

## **PRESTAZIONI ACUSTICHE PASSIVE DEGLI EDIFICI IN LEGNO: RISULTATI DEL COLLAUDO IN OPERA.**

Alberto Piffer (1), Elena Resenterra (2)

1) Libero professionista, Trento

2) Laureanda presso l'Università degli Studi di Trento, facoltà di Ingegneria, Trento

### **1. Premessa**

La bioedilizia e la sostenibilità ambientale stanno spingendo il mondo dell'edilizia alla ricerca di tecniche costruttive alternative al caro vecchio mattone. In particolare si stanno diffondendo le costruzioni realizzate interamente in legno. Tali costruzioni, un tempo adibite quasi esclusivamente ad abitazione unifamiliare, vengono ormai progettate per ospitare anche più unità immobiliari e non mancano le realizzazioni a scopo ricettivo, sportivo o di culto. I principali aspetti positivi di tali strutture sembrano essere in primis, la modulabilità degli elementi, la velocità di montaggio nonché le ottime prestazioni termiche e antisismiche. Per contro risulta difficile reperire informazioni in merito alle prestazioni acustiche relative ad opere già realizzate.

Lo scrivente ha avuto modo di approfondire la tematica grazie alla collaborazione con la facoltà di Ingegneria di Trento nell'ambito della tesi di laurea della studentessa Elena Resenterra.

La presente memoria riporta gli esiti dei collaudi eseguiti su 5 edifici interamente realizzati in legno ma con differenti tecniche e destinazioni d'uso. I risultati sono quindi stati confrontati con i valori medi relativi a oltre 300 verifiche in opera effettuate dallo scrivente su strutture di tipo tradizionale.

### **2. Descrizione delle tecniche costruttive**

La principale distinzione che si può fare per definire delle tipologie nell'ambito degli edifici in legno è quella di costruzioni massicce e costruzioni leggere. Sia nel primo che nel secondo caso si possono a loro volta dividere le tipologie in sottocategorie che sono:

- per le costruzioni massicce: "Blockbau";  
Edifici a pannelli di tavole incrociate (X-Lam).
- per le costruzioni leggere: "Fachwerk";  
Edifici a telaio;  
Edifici a pareti intelaiate.

## 2.1 “Blockbau”

Si tratta della tecnica costruttiva più antica che consiste nella realizzazione di pareti massicce tramite la sovrapposizione di elementi di legno tondo. Le pareti così realizzate assolvono sia la funzione portante che quella di irrigidimento. Il collegamento degli elementi massicci all’angolo dell’edificio avviene tramite intagli o connessioni di carpenteria classica. Oggi gli elementi tondi vengono sostituiti con elementi di legno squadrato realizzati con nuove tecnologie, grazie anche all’utilizzo di macchine a controllo numerico che permettono una realizzazione precisa sia degli elementi che degli incastrati.



Figura 1 – Esempi di realizzazioni “Blockbau”

## 2.2 Edifici a pannelli di tavole incrociate (X-Lam)

Questo tipo di sistema costruttivo rientra nella categoria degli edifici di tipo massiccio in quanto le pareti sono realizzate mediante l’incollaggio di più strati di tavole di legno di spessore ridotto (15-40mm) che vanno a formare il pannello. Si tratta di elementi bidimensionali formati da tre, cinque o sette strati di tavole, dove ciascun strato è posto a 90° rispetto a quello adiacente e le tavole sono unite tra loro testa contro testa con “giunti a dita”. Si tratta di un sistema costruttivo sviluppato in tempi recenti e che oggi sta avendo grande diffusione.



Figura 2 – Struttura ed elementi X-lam

### 2.3 “Fachwerk”

Questa tecnica costruttiva consiste nella realizzazione di un telaio di elementi in legno massiccio di sezione ridotta che viene poi tamponato con diversi materiali (mattoni, pietra, argilla). Edifici di questo tipo sono molto diffusi in aree geografiche dove il materiale legno è disponibile in minore quantità come in Europa dell’Est, Inghilterra, Germania settentrionale, Danimarca, Olanda. I tempi di realizzazione di questo sistema costruttivo sono molto lunghi in quanto le lavorazioni sono molto complesse.



Figura 3 – Esempi di realizzazioni “Fachwerk”

### 2.4 Edifici a telaio

Il sistema a telaio è composto da una struttura di travi e pilastri in legno. Le pareti non sono quindi elementi portanti ma fungono da tamponamento. Gli interassi tra le travi e i pilastri possono essere notevoli e permettere così una grande libertà nella distribuzione degli spazi interni e la realizzazione di ampie aperture in facciata. La libertà compositiva dell’edificio deve comunque rispettare una regolarità in pianta dettata dal telaio resistente. Quest’ultimo definisce la posizione dei pilastri e il loro interasse e quindi di conseguenza anche le luci dei solai.



Figura 4 – Strutture a telaio

## 2.5 Edifici a pareti intelaiate

Questo sistema costruttivo può essere suddiviso a sua volta in due tipologie che sono: il “Baloon Frame” ed il “Platform Frame”. Nel primo caso i montanti verticali sono continui dalla fondazione alla copertura ed il solaio è direttamente collegato ad essi; si tratta di un sistema diffuso soprattutto in America. Nel secondo caso i montanti verticali vengono interrotti ad ogni piano, le pareti vengono costruite piano per piano ed interposti i solai. Tale sistema è il più diffuso al mondo: in Canada, in tutti gli Stati Uniti e nei Paesi del Nord Europa il maggior numero di edifici è costruito con questo sistema.



Figura 5 – elementi e struttura intelaiata

## 3. Campione di edifici sottoposto a verifica

Nel presente lavoro si riportano i collaudi eseguiti in opera su 5 edifici realizzati in legno di cui 1 con tecnologia a pareti intelaiate, 2 con tecnologia ad X-Lam e 2 con tecnologia a telaio con struttura portante in legno e tamponamenti realizzati con pannelli intelaiati.

Gli edifici sui quali sono stati realizzati i collaudi, oltre ad essere realizzati con diverse tecnologie costruttive, sono caratterizzati anche da diverse destinazioni d’uso. Si hanno infatti:

- un edificio multipiano composto da 11 unità abitative (telaio);
- un edificio bifamiliare con un’unità abitativa per piano (pareti intelaiate);
- un edificio ad uso turistico – alberghiero (X-Lam);
- un complesso di case a schiera (X-Lam);
- un edificio multipiano composto da 6 unità abitative (telaio).

### 3.1 Edificio a pareti intelaiate

La struttura portante è composta da montanti verticali, solitamente di sezione 160x100, con un interasse compreso tra 40 e 60 cm che vengono assemblati su correnti inferiori e superiori della stessa sezione. Tale struttura viene controventata per mezzo di pannelli OSB (pannelli composti da trucioli di legno) oppure pannelli di compensato che vengono fissati mediante chiodatura ai montanti verticali. Lo spazio tra gli elementi verticali viene riempito con materiale isolante (fibra di legno, lana di vetro, di roccia, di canapa o di lino). Un ulteriore strato isolante può essere realizzato, a ridosso del pacchetto strutturale, all’interno del quale possono essere posizionati gli impianti idraulico ed elettrico.

Il rivestimento esterno può essere sia in legno o altri materiali adatti all'ambiente esterno oppure di intonaco tinteggiato steso su rasatura con rete rinforzante; quello interno, invece, può essere composto da una o più lastre in cartongesso o fibrogesso.

Per quanto riguarda le pareti di separazione tra due unità abitative esse vengono realizzate in modo da separare e rendere indipendenti le due strutture portanti. Tale sistema consiste in una doppia parete con interposto del materiale isolante.

La struttura dei solai è molto simile a quella delle pareti. La parte portante è composta da travetti in legno o da travi in legno lamellare per le luci più ampie e da un primo tavolato in materiali derivati dal legno (OSB o compensato). Uno strato resiliente viene posizionato tra un sottofondo a secco o in cemento ed un massetto autolivellante sopra il quale poi si posa la pavimentazione. Per migliorare le prestazioni acustiche si realizza un controsoffitto in cartongesso e si posiziona del materiale isolante tra i travetti del solaio.

### **3.2 Edificio a pannelli di tavole incrociate (X-Lam)**

Per quanto riguarda questa tipologia costruttiva le pareti esterne possono essere realizzate con diverse stratigrafie, in base ai materiali utilizzati ed in base alle prestazioni che si vogliono ottenere. Essenzialmente una parete di questo tipo è composta da una parete portante in legno a strati incrociati di dimensioni che variano in base ai calcoli statici ma solitamente comprese tra 81 e 135 mm. Nella parte esterna viene realizzato un cappotto in materiale fibroso (fibra di legno o di lino, fibra di legno mineralizzata, sughero, ecc.) rifinito con intonaco. oppure può essere realizzata una facciata ventilata con un'intercapedine di aria ed un rivestimento esterno in legno o altri materiali. Anche in questo caso l'intercapedine interna per il passaggio degli impianti viene poi riempita di materiale isolante. La finitura superficiale interna è realizzata su un placcaggio in cartongesso costituito da una doppia lastra sfalsata.

Come nel caso di edifici a pareti intelaiate, anche per gli edifici in X-Lam, le pareti di separazione tra due unità abitative vengono realizzate attraverso una doppia struttura portante con interposto un materiale isolante fibroso con funzione di isolamento ed assorbimento acustico.

Anche la struttura portante dei solai viene realizzata utilizzando pannelli di tavole incrociate con uno spessore che varia in base alla luce del solaio stesso e ai carichi che vengono applicati. Il sottofondo può essere realizzato in cemento oppure a secco utilizzando materiale granulare come ad esempio polvere di marmo. Sopra uno strato resiliente per il calpestio vengono poi realizzati un massetto autolivellante e la pavimentazione. Come per i solai con tecnologia a telaio, anche in questo tipo di strutture viene realizzato un controsoffitto in cartongesso che viene fissato su dei supporti in legno oppure su profili metallici; l'intercapedine tra questi elementi è poi riempita con materiale fibroso.

### **3.3 Edifici a telaio**

La struttura portante viene realizzata essenzialmente con travi e pilastri in legno lamellare con sezioni ed interassi che variano in base ai calcoli statici. Le pareti esterne sono tamponate con pannelli in materiale derivato dal legno (OSB o compensato) e l'isolamento esterno è realizzato a cappotto ed intonacato. Sul lato interno della parete viene realizzata una intercapedine per l'alloggiamento degli impianti poi riempita con materiale fibroso. Per quanto riguarda invece la finitura superficiale, la tinteggiatura viene applicata su una doppia lastra in cartongesso.

La parete di separazione tra due unità abitative è composta dalla struttura portante in legno e da una doppia intercapedine per l'alloggiamento degli impianti. Anche in questo caso la finitura superficiale è realizzata su un placcaggio composto da una doppia pannellatura in cartongesso fissata su listelli in legno o su supporti di tipo metallico.

Per quanto riguarda i solai, la tipologia costruttiva è del tutto analoga a quella degli edifici realizzati con tecnologia a pareti intelaiate riportata al punto 3.1.

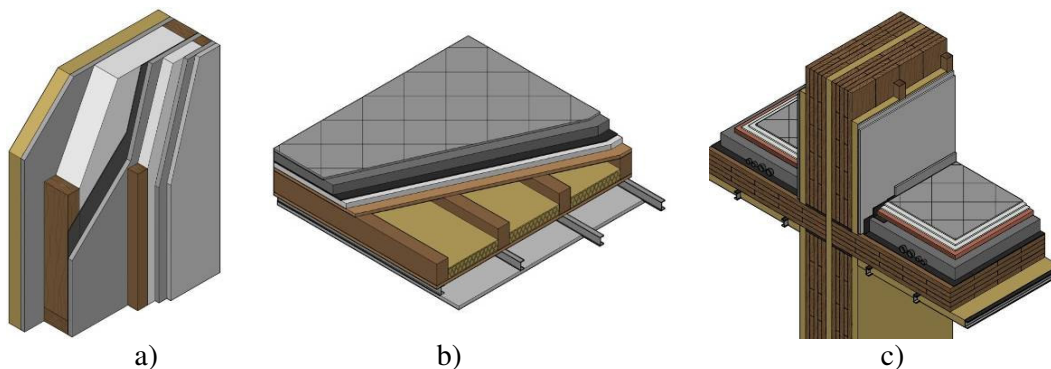


Figura 6 – dettagli costruttivi: a) parete intelaiata, b) solaio telaio, c) divisoria x-Lam

#### 4. Metodiche di misurazione e strumentazione impiegata

Le verifiche in opera hanno riguardato i parametri previsti dal DPCM 05.12.1997 [1] e sono state eseguite in accordo con le norme UNI EN ISO della serie 140 [2] e 717 [3], in particolare:

Tabella 1 – elenco norme UNI EN ISO di riferimento.

<i>Parametro di misura</i>	<i>Riferimento UNI</i>
Indice del potere fonoisolante apparente per strutture interne verticali o orizzontali - $R'_w$	140-4 e 14 / 717-1
Indice del livello normalizzato del rumore da calpestio dei solai - $L'_{nw}$	140-7 e 14 / 717-2
Indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata - $D_{2m,nT,w}$	140-5 / 717-1
Livello di rumorosità degli impianti con funzionamento a ciclo discontinuo - $LAS_{Max}$	10052 [4]

Le prove sono state condotte impiegando la seguente strumentazione: analizzatore Sinus SoundBook MKII con microfono PCB Piezotronics 377B02. Sorgente sonora isotropica (dodecaedro) Look Line mod. D303, generatore di rumore da calpestio Look Line EM50; cassa direzionale per le facciate Look Line FL02; generatore di rumore impulsivo tipo “Clappatore”.

#### 5. Risultati ottenuti.

Nella tabella 2 si riportano i risultati complessivi dei rilievi eseguiti. I valori sono raggruppati per parametro. Per ciascun gruppo di dati viene indicata la percentuale di prove conformi rispetto al DPCM 05.12.1997, i valori minimi e massimi rilevati, la media aritmetica e la possibile classificazione del gruppo secondo la norma UNI 11367 [5] (sulla base della media logaritmica dei valori sperimentali considerata l'incertezza prevista nel prospetto F.2 della norma UNI 11367).

Tabella 2 – Risultati complessivi delle verifiche.

<i>Parametro</i>	<i>N prove</i>	<i>% positivi</i>	<i>Valore medio [dB]</i>	<i>Valore minimo [dB]</i>	<i>Valore massimo [dB]</i>	<i>Classe UNI 11367</i>
$R'_w$ pareti	6	100	59	50	64	II
$R'_w$ solai	4	100	55	53	58	II
$L'_{nw}$	8	50	64	58	74	NC
$D_{2m,nT,w}$	7	71	41	35	44	III
$LAS_{max}$	2	100	27	27.0	27.5	I

## 6. Confronto con la tipologia costruttiva tradizionale

Pur senza alcuna ambizione di tipo statistico, vista l'esiguità del campione analizzato, è stato fatto un confronto fra le prestazioni riscontrate negli edifici in legno e quelle relative alla tipologia tradizionale in laterocemento. Il campione di strutture "tradizionali" è composto da circa 300 elementi relativi ad edifici realizzati dopo l'entrata in vigore del DPCM 05.12.97. Considerando che il dato medio è penalizzato dal fatto che nel 60% dei casi le prove sono state commissionate a seguito di lamentele o in sede di contenzioso civile, il confronto è stato esteso alle migliori 10 strutture per ciascun parametro.

Tabella 3 – confronto costruzioni in legno vs. costruzioni in laterocemento.

<i>Parametro</i>	<i>Prestazione elementi in legno</i>	<i>Prestazione elementi in laterocemento (tutti)</i>	<i>Prestazione elementi in laterocemento (migliori 10)</i>
$R'_w$ pareti	59	48	53
$R'_w$ solai	55	53	56
$L'_{nw}$	64	64	53
$D_{2m,nT,w}$	41	34	39
$LAS_{max}$	27	38	29

## 7. Conclusioni

L'esperienza fatta su questa particolare tipologia di edifici ha messo in luce una serie di aspetti finora poco conosciuti, almeno da parte di chi scrive. Nel dettaglio si possono fare le seguenti osservazioni:

- $R'_w$  strutture verticali: i risultati delle prove in opera mostrano una netta superiorità rispetto alle strutture realizzate con tecnica tradizionale, a partire da spessori complessivi e con masse superficiali nettamente inferiori.
- $R'_w$  strutture orizzontali: le prestazioni complessive possono essere considerate analoghe alle strutture tradizionali. Mentre l'abbattimento alle frequenze medio alte risulta più che buono, alle basse frequenze le strutture leggere mostrano i loro limiti.
- $L'_{nw}$  solai: i risultati sono comparabili con il gruppo "esteso" di strutture tradizionali, mentre se si considerano le 10 migliori strutture, emerge come la maggior massa e rigidità dei solai in laterocemento sia in grado di smorzare meglio le vibrazioni in particolare alle basse frequenze. È stato osservato che i solai esaminati presentano le stesse criticità legate alla corretta posa in opera dello strato resiliente, del massetto e della pavimentazione rispetto ai solai tradizionali. In particolare è stato verificato che sulle strutture che non raggiungevano gli stan-

dard minimi, erano osservabili dei difetti di posa (collegamenti rigidi ai bordi) oppure vi erano dei dubbi sull'effettiva stratigrafia, dal momento che il massetto era stato realizzato da una squadra in subappalto.

- d.  $D_{2m,nT,w}$  facciate: rappresenta un altro punto a favore della tipologia costruttiva in legno. Il valore medio, fra il resto penalizzato da un elemento caratterizzato da un grave errore di montaggio del serramento (mancanza della battuta inferiore), risulta comunque superiore al valore dei migliori 10 tradizionali. La tipologia delle vetrocamere e dei telai è del tutto analoga a quanto riscontrabile nell'edilizia tradizionale, ne consegue che la differenza va ricercata nel montaggio più accurato del serramento sulla struttura.
- e.  $LAS_{max}$  impianti: Per quanto riguarda gli impianti, il ridotto numero di prove, dovuto al mancato allacciamento alla rete idrica di 3 dei cantieri visitati, non consente di fare alcuna valutazione. È tuttavia evidente che la disposizione razionale di impianti e accessori all'interno delle intercapedini, rappresenta una potenziale soluzione vincente risultando meno soggetta a tutte le variabili legate alla trasmissione di rumore e vibrazioni proprie degli impianti realizzati sotto-traccia in strutture in laterizio.

Un punto di forza delle costruzioni in legno è certamente rappresentato dalla precisione nell'accoppiamento dei vari elementi strutturali che giungono in cantiere già pre-assemblati. La realizzazione delle contropareti limita ulteriormente le trasmissioni laterali e permette l'installazione degli impianti senza dover intaccare con tracce o fori la struttura centrale che resta quindi perfettamente integra e continua.

Altro dettaglio importante riguarda l'inserimento dei serramenti nelle strutture perimetrali che avviene con tolleranze minime che, al contrario di quanto accade in un cantiere tradizionale, non richiedono l'impiego di schiume autoespandenti per tamponare le luci che rimangono fra il falso telaio e la struttura muraria.

Per contro si conferma che il punto critico è rappresentato dalla struttura del solaio che, nonostante offra prestazioni di isolamento aereo paragonabili alle strutture tradizionali, risente in maniera importante della corretta posa in opera dello strato resiliente, del massetto e della pavimentazione.

Dal punto di vista dei difetti evidenziati nella posa in opera, questi possono essere del tutto riconducibili a quanto riscontrabile in un cantiere tradizionale. Scorretta posa dello strato anticallpestio, collegamenti rigidi fra massetto e pareti laterali, errata posa in opera e/o regolazione degli infissi. L'impressione di chi scrive è comunque che le imprese che realizzano edifici in legno abbiano maggiore controllo su tutte le fasi di cantiere riuscendo a limitare l'impiego di maestranze in subappalto.

## 8. Bibliografia

- [1] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 dicembre 1997, Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici;
- [2] Serie UNI EN ISO 140, Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio
- [3] Serie UNI EN ISO 717, Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio
- [4] UNI EN ISO 10052, Acustica - Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea, del rumore da calpestio e della rumorosità degli impianti
- [5] UNI 11367, Acustica in edilizia. Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera.