

VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DI ELEMENTI DI INVOLUCRO IN PANNELLO MULTISTRATO IN LEGNO

A. Ceccotti⁽¹⁾, G. Pasetto⁽²⁾, F. Peron⁽³⁾, P. Romagnoni⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Direttore, CNR IVALSA - Via Biasi, 75 – 38010 S. Michele all'Adige (TN)

⁽²⁾ Ricercatore, CNR IVALSA - Via Biasi, 75 – 38010 S. Michele all'Adige (TN)

⁽³⁾ Professore associato, Università IUAV di Venezia, Dorsoduro, 2206 - 30123 Venezia

⁽⁴⁾ Professore Straordinario, Università IUAV di Venezia, Dorsoduro, 2206 - 30123 Venezia, pierca@iuav.it

SOMMARIO

Negli ultimi anni il legno è tornato ad essere un materiale da costruzione utilizzato in maniera diffusa anche nel nostro Paese anche grazie alle sue prestazioni energetiche di tutto rispetto. I requisiti prescrittivi indicati dalla legislazione energetica (D. Lgs. 311/2006) favoriscono l'utilizzo di materiali edili in grado fornire elevata resistenza termica a prescindere dalla zona climatica in cui sono messi in opera. Il pannello in legno multistrato è in grado di fornire dei valori di trasmittanza termica notevole, mentre deve invece essere posta una certa attenzione durante la messa in opera unita ad alcuni accorgimenti al fine di avere buone prestazioni da un punto di vista acustico.

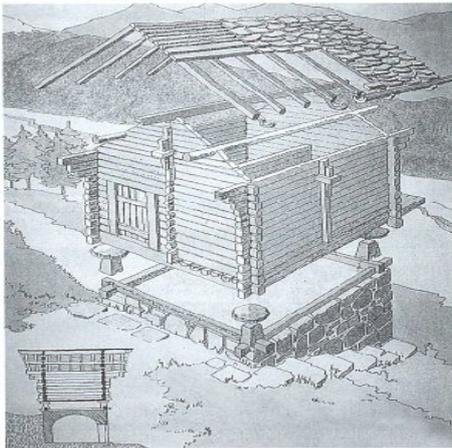
Una caratterizzazione completa da un punto di vista termico di pareti esterne, solai di copertura e pavimenti, costituiti da pannelli multistrato isolati, necessita della valutazione della trasmittanza accompagnata dalle caratteristiche delle relative tipologie di ponte termico. La prossima approvazione della normativa europea EN 13790 che permetterà una valutazione annuale del fabbisogno energetico rende inoltre necessario definire parametri, quali l'attenuazione e il ritardo, che possano aiutare il progettista a determinare la prestazione estiva definendo il comportamento di strutture sottoposte a forti escursioni termiche.

Il Dipartimento di Costruzione dell'Architettura, in collaborazione con CNR-IVALSA, ha elaborato un abaco con le prestazioni termiche di componenti edili opachi in cui i principali parametri edili siano stati precalcolati.

1. LE COSTRUZIONI IN LEGNO

La ricerca di edifici ad elevata prestazione termica ha portato a riconsiderare con estremo interesse l'uso del legno in edilizia. La possibilità di unire una prefabbricazione spinta a prestazioni termiche considerevoli ha consentito di costruire edifici (soprattutto residenziali, ma anche alberghi e scuole) di elevata qualità sia prestazionale che estetica. La casa prefabbricata in legno ideale, dal punto di vista strutturale, è quella capace di unire le caratteristiche di una casa di buona durata temporale, tipiche delle costruzioni "blockhaus" [1], [2] e quelle di stabilità dimensionale delle costruzioni a telaio [3] (vedi Figura 1). Se si considerano il comfort termico ed il risparmio energetico, l'edificio ideale è quello che deve coniugare le elevate prestazioni termiche invernali delle case a telaio con il comfort estivo proprio degli edifici "blockhaus". Il sistema costruttivo adottato per le strutture edilizie è costituito da pannelli in legno massiccio multistrato incrociati [4]: è un procedimento ampiamente sviluppato e collaudato in Trentino, anche se recentemente ha iniziato ad essere presente anche in molte altre regioni non solo del Nord Italia ma anche del Centro. I pannelli sono costituiti da strati incrociati di tavole (massimo 7) incollati fra loro perpendicolarmente in modo da formare una struttura autoportante da fissare ad una fondazione di cemento. Questi elementi possono essere caricati sia come piastre che come lastre; infatti la loro struttura permette di ottenere la capacità portante nelle due direzioni principali del piano. Lo spessore di un pannello multistrato formato da 5 tavole è solitamente di 95 mm. La dimensione minima varia a seconda delle situazioni, ma in genere non dovrebbe essere inferiore ai 75 mm. Questi, sfruttando tutti i vantaggi del legno quali leggerezza e deformabilità, permettono di avere un buon comportamento sismico; infatti il carico delle azioni sismiche viene distribuito in tutte le direzioni ed è quindi facilmente dissipato, non andando a trasmettersi solamente lungo un unico asse come invece succede con l'utilizzo di travi e montanti. La larghezza standardizzata del pannello è di 3 m e corrisponde alla quota intermedia del singolo piano nell'edilizia abitativa. I vari produttori offrono anche pannelli con larghezza fino a ca. 4,5 m, questo vantaggio però è vincolato dalle limitazioni di trasporto su strada. I collanti utilizzati per l'unione di parti in legno sono colle poliuretaniche prive di formaldeide. La dilatazione ed il ritiro della lastra di legno massiccio sono ridotti ai minimi livelli grazie all'incollatura incrociata. Le deformazioni del pannello multistrato dovute a ritiri o a rigonfiamenti sono molto

limitate grazie all'incollatura incrociata. I collegamenti fra le varie strutture possono essere effettuati con sistemi semplici e standardizzati di connessione, evitando così le lunghe operazioni di finitura e montaggio. Tramite questi pannelli si può realizzare qualsiasi tipo di costruzione con il massimo livello tecnico. I vantaggi economici sono relativi sia al processo di produzione che alla realizzazione dell'edificio che, data la modularità dei pannelli, avviene in tempi rapidissimi e a costi paragonabili a quelli dell'industria dei prefabbricati dell'edilizia in legno; sono in ogni caso possibili diverse soluzioni architettoniche. Si possono costruire pareti portanti e non, esterne ed interne, solai, tetti e anche elementi aggettanti come balconi: le dimensioni dipendono dalle aziende produttrici, ma sono per lo più standardizzate.



(A)



(B)

Figura 1. Sistema di costruzione tipo blockhaus (A) e a telaio (B).

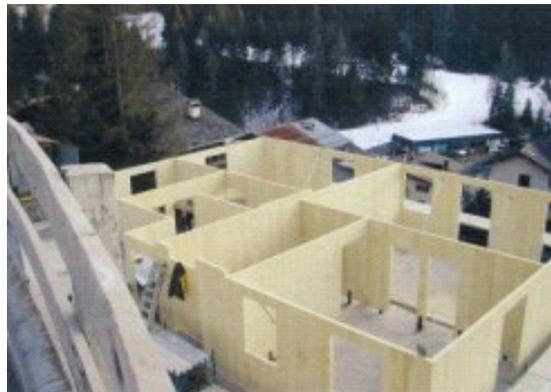


Figura 2. Sistema di costruzione a pannelli multistrato.

Il sistema costruttivo a pannelli prefabbricati rappresenta un' importante evoluzione nel campo delle strutture in legno, avendo raggiunto un elevato livello di industrializzazione fuori opera con l'assemblaggio veloce degli elementi prefabbricati in opera. Ma a differenza dei pannelli prefabbricati totalmente, già dotati di vari impianti e quindi particolarmente standardizzati e qualvolta strutturalmente limitati, il sistema a pannelli multistrato permette di realizzare una costruzione adatta ad ogni progetto individuale del committente e ad ogni forma personalizzata al massimo livello tecnico con precisioni millimetriche. La produzione dei pannelli avviene in moderni impianti che ne garantiscono la qualità e viene facilitata da sistemi sempre più precisi a controllo numerico in cui ogni fase è completamente controllata e seguita da un sistema computerizzato. Alla base del processo costruttivo c'è un'accurata progettazione: il processo di progettazione attraverso sistemi CAD è quello più importante e che comporta un maggior onere di tempo in quanto fin dalle fasi preliminari coinvolge tutte le imprese e le aziende che interverranno nella stesura e realizzazione del progetto. Ai fini del montaggio dei componenti è necessario porre attenzione alla definizione delle misure dei pannelli parete o solaio analizzando e verificando teoricamente le tolleranze ammissibili: ogni elemento della struttura viene calcolato e tagliato con un

marginale di errore di 1/10 di millimetro per tener conto di qualsiasi possibile errore commesso durante le fasi di realizzazione in officina o di posa in opera in cantiere. Il fatto di poter disporre di pannelli multistrato portanti prefabbricati in officina, permette di accorciare i tempi di montaggio e realizzazione dell'edificio che si aggira attorno ai 3-4 mesi; infatti in cantiere vengono assemblati i vari elementi e successivamente dotati in opera di pannelli isolanti, impianti, rifiniture varie e ciò consente una riduzione dei tempi di cantiere pari al 60-70% con conseguenti conti positivi sul conto economico complessivo (noli di macchinari, manodopera ecc.).

2. LA DETERMINAZIONE DELLE PRESTAZIONI

Nel tentativo di rendere attuabile quanto prescritto Direttiva Europea 2002/91 CE sull'efficienza energetica degli edifici [5], il nostro paese ha emanato il Decreto Legislativo n° 192 [6], poi corretto dal Decreto Legislativo N° 311 nel Dicembre del 2006 [7]: in questi Decreti sono stati focalizzati e precisati gli obiettivi nazionali in materia di contenimento dei consumi energetici, pur rimandando a decreti attuativi l'operazione di fissare requisiti minimi e metodologie di calcolo. Già da alcuni anni sono state condotte nel nostro paese alcune iniziative volte a definire degli standard costruttivi a basso consumo [8] ed indirizzati al rilascio di certificati di prestazione energetica relativa ai consumi di riscaldamento [9] sin dalla fase di progetto e quindi ispirati a metodologie di calcolo assodate. Diversi sono inoltre gli studi che illustrano proposte di metodologie [10], [11] o indicazioni normative [12]: a questo proposito è indispensabile ricordare l'attività che CTI sta coordinando al fine di produrre chiare indicazioni sulle metodologie di calcolo [13]. In questa fase transitoria, focalizzando l'attenzione alle prestazioni dei componenti nei diversi regimi di funzionamento, l'attività condotta da CNR – IVALLSA e da DCA – IUAV è stata rivolta ad analizzare le prestazioni dei componenti pannello in relazione al regime stazionario invernale e dinamico estivo. In parte utilizzando i riferimenti della normativa attualmente vigente [14], [15], si è cercato di caratterizzare tramite i parametri descritti nel successivo capitolo le prestazioni delle principali tipologie di pannello multistrato utilizzate oggi in edilizia. Dato inoltre che, sempre la normativa tecnica, è consentita la valutazione dei ponti termici con metodi di calcolo più sofisticati [16], si è proceduto ad analizzare il comportamento di alcune giunzioni tra le più comunemente adottate. Il quadro che ne risulta consente di fornire una serie di valutazioni di notevole interesse per il progettista.

2.1 Le caratteristiche termiche

Per ogni struttura considerata è stata realizzata una scheda che ne descrive i vari componenti e le possibili varianti con le relative caratteristiche. Il calcolo della trasmittanza termica U di ciascun elemento è stato effettuato secondo la procedura indicata dalla normativa UNI EN ISO 6946 [14].

Nell'ipotesi che siano note le caratteristiche dimensionali (spessore, s [m], superficie, A [m²]) della parete, la resistenza totale relativa allo scambio termico R_{tot} è la somma delle resistenze termiche definite di seguito [5]:

$$R_{tot} = \sum_i R_{t,i} + \sum_j R'_{t,j} + R_{si} + R_{se} \quad (1)$$

dove: R_t = resistenza termica di strato omogeneo; R'_t = resistenza termica di strato non omogeneo;
 R_{si} = resistenza superficiale interna; R_{se} = resistenza superficiale esterna.

Per la determinazione delle resistenze superficiali, si è ricorsi ai valori presenti in [5]. La trasmittanza termica di una parete opaca alla radiazione solare U_{wall} è pertanto definita come l'inverso della somma delle resistenze termiche ed è ricavabile con l'espressione:

$$U_{wall} = \frac{1}{R_{tot}} \quad (2)$$

Inoltre, al fine di presentare un'indicazione utile ai fini del comportamento estivo della struttura analizzata, si è ritenuto utile fornire sia la massa areica frontale determinata come:

$$M = \sum_{j=1}^N \rho_j s_j \quad (3)$$

in cui la sommatoria viene estesa a tutti gli strati componenti la struttura. I fenomeni che influenzano le condizioni termiche interne nel periodo estivo sono infatti la capacità delle pareti perimetrali e della copertura di smorzare l'escursione termica esterna mantenendo la temperatura interna a valori prossimi alla media

giornaliera, oltre alla resistenza termica. Per ciascun elemento di involucro è possibile inoltre definire la capacità termica C_t :

$$C_t = \sum_{i=1}^N \rho_i s_i c_i \quad (4)$$

dove: ρ_i = densità dell'i-esimo strato [kg/m^3]; c_i = capacità termica dell'i-esimo strato [$\text{J}/(\text{kg K})$];
 s_i = spessore dello strato i-esimo [m]; N = numero degli strati

Tale grandezza è calcolata secondo quanto indicato nel progetto di norma prENISO 13790rev [17], normativa che dovrà essere utilizzata per i calcoli del Fabbisogno di Energia per il riscaldamento ed il raffrescamento degli edifici. In sostanza è il parametro in base al quale è valutata l'entità dell'utilizzo degli apporti gratuiti. Per ciascun componente edilizio può essere inoltre definita la costante di tempo τ tramite la seguente relazione:

$$\tau = R_t C_t = \frac{C_t}{U} \quad (5)$$

Questo parametro potrebbe essere inteso come il tempo necessario per una sollecitazione termica a gradino di giungere al 36,8% del valore di regime: è chiaramente un parametro semplificato che fornisce però un'informazione semplice sulla possibile risposta della singola struttura. Si tratta di valutazioni puramente indicative che non intendono fornire indicazioni sulle tipologie costruttive più virtuose.

3. LE STRUTTURE

Allo scopo di coprire il maggior numero di varianti possibili nella realizzazione delle strutture perimetrali degli edifici in legno, sono stati presi in considerazione vari pacchetti costruttivi dei quali viene descritta la composizione.

3.1 Pareti perimetrali

Una delle 28 pareti analizzate (nel seguito denominata Parete 1) è stata realizzata con la tipologia a pannelli portanti. L'elemento resistente è costituito da un pannello multistrato in legno massiccio dello spessore di 95 mm rivestito internamente da un pannello in cartongesso di 1 cm. Verso l'esterno è posizionato un pannello di materiale isolante di spessore variabile dai 10 ai 14 cm a cui è applicato il rivestimento costituito da 4-15mm di intonaco di calce e cemento. La Tabella 1 e la Tabella 2 riportano le principali caratteristiche di tale elemento rappresentato in Figura 3, mentre la Tabella 2 riporta, per la stessa parete, i requisiti termoacustici con le possibili varianti nella composizione della struttura.

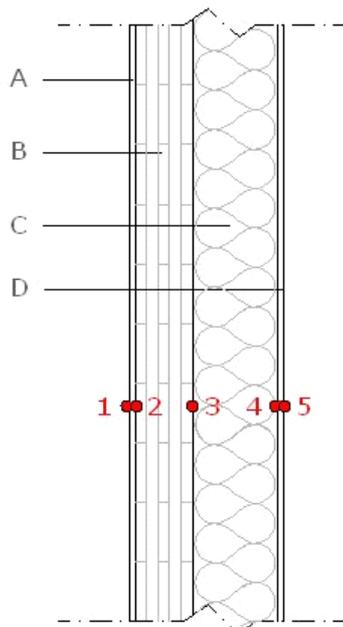


Figura 3. Struttura Parete 1.

Tabella 1. Caratteristiche termofisiche degli elementi costituenti la parete 1.

		materiale	s [m]	λ W/(mK)	μ	ρ [kg/m ³]	c kJ/(kg K)
A	1	P.llo in cartongesso	0.01	0.360	11	1150	1,100
B	1	P.llo multistrato in legno	0.095	0.130	50	500	1,600
C	1	P.llo in lana di roccia	0.12	0.041	1	155	1,030
	2		0.14				
	3	P.llo in fibra di legno	0.1	0.055	5/7	200	2,500
	4	P.llo multistrato (fibra di legno)	0.1	0.043	2/3	200	1,000
D	1	Intonaco di calce e cemento	0.004	1	10/35	2000	1,130
	2		0.015				

Tabella 2. Prestazioni termofisiche della parete 1.

R [(m ² K)/W]	U [W/(m ² K)]	M [kg/m ²]	τ=Σ(Rρcs) [h]	Indici di riferimento
4,185	0,23	110.7	36.83	A1 B1 C2 D2
2,584	0,36	87	40.80	A1 B1 C3 D1

Una seconda parete (parete 4) è realizzata con un pannello multistrato in legno massiccio dello spessore di 95 mm rivestito con un pannello in gesso di 1 cm. All'esterno vengono collocati un pannello in lana di roccia di spessore pari a 8 cm, dei listelli di abete rosso creano un'intercapedine (5 – 8 cm), che è solitamente riempita con lana di roccia, una guaina di diffusione del vapore ed un rivestimento di legno di larice (2 cm) applicato su listelli in abete rosso che formano un'intercapedine areata di 3 cm. Le Tabelle 3 e 4 riportano le caratteristiche costruttive e termiche.

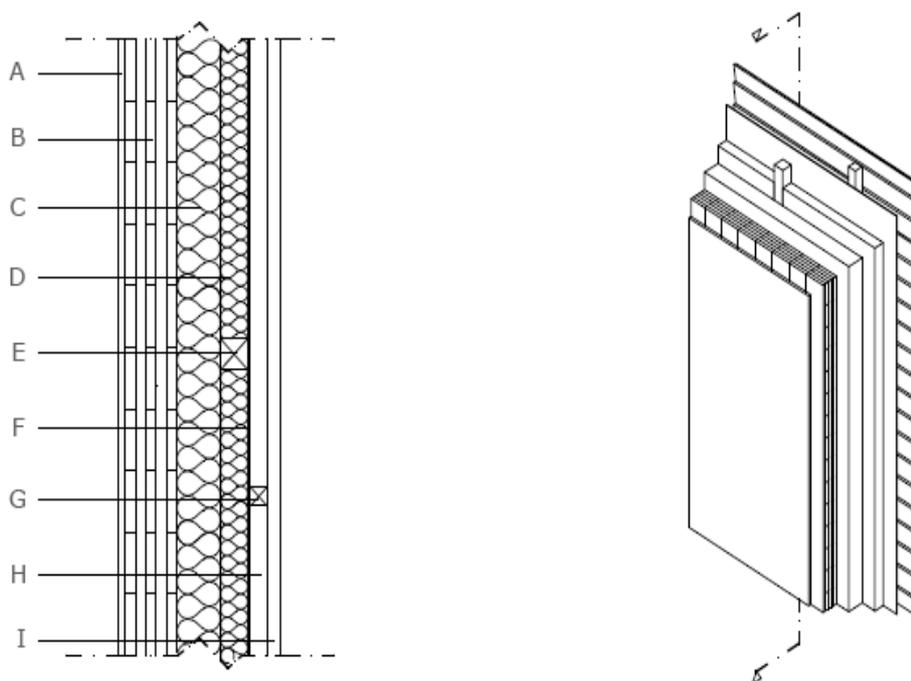


Figura 4. Struttura della parete 4.

Infine la tabella 5 riporta, per i diversi tipi di parete analizzati, i valori minimi delle trasmittanze termiche U , massa areica M e la costante di tempo τ ed il valore del potere fonoisolante apparente R_w .

Tabella 3. Caratteristiche termofisiche degli elementi costituenti la parete 1.

	materiale	s [m]	λ W/(mK)	μ	ρ [kg/m ³]	c kJ/(kg K)
A	1 P.llo in cartongesso	0.01	0.360	11	1150	1.1
B	1 P.llo multistrato in legno	0.095	0.130	50	500	1.6
C	1 P.llo in lana di roccia	0.08	0.04	1	70	2.5
D	1 P.llo in lana di roccia	0.05	0.04	1	70	2.5
		2 0.08	0.04	1	70	2.5
E	1 Listelli in abete rosso	0.05	0.11	50	400	2.5
		2 0.08	0.11	50	400	2.5
F	1 Guaina					
G	1 Listelli in abete rosso	0.03	0.11	50	400	2.5
H	1 Intercapedine d'aria	0.03		193	1.2	1.005
I	1 Rivestimento di larice	0.02	0.15	50	600	2.5

Tabella 4. Prestazioni termofisiche della parete 4.

R [(m ² K)/W]	U [W/(m ² K)]	M [kg/m ²]	$\tau=\Sigma(R_{pcs})$ [h]	Indici di riferimento
4,07	0,19	70.2	23.01	A1B1C1D2E2F1G1H1I1
4,32	0,22	60.8	21.06	A1B1C1D1E1F1G1H1I1

Tabella 5. Prestazioni termofisiche ed acustiche delle pareti verticali.

Parete	U [W/(m ² K)]	M [kg/m ²]	$\tau=\Sigma(R_{pcs})$ [h]
Parete 1	0.23	110.7	36.83
Parete 2	0.17	111.8	37.99
Parete 3	0.27	74.6	27.22
Parete 4	0.19	70.2	23.01
Parete 5	0.15	71.35	23.06
Parete 6	0.12	66.28	33.08
Parete 7	0.10	67.56	33.77
Parete 8	0.12	67.34	33.66
Parete 9	0.10	68.62	34.4
Parete 10	0.14	31.83	10.78
Parete 11	0.11	27.71	11.52
Parete 12	0.15	30.09	8.41
Parete 13	0.15	49.84	8.02
Parete 14	0.10	40.81	11.72
Parete 15	0.15	54.29	8.76
Parete 16	0.14	35.09	11.06
Parete 17	0.11	36.37	10.13
Parete 18	0.12	55.57	9.49
Parete 19	0.12	59.24	34.38
Parete 20	0.09	56.76	12.9
Parete 21	0.08	44.04	15.3
Parete 22	0.10	79.1	32.66
Parete 23	0.15	37.09	10.79
Parete 24	0.12	49.87	11.63
Parete 25	0.15	34.29	8.94
Parete 26	0.11	35.58	9.66
Parete 27	0.15	33.45	8.74
Parete 28	0.11	35.57	8.66

3.2 Le coperture

Le coperture sono state definite secondo le strutture classiche della copertura in legno a falde e piane (vedi Figura 5), ovvero costituite da travi in legno (20-24 cm) le cui intercapedini sono riempite di materiale isolante.

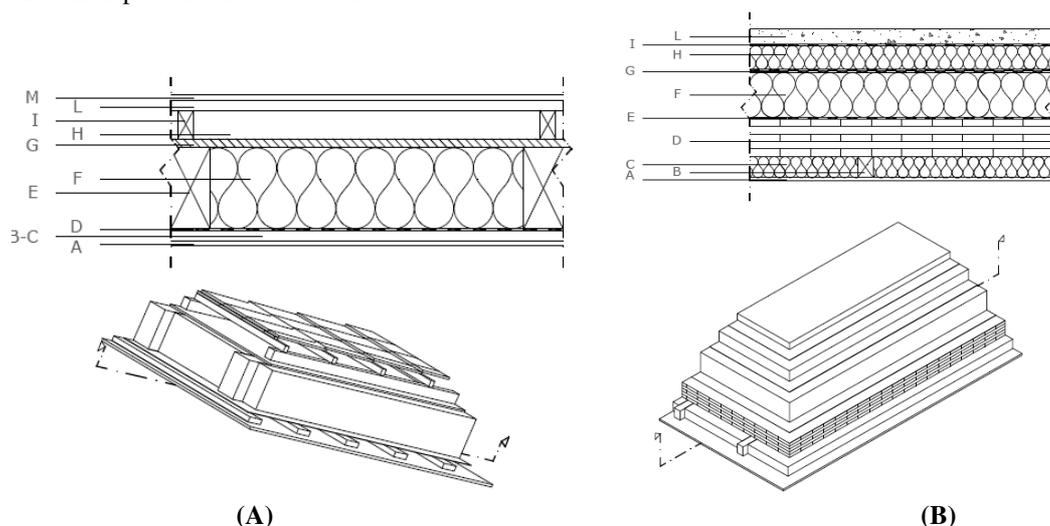
Nel caso di tetto piano lo strato finale è costituito da ghiaia (tetto n°1), da rivestimenti diversi (quadrotti in cemento, o piastrelle). I tetti piani analizzati sono 9, mentre i tetti a falde 8.

La Tabella 6 riporta la descrizione delle caratteristiche termofisiche dei tetti piani, mentre la Tabella 7 riporta i valori dei medesimi parametri di prestazione per i tetti a falde.

3.3 I solai interpiano

Nello studio effettuato, si è voluto analizzare anche le principali strutture utilizzate nelle costruzioni in legno relative ai solai interpiano. Delle 13 strutture analizzate, sono stati valutati i medesimi parametri di prestazione.

La Tabella 8 ne riporta i valori calcolati.



Nomenclatura

A - Cartongesso;
 B - Intercapedine d'aria;
 C - Tavole in legno di pino;
 D - Barriera al Vapore;
 E - Telaio;
 F - Pannello isolante ;
 G - Pannello in fibra di legno o MDF;
 H - Intercapedine d'aria;
 I e L- Listelli in abete rosso
 M - Tegole

A - Cartongesso
 B - Listelli in abete rosso
 C - Pannello isolante
 D - Pannello multistrato in legno
 E - Barriera al Vapore
 F - Pannello in lana di roccia
 G - Cartone bitumato
 H - Polistirene espanso
 I - Guaina di separazione
 L - Ghiaia

Figura 5. Struttura del tetto a falde 1 (A) e del tetto piano 1 (B).

Tabella 6. Prestazioni termofisiche dei tetti piani.

Tetto piano	U [W/(m²K)]	M [kg/m²]	$\tau = \Sigma(R_{p,c})$ [h]
Tetto 1	0.12	204.9	60.45
Tetto 2	0.14	44.94	9.39
Tetto 3	0.14	31.84	8.95
Tetto 4	0.12	47.09	9.57
Tetto 5	0.12	43.59	10.61
Tetto 6	0.12	55.95	10.35
Tetto 7	0.13	51.64	10.96
Tetto 8	0.13	52.64	11.36
Tetto 9	0.12	45.54	10.54

Tabella 7. Prestazioni termofisiche dei tetti a falde.

Tetto piano	U [W/(m ² K)]	M [kg/m ²]	$\tau=\Sigma(R\rho cs)$ [h]
Tetto 1	0.14	61.84	9.08
Tetto 2	0.15	54.69	8.97
Tetto 3	0.12	63.49	9.69
Tetto 4	0.14	81.94	13.9
Tetto 5	0.15	74.7	8.38
Tetto 6	0.14	72.04	9.60
Tetto 7	0.15	74.7	8.38
Tetto 8	0.12	77.79	9.08

Tabella 8. Prestazioni termofisiche dei solai interpiano.

Solaio	U [W/(m ² K)]	M [kg/m ²]
Solaio 1	0.26	266.59
Solaio 2	0.51	186.01
Solaio 3	0.15	63.54
Solaio 4	0.14	65.64
Solaio 5	0.15	151.34
Solaio 6	0.14	163.28
Solaio 7	0.14	153.14
Solaio 8	0.14	135.54
Solaio 9	0.14	223.04
Solaio 10	0.14	222.97
Solaio 11	0.57	112.54
Solaio 12	0.60	260.04
Solaio 13	0.32	102.84

3.4 I ponti termici

La Figura 6 illustra le tipologie di ponti termici esaminate con il codice di calcolo [16].

La Tabella 9 riporta i valori dei coefficienti lineici calcolati. I dati ottenuti consentiranno ai progettisti un approccio semplificato, così come indicato dalle procedure di calcolo riportate negli standard, vedi [18].

4. IL COMPORTAMENTO DINAMICO

Il codice di calcolo [16] ha consentito di valutare il comportamento delle pareti in legno in risposta ad una sollecitazione esterna dovuta all'azione dell'irraggiamento solare e dell'escursione termica. In riferimento alla parete verticale di Figura 3 e, come condizione climatica, al clima di Bolzano, sono stati impostati, come sollecitazione esterna, i valori della temperatura sole – aria partendo da dati TRY, mantenendo costante il valore della temperatura dell'aria interna pari a $t_{aria,int} = 25^{\circ}\text{C}$. La sollecitazione è stata imposta alla superficie esterna: la Figura 7 riporta, rispettivamente, l'andamento delle temperature nelle superfici di interfaccia da 1 a 5 durante le 24 h e i valori delle temperature interne in diverse ore della giornata. La Figura 8 riporta le medesime grandezze calcolate, con la stessa parete, per il clima di Roma. Il confronto può essere realizzato con la parete in laterizio di Figura 9; si riportano, per le medesime condizioni di calcolo (Bolzano, $t_{aria,int} = 25^{\circ}\text{C}$, Figura 10, e Roma) gli andamenti delle temperature interne nelle superfici di interfaccia. Dalle simulazioni si può ricavare un dato interessante: il ritardo temporale con cui si manifesta il picco sulla superficie interna rispetto a quella esterna (sfasamento ϕ) ed il valore del rapporto tra le ampiezza dell'oscillazione termica tra le medesime superfici (smorzamento A). I risultati sono riportati nelle Tabelle 10 e 11.

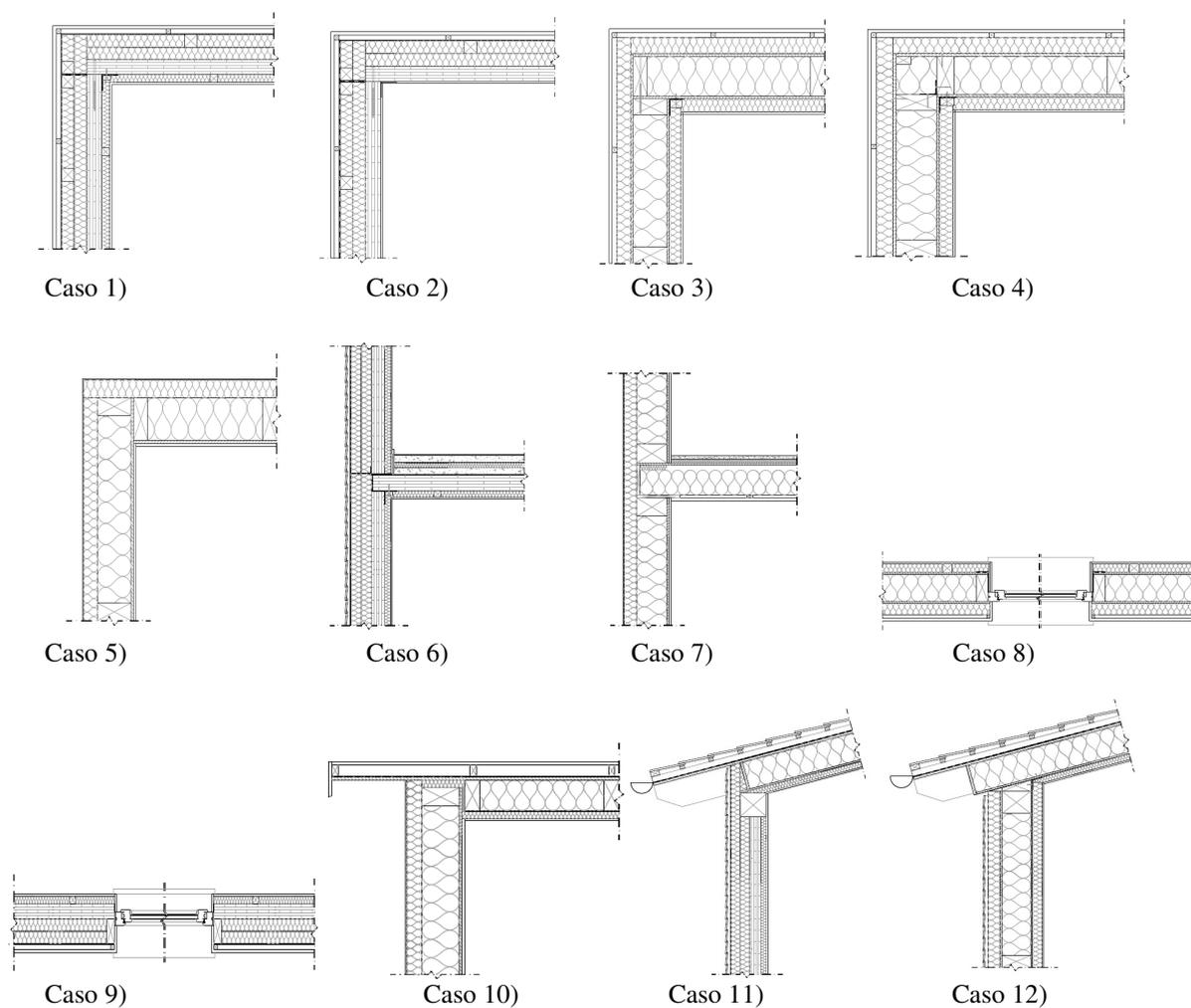


Figura 6. Schemi dei giunti calcolati.

Tabella 9. Valori dei coefficienti lineici.

Ref	Elementi	Indici di riferimento (codici)	ψ_L [W/(m K)]
1	Parete 5	A1 B1 C1 D1 E1 F2 G2 H1 I1 L1 M1	0,0044
2	Parete4	A1 B1 C1 D2 E2 F1 G1 H1 I1	0,0515
3	Parete 22	A4 B2 C2 D1 E3 F2 G1 H2 I1 L1 M1	0,0484
4	Parete 22	A4 B2 C2 D1 E3 F2 G1 H2 I1 L1 M1	0,0524
5	Parete 6	A2 B1 C3 D2 E2 F2	0,0821
6	Parete 5 – Solaio 1	A1 B1 C1 D1 E1 F2 G2 H1 I1 L1 M1 A1 B1 C1 D1 E1 F1 G2 H1 I1	0,0645
7	Parete 6 – Solaio 3	A2 B1 C3 D2 E2 F2 A2 B1 C1 D1 F2 G2 H2 I1 L1	0,1227
8	Parete 22	A4 B2 C2 D1 E3 F2 G1 H2 I1 L1 M1	0,0666
9	Parete 5	A1 B1 C1 D1 E1 F2 G2 H1 I1 L1 M1	0,0601
10	Parete 6 – Tetto piano 5	A2 B1 C3 D2 E2 F2 A2 B1 C1 D2 E2 F1 G1 H1 I1 L1 M1	0,0687
11	Parete 5 – Tetto falde 8	A1 B1 C1 D1 E1 F2 G2 H1 I1 L1 M1 A2 B1 C1 D1 E2 F2 G2 H1 I1 L1 M1	0,1150
12	Parete 22 – Tetto falde 8	A4 B2 C2 D1 E3 F2 G1 H2 I1 L1 M1 A2 B1 C1 D1 E2 F2 G2 H1 I1 L1 M1	0,0319

5. CONCLUSIONI

Dall'analisi effettuata su alcuni pacchetti costruttivi in legno si è potuto notare che i valori di trasmittanza che si possono ottenere sono decisamente inferiori rispetto alla media delle strutture realizzate in altri materiali. La maggioranza dei valori ottenuti si aggira infatti attorno ai 0.20-0.25 W/m²K, valori che risultano al di sotto delle prescrizioni di legge [7] e che dimostrano come col legno si possa ottenere un ottimo isolamento termico invernale. Dal confronto effettuato tra una parete perimetrale in legno realizzata con pannelli multistrato incrociati ed un muro tradizionale in laterizio alveolato si nota che con la prima si può ottenere, con circa la metà dello spazio occupato dalla seconda (26 cm invece che 54 cm), un valore di trasmittanza decisamente inferiore rispetto alla parete in laterizio (0,23 W/m²K contro i 0.58 W/m²K). Per quanto riguarda invece il comportamento estivo di queste strutture, è stato possibile effettuare simulazioni numeriche da cui si sono ottenuti valori di ritardo ed attenuazione dell'onda termica. Il valore di sfasamento dell'onda termica, anche se non raggiunge le 16 ore della parete in laterizio, è di circa 11 ore e quindi rientra nell'intervallo ottimale di sfasamento (10-14 ore); inoltre i valori di smorzamento delle due partizioni risultano essere molto vicini. Anche per quanto riguarda i tetti il problema del raggiungimento di adeguati valori di sfasamento sta nella difficoltà di inserire una massa sufficiente nelle strutture intelaiate. Le simulazioni hanno consentito di valutare che le strutture realizzate tramite l'impiego di pannelli in legno multistrato incrociati contribuiscono meglio al raggiungimento di adeguati valori di ritardo; infatti per il pacchetto costruttivo preso in considerazione tra i tetti piani, realizzato con questa tipologia, si sono ottenuti valori di sfasamento di circa 17 ore mentre per le coperture realizzate tramite travature portanti i tempi più alti raggiunti, calcolati con un metodo semplificato, stanno tra le 8 e le 10 ore. Altro aspetto importante nella realizzazione degli edifici è quello riguardante i ponti termici. Per questo motivo ne sono stati presi in considerazione degli esempi, realizzati tramite la combinazioni di alcune delle strutture studiate, per ricavarne i coefficienti di dispersione lineica. Dai dati ottenuti si può quindi notare che le dispersioni dovute a questi punti critici sono molto basse, anche grazie al fatto che la gran parte delle strutture considerate hanno un isolamento a cappotto che evita che si creino delle discontinuità di materiale isolante. Le elevate prestazioni termiche fornite quindi da questo tipo di strutture ed il loro contributo al comfort ambientale, unite agli aspetti di sostenibilità ed al fatto che oggi si possa realizzare qualsiasi tipo di costruzione in legno con il massimo livello tecnico, fanno sì che esso risulti essere un'ottima alternativa ai tradizionali materiali da costruzione.

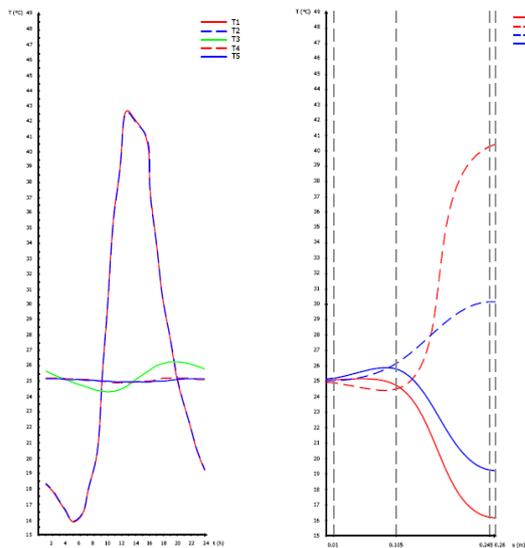


Figura 7. Bolzano, temperatura interna $t_{a,int} = 25^{\circ}\text{C}$.

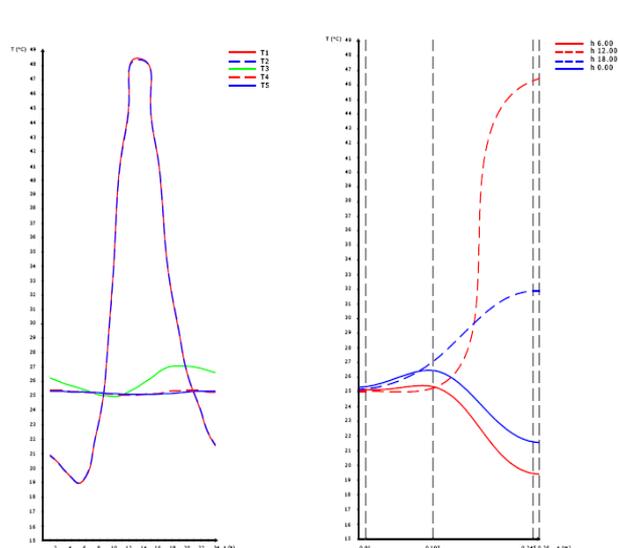
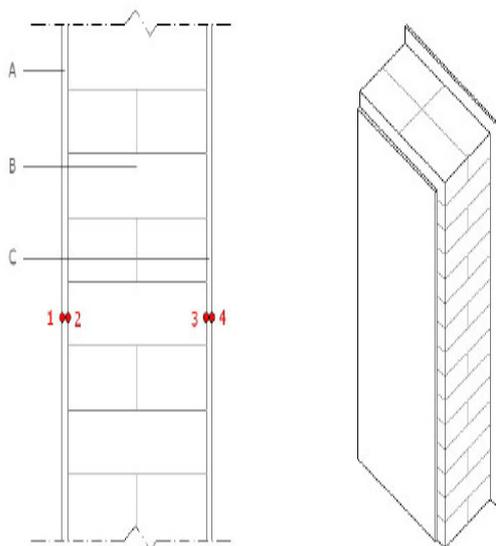


Figura 8. Roma, temperatura interna $t_{a,int} = 25^{\circ}\text{C}$.



- A - Intonaco in gesso ($s = 0.02$);
- B - Laterizio alveolato ($s = 0.5$ m);
- C - Intonaco in calce e sabbia ($s = 0.02$ m)

Figura 9. Parete in laterizio.

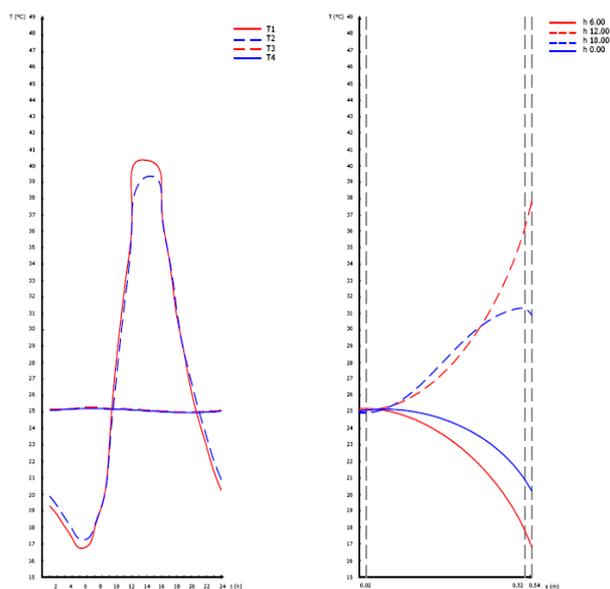


Figura 10. Bolzano, parete in laterizio, $t_{a,int} = 25^\circ\text{C}$

Tabella 10. Sfasamenti e smorzamenti, Bolzano

Elemento	Bolzano ($t_{a,int} = 25^\circ\text{C}$)		Bolzano ($t_{a,int} = 27^\circ\text{C}$)		Bolzano ($t_{a,int} = 29^\circ\text{C}$)	
	ϕ	A	ϕ	A	ϕ	A
Parete in legno	11 h	17.42	11 h	15.50	11 h	13.59
Parete in laterizio	16 h	11.08	16 h	13.31	16 h	11.54
Tetto piano	19 h	32.84	18 h	30.88	18 h	28.92
Tetto a falda	4 h	33.66	4 h	31.81	4h	29.77

Tabella 11. Sfasamenti e smorzamenti, Roma

Elemento	Roma ($t_{a,int} = 25^\circ\text{C}$)		Roma ($t_{a,int} = 27^\circ\text{C}$)		Roma ($t_{a,int} = 29^\circ\text{C}$)	
	ϕ	A	ϕ	A	ϕ	A
Parete in legno	10 h	23.09	10 h	21.18	10 h	19.26
Parete in laterizio	16 h	20.82	16 h	19.05	16 h	17.28
Tetto piano	18 h	45.24	18 h	43.27	18 h	41.31
Tetto a falda	4 h	46.04	4 h	44.09	4 h	42.14

RINGRAZIAMENTI

I risultati sono stati ottenuti nell'ambito del progetto SOPHIE ricerca congiunta tra Università IUAV – DCA, CNR - IVALSA e la Provincia Autonoma di Trento

RIFERIMENTI

- [1] P. Davoli, *Costruire con il legno*, Hoepli, Milano 2005
- [2] A. Frattari, I. Garofolo, *Architettura e tecnica degli edifici in legno*, Arti Grafiche Saturnia, Trento 1996
- [3] G. Schickhofer, A. Bernasconi, G. Traetta, *Costruzione di edifici in legno*, Bolzano, Febb. 2005
- [4] Rasom Holz&Co, *Tetti e case preassemblati in legno ad alto risparmio energetico*, Catalogo Tecnico
- [5] Directive 2002/91/EC, *Energy Performance of Buildings*, Official Journal of the European Communities, 4/01/2003, L 1/65 - L1/ 71

- [6] Decreto Legislativo n°192, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*, Suppl. Ord. N°158 alla G.Uff. n° 222 del 23 settembre 2005
- [7] Decreto Legislativo n°311, *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 Agosto 2005 n° 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*, Suppl. Ord. N°158 alla G.Uff. n° 26 del 1 febbraio 2007
- [8] Amministrazione Autonoma di Bolzano, Ufficio Rumore e Qualità dell'Aria, *KlimaHaus CasaClima - Calcolo degli indici termici*, www.provinz.bz.it/umweltagentur/2902/klimahaus
- [9] G.Dall'O', A.Galante, L.Piterà, *Certificazione energetica degli edifici: l'esperienza di una sua applicazione in un contesto di cogenza in Regione Lombardia*, Atti 60° Congr. Naz. ATI, Roma, 13-15/09/2005, 323 - 333.
- [10] Cellai G., Geri A., Mondì B., *La certificazione energetica di edifici residenziali*, CDA, n° 10, Novembre 2004, pp. 79 - 83 (p. I); CDA, n°11, Dicembre 2004, pp. 59 - 67 (p. II)
- [11] U.Di Matteo, F.Asdrubali, A.Ludovisi, *La Certificazione Energetica degli Edifici. Un Metodo di Calcolo per gli Edifici Residenziali*, CDA, n°4, Aprile 2001, pp.33 - 43 (p.I); CDA, n°5, Maggio 2001, pp.33 - 39 (p. II)
- [12] F.Cappelletti, V.Lattanzi, *La certificazione energetica degli edifici nelle Raccomandazioni UNI - CTI*, Energia Ambiente e Innovazione, Anno IL, Novembre - Dicembre 2003, n°6, pp. 71 - 73
- [13] CTI R03/3, *Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari*, Novembre 2003
- [14] UNI EN ISO 6946, *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo*, 2004
- [15] UNI EN ISO 13786, *Prestazioni termiche dei componenti degli edifici. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodo di calcolo*, 2003
- [16] T.Blomberg, *Heat 2 - A PC Program for heat transfer in two dimensions*, Lund Gothenburg for Computational Building Physics, Release 5.0
- [17] prENISO 13790, *Thermal performance of buildings-Calculation of energy use for space heating and cooling*, 2005
- [18] UNI EN 14683, *Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento*, 2001

THERMAL PERFORMANCES OF WOODEN BUILDING ELEMENTS

ABSTRACT

In many Italian locations the main kind of building structure is the one based on a bearing structure in laminated pinewood with different cross layers (X-Lam panels). This timber technology has been developed especially during the last 10 years in Northern Italy in particular in mountain and hill sites. Today this technology has been improved as far as thermal insulation is concerned leading to competitive energy consumptions for space heating and to good microclimatic indoor conditions. Also recent Italian Government actions are addressed to these issues: the enacted Legislative Decrees (D.Lgs. 192/05 and D.Lgs. 311/06) fix the values of thermal transmittance required for the main buildings components.

The whole calculation of thermal performances of external walls, roofs, floors built with multilayer pinewood panels requests the knowledge of the thermo-physical characteristics of the different materials and the detailed description of the thermal bridges.

Moreover, in order to calculate the Primary Energy both for heating and for cooling as request by the 2002/91 CE Directive, the European Standard prEN 13790 methods are requested and the dynamic parameters as the utilization factors and the time constant of the building shall be evaluated. The cooperation between the CNR – IVALSÀ and the University IUAV of Venezia allowed to work out a detailed abacus with the data of the thermal performances (thermal resistance, thermal mass,...) of some structures. These data can be very useful for the thermal design of the wooden buildings.