

La modellazione di edifici in XLAM

Mauro Andreolli, ingegnere e co-fondatore Timber Tech Srl

Introduzione

Gli **edifici multipiano in legno** con struttura in XLAM sono ormai una realtà nel panorama del settore edile in Europa e nel resto del mondo. Una delle caratteristiche che ne ha favorito la diffusione è sicuramente la prefabbricazione che permette di ridurre di molto i tempi di costruzione. Il montaggio di strutture realizzate mediante elementi prefabbricati a pannello risulta infatti estremamente veloce grazie all'utilizzo di **collegamenti meccanici** di facile installazione. Tali collegamenti giocano un ruolo fondamentale nella risposta sismica degli edifici e pertanto il loro comportamento deve essere colto quanto più precisamente possibile nelle **modellazioni realizzate mediante i software di calcolo ad elementi finiti**. Tali **modellazioni possono risultare anche molto complesse** comportando un notevole dispendio di tempo per il progettista strutturale, dovendo quest'ultimo procedere al calcolo delle rigidità dei diversi componenti della parete e al successivo assemblaggio mediante gli strumenti messi a disposizione dal software in uso.

Le pareti in XLAM hanno la funzione di assorbire i carichi verticali e allo stesso tempo svolgono anche l'importante funzione di controventare l'edificio nei confronti dei carichi laterali.

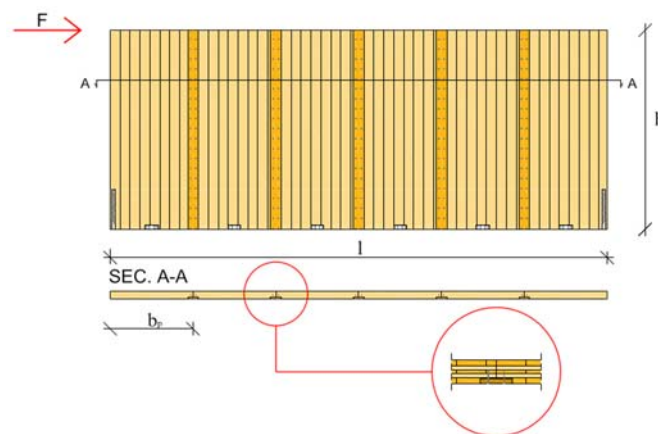


Figura 1 Esempio di una parete in XLAM giuntata

Un'accurata modellazione di una **parete segmentata in XLAM**, cioè una parete composta da più pannelli XLAM collegati tra loro da giunti verticali, comporta l'utilizzo di elementi del tipo "shell" per i pannelli ed elementi "link" per schematizzare i collegamenti sia interni (giunti verticali) sia esterni (ancoraggi a vincolo della parete). **Al fine di snellire le operazioni legate alla modellazione e alla progettazione degli elementi strutturali** può essere interessante adottare modelli analitici sviluppati ad hoc, in grado di garantire risultati adeguati e affidabili con l'ulteriore vantaggio di essere **meno dispendiosi in termini di tempo e molto più gestibili**.

In questa pubblicazione si mostrerà un **confronto tra la modellazione di una parete XLAM con un programma agli elementi finiti e mediante il modello analitico sviluppato all'Università di Trento** (implementato nel software TimberTech Buildings).

Modello sviluppato mediante solutore ad elementi finiti

Si riporta di seguito un esempio di modellazione dettagliata di una parete, mediante la **modellazione di tutti gli elementi con la loro effettiva rigidezza**. Per stimare correttamente la rigidezza orizzontale della parete, comprensiva di tutte le connessioni meccaniche presenti, si sono utilizzati:

- elementi “shell” per modellare i pannelli in X-Lam;
- elementi “link” per modellare il giunto verticale tra i diversi pannelli;
- elementi “link” per modellare l’hold-down, il contatto parete-fondazione e gli angolari a taglio presenti alla base della parete.

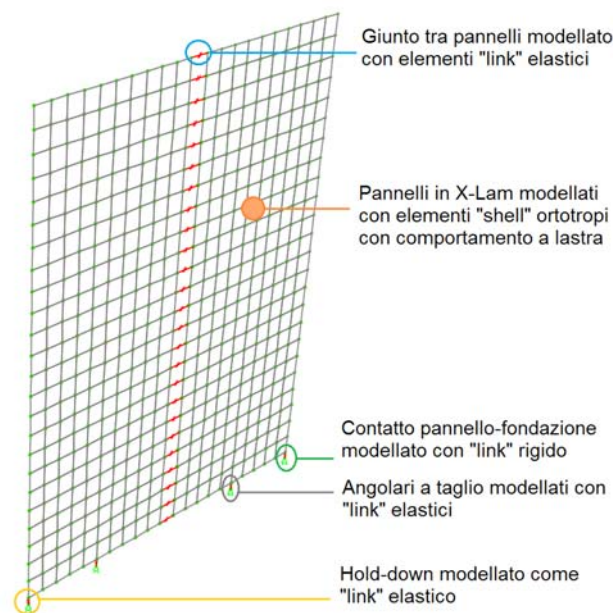


Figura 2 Modellazione di una parete segmentata in XLAM con un software ad elementi finiti

Appare chiaro che una simile modellazione può essere utilizzata a fini di ricerca, ma risulta **difficilmente applicabile nella pratica professionale quotidiana** a seguito dell’elevatissimo dispendio in termini di tempo ed energie richiesti.

Modello sviluppato all’Università di Trento

Il modello UNITN è frutto della ricerca condotta all’Università di Trento (gruppo di ricerca Prof. Maurizio Piazza – prof. Roberto Tomasi) e si presenta come un modello analitico in grado di schematizzare il comportamento degli edifici in legno tenendo in considerazione la rigidezza di tutti i componenti in gioco ed in particolar modo delle connessioni.

Lo spostamento elastico orizzontale di una parete giuntata in X-Lam soggetta ad un carico orizzontale è dato dalla somma dei seguenti contributi:

- lo spostamento Δ_c dovuto allo scorrimento tra i diversi pannelli componenti la parete (deformazione giunto);
- lo spostamento Δ_n dovuto alla rotazione rigida della parete (dovuto alle connessioni a trazione);
- lo spostamento Δ_a dovuto alla traslazione rigida della parete (dovuto alle connessioni a taglio).
- lo spostamento Δ_p dovuto alla deformazione a taglio del pannello;

come presentato analiticamente dalla seguente equazione

$$\Delta = \Delta_c + \Delta_h + \Delta_a + \Delta_p$$

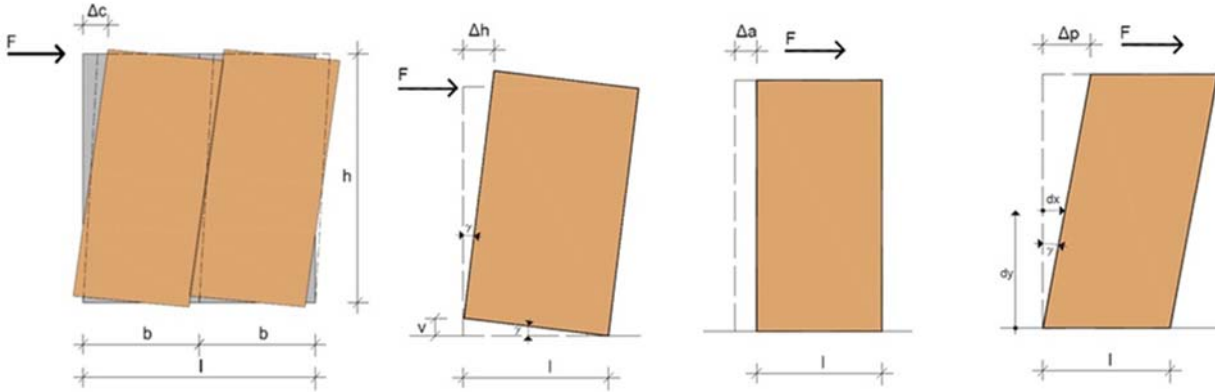


Figura 3 Contributi di deformazione in una parete segmentata in XLAM

Le espressioni che possono essere utilizzate per calcolare i diversi termini, per semplicità senza tener conto della deformabilità dei giunti verticali, sono di seguito esposte.

- Per la valutazione dello spostamento dovuto alla rotazione rigida della parete si deve valutare innanzitutto lo spostamento verticale dovuto alla deformabilità della connessione a trazione dato da

$$\Delta_v = \frac{T}{k_h}$$

in cui:

T è la forza di trazione agente sulla connessione a trazione (hold-down)

k_h è la rigidezza della connessione

Considerando un meccanismo di ribaltamento globale della parete è quindi possibile valutare lo spostamento orizzontale in sommità alla stessa

$$\Delta_h = \frac{h}{br} \cdot \Delta_v$$

dove:

br è il braccio della coppia di forze composta dalla trazione agente sull'hold-down e la risultante delle pressioni di contatto sul lato opposto della parete

- Per lo spostamento Δ_a dovuto alla deformabilità delle connessioni a taglio (traslazione rigida della parete) si ha

$$\Delta_a = \frac{F}{k_a \cdot n_a}$$

in cui:

k_a è la rigidezza della singola connessione a taglio

n_a è il numero di connessioni a taglio presenti

- Lo spostamento dovuto alla deformazione a taglio del pannello XLAM può essere valutata come

$$\Delta_p = \frac{F \cdot h}{G_{eff,XLAM} \cdot A_p}$$

in cui:

h è l'altezza della parete

$G_{eff,XLAM}$ è il modulo elastico di taglio efficace del pannello XLAM

A_p è l'area relativa alla sezione trasversale orizzontale del pannello

La modellazione mediante l'utilizzo del modello UNITN risulta essere molto agevole, in quanto l'onere del calcolo e dell'assemblaggio delle rigidezze dei diversi componenti di ogni parete viene demandato ad un apposito solutore in grado di cogliere il comportamento della parete in modo molto accurato.

Una descrizione del modello UNITN è stata pubblicata nell'articolo "D. Casagrande, S. Rossi, T. Sartori, R. Tomasi, Proposal of an analytical procedure and a simplified numerical model for elastic response of single-storey timber shear-walls" in CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, v. 2015, (2015).

Le formule analitiche presentate dagli autori consentono una rapida definizione delle molle equivalenti del modello, garantendo tra il resto la possibilità **di modificare con facilità la rigidezza globale di ogni parete sulla base della variazione delle proprietà dei componenti**. Tale modello ben si presta ad essere implementato in un software di calcolo anche perché, mediante lo stesso, è possibile eseguire delle analisi per la determinazione della risposta globale dell'edificio a carichi orizzontali **con valori di rigidezza delle pareti di volta in volta aggiornati**, cogliendo pertanto l'influenza dovuta alla modifica del tipo di connessione utilizzata sul comportamento globale della struttura.

Caso studio

Si riporta di seguito in forma schematica un esempio relativo al confronto tra i risultati del modello analitico e una modellazione ad elementi finiti per una parete segmentata.

Proprietà geometriche e meccaniche della parete

Parete

- Lunghezza: $l = 7500$ mm
- Altezza: $h = 3000$ mm

Proprietà del pannello XLAM

- 120 mm 5s (30V-200-20V-200-30V)
- Materiale: C24
- Modulo di taglio efficace: $G_{eff} = 574$ MPa
- Base del pannello standard: $b_p = 1250$ mm

Proprietà connessioni di base

- 1 hold-down per estremità di parete
Rigidezza singolo hold-down: $K_{hd} = 19977 \text{ kN/m}$
- 6 angolari a taglio, uno per pannello
Rigidezza angolare a taglio: $K_a = 52186 \text{ kN/m}$

Proprietà tavola coprigiunto

- Materiale tavola: KertoQ
- Spessore tavola: $t_t = 27 \text{ mm}$
- Spaziatura tra i connettori: $s_c = 125 \text{ mm}$
- Rigidezza del singolo connettore: $k_{ser} = 1881 \text{ N/mm}$
-

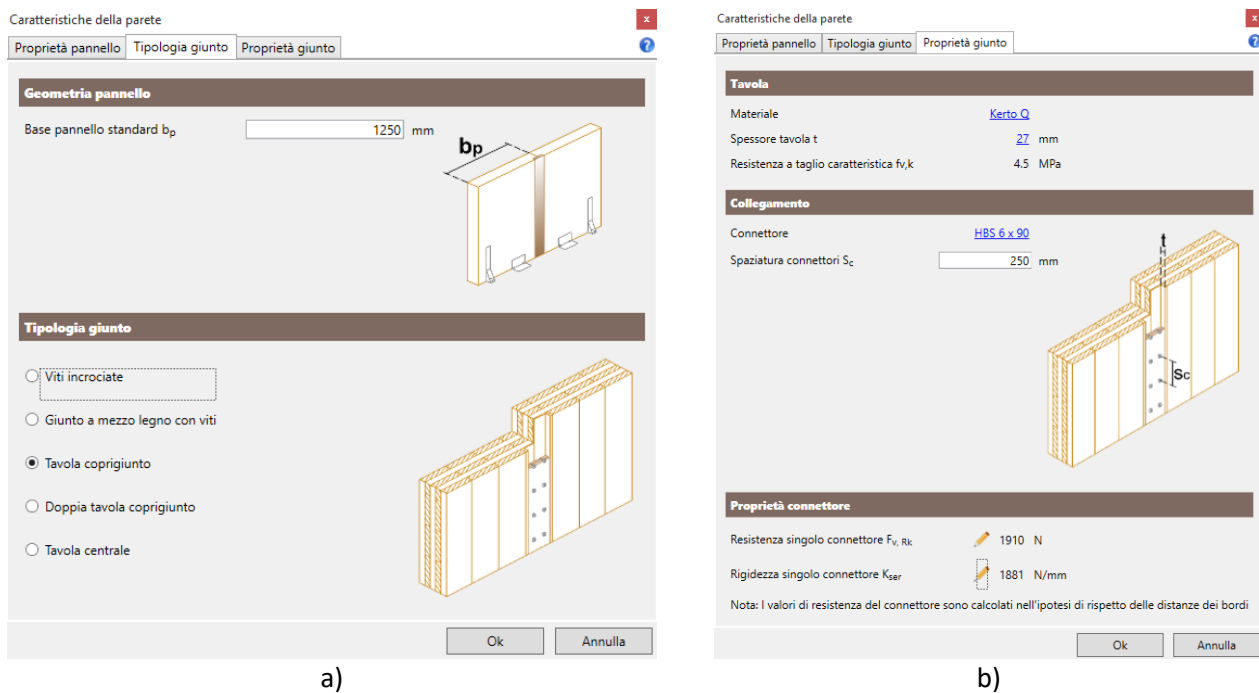


Figura 4 Definizione delle proprietà della parete nel software TimberTech Buildings: a) Tipologia giunto b) Proprietà del giunto

Confronto tra modellazioni

Nella tabella seguente sono messi a confronto i valori degli spostamenti dovuti alle deformabilità dei diversi componenti della parete XLAM, nonché la rigidezza equivalente a taglio dell'intera parete ottenuti mediante il modello UNITN (implementato nel software TimberTech Buildings) e mediante una modellazione raffinata ad elementi finiti (nello specifico eseguita con il software SAP2000).

	MODELLO UNITN	PROGRAMMA AD ELEMENTI FINITI
SPOSTAMENTO DOVUTO ALLA DEFORMAZIONE DEI CONNETTORI	$\frac{\Delta_c}{F} = 0,03544 \frac{mm}{kN}$	$\frac{\Delta_c}{F} = 0,03474 \frac{mm}{kN}$
SPOSTAMENTO DOVUTO ALLA DEFORMAZIONE DEL PANNELLO	$\frac{\Delta_p}{F} = 0,00581 \frac{mm}{kN}$	$\frac{\Delta_p}{F} = 0,00578 \frac{mm}{kN}$
SPOSTAMENTO DOVUTO ALLA TRASLAZIONE RIGIDA DEL PANNELLO	$\frac{\Delta_a}{F} = 0,00319 \frac{mm}{kN}$	$\frac{\Delta_a}{F} = 0,00320 \frac{mm}{kN}$
SPOSTAMENTO DOVUTO ALLA ROTAZIONE RIGIDA DEL PANNELLO	$\frac{\Delta_h}{F} = 0,00801 \frac{mm}{kN}$	$\frac{\Delta_h}{F} = 0,00819 \frac{mm}{kN}$
SPOSTAMENTO ORIZZONTALE TOTALE	$\frac{\Delta_{TOT}}{F} = 0,05248 \frac{mm}{kN}$	$\frac{\Delta_{TOT}}{F} = 0,05191 \frac{mm}{kN}$
RIGIDEZZA EQUIVALENTE A TAGLIO DELLA PARETE	$k_{par} = 19054 \frac{kN}{m}$	$k_{par} = 19264 \frac{kN}{m}$

I grafici a seguire, relativi al modello UNITN, mostrano l'entità relativa dei diversi contributi di deformazione della parete.

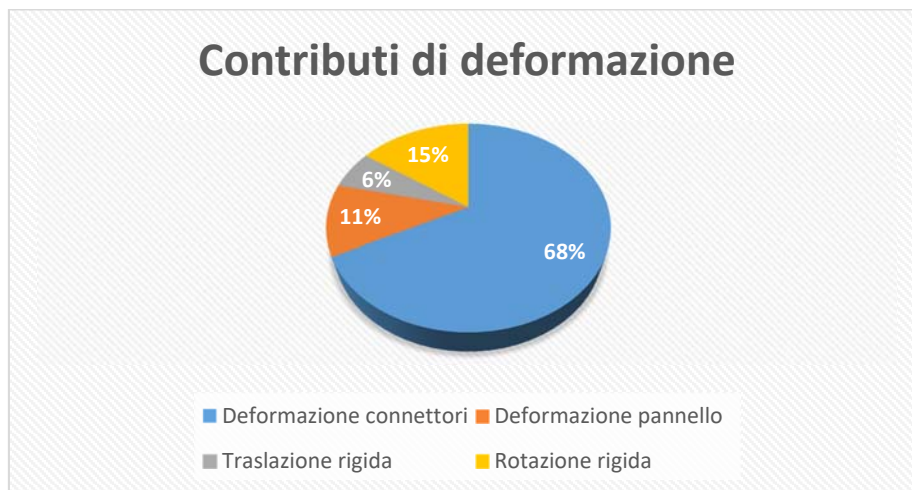


Figura 5 Contributi di deformazione mediante modello UNITN

Per quanto riguarda i risultati del modello ad elementi finiti si riportano di seguito le deformate associate ai diversi contributi di spostamento.

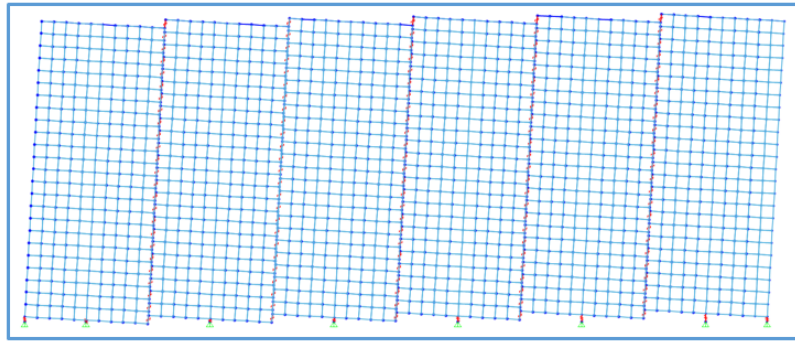


Figura 6 Deformazione dei connettori tra i giunti

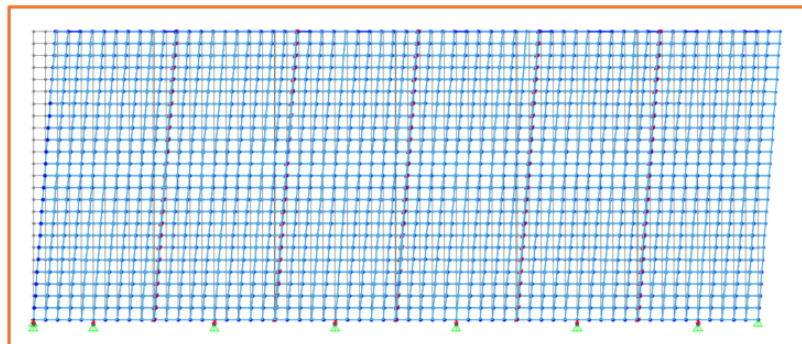


Figura 7 Deformazione dei pannelli

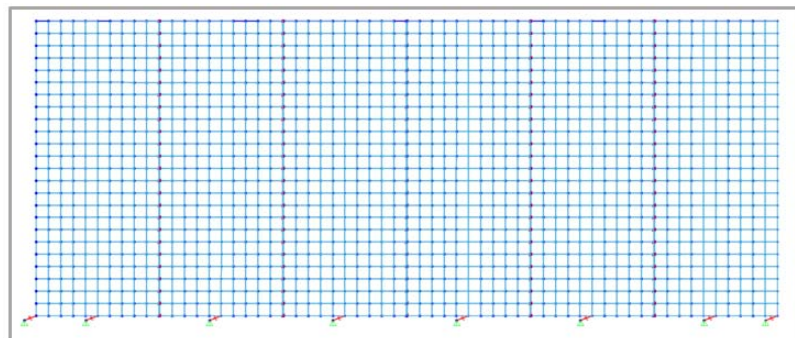


Figura 8 Traslazione rigida della parete

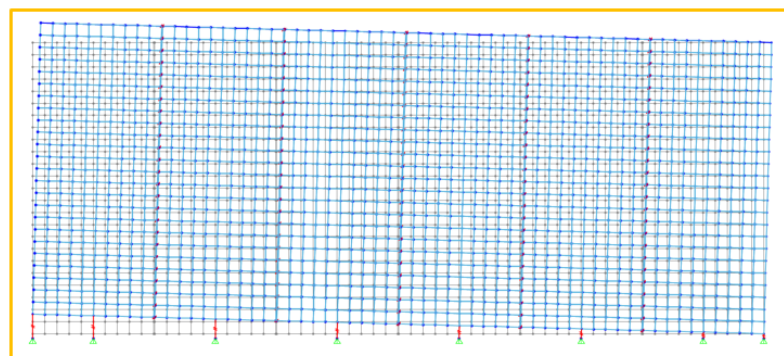


Figura 9 Rotazione rigida della parete10 Rotazione rigida della parete

I risultati mostrano come i contributi di deformazione nei due modelli, UNITN e ad elementi finiti, risultino del tutto comparabili. Si noti inoltre come il contributo di deformazione maggiore sia quello legato alla deformabilità dei giunti verticali.

Nel seguito si presenta una relazione di calcolo generata con il software TimberTech Buildings. Si ringrazia lo studio Wood&Life Srl ed in particolare l'Ing. Valerio Bolognini per aver fornito il modello qui utilizzato (modificato per la redazione del presente esempio di calcolo).