

Aspetti relativi all'ancoraggio di pareti in CLT su cordoli in c.a.: stato dell'arte e soluzione innovativa.

Stefano Pacchioli^{a,b,c}, Marco Maines^b, Andrea Polastri^c

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

b STP srl – ufficio tecnico

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

Abstract

Il collegamento tra pareti in legno e struttura di fondazione, comunemente chiamato “attacco a terra”, rappresenta una delle maggiori criticità degli edifici in legno. In particolare, il nodo di attacco a terra deve garantire allo stesso tempo durabilità, efficienza strutturale ed efficienza energetica senza andare a interferire con elementi dell'edificio quali impianti ed intercapedini tecniche. Per questo motivo una corretta progettazione e realizzazione in opera del collegamento legno-fondazione risulta essere di fondamentale importanza ai fini di assicurare la corretta coibentazione e la sicurezza strutturale dell'intero edificio. Al contrario, un'errata progettazione del nodo potrebbe causare l'innescio di fenomeni di degrado delle pareti in legno dovuto alla presenza di acqua e alla conseguente risalita di umidità capillare. In aggiunta alla problematica della durabilità, l'attacco della parete alla fondazione potrebbe portare a problemi di resistenza meccanica legati a una non corretta posa dei connettori impiegati per collegare le staffe metalliche (hold down e angolari a taglio) al cemento armato. Tra i connettori più utilizzati si possono elencare tasselli meccanici e barre filettate resinare, tali sistemi di ancoraggio presentano attualmente alcune criticità quali resistenze ridotte e la necessità di un'accurata posa in cantiere che molto spesso è difficile da assicurare (non perfetta soffiatura dei fori laddove si utilizza l'ancorante chimico, possibile interferenza tra connettore e armatura della fondazione che comporta spesso difficoltà a forare il c.a. nella posizione indicata dal progetto, mancato rispetto delle distanze minime dai bordi causate dal non perfetto allineamento tra parete e fondazione ecc.).

In questo articolo si descrivono le principali soluzioni tecnologiche ad oggi utilizzate per l'attacco a terra degli edifici con struttura a pareti in legno, approfondendo i principali vantaggi e le criticità tipiche di ogni soluzione. Verrà inoltre presentata una soluzione innovativa per il nodo di base degli edifici in legno che si basa sull'utilizzo di un cordolo in cemento armato con sistema di staffaggi integrato, in grado di assicurare allo stesso tempo durabilità, efficienza energetica e efficienza strutturale del nodo di attacco a terra. Vengono infine presentati dei casi reali di applicazione del sistema.

Keywords: Edifici in legno, strutture in CLT, attacco a terra, pareti in legno, fondazioni, collegamento legno-cemento armato, Attacco 15

Introduzione

Negli ultimi anni il materiale legno ha conosciuto nuovi e importanti sviluppi nel mondo delle costruzioni. La rapida crescita di edifici con struttura in legno è riconducibile principalmente alle proprietà di questo materiale naturale, quali sostenibilità, rinnovabilità, leggerezza, resistenza meccanica e isolamento termico. Il legno è stato utilizzato fin dall'antichità ed ha accompagnato l'evoluzione del costruire nei secoli. Negli ultimi decenni, con l'introduzione di alcuni prodotti a base di legno ingegnerizzato (come i pannelli massicci a tavole incrociate incollate Cross-Laminated-Timber CLT), il settore ha visto un ulteriore rilancio e una costante crescita. In particolare, gli edifici in CLT si sono mostrati strutturalmente resistenti e prestanti anche nel confronto delle azioni sismiche [1] [2] [3] grazie alle intrinseche proprietà dei pannelli a tavole incrociate incollate (elevata resistenza e rigidità nel piano) e alla possibilità di realizzare giunzioni pannello-pannello e pannello fondazione in grado di dissipare energia [4]. L'introduzione del legno ingegnerizzato ha inoltre permesso una riduzione dei costi e dei tempi di realizzazione sfruttando il concetto di prefabbricazione [5].

Nonostante tutte le caratteristiche positive appena elencate, la rapida crescita del mercato di edifici con struttura portante a pareti in legno ha evidenziato come il nodo di attacco a terra possa portare a delle criticità, spesso dovute a una mancanza di conoscenze dei progettisti e/o ad un'errata realizzazione delle aziende costruttrici. Una delle problematiche ricorrenti è direttamente collegata al comportamento igroscopico del legno a cui conseguono fenomeni di deterioramento laddove il contenuto di umidità interna superi il limite critico, fissato circa al 20%. Tali fenomeni possono alterare le caratteristiche fisico-meccaniche del legno (marcescenza) [6] che in poco tempo compromettono la capacità portante del sistema, come riportato in Figura 1.



Figura 1: Esempi di fenomeni di degrado riscontrati alla base di edifici esistenti con struttura in legno.

Le parti interessate dal degrado materico del legno risultano difficili da ripristinare e richiedono nella maggior parte dei casi la sostituzione dell'elemento deteriorato con problemi tecnologici non indifferenti, evidente disagio per gli utilizzatori dell'edificio e notevole dispendio economico.

Un altro aspetto da non sottovalutare è legato alla corretta posa delle staffe di connessione tra pareti in legno e fondazione in c.a. (hold down e angular bracket) alle quali è assegnato il compito di evitare il ribaltamento e la traslazione dei pannelli pareti e di dissipare energia quando sottoposte ad azioni di tipo ciclico, come può essere il sisma. Il punto critico del collegamento è rappresentato dai connettori (generalmente tasselli meccanici o barre filettate resinare) che rendono solidale la staffa in acciaio alla fondazione. Quest'ultimi, oltre ad avere resistenze ridotte, richiedono una posa accurata, non sempre possibile in quanto le tolleranze e precisioni tipiche delle strutture prefabbricate in elevazione non sono compatibili con quelle delle strutture in calcestruzzo realizzate in opera. A titolo esemplificativo in Figura 2 si riporta un'immagine dove è evidenziato un disallineamento tra cordolo in c.a. e parete in CLT che comporta il mancato rispetto della distanza minima tra bordo del cordolo e tassello meccanico.

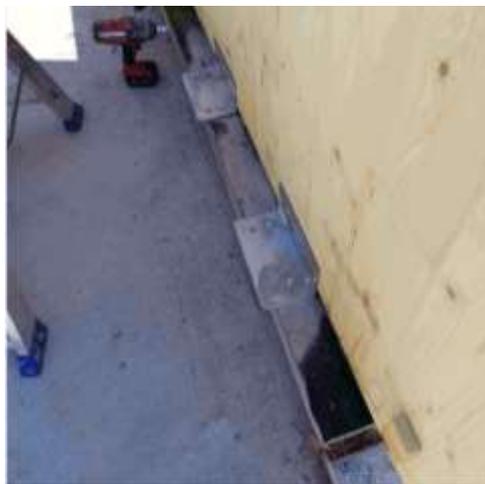


Figura 2: Esempio di disallineamento tra parete CLT e cordolo in c.a. con mancato rispetto delle distanze minime dal bordo. Si noti come parte dell'ala inferiore della connessione a taglio legno-c.a. fuoriesca dal cordolo (archivio STP).

La posa in opera dei tasselli richiesti dalle staffe tradizionali è resa assai difficoltosa dalle interferenze che quest'ultimi possono avere con le armature di fondazione: la realizzazione del foro per ospitare il tassello è spesso complessa a causa della presenza delle armature inglobate nel getto. Questa problematica, oltre a essere difficile da gestire e da controllare in fase di realizzazione, può essere aggravata da soluzioni di posa improvvisate in cantiere come, ad esempio, l'accorciamento della lunghezza di infissione dei tasselli (lunghezza indicata dalle tavole di posa e necessaria al rispetto della resistenza richiesta da progetto) o il loro disassamento (vedi Figura 3). Queste criticità, se non correttamente gestite potrebbero comportare rotture fragili indesiderate per carichi molto inferiori a quelli di progetto.

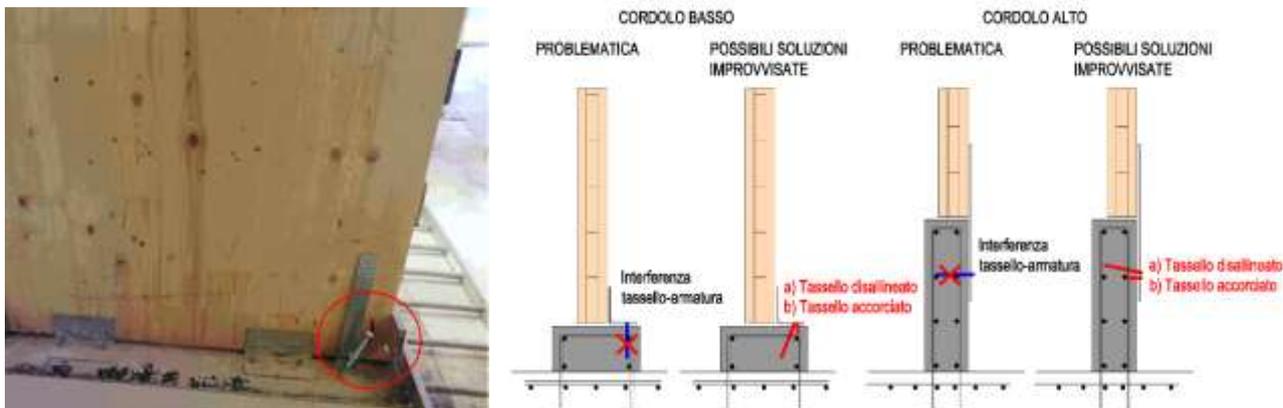


Figura 3: Esempio di difficoltà a inserire un tassello in fondazione (sinistra, archivio STP) e possibili soluzioni improvvisate e inadeguate per risolvere il problema (destra).

Un'ulteriore tematica associata all'attacco a terra è l'efficienza energetica del dettaglio costruttivo "nodo a terra", è infatti fondamentale riuscire a coibentare correttamente il nodo, in modo da evitare ponti termici e la formazione di condense interstiziali.

Tutte le tematiche appena trattate dimostrano il perché vi sia un forte interesse rivolto allo sviluppo di dettagli tecnici/costruttivi adeguati in grado di rispondere alle esigenze del mercato dell'edilizia in legno.

In questo lavoro vengono presentate alcune delle tecnologie tradizionali attualmente disponibili in letteratura per il collegamento delle pareti lignee alla fondazione, si analizzano i dettagli costruttivi in grado di garantire la durabilità della parete e si riportano esempi di nodo alla base non correttamente eseguito. Inoltre, viene presentata una soluzione innovativa che si basa sull'utilizzo di un cordolo in cemento armato alto e di larghezza limitata con staffe inglobate, in grado di risolvere allo stesso tempo le problematiche di durabilità, efficienza energetica ed efficienza strutturale. Vengono presentati i risultati delle campagne d'indagine sperimentali e le simulazioni numeriche condotte per definire la resistenza e le prestazioni di conducibilità termica del sistema. Infine, vengono presentati alcuni casi di studio relativi all'impiego della soluzione proposta.

Stato dell'arte: tecniche per l'attacco alla fondazione di pareti in legno

Il tema dell'attacco delle strutture in legno alle fondazioni in cemento armato è da tempo oggetto di discussione tra i tecnici del settore, diverse sono le soluzioni proposte e quelle attualmente più utilizzate sono le seguenti:

- Attacco diretto alla struttura di fondazione (platea o trave in c.a.)
- Attacco alla superficie superiore o laterale di un cordolo in c.a. con piastre metalliche tradizionali che prevedono l'utilizzo di tasselli meccanici
- Attacco a travi innovative in alluminio posizionate tra parete e fondazione

Nella prima soluzione elencata, la base della parete in legno è posizionata a livello della fondazione, al di sotto del piano finito interno ed esterno, come riportato in Figura 4.

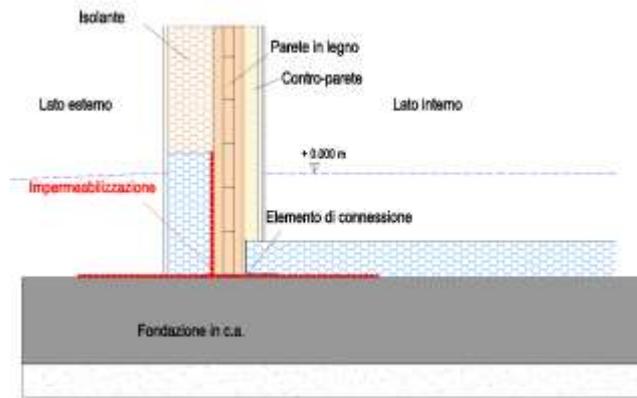


Figura 4: Attacco diretto alla struttura di fondazione

Il dettaglio di Figura 4 può portare a problemi di durabilità: la funzione di evitare il contatto tra parete in legno e acqua è interamente demandata alla qualità dei sistemi di impermeabilizzazione, alla durabilità degli stessi nel tempo e alla perfetta realizzazione in cantiere delle guaine [7] [8]. È possibile che questa soluzione possa portare all'infiltrazione di acqua laddove la saldatura sulle giunzioni della guaina non vengano realizzate a regola d'arte oppure laddove la guaina venga inavvertitamente forata: in Figura 1 sono riportati alcuni esempi di degrado, concludendo, la soluzione in esame consente un corretto isolamento del nodo e buone resistenze strutturali, ma per le problematiche di durabilità fin qui evidenziate è altamente sconsigliata.

Un'altra soluzione che viene usualmente adottata prevede l'interposizione di un cordolo in cemento armato tra parete e fondazione. Quest'ultimo può essere basso e tozzo (Figura 5a) o alto e snello (Figura 5b).

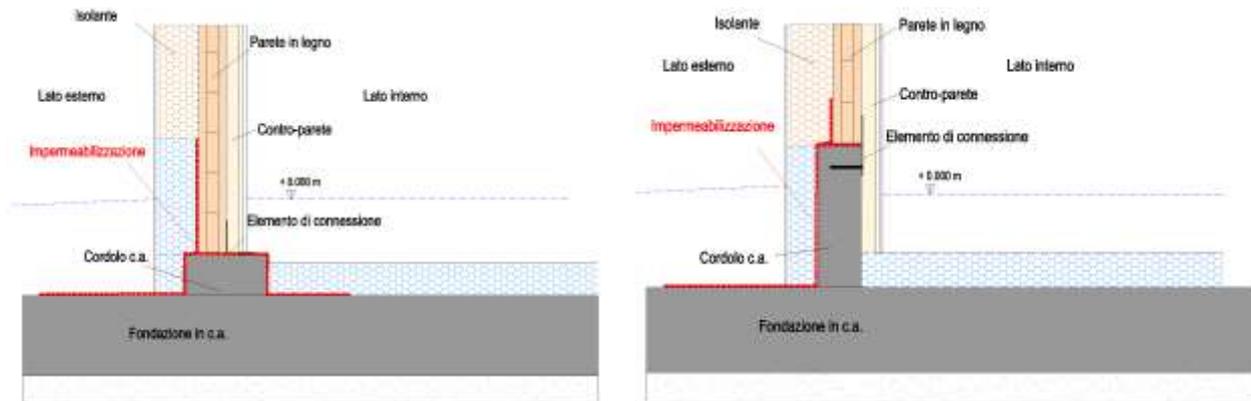


Figura 5: Attacco su cordolo in cemento armato con connessioni tradizionali. Cordolo basso (sinistra), cordolo alto (destra)

Nel caso di cordolo tozzo, seppur l'efficienza strutturale ed energetica siano garantite, il fatto che il piano finito interno ed esterno sia ancora al di sotto della base della parete lignea fa sì che possano sorgere anche in questo caso problemi di durabilità. È corretto osservare come rispetto al caso di connessione diretta in fondazione, il cordolo rialzato tozzo consente un risultato migliore in quanto un'infiltrazione di acqua a livello della fondazione non genera problemi, essendo la parete in legno rialzata. In alcuni casi il cordolo in c.a. può essere sostituito da un dormiente in larice, ma i problemi di compressione perpendicolare alla fibra e il fatto che comunque anche il larice con il passare del tempo possa essere soggetto a fenomeni di degrado ne limitano l'uso. Laddove si voglia evitare ogni problema di durabilità, la soluzione migliore è quella di utilizzare un cordolo alto in modo di tenere la parete in legno sopraelevata rispetto ai livelli di piano finito interno ed esterno. Allo stesso tempo, per garantire la coibentazione del nodo sul lato esterno in modo da evitare un ponte termico, tale cordolo deve avere spessore limitato così da permettere l'applicazione di uno spessore sufficiente di strato isolante. La planarità tra lato interno e parete in legno è invece importante per evitare interferenze con elementi quali impianti e intercapedini tecniche. Questa soluzione risulta essere sicuramente la migliore e la più affidabile da un punto di vista della durabilità, ma penalizza in modo eccessivo la resistenza meccanica del nodo. Nel dettaglio, essendo lo spessore del cordolo limitato, i tasselli che si utilizzano per connettere la parete al cordolo hanno una lunghezza di infissione ridotta e di conseguenza resistenze basse, insufficienti ad esempio per la realizzazione di edifici multipiano, dove si riscontrano elevate forze di taglio e di trazione alla base delle pareti [9] [10]. In questa categoria possono rientrare

anche i sistemi a cordolo prefabbricato in cemento armato, i quali sono stati sviluppati negli ultimi anni [11]. Quest'ultimi sono elementi lineari ad elevata precisione (essendo realizzati in fabbrica) che consentono una posa più rapida rispetto al cordolo tradizionale gettato in opera. Il collegamento tra cordolo prefabbricato e fondazione viene generalmente realizzato con delle barre resinare le quali richiedono una perfetta esecuzione e pulizia del foro, non facile da garantire. In fase di progetto va posta particolare attenzione allo studio della stabilità e rigidità del sistema nella direzione ortogonale a quella della parete (rigidità fuori piano) e al fatto che essendo le parti del cordolo slegate tra loro è difficile assicurare un comportamento scatolare.

Nella tabella sottostante sono riassunte le criticità e i punti di forza propri delle soluzioni descritte in precedenza che prevedono l'appoggio della parete in legno su elementi in cemento armato.

Soluzione	Vantaggi	Criticità
Attacco diretto alla struttura di fondazione	Efficienza strutturale, efficienza energetica	Durabilità
Attacco su cordolo basso	Efficienza strutturale, efficienza energetica	Durabilità
Attacco su cordolo alto con staffe tradizionali	Durabilità	Efficienza strutturale, efficienza energetica
Attacco su cordolo prefabbricato	Prefabbricazione, durabilità, efficienza energetica	Efficienza strutturale, richiesta precisione in fase di posa

Un'ulteriore soluzione è rappresentata dall'ancoraggio su travi in acciaio zincate a caldo (generalmente HE o IPE) o profili estrusi [12] [13] [14] in alluminio i quali vengono interposti tra la fondazione e la parete. Per quanto riguarda le travi in acciaio, esse richiedono l'impiego di piastre di connessione non commerciali e non risulta facile la saldatura delle guaine su tali profili. I profili in alluminio invece sono caratterizzati da un'elevata leggerezza e grande facilità di movimentazione a cui consegue un'elevata velocità di posa in opera. Si sottolinea come quest'ultimi siano ad oggi sviluppati per resistere ai carichi verticali tipici di edifici a due o tre piani; l'altezza dei profili commerciali (massimo 15 cm) non è sufficiente a garantire l'appoggio della parete al di sopra della quota del pavimento finito.

Descrizione di una soluzione per il collegamento parete-fondazione basata su piastre innovative annegate nel cordolo

Una soluzione in grado di soddisfare allo stesso tempo i requisiti strutturali, di durabilità ed energetici senza interferire con altri elementi quali impianti, massetti e contro-pareti consiste nell'utilizzo di un cordolo in cemento armato alto e di larghezza limitata; il collegamento legno-fondazione è ottenuto con piastre inglobate nel cordolo stesso e non è quindi previsto l'impiego di tasselli. L'utilizzo di elementi metallici annegati nel getto garantisce di raggiungere elevate resistenti meccaniche, sia in termini di rigidità che di resistenza, mantenendo lo spessore del cordolo ridotto (spessore minimo per cordoli in c.a. pari a 15 cm previsto dalle attuali NTC18 [15]). Come si intuisce dalla Figura 6, lo spessore di 15 cm consente sul lato interno di mantenere il filo della parete complanare con quello del cordolo, sul lato esterno di predisporre uno strato di materiale isolante in grado di coibentare il nodo di attacco a terra, evitando così ponti termici che potrebbero causare condense interstiziali.

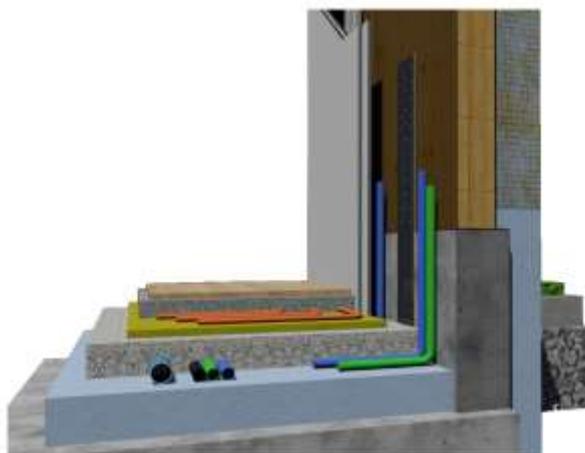


Figura 6: Vista 3D della soluzione proposta

L'elemento innovativo è rappresentato dalle piastre annegate nel getto, le quali oltre a garantire ottime prestazioni meccaniche consentono anche di avere un perfetto controllo della loro corretta posa, essendo posizionate prima della fase di getto. Nel dettaglio si sono sviluppate piastre resistenti a trazione (Figura 7a) e piastre resistenti a taglio (Figura 7b).

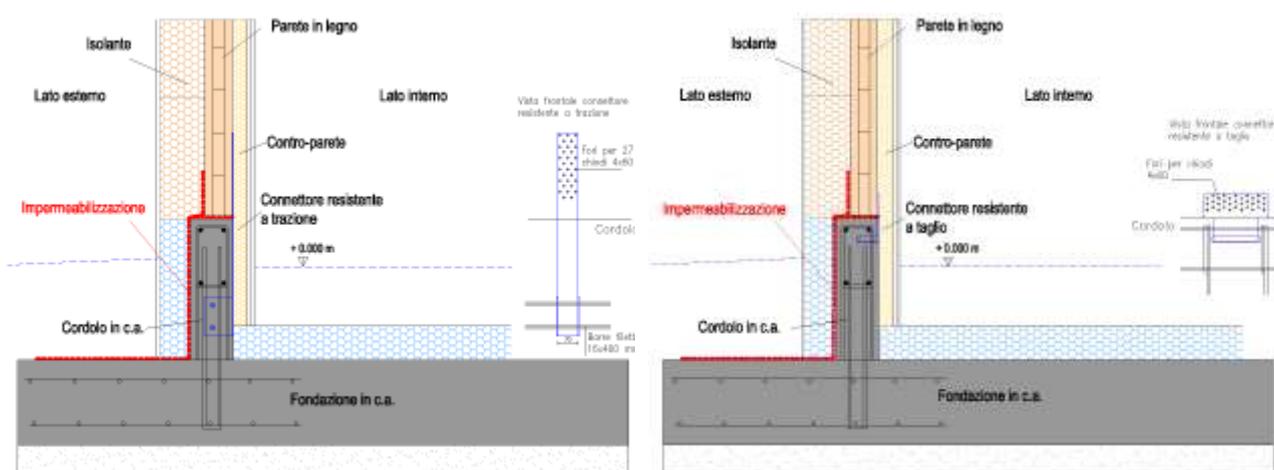


Figura 7: Particolare staffe resistenti a trazione (sinistra) e staffe resistenti a taglio (destra)

Dal punto di vista strutturale, la soluzione si presta alla realizzazione di edificio multipiano. Infatti, i carichi verticali sono trasmessi direttamente dalle pareti al c.a. (senza l'interposizione di elementi deboli come, ad esempio, banchine in larice o profili in alluminio snelli) e le staffe annegate presentano resistenze e rigidità elevate in grado di stabilizzare le pareti nei confronti dei carichi orizzontali (es. sisma e vento). Quest'ultima peculiarità è dovuta al fatto che le staffe e l'armatura del cordolo sono state sviluppate, progettate e brevettate [16] per consentire un'efficace trasmissione delle forze tra parete in legno e cordolo. In particolare, la geometria delle piastre a taglio permette un'ottimale collaborazione c.a.- acciaio; le piastre a trazione presentano dei fori atti ad ospitare barre orizzontali che hanno la funzione di aumentare la diffusione delle forze di trazione su una lunghezza maggiore di cordolo. In questo modo è possibile coinvolgere diverse armature di richiamo per tramettere la forza in fondazione. Il fissaggio della parete lignea alle staffe può essere realizzato mediante connettori a gambo cilindrico (chiodi o viti). E' corretto osservare come questa soluzione richieda un'elevata precisione nella fase di esecuzione, sia nella fase di tracciamento delle armature di richiamo sia nel tracciamento del cordolo alto in c.a.. Per questo motivo è consigliabile che le fasi di installazione del sistema, schematizzate in Figura 8, vengano eseguite direttamente da chi si occupa della posa della sovrastruttura prefabbricata.

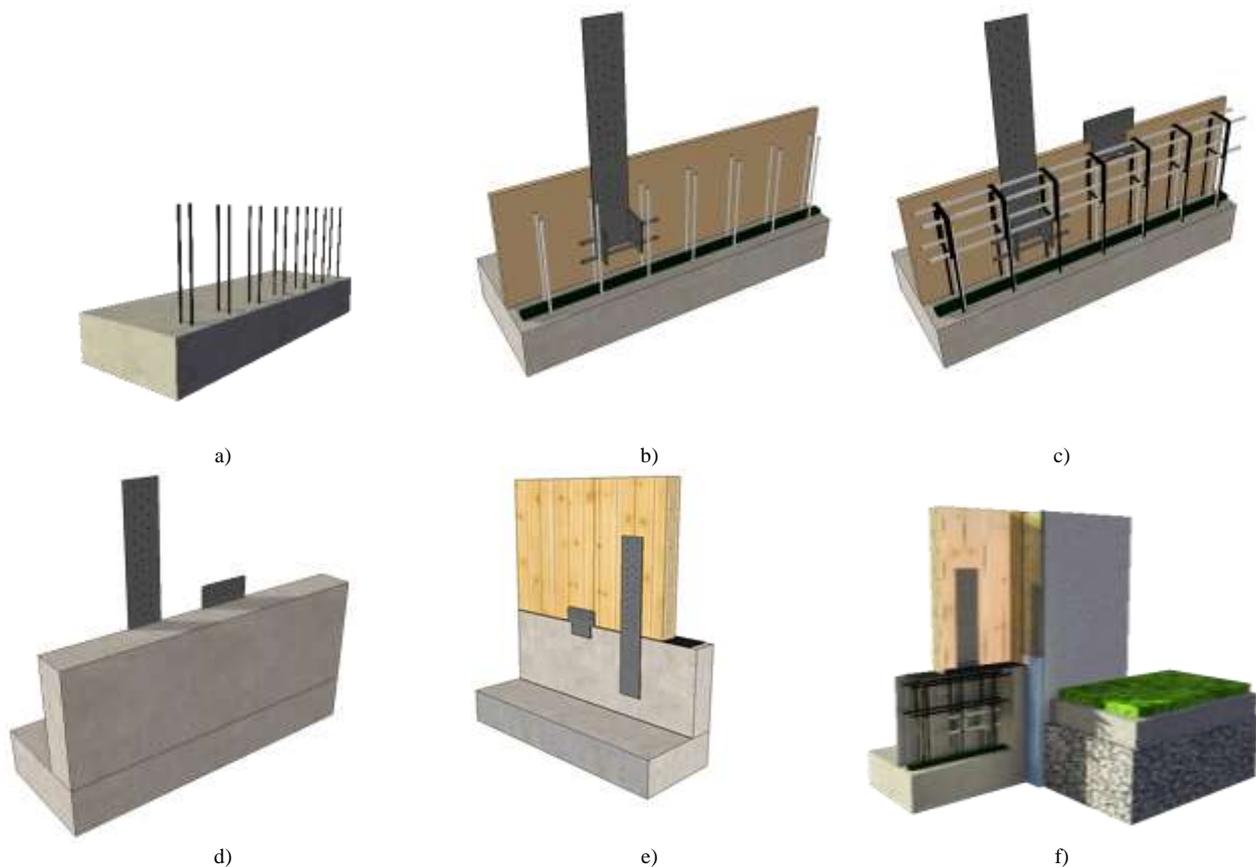


Figura 8: Fasi di installazione: a) tracciamento dei richiami, b) posizionamento cassero e staffa a trazione, c) posizionamento armatura cordolo e staffe a taglio, d) getto del cordolo, e) fissaggio staffe alle pareti in legno, f) completamento del nodo di attacco a terra

Caratterizzazione sperimentale delle proprietà meccaniche e di trasmittanza

Proprietà meccaniche

Elemento distintivo del sistema di connessione qui presentato è che i carichi sono trasmessi dalle piastre metalliche (chiodate alle pareti in CLT) direttamente in fondazione: le piastre metalliche sono annegate nel cordolo di calcestruzzo e non richiedono quindi l'utilizzo di tasselli o altri sistemi di ancoraggio. In fase di sviluppo del sistema si è scelto (coerentemente con i metodi di progettazione maggiormente diffusi) di distinguere le funzioni di trasferimento delle azioni di trazione (Figura 7a) e taglio (Figura 7b) progettando due appositi sistemi ottimizzati appunto in relazione alla diversa direzione delle azioni sollecitanti. Le fasi di progetto, ingegnerizzazione/prototipazione ed ottimizzazione del sistema hanno visto lo sviluppo di modelli numerici a cui è seguita un'estesa campagna sperimentale condotta presso Laboratorio di Prove Meccaniche CNR-IBE di San Michele all'Adige. Lo scopo principale è stato quello di andare a definire la resistenza e rigidità a trazione e a taglio rispettivamente dei connettori hold down e angle bracket annegati nel getto, andando ad investigare anche la resistenza lato cemento armato. Quest'ultima generalmente rappresenta il punto debole delle connessioni tradizionali (si faccia riferimento, ad esempio, alle schede tecniche fornite dai produttori di connessioni che prevedono l'utilizzo di tasselli meccanici o barre filettate) e raramente viene testata. La realizzazione dei campioni successivamente testati in laboratorio è riportata in Figura 9.



Figura 9: Fasi di realizzazione dei campioni da testare (archivio STP)

La campagna sperimentale ha previsto 4 + 4 prove su connettori a trazione ed a taglio, in Figura 10 sono riportate due immagini rappresentative delle configurazioni testate e le curve forza-spostamento di alcuni dei test a trazione e taglio eseguiti.

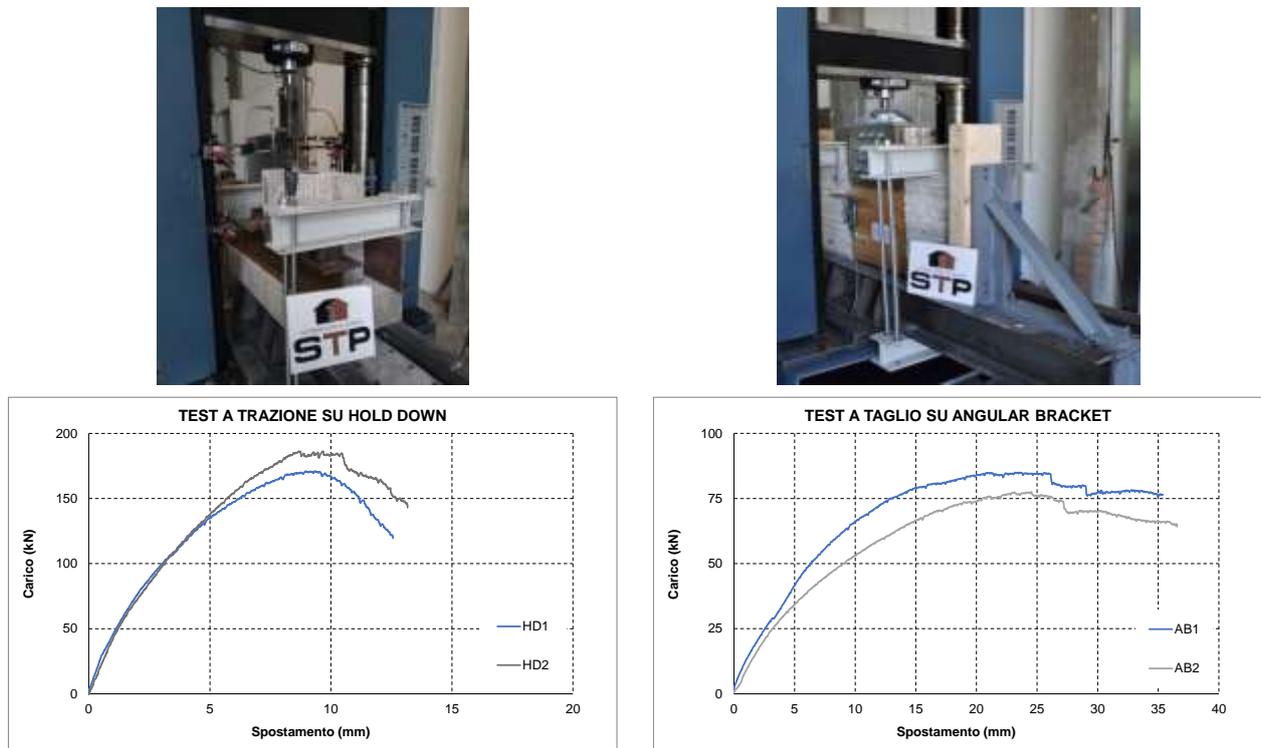


Figura 10: Campioni testati in laboratorio e curve forza-spostamento ottenute: test a trazione (sinistra), test a taglio (destra)

Le prove sono state condotte tramite un setup appositamente progettato ed allestito su macchina di prova universale Instron dotata di cella di carico da 250 kN con la quale è stata impressa una azione verticale in controllo di spostamento fino al raggiungimento della rottura. I provini sono stati strumentati mediante una serie di trasduttori di spostamento grazie ai quali si è valutata la rigidità delle connessioni testate.

Dai test si sono ricavate le curve forza-spostamento (vedi Figura 10) le quali hanno evidenziato le buone proprietà meccaniche di entrambe le configurazioni testate in termini di rigidità, di resistenza di picco e duttilità. I test eseguiti hanno anche permesso di valutare le modalità di rottura, le quali non sono mai di tipo fragile.

Proprietà termo-igrometriche

Sono stati eseguiti i calcoli della trasmittanza termica, le verifiche delle condense interstiziali secondo la UNI EN ISO 13788 [17] e delle analisi FEM secondo al UNI EN ISO 10211 [18] per il calcolo del ponte termico, delle temperature superficiali e dei flussi bidimensionali.

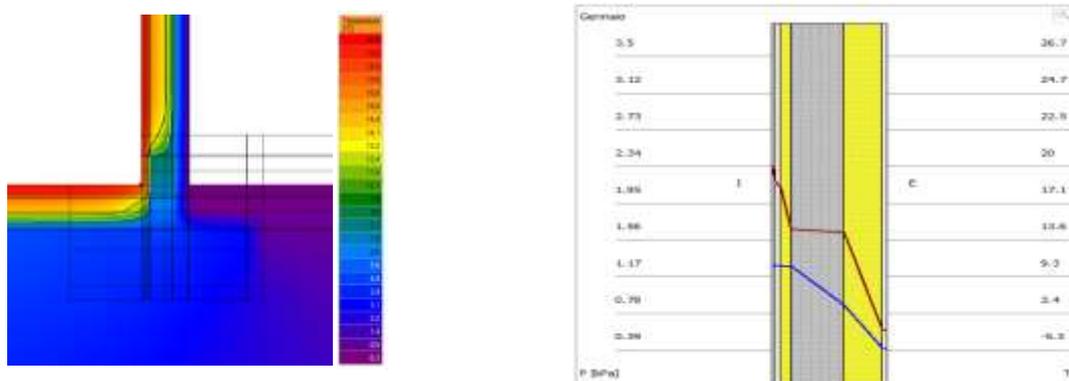


Figura 11: Analisi FEM delle temperature (sinistra) e verifica termo-igrometrica (destra)

I risultati ottenuti confermano che il limitato spessore del cordolo, pari a 15 cm, permette di ottenere ottime prestazioni termo-igrometriche, limitando il ponte termico e scongiurando la possibile formazione di condensa e muffa.

Casi di studio

Si riportano di seguito alcune immagini di edifici in legno in cui il sistema basato sul cordolo alto e con staffe annegate è stato impiegato. In particolare, tutte le applicazioni hanno evidenziato l'effettiva validità del sistema. Quest'ultimo infatti permette di realizzare agevolmente il collegamento tra parete in legno e fondazione, evitando le problematiche di durabilità descritte nei paragrafi precedenti e garantendo efficienza strutturale ed energetica.

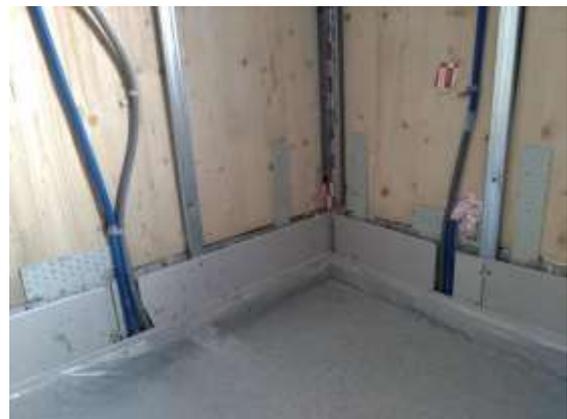


Fig. 12. Casi di studio - applicazioni del cordolo alto con staffe annegate (archivio STP).

Conclusioni

Le costruzioni in legno si stanno sempre più affermando come una valida opzione per la realizzazione di strutture multipiano; uno dei punti su cui tecnica e ricerca stanno investendo maggiori attenzioni è l'attacco a terra tra pareti in

legno e fondazione. A tale dettaglio tecnologico è infatti assegnato il compito di garantire durabilità, efficienza energetica e strutturale del fabbricato e quindi più in generale di assicurare l'affidabilità durante la vita nominale dell'opera.

Il presente lavoro illustra in primo luogo le differenti metodologie con cui può essere realizzato l'attacco alla fondazione, in particolare delle pareti a pannelli in CLT, evidenziando come le soluzioni attualmente presenti in letteratura e/o adottate nella pratica professionale siano difficilmente in grado di rispondere a tutti i requisiti sopra descritti. Si è potuto infatti riscontrare come le tecnologie tradizionali (cordolo basso, cordolo alto connesso con staffe tradizionali che prevedono tasselli, cordolo prefabbricato) possano portare a problemi di durabilità, laddove l'impermeabilizzazione non sia eseguita a regola d'arte, o a problemi strutturali legati alle ridotte resistenze meccaniche degli ancoranti meccanici o resinati ed alla messa in opera degli stessi.

L'articolo descrive una soluzione innovativa basata su un cordolo in cemento armato alto e dalla larghezza limitata (pari a 15 cm) integrato con innovative staffe di fissaggio annegate nel getto. Tale soluzione tecnologica ha permesso di abbinare al cordolo alto, il quale garantisce la durabilità dell'edificio essendo la base delle pareti in legno sopraelevata rispetto al piano di scorrimento dell'acqua, ottime resistenze meccaniche e prestazioni energetiche. Le prestazioni meccaniche del sistema innovativo sono state indagate da analisi numerico-sperimentali mentre le prestazioni energetiche sono state validate da analisi di conducibilità termica eseguite con software agli elementi finiti.

Sono stati inoltre riportati alcuni casi studio in cui il sistema è stato utilizzato nella realizzazione di edifici multipiano dimostrandone la validità anche in fase di cantiere.

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. Ceccotti, A., Sandhaas, C., Okabe, M., Yasumura, M., Minowa, C., Kawai, N., 2013. *SOFIE project – 3D shaking table test on a seven-storey full-scale cross-laminated timber building*. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.* 42(13), 2003-2021
3. I. Gavric, M. Fragiaco, A. Ceccotti, *Cyclic behaviour of typical metal connectors for cross-laminated (CLT) structures*, *Mater. Struct.* 48 (2015) 1841–1857. doi:10.1617/s11527-014-0278-7.
4. Izzi M., Casagrande D., Bezzi S., Pasca D., Follesa M., Tomasi R., (2018) *Seismic behaviour of Cross-Laminated Timber structures: A state-of-the-art review*. *Engineering Structures Volume 170*, 1 September 2018, Pages 42-52 doi: 10.1016/j.engstruct.2018.05.060
5. 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.
6. Merotto, A., 2017. *Danni e difetti delle costruzioni in legno. Diagnosi, punti critici, soluzioni*. Maggioli Editore. (In Italian)
7. ÖNORM B 2320:2017 08 01. *Wooden residential houses - Technical requirements*
8. ÖNORM B 3802-1:2015. *Protection of timber used in buildings – Part 1: General*
9. 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*
10. Pacchioli S., Pozza L., Trutalli D., Polastri A., (2021) *Earthquake-resistant CLT buildings stiffened with vertical steel ties*. *Journal of Building Engineering*
11. Canetti D., Sartori T., Polastri A., *Edifici in legno: una soluzione prefabbricata per l'attacco a terra*. (2020). *Structural 230 – luglio/agosto 2020 – paper 19*. DOI 10.12917/STRU230.19
12. Scotta, R., Marchi, L., Trutalli, D., Pozza, L., 2017. *Engineered aluminium beams for anchoring timber buildings to foundation*. *Structural Engineering International* 27,158-164. DOI: 10.2749/101686617X14881932435736
13. *Soltech website* (2020). <https://www.soltechonline.com/sistema-cordolo-ventilato>
14. *Rothoblaas website* (2020). <https://www.rothoblaas.it/alustart>
15. NTC 2018 - D.M. 17.01.18: *Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni"*, (2018).
16. Brevetto N. 102018000021469, Ministero dello Sviluppo Economico, Titolo: *Metodo di ancoraggio a terra di un edificio in legno, struttura di ancoraggio per un edificio in legno, edificio in legno comprendente tale struttura di ancoraggio e kit per la realizzazione di una struttura di ancoraggio per un edificio in legno*.
17. UNI EN ISO 13788:2013. *Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo*
18. UNI EN ISO 10211:2018. *Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati*