in terra cruda rinforzata	16 mm
intercapedine d'aria	30 mm
schermo freno vapore Sd 2m	7,8 mm
pannello OSB	20 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
rinzafo (malta di calce)	5 mm
blocco d'argilla cruda (krioton)	80 mm
rasante e intonaco di calce NHL	15 mm

LEGENDA

- 1- rasante e intonaco di calce NHL
- 2- rete in fibra di vetro
- 3- gancio fissato alla tavola di legno

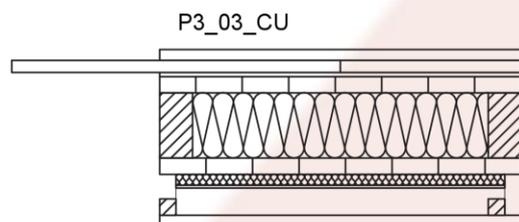


CUNEO - zona F



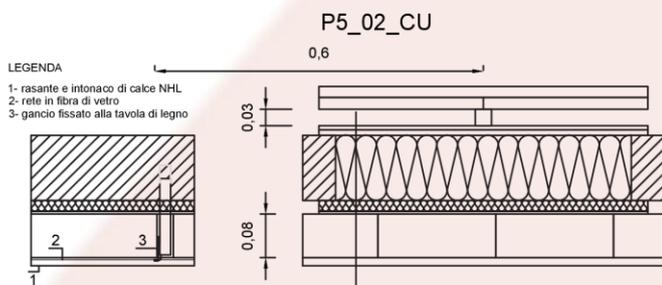
LEGENDA

rasante e intonaco d'argilla	20 mm
schermo freno vapore Sd 10m	5.7 mm
pannello in terra cruda rinforzata	16 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
pannello OSB	10 mm
strato isolante in fibra minerale	40 mm
membrana antivento traspirante	5 mm
intercapedine ventilata	50 mm
rivestimento in tavole di legno	20 mm



LEGENDA

rasante e intonaco d'argilla	20 mm
pannello in terra cruda rinforzata	16 mm
schermo freno vapore Sd 10m	5.7 mm
strato di tavole oblique	30 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
strato di tavole oblique	30 mm
strato isolante in fibra minerale	20 mm
membrana antivento traspirante	5 mm
intercapedine ventilata	50 mm
rivestimento in tavole di legno	20 mm

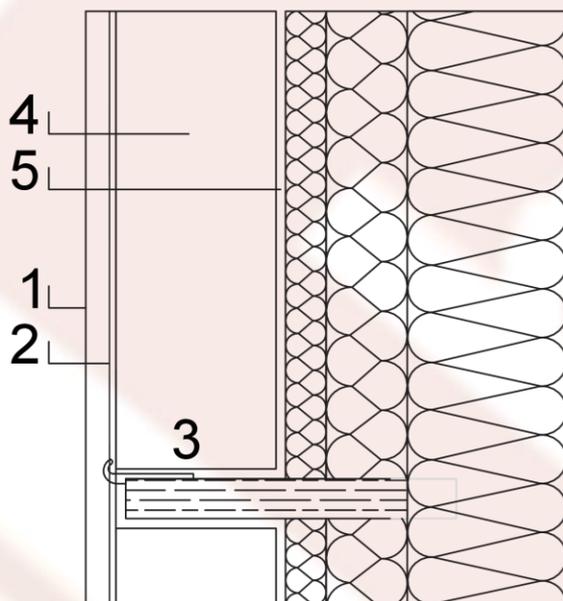


LEGENDA

- 1- rasante e intonaco di calce NHL
- 2- rete in fibra di vetro
- 3- gancio fissato alla tavola di legno

LEGENDA

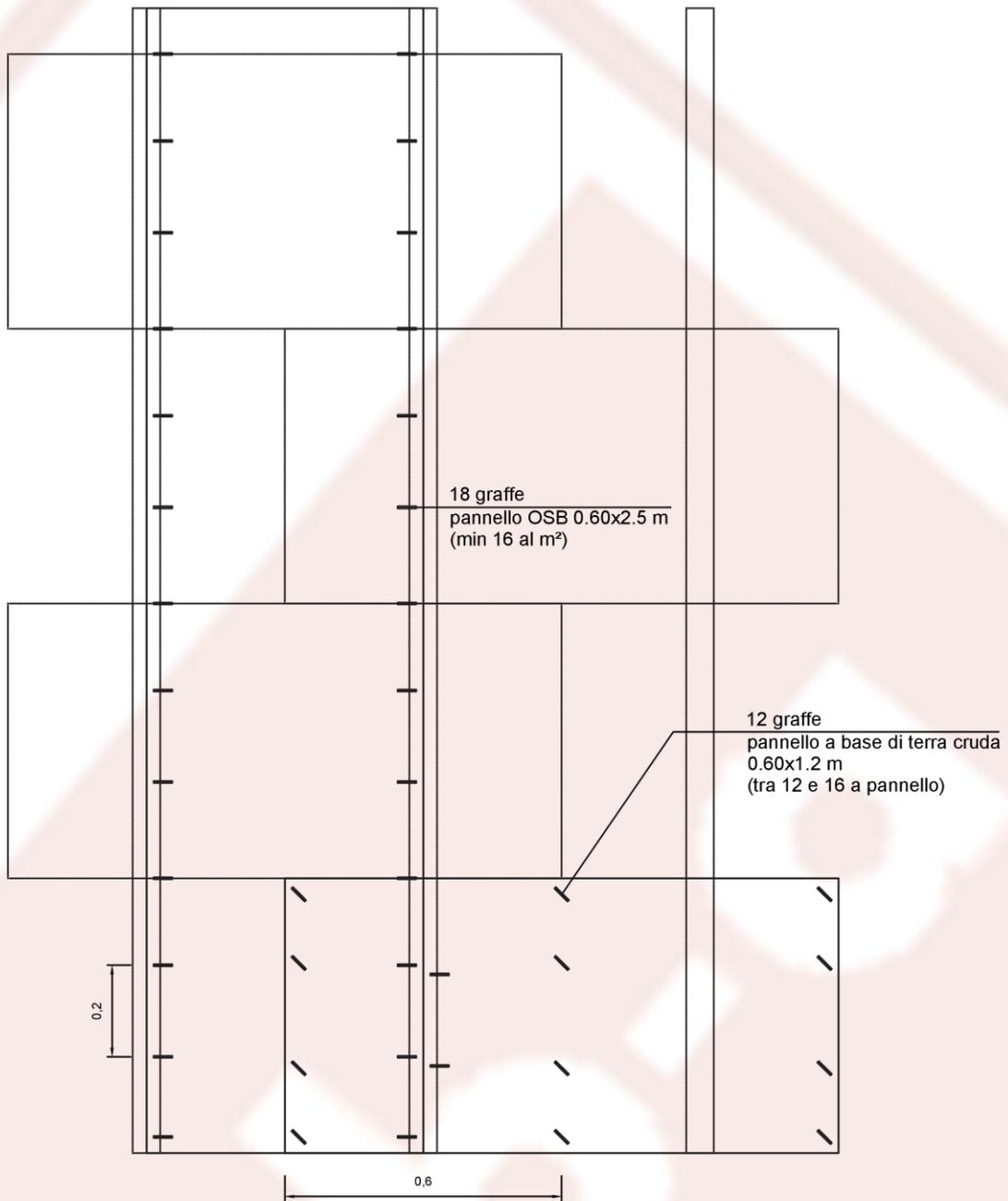
rasante e intonaco d'argilla	20 mm
pannello in terra cruda rinforzata	16 mm
intercapedine d'aria	30 mm
schermo freno vapore Sd 2m	7.8 mm
pannello OSB	10 mm
strato isolante in fibra minerale	120 mm
strato isolante FMN rigido	20 mm
rinzafo (malta di calce)	5 mm
blocco d'argilla cruda (krioton)	80 mm
rasante e intonaco di calce NHL	15 mm



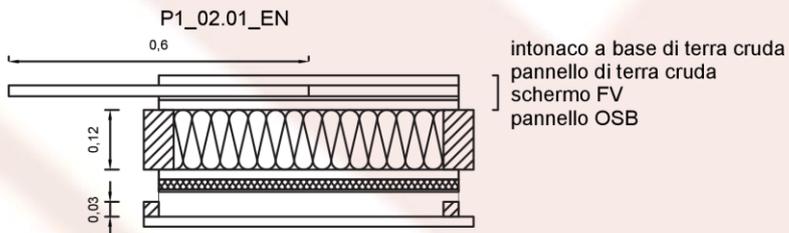
P5_02_CU

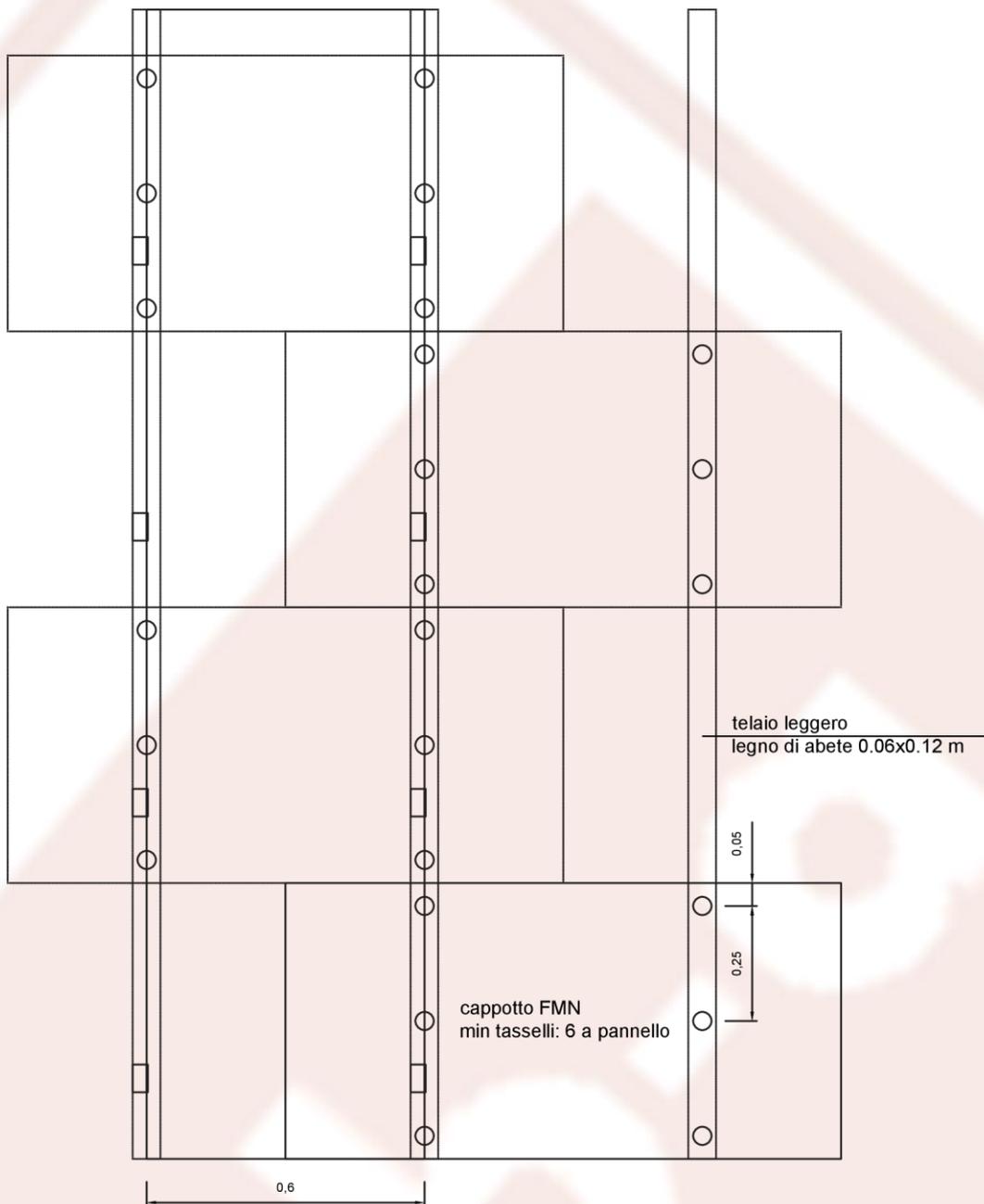
LEGENDA

- 1- rasante e intonaco di calce NHL
- 2- rete in fibra di vetro
- 3- gancio fissato alla tavola di legno
- 4- blocco di terra cruda (80 mm)
- 5- rinzafo (malta di calce)

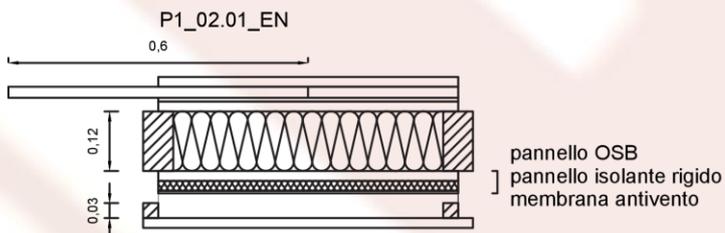


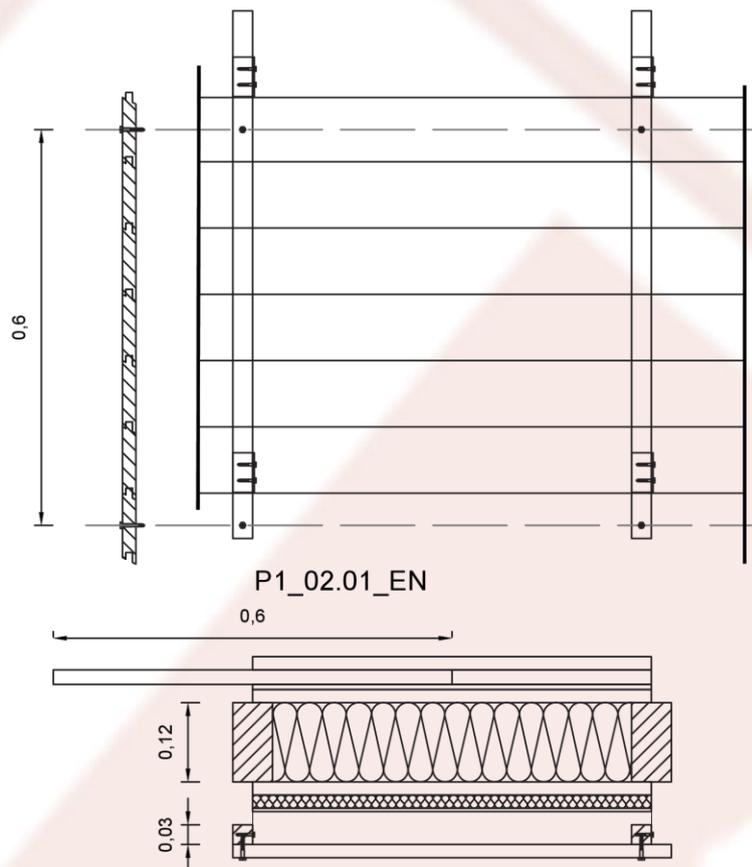
sistema di montaggio pannellature lato interno
 mediante graffe



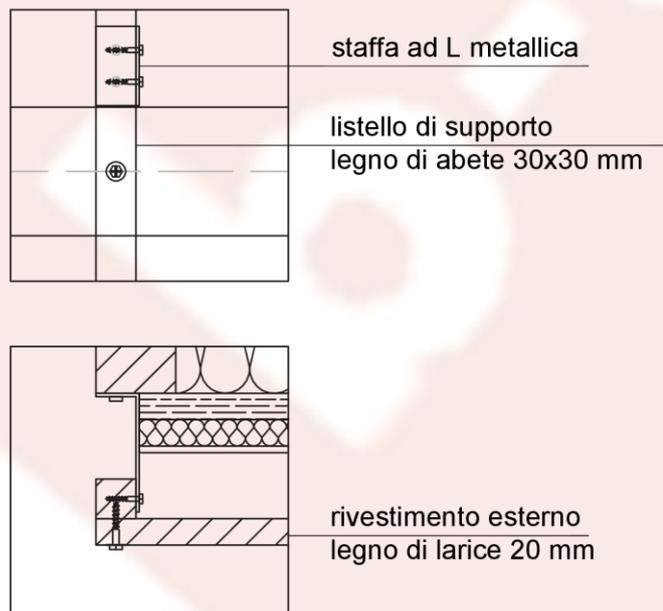


sistema di montaggio cappotto lato esterno
mediante tasselli





sistema di montaggio tavolame di facciata mediante viti



Bibliografia

Normativa di riferimento

- UNI 10349 (1997) – dati climatici;
- UNI EN ISO 6946 – resistenza e trasmittanza termica;
- UNI 10351 – conduttività termica e permeabilità al vapore;
- Decreto ministeriale 26 giugno 2015 – prestazioni energetiche degli edifici;
- UNI EN ISO 13788 – prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia;
- UNI EN ISO 10211 – ponti termici in edilizia;
- UNI EN ISO 14683 – ponti termici, calcolo semplificato.

Normativa ulteriore

- UNI EN ISO 10456 – materiali e prodotti per edilizia, proprietà igrometriche;
- UNI 11470 – schermi e membrane traspiranti sintetiche.

Testi consultabili

- M. Buso, L. Magnani, *Muffe, Condense e Umidità nella progettazione edilizia*, Maggioli editore, 2019;
- AA.VV, *Muffa, condensa e ponti termici*, volume 4, collana ANIT “L’isolamento termico e acustico”, TEP srl editore, 2016;
- B. Del Corno, *La casa in legno*, Maggioli editore, 2016;
- ARCA, *Cappotto per case in legno*, della collana “Manuali pratici ARCA”, Trentino, 2018 [[pdf](#)].

altro

- dataholz.eu, scelta dei componenti di parete in legno esterna > [pagina sito](#)
- rothoblaas.it, cataloghi edifici in legno > [pagina sito](#)