

# Edifici multipiano con struttura portante in pannelli CLT: tecnologie realizzative e strategie di progettazione

Stefano Pacchioli<sup>a,b,c</sup>, Andrea Polastri<sup>b</sup>, Peter Pacchioli<sup>c</sup>, Elmar Mattevi<sup>c</sup>, Luca Pozza<sup>a</sup>

*a Dipartimento di ingegneria civile, chimica, ambientale e dei materiali, Università di Bologna, viale Risorgimento 2 - Bologna, 40136, Italia*

*b Istituto per la Bioeconomia - Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IBE)*

*c STP srl – ufficio tecnico*

## Abstract

*Negli ultimi anni si è assistito ad un significativo aumento dell'utilizzo di pannelli di legno ingegnerizzato a strati incrociati tipo CLT (Cross Laminated Timber) per la realizzazione di edifici multipiano anche in zone ad elevata sismicità. Tale sviluppo è riconducibile principalmente ai numerosi pregi del materiale legno ingegnerizzato, tra tutti la sostenibilità, la prefabbricazione, la leggerezza e le ottime proprietà meccaniche del pannello ligneo.*

*Negli edifici multipiano in CLT, i sistemi di connessione impiegati per resistere alle sollecitazioni di trazione alla base indotte dai meccanismi di ribaltamento delle pareti controventanti governano sia la rigidità che la resistenza ad azioni orizzontali del sistema strutturale. Tale problematica risulta particolarmente significativa per i sistemi strutturali a lame isolate per le quali si riscontra una concentrazione locale di sollecitazioni di trazione sulle connessioni di base in quanto l'effetto stabilizzante dei carichi verticali risulta modesto e a volte addirittura trascurabile.*

*Lo scopo del presente lavoro è quello di approfondire le problematiche sopra descritte sintetizzando i risultati dei principali studi scientifici condotti sul tema e riportando alcune esperienze di progettazione significative. Con riferimento al problema della localizzazione delle forze di trazione sulle connessioni alla base si analizzano delle soluzioni tecnologiche alternative alle connessioni standard tipo Hold-down tra le quali le più promettenti risultano essere quelle che prevedono l'impiego di sistemi del tipo Tie-down. I temi sopra descritti verranno approfonditi anche con riferimento alle tematiche della corretta modellazione strutturale e specificati nell'ambito di un caso di studio significativo di edificio multipiano.*

**Keywords** Cross-Laminated Timber (CLT), progettazione sismica, strutture in legno, edifici multipiano, Tie-down, edifici alti in CLT

## Introduzione

Il legno è un materiale naturale, che negli ultimi anni, grazie soprattutto all'introduzione di alcuni prodotti a base di legno ingegnerizzato come il Cross-Laminated-Timber (CLT) ha conosciuto nuovi ed importanti sviluppi. Le sue proprietà permettono infatti di realizzare edifici sicuri, efficienti e sostenibili. Il materiale legno è da sempre stato utilizzato per costruire fin dall'antichità, ma è negli ultimi decenni che il settore ha visto un nuovo rilancio e una costante crescita. Questo fenomeno è legato ai pregi del legno ingegnerizzato, primi fra tutti la sostenibilità e la rinnovabilità della risorsa. Questi non sono gli unici vantaggi, in quanto si è dimostrato che i pannelli in CLT possono essere anche usati come sistemi resistenti alle forze sismiche [1] grazie alla loro elevata resistenza e rigidità nel piano e alla possibilità di realizzare giunzioni pannello-pannello e pannello fondazione in grado di dissipare energia. Le strutture realizzate in CLT riescono quindi a garantire ottime caratteristiche in termini di resistenza sismica, durabilità, prestazioni energetiche e sono veloci da costruire grazie all'elevato grado di prefabbricazione [2]. Tutti questi vantaggi fanno in modo che il sistema costruttivo CLT si presti bene alla realizzazione di edifici multipiano con architetture contemporanee anche in zone ad elevata sismicità [3]. In particolare, allo scopo di evitare un eccessivo consumo di suolo sono state proposte nuove soluzioni strutturali tali da favorire lo sviluppo in altezza delle costruzioni. Per questo il mondo della ricerca, ed in particolare il presente lavoro si pone come scopo quello di approfondire il tema degli edifici multipiano, realizzati interamente in CLT e controventati con un numero di pareti limitato, in modo da soddisfare le esigenze architettoniche di pianta libera. Il comportamento strutturale degli edifici in CLT è governato dall'interazione tra pannello ed elemento di connessione. Alle connessioni meccaniche è infatti assegnato il compito di collegare tra loro i singoli pannelli impedendone il ribaltamento e lo scorrimento e garantendo la capacità di dissipare energia quando sottoposte ad azioni di tipo ciclico. Nella realizzazione di edifici multipiano in CLT, si utilizzano connettori tradizionali chiodati del tipo Hold-down e angular bracket, tali connettori sono stati originariamente pensati e progettati per altre tipologie costruttive (es.

costruzioni a telaio leggero) e adattati alle strutture CLT con minime modifiche [4]. I connettori appena descritti, presentano limitate resistenze e rigidità risultando, come dimostrato da numerosi studi disponibili in letteratura, non adatti alla progettazione di edifici multipiano [5] [6]. Va osservato infatti che, in edifici multipiano caratterizzati da un numero di setti sismo-resistenti limitato, le sollecitazioni nei connettori resistenti a trazione risultano particolarmente elevate in quanto l'effetto ribaltante generato dalle forze orizzontali risulta essere predominante rispetto all'effetto stabilizzante dei carichi verticali. Un ulteriore aspetto significativo riguarda la deformabilità delle strutture in CLT quando sollecitate da azioni orizzontali. Tale deformabilità è imputabile principalmente ai fenomeni di rocking che sollecitano le connessioni resistenti a trazione poste alla base dell'edificio e a livello di interpiano. La limitata rigidità di tali connessioni amplifica gli spostamenti laterali della parete controventante in particolare quando le pareti di controvento sono snelle. È quindi fondamentale definire una corretta metodologia di modellazione per lo studio del comportamento sismico di edifici multipiano in grado di tener conto della deformabilità conferita alla struttura da ogni singolo componente, ed in particolare dagli elementi di connessione.

Nell'ambito di questo lavoro, si è analizzato in dettaglio il comportamento strutturale degli edifici multipiano valutando anche l'efficacia di tipologie di connessione alternative a quelle tradizionali e a quelle già disponibili in letteratura [7-10], che prevedono l'impiego di sistemi di tipo Tie-down (tiranti verticali). Tali soluzioni risultano essere più efficienti e prestanti rispetto ai connettori tradizionali tipo Hold-down e di più semplice applicazione e realizzazione rispetto ai sistemi complessi sopra citati. In particolare, si è verificata la capacità resistente dei sistemi a Tie-down e la loro funzione irrigidente in modo da renderne gli spostamenti della struttura compatibili con quelli degli elementi non strutturali (impianti, vetrate...).

I risultati ottenuti nell'ambito di questo studio hanno dimostrato che l'impiego di una tecnologia di connessione tipo Tie-Down consente di realizzare delle lame di controventamento in CLT ad elevate prestazioni sia in termini di rigidità che di resistenza alle azioni orizzontali. Questo ha una significativa ricaduta sull'impostazione progettuale degli edifici multipiano in CLT offrendo la possibilità di gerarchizzare il sistema di pareti sismo resistenti. Tale approccio di progettazione, alternativo a quello tradizionale che sfrutta tutte le pareti disponibili, prevede di individuare un numero di pareti controventanti limitato (possibilmente con una distribuzione regolare in pianta) mentre le restanti pareti devono resistere solamente alle azioni verticali. In quest'ottica è possibile ottimizzare il numero di connessioni inoltre, in seguito ad un evento sismico, è possibile effettuare il loro controllo ed eventuale sostituzione essendo limitato il numero di elementi da ispezionare.

### Approccio progettuale tradizionale valido per edifici in CLT di medio-piccole dimensioni

Tipicamente la progettazione di strutture in CLT di piccole e medie dimensioni, con un numero indicativo massimo di 4 piani, ipotizza che tutte le pareti lignee non forate resistano ai carichi verticali gravitazionali che a quelli orizzontali quali vento o sisma. È quindi necessario disporre su ogni parete elementi di connessione in grado di resistere alle forze di trazione (Hold-down, generalmente disposti ai lati) e alle forze di taglio (angular bracket, disposti sul bordo inferiore) e di limitare gli spostamenti degli edifici in presenza di forze orizzontali come riportato in Figura 1.

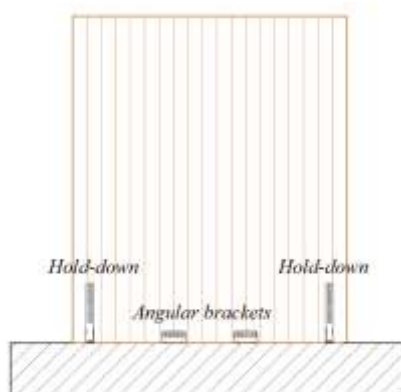


Fig. 1. Rappresentazione schematica connessioni tradizionali ed esempio di parete in CLT connessa in fondazione con Hold-down e angular brackets (foto archivio azienda STP)

Le numerose strutture realizzate negli ultimi anni hanno dimostrato come queste tipologie di connessioni, ideate inizialmente per edifici con struttura portante a telaio, siano in grado di stabilizzare e di conferire sufficiente rigidità agli edifici caratterizzati da uno sviluppo in altezza limitato e con setti di controvento e dalla geometria tozza. Per

rispettare le verifiche imposte dalla normativa in termini di resistenza e di spostamenti la tipologia di progettazione appena descritta necessita di un numero elevato di lame e di elementi di connessione per resistere ai carichi orizzontali. A titolo esemplificativo si riporta in Figura 2 un estratto del progetto strutturale e alcune viste di un edificio alberghiero multipiano, posto in zona a media sismicità e progettato secondo i criteri tradizionali.



Fig. 2. Estratto di progetto strutturale azienda STP e vista dall'alto delle pareti e dei sistemi di connessione utilizzati per il collegamento tra pannelli CLT-fondazione (sopra). Vista globale dell'edificio ultimato ed in funzione (sotto).

Una disposizione di pareti e di connessioni di questo tipo, oltre a risultare vincolante da un punto di vista architettonico, è particolarmente onerosa qualora fosse necessario un controllo ed una sostituzione degli elementi strutturali ad esempio in seguito ad un evento sismico. Un altro problema che si riscontra nelle strutture in CLT multipiano, è legato alle elevate forze di trazione che nascono alle estremità delle pareti. Tale problema si verifica in particolar modo in prossimità del collegamento tra parete e fondazione dove il momento ribaltante è massimo. In questo caso la soluzione adottata, qualora si vogliono utilizzare Hold-down tradizionali, consiste nell'andare ad affiancare più connettori facendoli lavorare in parallelo, come riporta la Figura 3.

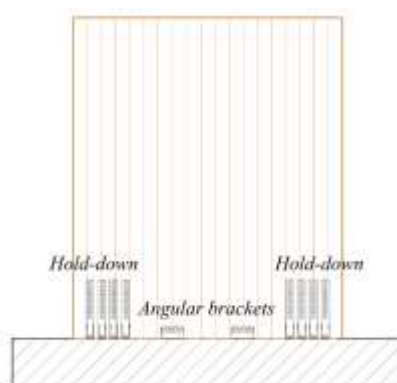


Fig. 3. Rappresentazione schematica ed esempio di parete in CLT connessa in fondazione con Hold-down disposti in serie (foto archivio azienda STP)

Da un punto di vista teorico la soluzione appena descritta consente di raggiungere resistenze elevate, andando a sommare il contributo di ogni singolo connettore. Da un'analisi attenta del sistema di collegamento si evince che tale soluzione è poco efficace in quanto: si verifica un'importante diminuzione del braccio di leva, non si sfrutta la resistenza di tutti i connettori ed infine si possono innescare rotture di tipo fragile a livello degli inghisaggi impiegati per connettere la piastra metallica alla fondazione in cemento armato. Un ulteriore aspetto da tenere in considerazione riguarda la metodologia di modellazione impiegata per la caratterizzazione del comportamento sismico degli edifici. Per quanto riguarda il calcolo delle strutture medio-basse, è consuetudine progettuale trascurare il contributo deformativo legato alle connessioni, andando a considerare i setti di controvento continui lungo la loro altezza e incastrati alla base. Tale approssimazione porta, per edifici con un numero di piani inferiori a 4, ad avere il periodo principale di calcolo della struttura sul tratto di plateau dello spettro sismico e risulta quindi a favore di sicurezza; l'approssimazione sopra descritta sottostima gli spostamenti della struttura in presenza di azioni orizzontali. Come verrà dimostrato dal caso studio presentato nei capitoli seguenti, saranno proprio le verifiche in termini di spostamenti a risultare particolarmente gravose all'aumentare del numero di piani dell'edificio.

### **Approccio di progettazione basta sulla gerarchizzazione strutturale – valido per edifici multipiano in CLT**

Nell'ambito di questo approccio di progettazione si individuano alcune pareti a cui si affida la funzione controventante dell'edificio. Per assicurare adeguata resistenza e rigidità a tali pareti, in particolare per le sollecitazioni di trazione, si impiega una tecnologia di connessione basta su elementi di tipo Tie-down. Questa metodologia di progettazione assicura maggiore libertà architettonica e una maggior velocità nel controllo e nella eventuale sostituzione post-sisma degli elementi strutturali rispetto alla metodologia tradizionale. Gli elementi di irrigidimento sono costituiti da profili in acciaio (piatti o barre) che si sviluppano lungo l'altezza dell'edificio. Come mostrato schematicamente in Figura 4, sono state analizzate diverse soluzioni che prevedono:

- a) solo elemento Tie-down: l'elemento Tie-down viene caricato per contatto diretto tra piastra e parete CLT non appena il pannello inizia a ruotare.
- b) Tie-down + connessione tipo XRAD [11]: il connettore X-RAD assorbe l'aliquota di forza di trazione di piano e la trasmette direttamente al Tie-down al quale è collegato;
- c) Tie-down + piatti chiodati: i piatti chiodati devono resistere alla sola forza di trazione di piano che poi trasmettono direttamente al Tie-down al quale sono resi solidali tramite saldatura.

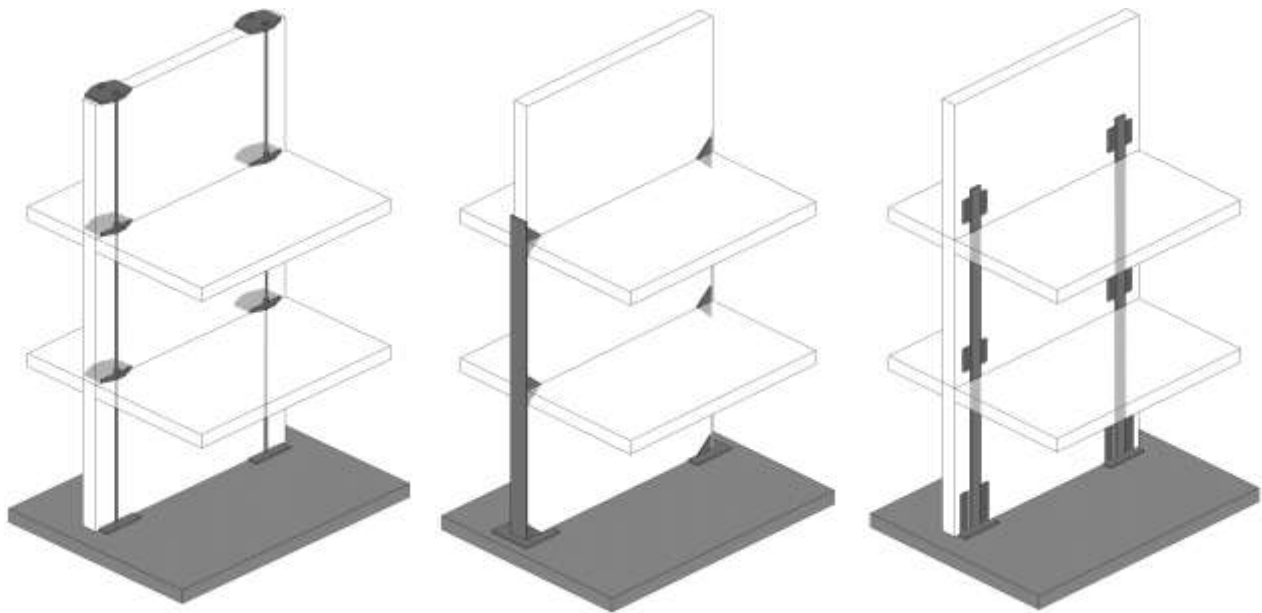


Fig. 4. Rappresentazione schematica elementi Tie-down: a) solo Tie-down, b) Tie-down + XRAD c) Tie-down + piatti chiodati

Nel caso in cui le forze sollecitanti nei Tie-down siano particolarmente elevate, è preferibile disporre quest’ultimi in maniera simmetrica rispetto alla parete (sia sulla faccia interna che esterna) del pannello in modo da annullare l’eccentricità tra sistema di connessione e pannello CLT. Ai fini di ottimizzare la quantità di acciaio impiegato, è possibile andare a rastremare la sezione del profilo metallico lungo l’altezza dell’edificio, in accordo con le forze di trazione agenti. Come già anticipato, tutte le soluzioni proposte sono in grado di resistere alle elevate forze di trazione incrementando notevolmente la rigidità della struttura ed andando quindi a limitare gli spostamenti di interpiano e la deformabilità degli edifici permettendo quindi la realizzazione di costruzioni alte con intera struttura in CLT anche in zone ad alta sismicità.

### Applicazione ad un caso di studio

Il comportamento strutturale degli edifici multipiano in CLT è stato investigato mediante analisi numeriche lineari di tipo dinamico (multimodali) con lo scopo di valutare l’influenza dei sistemi di connessione descritti in precedenza, tradizionali e con elementi di irrigidimento di tipo Tie-down, sulla risposta sismica di un edificio posto in zona ad elevata sismicità. Sono state implementate analisi numeriche agli elementi finiti su diversi casi di studio, uno dei quali è descritto nel paragrafo che segue. Il caso di studio preso in considerazione dimostra l’efficacia e l’applicabilità della progettazione basata sulla gerarchizzazione strutturale e sull’impiego di elementi Tie-down in particolare per edifici con più di 5 piani. La pianta dell’edificio è di forma rettangolare, di dimensioni pari a 23.3x15.5 m e l’altezza di interpiano è stata assunta pari a 3 m. Si è considerato un numero di piani variabile: 3, 5 e 7 piani. In Figura 5 è riportata la geometria dell’edificio e alcune viste 3D estrapolate dal software di calcolo numerico (SAP200 [12]) impiegato per la caratterizzazione e per l’implementazione delle strutture.

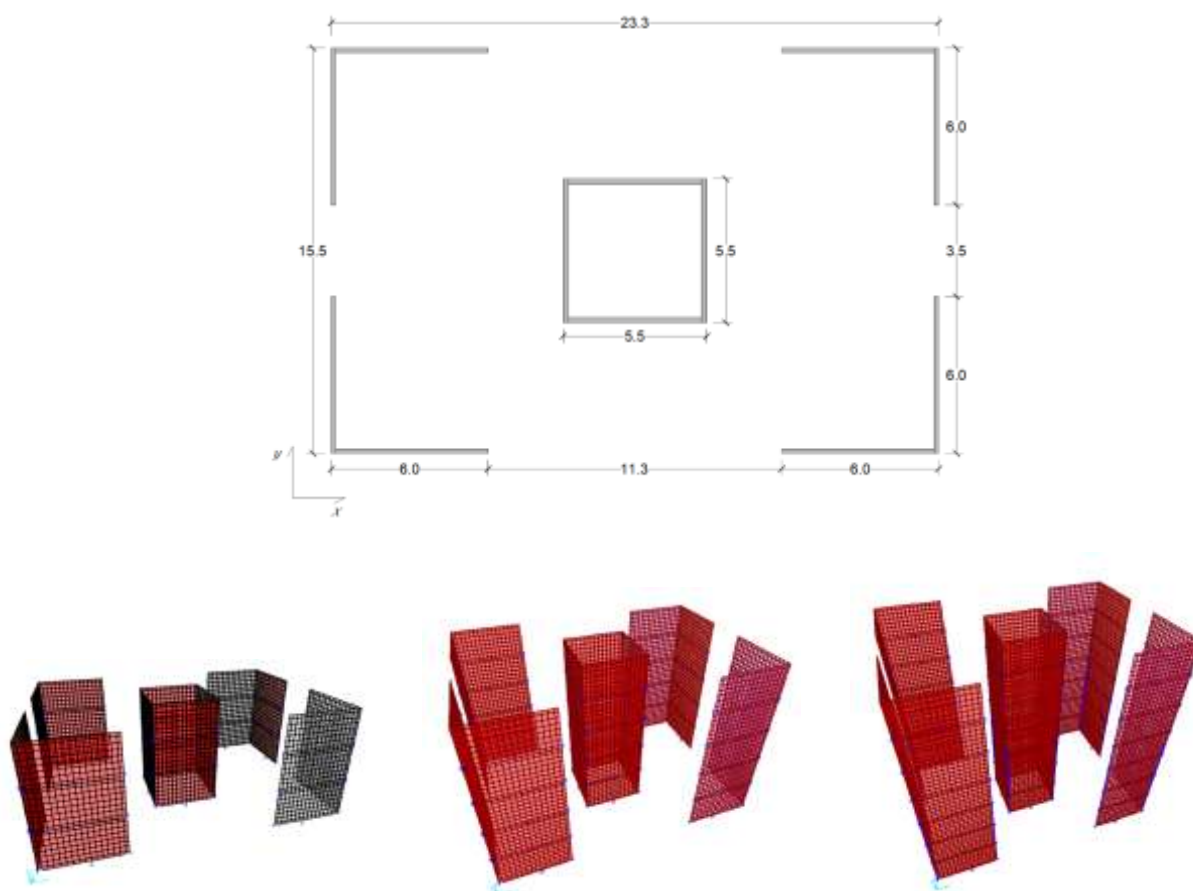


Fig. 5. Pianta edificio caso studio e viste 3D edificio a 3 piani (sinistra), 5 piani (centro) e 7 piani (destra).

Come illustrato in Figura 5, sono state considerate sei lame di controvento in ogni direzione per un totale di 12 lame resistenti ai carichi orizzontali. La massa sismica è stata calcolata in accordo con le disposizioni dell'attuale normativa tecnica italiana NTC18 [13], considerando un peso permanente pari a  $2.5 \text{ kN/m}^2$  e un peso variabile pari a  $2.0 \text{ kN/m}^2$  per i solai di interpiano e  $0.5 \text{ kN/m}^2$  in copertura. Per il calcolo dell'azione sismica si è ipotizzato che l'edificio sia situato a Perugia, una zona ad elevata sismicità. Lo spettro di progetto è stato calcolato in accordo alle NTC18, considerando un terreno di tipo C, una categoria topografica T1 e un fattore struttura pari a 2.0 laddove siano previste connessioni tradizionali e 1.5 nel caso di connessioni con elementi Tie-down. La riduzione del fattore di struttura è stata assunta in modo cautelativo ed è dovuta al fatto che alcuni sistemi di irrigidimento con Tie-down sono ragionevolmente caratterizzati da una minor capacità dissipativa. In Figura 6 sono riportati gli spettri di progetto utilizzati nelle analisi.

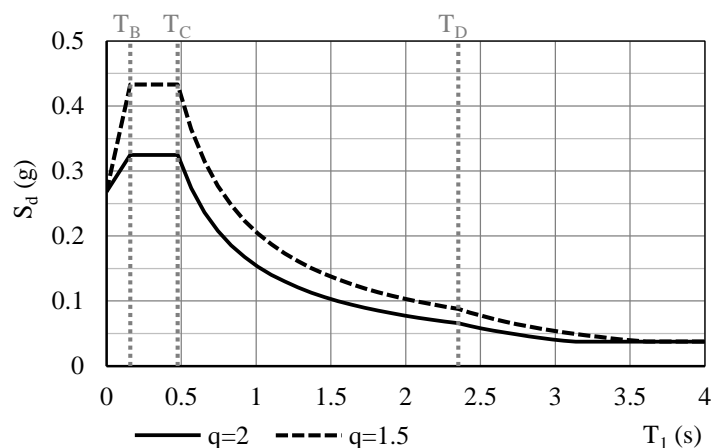


Fig. 6. Spettri di progetto per edifici con connettori tradizionali (linea continua) e con elementi Tie-down (linea tratteggiata).

Ai fini di determinare con precisione il comportamento sismico degli edifici studiati, è stata impiegata una modellazione per componenti, andando quindi a implementare ogni singolo componente strutturale all'interno dei modelli FEM [14]. Nel dettaglio per l'implementazione dei pannelli CLT si sono impiegati elementi shell bidimensionali, mentre i connettori sono stati modellati con delle molle la cui rigidezza resistenza sono state desunte da test sperimentali disponibili in letteratura [15]. Due diverse tipologie di Hold-down (WHT340 e WHT620) e di angolari a taglio (TTN200 e TTF200) sono stati considerati per quanto riguarda i connettori tradizionali, mentre i Tie-down sono stati progettati considerando una classe di acciaio S355 e un modulo di elasticità pari a 210000 Mpa [16]. A titolo esemplificativo si riporta in Figura 7 il modello impiegato per l'implementazione del caso studio con connettori tradizionali, dove le simbologie  $k_{H,i}$  e  $k_{A,i}$  schematizzano le molle impiegate per considerare il contributo degli elementi di connessione ed in particolare della deformabilità che quest'ultimi conferiscono alla struttura ( $k_{H,i}$  – Hold-down,  $k_{A,i}$  – angular bracket).

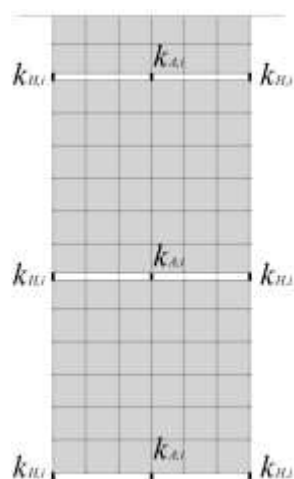
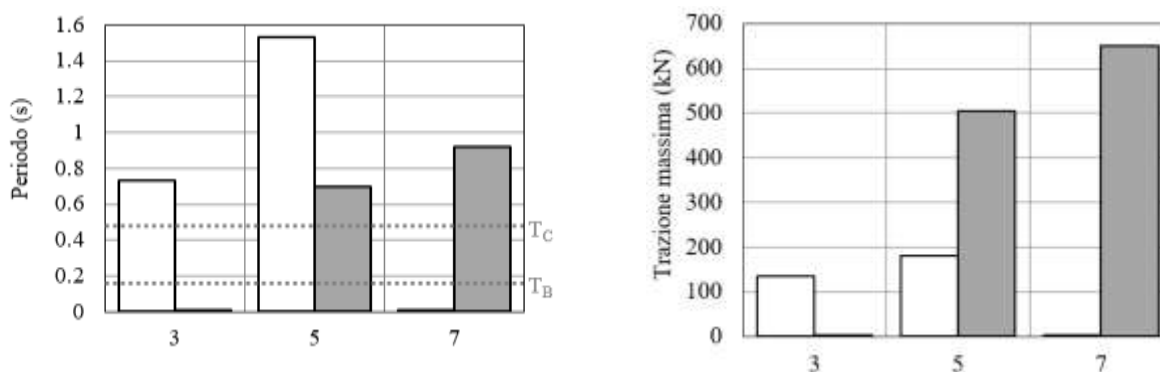


Fig. 7 Modellazione per componenti dell'edificio connesso con connettori tradizionali

Dalle analisi multimodali con spettro di risposta eseguite sui tre edifici (3, 5 e 7 piani) riportati in Figura 5, è stato possibile eseguire un confronto tra i principali parametri caratterizzanti il comportamento sismico delle strutture in CLT ovvero: periodo proprio di vibrare, drift di interpiano, spostamento in sommità e massima forza di trazione sollecitante sulle connessioni. Come si può notare dai grafici riportati di seguito, per il caso di edifici a 3 piani è stato considerato il solo sistema di connessione tradizionale, essendo quest'ultimo sufficiente a rispettare le verifiche imposte dalla normativa sia in termini di resistenza (SLV) che in termini di deformabilità (SLD). Il caso di edificio a 5 piani è stato studiato considerando entrambi i sistemi di connessione, tradizionale e Tie-down, grazie al quale è stato possibile eseguire un confronto diretto tra i sistemi di connessione. Infine, il caso di edificio a 7 piani è stato implementato considerando la sola configurazione con Tie-down, essendo quella con connettori tradizionale non verificata già per l'edificio a 5 piani. In Figura 8 sono riassunti i risultati, dove le colonne con campitura grigia si riferiscono ai sistemi con Tie-down.



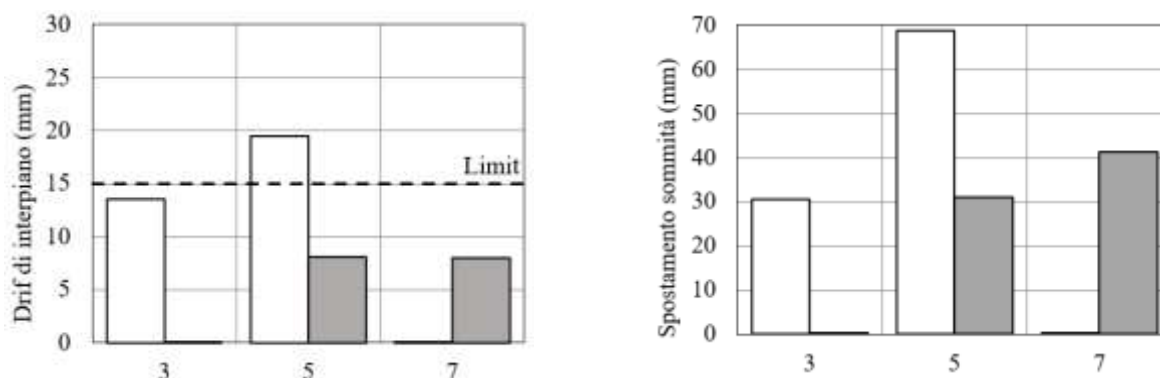


Fig. 8 Principali risultati ottenuti dalle analisi numeriche: connettori tradizionali (colonne bianche), Tie-down (colonne grigie).

Come dimostrano i risultati in termini di periodo e di deformabilità, all'aumentare del numero di piani le verifiche della struttura in termini di spostamenti non sono rispettate laddove le forze di trazione siano assorbite da elementi Hold-down tradizionali a causa della loro limitata rigidità. A titolo di esempio si può osservare come per un edificio a 5 piani, il drift di interpiano, pari a 19.7 mm, superi di gran lunga il limite imposto da normativa (15 mm) e gran parte della deformabilità sia dovuta a fenomeni di rotazione rigida della parete. Tali fenomeni possono essere limitati grazie all'introduzione di Tie-down i quali permettono di ridurre considerevolmente la deformabilità della costruzione e di rispettare ampiamente i limiti imposti dalle NTC18 conferendo un'elevata rigidità alla struttura. All'aumento di rigidità è correlata una diminuzione del periodo proprio di vibrare che porta a un incremento delle forze di trazione massime sollecitanti sui connettori (ad esempio per l'edificio a 5 piani passano da 182.3 kN a 502.7 kN). Tali forze non creano problemi alla struttura in quanto sono trasmesse alla fondazione grazie all'utilizzo dei tiranti metallici di irrigidimento, Tie-down. Un altro esempio dell'estrema efficacia della tecnologia è rappresentato dal fatto che lo spostamento sommitale dell'edificio a 5 piani connesso con Hold-down tradizionali è notevolmente superiore allo spostamento in sommità di un edificio dalle stesse dimensioni in pianta, ma con un numero di piani maggiore e connesso con Tie-down. Questo è possibile in quanto si vanno a limitare in modo considerevole gli spostamenti correlati ad una rotazione delle lame in CLT e quindi legata alla deformabilità dei connettori resistenti a trazione. Le analisi numeriche hanno dimostrato come quest'ultima passa infatti da un 80% (nel caso in cui si utilizzano connettori tradizionali) a un 50% (nel caso di Tie-down), rispetto alla deformata totale della struttura alla quale contribuiscono, oltre alla deformazione a rotazione, anche la deformabilità a scorrimento legata ai connettori resistenti a taglio e quella del pannello CLT.

## Conclusioni

Nel presente lavoro si è analizzato il tema degli edifici multipiano in CLT nei quali le pareti lignee assolvono il compito di resistere sia ai carichi verticali che orizzontali. Le maggiori problematiche relative a questa tecnologia costruttiva sono state approfondite con particolare attenzione agli aspetti di deformabilità e di localizzazione delle elevate forze di trazione. Tali problematiche sono riconducibili principalmente alla non adeguatezza dei sistemi di connessione tradizionali qualora si realizzino edifici con più di 3 piani. L'articolo descrive e analizza lo sviluppo di un sistema di connessione innovativo basato sull'impiego di sistemi di irrigidimento di tipo Tie-down, i quali conferendo elevate proprietà di resistenza e di rigidità alle lame di controvento, permettono una metodologia di progettazione basata sulla gerarchizzazione strutturale. Grazie a questa strategia progettuale e realizzativa è possibile assegnare a un numero limitato di lame la funzione controventante nei confronti dei carichi orizzontali (vento o sisma) sgravando da tale funzione le restanti pareti che devono quindi resistere ai soli carichi verticali. In quest'ottica è possibile ridurre il numero di connettori previsti ed è garantita la possibilità di controllo ed eventuale sostituzione in seguito ad un evento post-sismico.

Le analisi condotte su un edificio caso di studio con un numero di piani variabile (da 3 a 7 piani) situato in zona ad elevata sismicità, hanno evidenziato che fino a 3 piani l'approccio tradizionale di progettazione e di connessione risulta idoneo. Per edifici CLT con più di 5 piani è indispensabile utilizzare un sistema di connessione differente basato su sistemi tipo Tie-down proposti nell'ambito di questo lavoro.

Alla luce delle analisi svolte nell'ambito di questo elaborato, il sistema di connessione per pareti CLT di edifici multipiano basato sulla tecnologia Tie-down risulta promettente sia per le performance strutturali sia nell'ottica di ispezionabilità e riparabilità post-sisma. Per giungere ad una completa applicabilità della tecnologia sono comunque necessari ulteriori



approfondimenti ed analisi in particolare per quanto riguarda la definizione dell'effettiva capacità dissipativa del sistema strutturale e per quanto concerne i valori di accelerazione che si registrano ai piani dell'edificio.

## Bibliografia

1. Follesa, M.; Vassallo, D.; Christovasilis, I.P. *Seismic Design of a 10-Storey CLT Building*; FPInnovation: Pointe-Claire, QC, Canada, August 2013.
2. Brandner R., Flatscher G., Ringhofer A., Schickhofer G., Thiel A., *Cross laminated timber (CLT): overview and development. European Journal of Wood and Wood Products*, 10.1007/s00107-015-0999-5.
3. Loss C, Pacchioli S, Polastri A, Casagrande D, Pozza L, Smith I, (2018) *Numerical Study of Alternative Seismic-Resisting Systems for CLT Buildings. MDPI Buildings*
4. Trutalli D, Marchi L, Scotta R, Pozza L. *Capacity design of traditional and innovative ductile connections for earthquake-resistant CLT structures. Bull Earthq Eng* 2019;17:2115–36. doi:10.1007/s10518-018-00536-6.
5. Gavric I., Fragiaco M., Ceccotti A., (2015): *Cyclic behaviour of typical metal connectors for cross-laminated (CLT) structures. Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 48,6,1841,1857,10.1617/s11527-014-0278-7.
6. Tomasi R., Smith I., (2015): *Experimental characterization of monotonic and cyclic loading responses of CLT panel-to-foundation and angle bracket connections. Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(6), 04014189.
7. Van De Kuilen JWG, Ceccotti A, Xia Z, He M. *Very tall wooden buildings with Cross Laminated Timber. Procedia Eng* 2011;14:1621–8. doi:10.1016/j.proeng.2011.07.204.
8. Pei S, van de Lindt JW, Barbosa AR, Berman JW, McDonnell E, Daniel Dolan J, et al. *Experimental Seismic Response of a Resilient 2-Story Mass-Timber Building with Post-Tensioned Rocking Walls. J Struct Eng* 2019;145:04019120. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002382.
9. Pilon DS, Palermo A, Sarti F, Salenikovich A. *Benefits of multiple rocking segments for CLT and LVL Pres-Lam wall systems. Soil Dyn Earthq Eng* 2019;117:234–44. doi:10.1016/j.soildyn.2018.11.026.
10. Hashemi A, Zarnani P, Masoudnia R, Quenneville P. *Seismic resistant rocking coupled walls with innovative Resilient Slip Friction (RSF) joints. J Constr Steel Res* 2017;129:215–26. doi:10.1016/j.jcsr.2016.11.016.
11. Polastri A, Giongo I, Angeli A, Brandner R. *Mechanical characterization of a pre-fabricated connection system for cross laminated timber structures in seismic regions. Eng Struct* 2018;167:705–15. doi:10.1016/j.engstruct.2017.12.022.
12. *Computers and Structures I. SAP2000 v20 2018.*
13. MIT. D.M. 17.01.18 - *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» 2018.*
14. Pozza, L., Savoia, M., Franco, L., Saetta, A., Talledo, D., (2017). *Effect of different modelling approaches on the prediction of the seismic response of multi-storey CLT buildings. Int. J. Comp. Meth. and Exp. Meas.*
15. Casagrande D, Polastri A, Sartori T, Loss C, Chiodega M, *Experimental Campaign for the mechanical characterization of connection systems in the seismic design of timber buildings. WCTE 2016*
16. CEN. *EN 1993-1-1 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. 2015.*