

## PROGETTO INVOLUCRO: TRASMISSIONE LATERALE ATTRAVERSO GIUNTI IN CLT E GIUNTI MISTI MURATURA-CLT

Francesca Di Nocco (1), Federica Morandi (2) Anna Rovigatti (3), Luca Barbaresi (4), Massimo Garai (5)

- 1) CIRI-EC (Università di Bologna), Bologna, francesca.dinocco2@unibo.it  
 2) DIN (Università di Bologna), Bologna, federica.morandi6@unibo.it  
 3) CIRI-EC (Università di Bologna), Bologna, anna.rovigatti2@unibo.it  
 4) DIN (Università di Bologna), Bologna, luca.barbaresi@unibo.it  
 5) DIN (Università di Bologna), Bologna, massimo.garai@unibo.it

### SOMMARIO

Il progetto *Involucro* è un progetto di ricerca finanziato dalla Regione Emilia-Romagna nell'ambito del POR-FESR 2014-2020 ed ha lo scopo di ottenere un sistema di facciata ventilata ad alte prestazioni termiche ed acustiche attraverso un'indagine sperimentale in condizioni reali, provando diverse soluzioni innovative. In questo articolo verranno mostrati i primi risultati della campagna di misure di trasmissione laterale condotta sulla struttura degli edifici test realizzati per il progetto.

### 1. Introduzione

Il progetto *Involucro* riguarda l'innovazione della soluzione tradizionale di facciata ventilata, con l'obiettivo di incrementarne le prestazioni non solo energetiche ma anche acustiche. Uno degli obiettivi è stato quello di indagare e controllare la trasmissione delle vibrazioni nei giunti di facciata con e senza continuità materica e la progettazione dettagliata dei collegamenti. I modelli previsionali presenti nella normativa di riferimento ISO 12354:2017 [1, 2] non contengono strumenti idonei per la determinazione della trasmissione laterale di giunti particolari come quelli presenti in questo studio. Il lavoro è stato svolto in continuità con i precedenti lavori di ricerca già sviluppati dal gruppo di acustica dell'Università di Bologna [3] nell'ambito di ricerca della caratterizzazione acustica di strutture in Cross Laminated Timber (CLT).

### 2. Progetto Involucro

Il progetto *Involucro* nasce con l'obiettivo di incrementare le prestazioni termiche della facciata ventilata, a partire da una soluzione tradizionale e successivamente impiegando materiali innovativi per ridurre il carico termico estivo, ad esempio lastre ceramiche ad elevato indice di riflettanza solare (SRI) o lastre porose di medio formato per il rivestimento esterno, oppure aumentando l'inerzia termica con l'applicazione di materiali a cambiamento di fase (PCM) integrati nei pannelli di rivestimento. A tal fine sono stati realizzati due edifici test per la verifica sperimentale del comportamento energetico di diverse tipologie di facciate ventilate esposte alle medesime condizioni climatiche (Fig. 1).



Figura 1 - Edifici test realizzati nell'ambito del progetto *Involucro*.

Nel corso della fase sperimentale del progetto verranno provate complessivamente otto diverse soluzioni di rivestimen-

to innovative e non, che verranno di volta in volta installate sulla torretta test (a sinistra nella figura 1) e monitorate per un periodo pari a 10 giorni. Contemporaneamente sarà possibile confrontare i risultati con quelli acquisiti dal monitoraggio della soluzione fissa standard presente nella torretta di riferimento (nella figura 1 a destra).

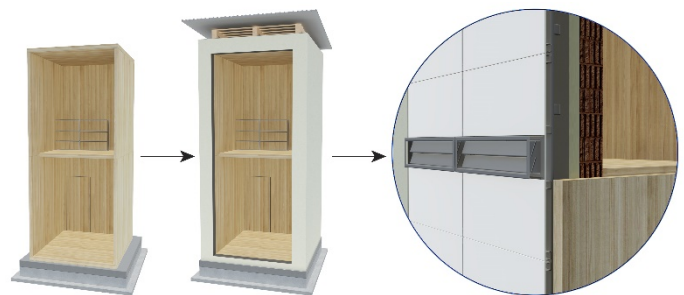


Figura 2 - Render delle fasi principali per la costruzione degli edifici test e a destra il dettaglio schematizzato della facciata ventilata.

Entrambi gli edifici test hanno lo stesso assetto strutturale a pianta rettangolare (3,4 m x 3,2 m) con uno sviluppo su due livelli per un'altezza totale di circa 7 m. La struttura portante è costituita da pannelli in CLT dello spessore di 10 cm e 12 cm, rispettivamente per gli elementi verticali e per quelli orizzontali (Fig. 2). Il tamponamento di base della parete Sud, in cui verranno applicate le diverse soluzioni di facciata ventilata, è invece composto da blocchi di laterizio rettificati ad incastro di dimensioni 25x30x19,9 cm e da pannelli di lana di roccia di spessore 10 cm. Esternamente, su tutte le pareti ad esclusione di quella Sud, è stato applicato un cappotto termico in EPS di 26 cm di spessore, progettato in modo tale da garantire la continuità di isolamento termico di copertura e del solaio contro terra, riducendo al minimo i ponti termici. Infine, la copertura presenta un elemento autoportante e aggettante in lamiera, con lo scopo di contribuire all'ottimizzazione del sistema attraverso l'ombreggiamento di facciata e alla protezione dagli agenti atmosferici della struttura principale (Fig. 2).

### 3. Metodo e set-up per le misure di trasmissione laterale

Le strutture in CLT, secondo l'attuale classificazione normativa, ricadono all'interno della categoria delle strutture di ti-

po A [1]. Per questa ragione, anche se è ancora oggetto di discussione [3], la trasmissione laterale è caratterizzata dall'indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$ . Le misure sono state condotte secondo il metodo descritto nella ISO 10848-1:2017 [4] per la determinazione degli indici di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  di tutti i percorsi di trasmissione significativi in due configurazioni principali, ovvero con la facciata senza rainscreen e con la facciata completa. Come sorgente per l'eccitazione della struttura è stato utilizzato il martello strumentato, con l'impiego di diverse punte nel caso di eccitazione della parete in muratura (gomma, teflon, acciaio).

Secondo la ISO 10848-1, il  $K_{ij}$  si calcola come segue:

$$(1) \quad K_{ij} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \quad [\text{dB}]$$

dove  $D_{v,ij(ji)}$  è la differenza dei livelli di velocità tra gli elementi  $i(j)$  e  $j(i)$ ,  $l_{ij}$  è la lunghezza del giunto e  $a_i$  e  $a_j$  sono le lunghezze di assorbimento equivalenti, così definite:

$$(2) \quad a_{i(j)} = \frac{2,2 \pi^2 S_{i(j)}}{c_0 T_{s,i(j)}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad [\text{m}]$$

dove  $S_{i(j)}$  è la superficie del pannello,  $T_{s,i(j)}$  è il tempo di riverberazione strutturale,  $f_{ref}$  è la frequenza di riferimento pari a 1000 Hz e  $c_0$  la velocità del suono nell'aria.

In riferimento alla figura 3, sono stati indagati i seguenti giunti della struttura dell'edificio test:

- 1) il giunto a T orizzontale presente sulle facciate Est ed Ovest costituito da una parete continua in CLT 100 mm (EF-OP) e da un solaio a sbalzo in CLT 120 mm (XY), collegati mediante coppie di viti tutto filetto 7x140 inclinate a 45° e passo 30 cm;
- 2) il giunto a T orizzontale sulla facciata Sud costituito dalla parete in blocchi di laterizio rettificati ad incastro di dimensioni 25x30x19,9 cm (AB-IL) e dal solaio in CLT 100 mm (XY), non collegati tra di loro;
- 3) i due giunti ad L verticali sulla facciata Sud costituiti dalla parete in blocchi di laterizio (AB-IL) e dalla parete in CLT 100 mm (EF-OP) collegate con coppie di viti ogni 3 corsi;
- 4) il giunto ad L verticale presente sulla facciata Nord costituito da pareti in CLT 100 mm (OP e ST), collegate mediante viti HBS 8x200 passo 30 cm con inclinazioni alternate.

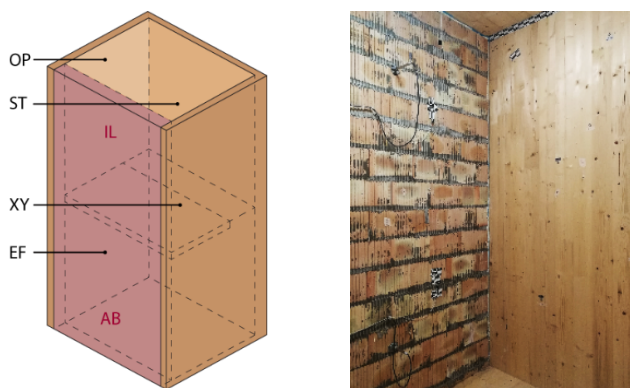


Figura 3 - Nell'immagine di sinistra la nomenclatura utilizzata per caratterizzare le misure, a destra foto del giunto muratura-CLT.

#### 4. Risultati

Il grafico (Fig. 4) mostra l'andamento dei  $K_{ij}$  misurati nella configurazione con la facciata completa, considerando lo spettro di frequenze da 100 Hz a 3150 Hz. Sono rappresentati i percorsi di trasmissione principali e per i percorsi simmetrici è

stata effettuata la media aritmetica fra i due percorsi in esame. Date le differenze minime fra i risultati ottenuti dalle misure eseguite con le diverse punte del martello strumentato, si è scelto di mostrare i risultati dei  $K_{ij}$  dei percorsi misurati utilizzando la punta in gomma per l'eccitazione di tutti gli elementi.

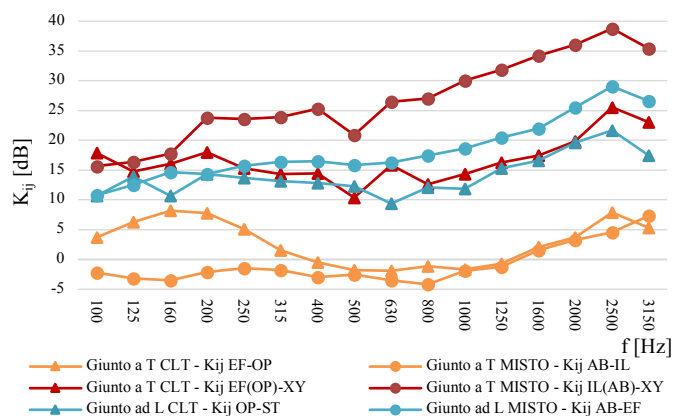


Figura 4 - Indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  misurato in opera per il giunto a "T" in CLT e per il giunto a "T" misto muratura-CLT.

Dai risultati ottenuti (Fig. 4) si può notare un comportamento anomalo alle basse frequenze per il percorso EF-OP del giunto passante in CLT, fenomeno che non si verifica per il percorso AB-IL nel caso del giunto a T misto muratura-CLT.

Il percorso IL(AB)-XY è caratterizzato da valori molto alti poiché gli elementi non sono collegati in modo solidale tra di loro. I percorsi EF(OP)-XY e OP-ST presentano un andamento molto simile pur appartenendo a due tipologie diverse di giunti in CLT, rispettivamente a T e ad L.

Infine, dal confronto dei valori dei  $K_{ij}$  del giunto ad L in CLT misurati in questo studio con i valori misurati per la stessa tipologia nel lavoro precedente [3], in condizioni di "bordi liberi", si può affermare che le condizioni al contorno incidono fortemente nel range delle medio-basse frequenze.

#### 5. Conclusioni

Nell'ambito del progetto *Involucro*, è stata condotta una campagna di misure di trasmissione laterale in accordo con la normativa ISO 10848-1, con lo scopo di ottenere dati sperimentali sugli indici di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  da poter utilizzare nel modello previsionale per la determinazione dell'isolamento di facciata. Lo step successivo consisterà nel verificare la compatibilità del modello di calcolo previsionale, non solo in merito all'applicabilità del metodo su sistemi complessi come quello della facciata ventilata, ma anche in relazione all'introduzione nel modello di calcolo di valori sperimentali dei  $K_{ij}$  misurati in condizioni reali e non di valori teorici o calcolati con formule empiriche basate su dati di laboratorio.

#### 6. Bibliografia

- [1] ISO 12354-1:2017, *Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 1: Airborne sound insulation between rooms.*
- [2] ISO 12354-3:2017, *Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound.*
- [3] Morandi F., De Cesaris S., Garai M., Barbaresi L. *Measurement of flanking transmission for the characterisation and classification of cross laminated timber junctions*, Applied Acoustics, 141, pp. 213-222, 2018.
- [4] ISO 10848-1:2017, *Acoustics - Laboratory and field measurement of flanking transmission for airborne, impact and building service equipment sound between adjoining rooms - Part 1: Airborne sound insulation between rooms.*