

Le prestazioni di isolamento termico ed acustico delle strutture in Xlam

G. PASETTO*, F. PERON**, P. ROMAGNONI**

* - CNR IVALSA, S. Michele all'Adige (TN)

** - Università IUAV di Venezia, Venezia

RIASSUNTO

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, D.P.R. 59/2009, D.M. 26/06/2009) e dalla legislazione in materia di requisiti acustici passivi (D.P.C.M. 5/12/97) favoriscono l'utilizzo di materiali edilizi in grado di associare elevata resistenza termica e ottimi requisiti acustici passivi. Il pannello in legno multistrato è in grado di fornire dei valori di trasmittanza termica notevole, mentre attenzione deve invece essere posta alla messa in opera e alcuni accorgimenti sono necessari per 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.

L'introduzione di requisiti per la climatizzazione estiva ha reso inoltre necessario definire parametri, quali l'attenuazione e il ritardo, che possono aiutare il progettista a determinare la prestazione estiva definendo il comportamento di strutture sottoposte a forti escursioni termiche.

CNR - IVALSA e Università IUAV - Dipartimento di Costruzione dell'Architettura hanno elaborato un abaco con le prestazioni termiche e di fonoisolamento di componenti edilizi opachi in legno.

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.

L'Istituto IVALSA del Consiglio Nazionale delle Ricerche con il sostegno della Provincia Autonoma di Trento ha condotto il progetto di ricerca sull'edilizia sostenibile SOFIE - Sistema Costruttivo Fiemme [3].

L'obiettivo di SOFIE era definire le prestazioni e le potenzialità di un sistema per la costruzione di edifici a più piani, realizzato con struttura portante di legno trentino di qualità certificata e caratterizzato da elevate prestazioni meccaniche e basso consumo energetico, ottimi livelli di sicurezza al fuoco e al sisma, comfort acustico e durabilità nel tempo: il sistema X-LAM (pannelli lamellari di legno massiccio a strati incrociati).

L'idea concreta che era alla base del progetto è quella di incrementare l'impiego del legno italiano come materiale strutturale nel mercato dell'edilizia, fornendo una valida ed economica alternativa alle soluzioni architettoniche tradizionali e nel contempo valorizzando una risorsa locale rinnovabile – il legno proveniente da foreste certificate per la gestione sostenibile – tuttora considerata di importanza strategica per l'economia delle regioni montane alpine. La convinzione che muove i diversi soggetti coinvolti è che sia necessario ridurre l'impatto negativo sull'ambiente provocato dall'attuale tecnologia edilizia basata su materiali non riciclabili nell'ecosistema e con caratteristiche non idonee, sensibilizzando il mercato immobiliare ai temi del risparmio energetico, del rispetto per l'ambiente e del benessere abitativo.

Nato in Germania meno di dieci anni fa, questo sistema costruttivo è 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.

Il sistema X-LAM si basa sull'utilizzo di pannelli lamellari di legno massiccio di spessore variabile realizzati incollando strati incrociati di tavole di spessore medio di 2 cm. 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. Le deformazioni del pannello multistrato dovute a ritiri o a rigonfiamenti sono molto limitate grazie all'incollaggio a strati incrociati.



Figura 1 - 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. La produzione dei pannelli avviene infatti 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.

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. I pannelli vengono infatti tagliati a seconda delle esigenze architettoniche completi di aperture per porte, finestre e vani scala e in seguito issati e collegati tra loro in opera con angolari metallici, chiodi a rilievi tronco-conici e viti auto foranti, evitando così le lunghe operazioni di finitura e montaggio.



Figura 2 - Particolare costruttivo dei materiali generalmente utilizzati per completare il pacchetto parete esterna e solaio

Alla base del processo costruttivo c'è quindi 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 margine 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 (vedi Figura 2) e ciò consente una riduzione dei tempi di cantiere pari al 60-70% con conseguenti riscontri positivi sul costo complessivo (noli di macchinari, manodopera ecc.).

2. LA DETERMINAZIONE DELLE PRESTAZIONI

Per rendere attuabile quanto prescritto dalla Direttiva Europea 2002/91 CE sull'efficienza energetica degli edifici [1], il nostro paese ha emanato vari decreti, tra cui il D.Lgs. 311/2006, il D.P.R. 59/2009, D.M. 26/06/2009 [2] in cui sono stati precisati gli obiettivi nazionali in materia di contenimento dei consumi energetici, fissando 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 e, in seguito al Progetto Sofie [3], è recentemente nato il sistema di certificazione per le costruzioni in legno ARCA, ARchitettura - Comfort - Ambiente [4].

L'attività condotta da CNR - IVALSÀ e da DCA - IUAV è stata rivolta ad analizzare le prestazioni dei componenti pannello in relazione al regime stazionario invernale e dinamico estivo, caratterizzando attraverso i parametri descritti nel successivo capitolo le prestazioni delle principali tipologie di pannello multistrato utilizzate oggi in edilizia [5].

Data inoltre l'influenza dei ponti termici nel calcolo delle dispersioni termiche dell'involucro edilizio, si è proceduto ad analizzare il comportamento di alcune giunzioni tra le più comunemente adottate con un codice di calcolo [7].

La presenza di umidità in eccesso nelle strutture edilizie, che generalmente è dovuta all'azione combinata di diverse cause variabili nel tempo, tra cui la presenza di infiltrazioni, la formazione di condensa superficiale e/o interstiziale e la risalita capillare, può inoltre provocare problemi di degradamento dei materiali e può modificarne il comportamento termico, diminuendone le capacità isolanti.

Un ulteriore obiettivo del Progetto Sofie era perciò lo studio dei fenomeni quali la formazione di condensa superficiale, che si verifica quando la temperatura superficiale scende al di sotto della temperatura di rugiada, e di condensa interstiziale, che invece è legata alla trasmissione del vapor d'acqua attraverso il componente edilizio e che avviene se, in qualche punto, la concentrazione del vapore raggiunge il valore di saturazione [3].

Il quadro che ne risulta consente di fornire una serie di valutazioni di notevole interesse per il progettista.

2. 1. Le caratteristiche termiche e igrometriche

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 [6].

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:

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

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.

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:

$$U_{wall} = \frac{1}{R_{tot}} \quad (7)$$

La progettazione ottimale di una parete, dal punto di vista termoigrometrico, prevede la disposizione degli strati con maggiore resistenza termica verso l'esterno, in questo modo la maggior parte della struttura si

troverà a temperatura prossima a quella dell'ambiente interno, con una pressione di saturazione relativamente elevata, riducendo il rischio di formazione di condensa.

L'analisi dei risultati delle simulazioni condotte nell'ambito del Progetto Sofie ha evidenziato il diverso comportamento della parete in funzione delle diverse condizioni ambientali ed ha permesso di evidenziare le soluzioni costruttive che meglio si adattano alle diverse zone climatiche [3].

2.2. Le caratteristiche acustiche

Le condizioni di una struttura intelaiata in legno differiscono da quelle delle strutture massicce. In quest'ultime il livello di pressione sonora cresce col crescere della frequenza, mentre nelle prime i suoni a bassa frequenza (sotto i 100 Hz) possono essere sentiti in modo più forte rispetto ad una struttura massiccia, ma, al contrario, quelli ad alta frequenza possono essere effettivamente isolati. E' quindi possibile realizzare un comfort complessivo a livello di isolamento acustico in queste costruzioni in quanto la maggior parte dei suoni in un edificio residenziale hanno alte frequenze (tra i 50 ed i 10000 Hz). Una struttura è acusticamente semplice se è fatta tutta con uno stesso materiale o se gli strati dei vari materiali sono in solido contatto l'uno con l'altro in modo che vibrino come un tutt'uno. L'isolamento acustico è così principalmente basato sulla massa. Quando un'onda sonora incontra una struttura si genera in essa una vibrazione. Più questa vibra, più il suono è trasmesso dall'altro lato. Ciò accade sia nelle strutture leggere che in quelle pesanti, la sola differenza sta nel fatto che quelle pesanti isolano meglio.

In accordo con la legge di massa, l'indice di riduzione sonora della struttura per suoni trasmessi per via aerea può essere approssimativamente trovato con la seguente equazione [8]:

$$R = 20 \text{ Log} (m f) - 49 \quad (6)$$

dove: R = indice di riduzione sonora della struttura [dB]; f = frequenza [Hz].
m = massa per unità d'area della parete [kg/m²];

L'isolamento acustico di strutture più leggere di 100 kg/m² cresce meno rapidamente che in quelle più pesanti. Quindi quando una struttura è molto pesante il suo potere fonoisolante non può essere significativamente incrementato con una piccola aggiunta di massa. Molta influenza ha dunque il tipo di materiale utilizzato.

Il fenomeno della risonanza avviene in una struttura quando questa viene colpita da un'onda sonora con una frequenza entro l'intervallo di risonanza della parete stessa. L'intervallo di risonanza di una struttura può essere determinato dalla frequenza naturale più bassa f_0 (Hz): è importante che questo risulti inferiore all'intervallo di frequenza di 100 – 3150 Hz. Il fenomeno della coincidenza ha luogo quando l'onda sonora che incide sulla superficie, con un certo angolo di incidenza, e l'onda flessionale all'interno del pannello stesso viaggiano con la medesima velocità. Durante la propagazione del suono la situazione rimane la stessa per tutto il tempo ed il pannello non isola efficacemente come ci si potrebbe aspettare. L'isolamento dipende quindi principalmente dal meccanismo di perdita energetica del pannello e della struttura.

Ogni pannello ha una frequenza di coincidenza f_c che dovrebbe essere anch'esso superiore all'intervallo 100 - 3150 Hz. La frequenza di coincidenza di una struttura semplice può essere determinata dall'equazione:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi h} \sqrt{\frac{12g(1-\mu^2)}{E}} \quad (7)$$

dove: f_c = frequenza di coincidenza [Hz]; c = velocità del suono nell'aria (circa 340 m/s);
h = spessore della struttura [m]; ρ = densità della struttura [kg/m³];
 μ = coeff. di Poisson = 0.3; E = modulo di elasticità [N/m²]

Se la struttura è formata da più strati di pannelli non incollati fra loro, cosa preferibile dal punto di vista acustico, f_c si determina per ogni strato separatamente. Le strutture formate da doppie pareti basano l'efficacia dell'isolamento acustico sull'interazione fra le due masse separate tra loro e sullo spazio d'aria interposto (vedi Figura 3).

In una doppia parete l'onda sonora fa vibrare la prima metà del muro, mentre l'aria compresa fra le due parti trasmette il moto oscillatorio all'altra metà. Più spesso è lo strato d'aria, minore sarà la trasmissione delle vibrazioni all'altra metà della partizione.

3. LE STRUTTURE

Allo scopo di coprire il maggior numero di varianti possibili nella realizzazione delle strutture perimetrali degli edifici in legno, per il Progetto Sofie sono stati presi in considerazione vari pacchetti costruttivi dei quali sono state individuate le principali caratteristiche termiche, idrometriche e acustiche.

Nel manuale "Progetto sofie - sistema costruttivo Fiemme" è riportata, per ogni struttura considerata, una scheda che descrive le varie componenti e le possibili varianti con le relative caratteristiche [3].

3.1. Pareti perimetrali

Una delle 28 pareti analizzate per il Progetto Sofie (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 - 15 mm 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.

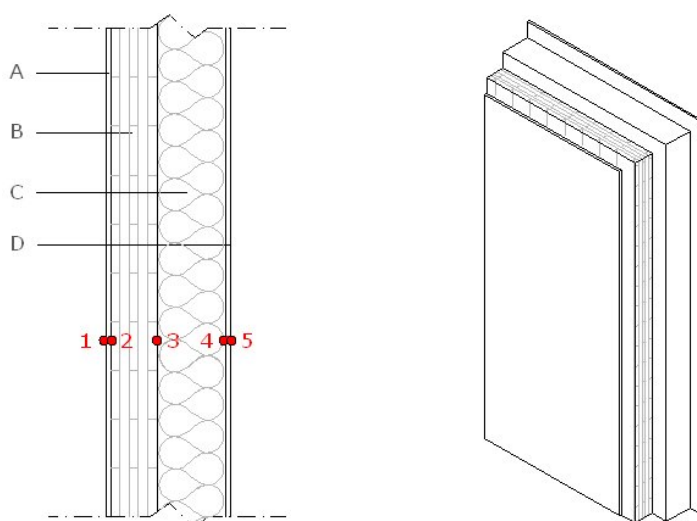


Figura 3 - Struttura Parete 1.

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

	MATERIALE	s [m]	λ [W/(mK)]	μ [kg/(msPa)]	ρ [kg/m³]	c [kJ/(kgK)]
A 1	P.lo in cartongesso	0,01	0,360	11	1150	1,100
B 1	P.lo multistrato in legno	0,095	0,130	50	500	1,600
C 1	P.lo in lana di roccia	0,12	0,041	1	155	1,030
2		0,14				
3	P.lo in fibra di legno	0,1	0,055	5/7	200	2,500
4	P.lo 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 termo fisiche ed acustiche della parete 1.

	R	U	M	Indici di riferimento
max	4,185 m²K/W	0,23 W/m²K	110,7 kg/m²	A1 B1 C2 D2
min	2,584 m²K/W	0,36 W/m²K	87 kg/m²	A1 B1 C3 D1

	Max	Min
M	110,7 kg/m²	85,6 kg/m²
R_w	49 dB	38 dB

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

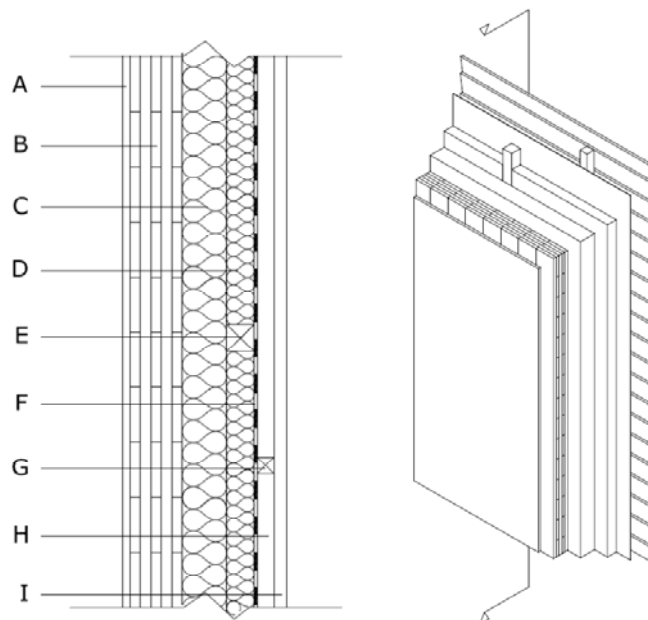


Figura 4 - Struttura della parete 4.

Tabella 3. Caratteristiche termofisiche degli elementi costituenti la parete 4.

	MATERIALE	s [m]	λ [W/(mK)]	μ [kg/(msPa)]	ρ [kg/m ³]	c [kJ/(kgK)]
A 1	P.llo in cartongesso	0,01	0,36	11	1150	1,100
B 1	P.llo multistrato in legno	0,095	0,13	50	500	1,600
C 1	P.llo in lana di roccia	0,08	0,04	1	70	1,030
D 1	P.llo in lana di roccia	0,05	0,04	1	70	1,030
2		0,08				
E 1	Listelli in abete rosso	0,05	0,11	50	400	2,500
2		0,08				
F 1	Guaina					
G 1	Listelli in abete rosso	0,03	0,11	50	400	2,500
H 1	Intercapedine d'aria	0,03		193	1,3	1,005
I 1	Rivestimento in legno di larice	0,02	0,15	50	600	2,500

Tabella 4. Prestazioni termofisiche ed acustiche della parete 4.

	R	U	M	Indici di riferimento
max	5,07 m ² K/W	0,19 W/m ² K	70,2 kg/m ²	A1 B1 C1 D2 E2 F1 G1 H1 I1
min	4,32 m ² K/W	0,22 W/m ² K	68,1 kg/m ²	A1 B1 C1 D1 E1 F1 G1 H1 I1

	Max	Min
M	70,2 kg/m ²	68,1 kg/m ²
R_w	51 dB	51 dB

3.2. Le coperture

Le coperture analizzate nell'ambito del Progetto Sofie sono riconducibili alle due strutture classiche della copertura in legno: tetto a falde e tetto piano (vedi Figura 5).

Solitamente la struttura portante è costituita da travi in legno (20-24 cm), le cui intercapedini sono riempite di materiale isolante. L'elemento resistente può altrimenti essere costituito da un pannello multistrato in legno massiccio (ad esempio con spessore 12,5 cm).

Per il tetto piano sono state analizzate, nell'ambito del Progetto Sofie, 9 strutture mentre per i tetti a falde 8.

La Tabella 5 riporta la descrizione delle caratteristiche termofisiche ed acustiche dei tetti piani, mentre la Tabella 6 riporta i valori dei medesimi parametri di prestazione per i tetti a falde.

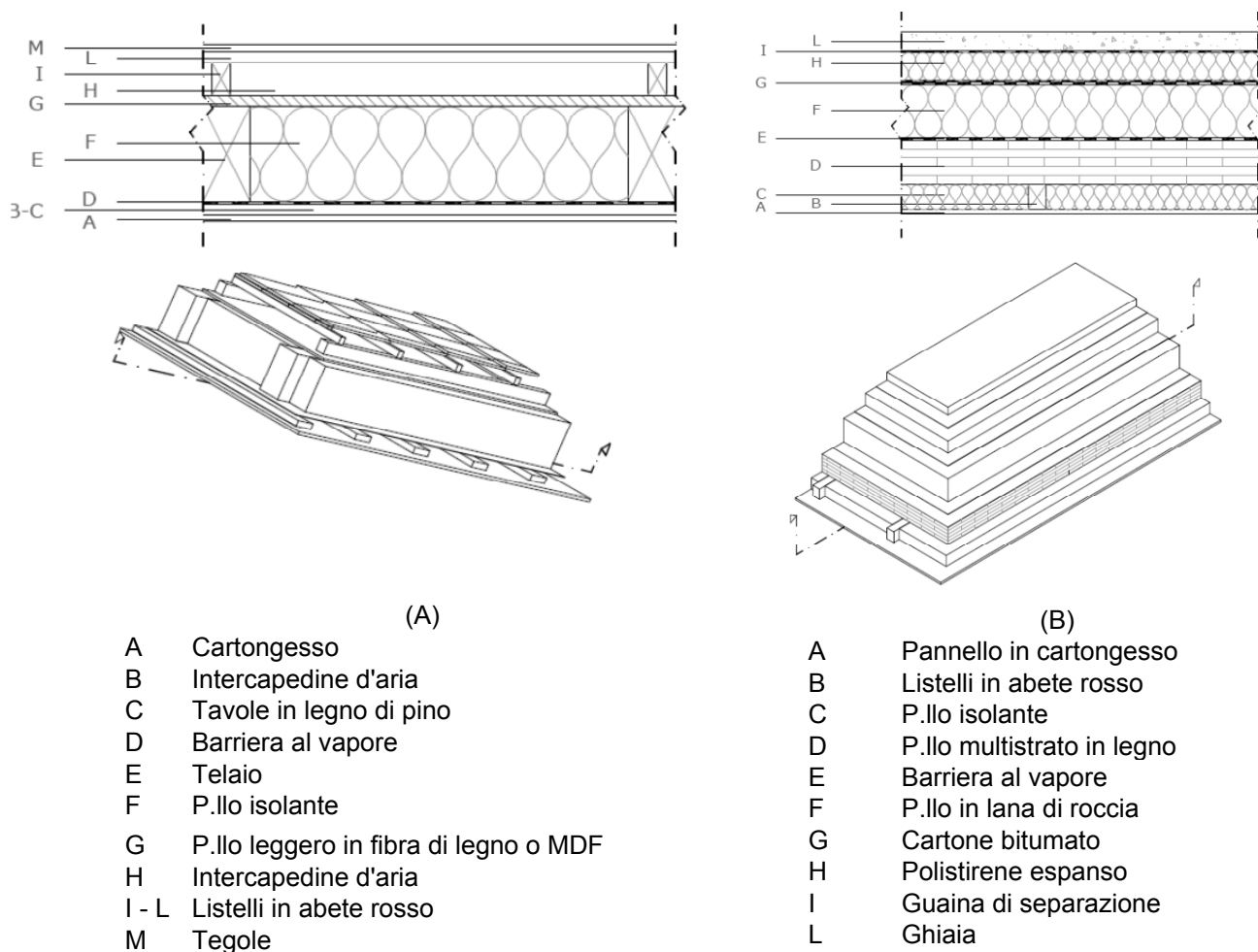


Figura 5 - Struttura del tetto a falde 1 (A) e del tetto piano 1 (B).

Tabella 5. Prestazioni termofisiche ed acustiche dei tetti piani.

Tetto piano	U [W/m²K]	M [Kg/m²]	Rw [dB]
Tetto 1	0,12	204,9	47
Tetto 2	0,14	44,94	50
Tetto 3	0,14	31,84	50
Tetto 4	0,12	47,09	51
Tetto 5	0,12	43,59	51
Tetto 6	0,12	55,95	49
Tetto 7	0,13	51,64	48
Tetto 8	0,13	52,64	48
Tetto 9	0,12	45,54	49

Tabella 6. Prestazioni termofisiche ed acustiche dei tetti a falde.

Tetto a falde	U [W/m²K]	M [Kg/m²]	Rw [dB]
Tetto 1	0,14	61,84	52
Tetto 2	0,15	54,69	52
Tetto 3	0,12	63,49	54
Tetto 4	0,14	81,94	51
Tetto 5	0,15	74,70	52
Tetto 6	0,14	72,04	55
Tetto 7	0,15	74,70	54
Tetto 8	0,12	77,79	52

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, con l'aggiunta del potere fono isolante apparente L_w . La Tabella 7 ne riporta i valori calcolati: relativamente ai parametri acustici sono riportati i valori delle migliori prestazioni teoriche realizzate.

Tabella 7. Prestazioni termofisiche ed acustiche dei solai interpiano.

Solaio	U [W/m ² K]	M [Kg/m ²]	Rw [dB]	Lw [dB]
Solaio 1	0,26	266,59	58	48
Solaio 2	0,51	186,01	67	67
Solaio 3	0,15	63,54	71	67
Solaio 4	0,14	65,64	60	51
Solaio 5	0,15	151,34	55	50
Solaio 6	0,14	163,28	55	59
Solaio 7	0,14	153,14	63	52
Solaio 8	0,14	135,54	59	42
Solaio 9	0,14	223,04	65	40
Solaio 10	0,14	222,97	64	49
Solaio 11	0,57	112,54	57	59
Solaio 12	0,60	260,04	62	58
Solaio 13	0,32	102,84	56	59

3.4. I ponti termici

La Figura 6 illustra le tipologie di ponti termici esaminate per il Progetto Sofie con il codice di calcolo HEAT 2 [7]. Per ogni caso sono state realizzate delle simulazioni in regime stazionario (T_i 20°C, T_e 0°C) per ricavare i vari coefficienti di dispersione lineica Ψ_L (W/mK).

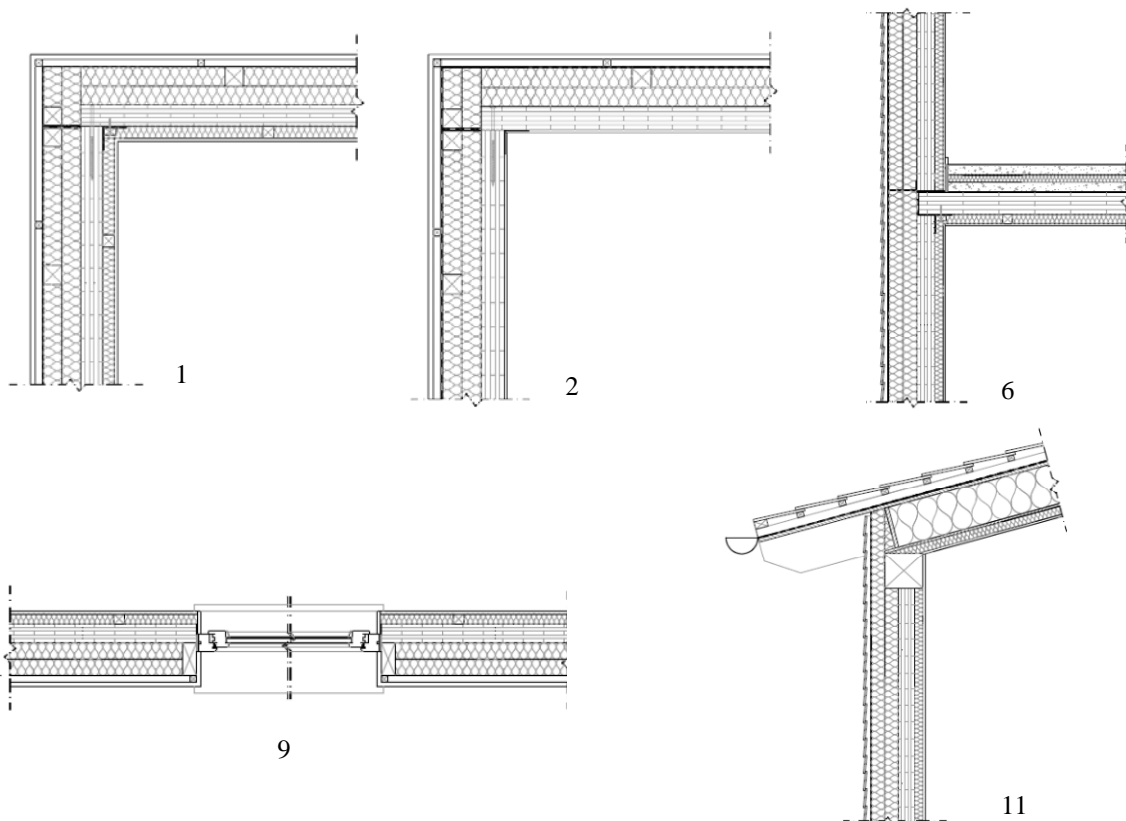


Figura 6 - Schemi dei giunti calcolati [5].

La Tabella 8 riporta alcuni dei valori dei coefficienti lineici calcolati [5]. I dati ottenuti consentiranno ai progettisti un approccio semplificato, così come indicato dalle procedure di calcolo riportate negli standard [9].

Tabella 9. Valori dei coefficienti lineici.

Riferimento	Elementi	Indici di riferimento (codici)	Ψ_L [W/(mK)]
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
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
9	Parete 5	A1 B1 C1 D1 E1 F2 G2 H1 I1 L1 M1	0,0601
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

4. 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 [2] 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, il valore di sfasamento dell'onda termica è di circa 11 ore e quindi rientra nell'intervallo ottimale di sfasamento (10-14 ore). 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.

RINGRAZIAMENTI

I risultati sono stati ottenuti nell'ambito del progetto SOFIE ricerca congiunta tra CNR – IVALSA, Università IUAV - DCA e con il sostegno della Provincia Autonoma di Trento

RIFERIMENTI

- [1] Directive 2002/91/EC, *Energy Performance of Buildings*, Official Journal of the European Communities, 4/01/2003, L 1/65 - L1/ 71
- [2] 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
- 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
- Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009 , n. 59, *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*, GU n. 132 del 10/6/2009
- Decreto Ministeriale 26/6/2009 – Ministero dello Sviluppo Economico, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*, G.U. n. 158 del 10/7/2009.
- [3] Progetto SOFIE - Sistema Costruttivo Fiemme e Manuale "Progetto sofie - sistema costruttivo Fiemme", www.progettosofie.it , www.arcacert.com/node/444
- [4] www.arcacert.com
- [5] Ceccotti A., Pasetto G., Peron F., Romagnoni P., *Valutazione delle prestazioni di elementi di involucro in pannello multistrato in legno. Articolo in Atti di Convegno nazionale AiCARR "I sistemi di climatizzazione per un nuovo equilibrio tra uomo ed ambiente"*, Milano 2008.
- [6] UNI EN ISO 6946, *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo*, 2008
- [7] T. Blomberg, *Heat 2 - A PC Program for heat transfer in two dimensions*, Lund Gothenburg for Computational Building Physics, Release 5.0
- [8] T. Lahtela, *Sound insulation. Guiderlines for wooden residential buildings*, Wood Focus Oy 2005
- [9] UNI EN ISO 14683, *Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento*, 2008