

# Costruire in legno

Edifici a basso consumo energetico – il sistema X-Lam

Dott. Ing. Massimiliano Fellin

## Caratteristiche del sistema costruttivo

Gli edifici multipiano a struttura di legno stanno ormai diventando una realtà anche nel nostro Paese e costituiscono una valida alternativa alle più comuni soluzioni analoghe in cemento armato o acciaio, anche e soprattutto nelle zone ad elevato rischio sismico. In particolare, tra i vari sistemi costruttivi esistenti si sta recentemente affermando il sistema X-Lam, ossia edifici realizzati con pareti e solai composti da pannelli incollati a strati di tavole incrociate, sistema che si è diffuso in gran parte dell'Europa negli ultimi dieci anni. Gli edifici X-Lam possiedono tutte le caratteristiche che rendono le strutture in legno particolarmente adatte a resistere alle azioni sismiche. Semplificando e sintetizzando il problema, le forze sismiche che agiscono su una struttura possono essere calcolate secondo la legge di Newton,  $F = ma$ . E' quindi evidente che strutture realizzate con materiali leggeri come il legno (con il quale un tempo si costruivano gli aerei) avranno masse ridotte e quindi saranno interessate da forze sismiche minori. Per resistere a tali forze, seppur minori, le strutture dovranno possedere delle adeguate riserve di resistenza e da questo punto di vista il legno strutturale (ossia il legno classificato secondo la resistenza e soggetto alle stesse regole di qualificazione e agli stessi requisiti richiesti per gli altri materiali secondo le Norme Tecniche del 2008 che finalmente stabiliscono pari condizioni tra il legno e gli altri materiali da costruzione) non soffre certamente di "complessi di inferiorità" rispetto ad altri materiali da costruzione. Inoltre, a livello di progettazione, le strutture rigide sono interessate da forze sismiche maggiori rispetto a quelle flessibili e deformabili qual è appunto il legno. Oltre alle proprietà citate ne esiste una quarta, altrettanto importante, ossia la duttilità e la capacità di una struttura di dissipare l'energia trasferita dal sisma attraverso lo sviluppo di deformazioni in campo non lineare. Pur essendo il legno strutturale un materiale a comportamento fragile (solo per alcuni stati di sollecitazione), nelle strutture lignee è possibile raggiungere elevati livelli di duttilità mediante l'impiego di connessioni metalliche con elementi metallici (piastre, chiodi, viti e bulloni) per collegare i vari elementi strutturali di legno.

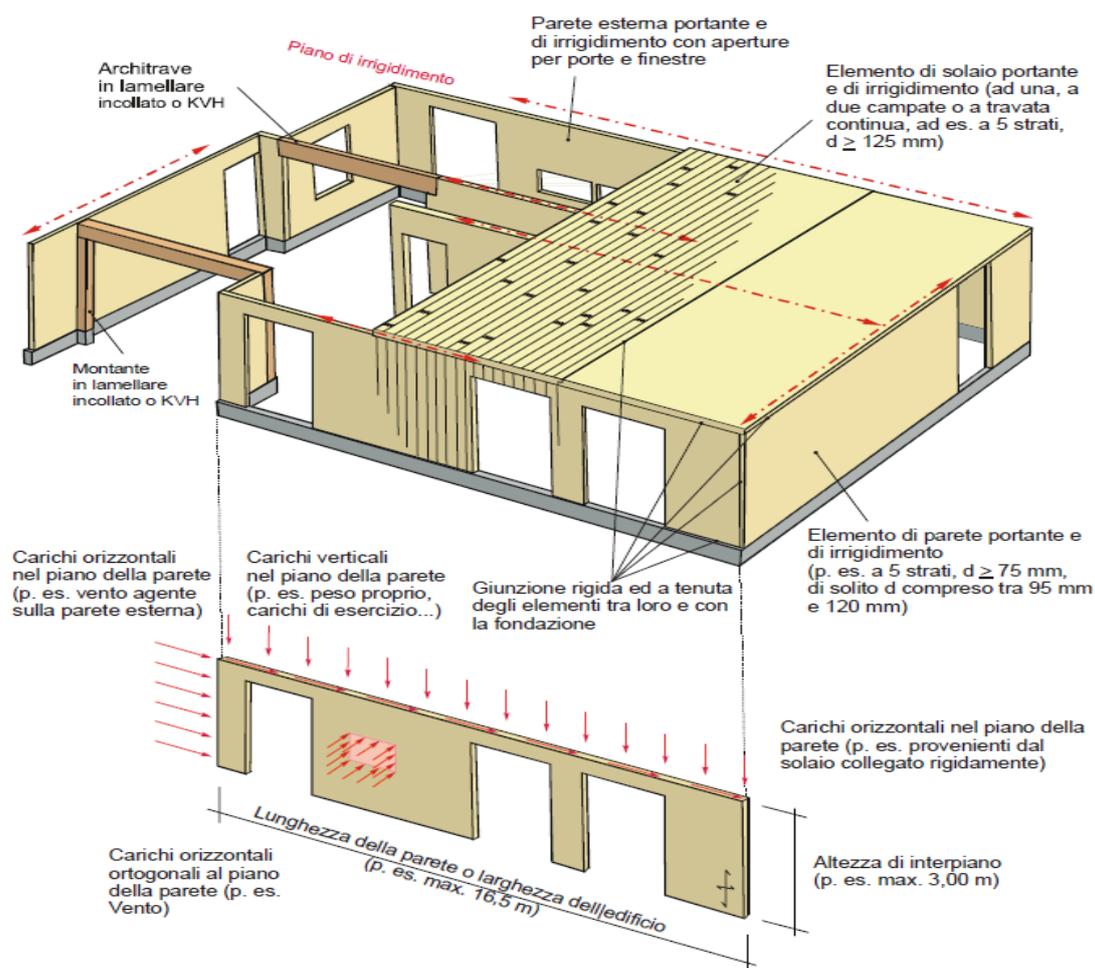


*Il sistema costruttivo e la modalità di ancoraggio dei pannelli X-lam*

Le costruzioni di tipo massiccio con legno compensato di tavole sono caratterizzate dall'impiego di elementi massicci piani multistrato con funzione portante, nei quali le dimensioni lungo entrambi gli assi principali sono di gran lunga maggiori dello spessore. Possono essere prodotti sia con legno di Conifere sia di Latifoglie ma in edilizia si utilizzano prevalentemente quelli di Conifera quali l'abete rosso, l'abete bianco, il pino, il larice e la douglasia. I valori di resistenza sono simili a quelli del legno massiccio e permettono di realizzare sezioni composite con prestazioni elevate.

## Composizione dei pannelli

Gli elementi piani portanti di compensato di tavole assumono, in base alle condizioni di carico, funzione portante di piastre e/o lastre. La struttura della sezione trasversale del compensato di tavole (pannelli monostrato disposti di solito alternativamente ad angolo retto l'uno rispetto all'altro) permette di ottenere con un unico pannello una capacità portante nelle due direzioni principali del loro piano. A seguito della capacità di ripartizione trasversale dei carichi, che dipende dalla struttura della sezione, è possibile in ogni punto l'assorbimento di carichi concentrati.



Impiego di elementi di X-Lam per solai e pareti in costruzioni di tipo massiccio

La figura precedente mostra una delle molteplici possibilità d'impiego del sistema costruttivo con legno compensato di tavole, che comprendono sia le case unifamiliari sia le abitazioni multipiano, come pure gli edifici pubblici, gli uffici ed i capannoni.

Le possibilità di utilizzo del compensato di tavole in edilizia residenziale sono caratterizzate dalla varietà dei prodotti e degli elementi costruttivi. Infatti non solo possono essere realizzati solai, pareti interne ed esterne ed elementi di copertura di grandi dimensioni ma anche solette per scale e balconi, nonché elementi strutturali di tipo lineare come architravi e colonne.



Posa in opera delle pareti



Posa in opera dei solai



Interni



Soletta della scala



Soletta del balcone



Soletta del balcone a sbalzo



Apertura nel solaio per il passaggio della scala



Apertura nel solaio per il passaggio della canna fumaria



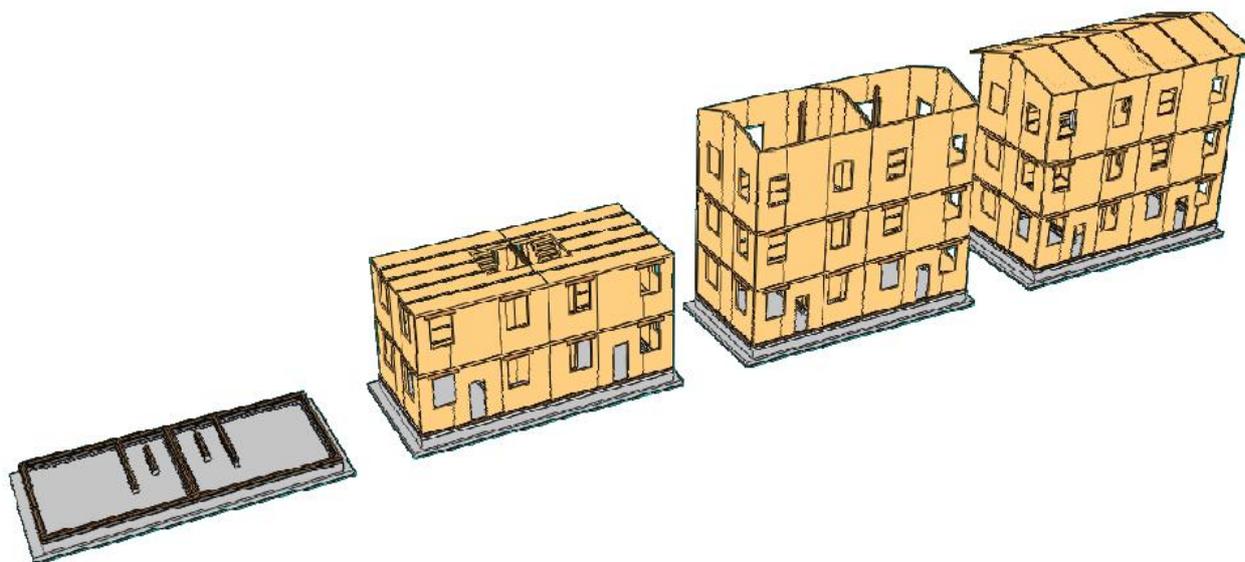
Apertura nel solaio per lucernari

*Impiego di elementi in legno compensato di tavole in edilizia residenziale*

Gli elementi massicci di parete, solaio e copertura possono essere prodotti esattamente e singolarmente in base alle indicazioni di progetto e possono essere collegati con sistemi di connessioni semplici e standardizzati. Vengono a mancare, quindi, quelle lunghe e complicate operazioni di finitura e di montaggio in cantiere. Isolamento, rivestimenti ed elementi di facciata possono essere facilmente fissati agli elementi in compensato di tavole (montaggio rapido).

Per il corretto montaggio degli elementi strutturali di legno occorre garantire la planarità delle opere di fondazione (entro la tolleranza massima di  $\pm 1,5\text{cm}$ ), per ridurre la necessità di spessori (se necessari meglio di acciaio) ed il raccordo di fessure e dislivelli con materiali adeguati all'omogenea distribuzione dei carichi sul perimetro dell'edificio. Un eventuale cordolo di rialzo deve avere la larghezza necessaria per ricevere gli elementi di ancoraggio. Il cordolo deve essere di opportuna altezza per staccare la struttura di legno rispetto alla quota esterna (minimo necessario 10 cm); ciò permette di aumentare lo spessore di coibentazione del solaio contro terra e di ottenere un vano di maggiori dimensioni per l'alloggio degli impianti elettrici. Le pareti vengono realizzate o con un unico elemento dotato di tutte le aperture per porte e finestre con l'unica limitazione sulla lunghezza data dalle esigenze di trasporto (normalmente sotto gli 11 m e talvolta anche fino a 16 m), oppure mediante l'assemblaggio di più pannelli, (normalmente di larghezza uguale o inferiore ai 3 m) collegati tra loro sempre meccanicamente per mezzo di strisce di pannello multistrato o con giunti a mezzo-legno tra i pannelli e viti o chiodi.

Le strutture di fondazione sono realizzate o con una platea o con travi rovesce in c.a. Se viene utilizzata una platea di fondazione è comunque buona norma realizzare sopra di essa un piccolo cordolo in c.a. oppure in legno di specie durabile per evitare il contatto diretto delle pareti in legno con la platea stessa. Talvolta il cordolo può essere evitato se le strutture di fondazione fuoriescono dal livello del terreno. In tutti i casi tra la struttura di legno e la fondazione in c.a. va interposto uno strato di guaina bituminosa che deve risvoltare sulla struttura di fondazione (e non sulla parete di legno) per evitare le trappole di umidità.



*Fasi costruttive di un edificio X-Lam*

Con gli spessori standard dei pannelli X-Lam possono essere realizzati sbalzi fino a 2 metri, mantenendo la continuità del solaio verso l'esterno. La parete del piano superiore viene semplicemente appoggiata, con taglio dritto, sull'estremità dello sbalzo ed opportunamente ancorata. La velocità e la sicurezza nel montaggio vengono

garantite dalla posa preventiva degli angolari d'acciaio sul solaio, in modo da consentire un riscontro preciso ed agevolare il bloccaggio delle pareti con le viti. Il dimensionamento degli elementi di fissaggio deve tener conto anche del peso della struttura del rivestimento esterno. Le dimensioni dei pannelli X-lam che vanno a costituire le pareti esterne, ed in generale tutti gli elementi dell'edificio, vengono progettate in base alle specifiche tecniche dei vari produttori. Tutte le lavorazioni principali vengono effettuate mediante centri di taglio a controllo numerico che garantiscono estrema precisione e facilitano l'assemblaggio in cantiere. Per situazioni particolarmente complesse è comunque sempre necessaria la ancora oggi l'esperienza e la capacità manuale degli operatori.

Anche le strutture portanti della copertura possono essere realizzate con pannelli X-Lam. Sulla linea di colmo i pannelli possono essere accostati e giuntati con un taglio verticale secondo la pendenza della copertura. In questo caso, si possono avere appoggi distanti dalla mezzeria senza la trave di colmo. I pannelli sono uniti con viti oppure con piastre chiodate mentre in prossimità degli appoggi vengono realizzate delle lavorazioni (intagli) in modo da garantire la corretta trasmissione dei carichi verticali. All'estradosso viene posato il pacchetto isolante ed il manto di copertura.



*Realizzazione di un tetto a falda con pannelli X-Lam*

## Il comportamento statico e sismico

Ad oggi, non esiste ancora alcuna indicazione dettagliata in normativa sulla progettazione e realizzazione di queste strutture in quanto il loro utilizzo è molto recente e quindi la sperimentazione è ancora in corso. Infatti, il sistema costruttivo, pur garantendo pienamente la sicurezza e le prestazioni attese di cui al capitolo 2 del D.M. 2008, è significativamente diverso dagli altri sistemi costruttivi a struttura in legno trattati nella norma. Tuttavia, dato il loro utilizzo sempre crescente nell'ambito delle costruzioni è possibile fornire indicazioni di carattere generale su come affrontare il progetto strutturale. In generale in tali sistemi costruttivi a pannelli gli elementi verticali (le pareti) devono essere progettati principalmente per resistere ad azioni nel piano (verticali ed orizzontali, comportamento al lastra), mentre gli elementi orizzontali devono essere progettati per resistere ad azioni nel piano e fuori dal piano (comportamento a piastra per i carichi verticali, a lastra per trasmettere le azioni orizzontali). La scelta di uno schema strutturale che più si avvicina alla realtà deve essere valutata dal progettista dell'opera, in considerazione delle caratteristiche tecnologiche degli elementi costruttivi utilizzati. La rigidità dei pannelli di parete ortogonali alla direzione della forza, come normalmente si fa anche per altre tipologie costruttive, è considerata trascurabile.

### Verifiche per carichi verticali

Dal punto di vista del funzionamento strutturale per azioni verticali, è opportuno valutare anche la presenza di eventuali eccentricità nella valutazione dei carichi. Tali eccentricità possono essere determinate dalle forze di reazione all'appoggio dei solai sulla parete (azione che non può essere considerata centrata sulla mezzera della parete):

- dalla presenza di eventuali riseghe nel caso di spessori differenti tra i pannelli delle pareti;
- dalle azioni in pressione o in depressione sulla parete ortogonale alla direzione del vento, che determinano flessioni fuori dal piano del pannello;
- in maniera analoga a quanto si fa con gli elementi in legno lamellare o in legno massiccio, occorre valutare anche la non perfetta rettilinearità degli elementi verticali, attraverso una eccentricità accidentale in funzione dell'altezza del pannello.

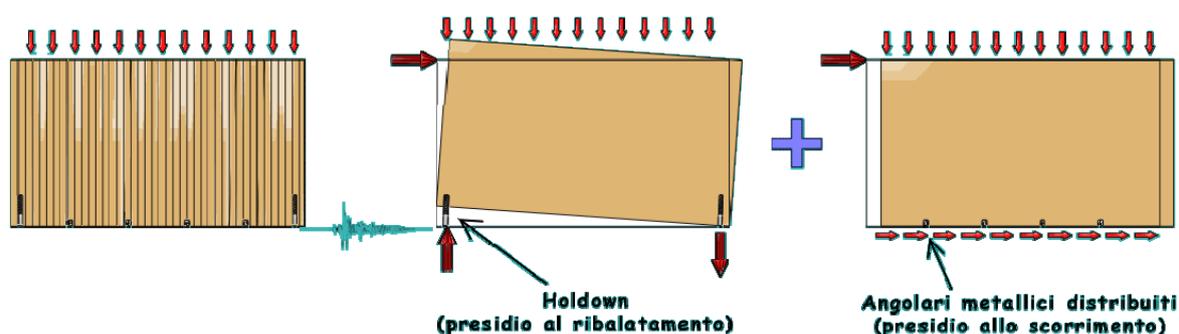
Tuttavia l'analogia con la muratura non può essere estesa oltre: i metodi descritti dalla normativa per gli edifici in muratura (come nel D.M. 20 Novembre 87, oppure nelle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14/9/05) sono stati tarati per un materiale non resistente a trazione, tenendo quindi in considerazione il fenomeno della snellezza efficace del pannello murario; nel caso dei pannelli di legno la verifica a

pressoflessione e instabilità potrà invece essere condotta in maniera analoga a quanto si fa per gli elementi di legno lamellare o di legno massiccio.

### Verifiche per carichi orizzontali – VENTO e SISMA

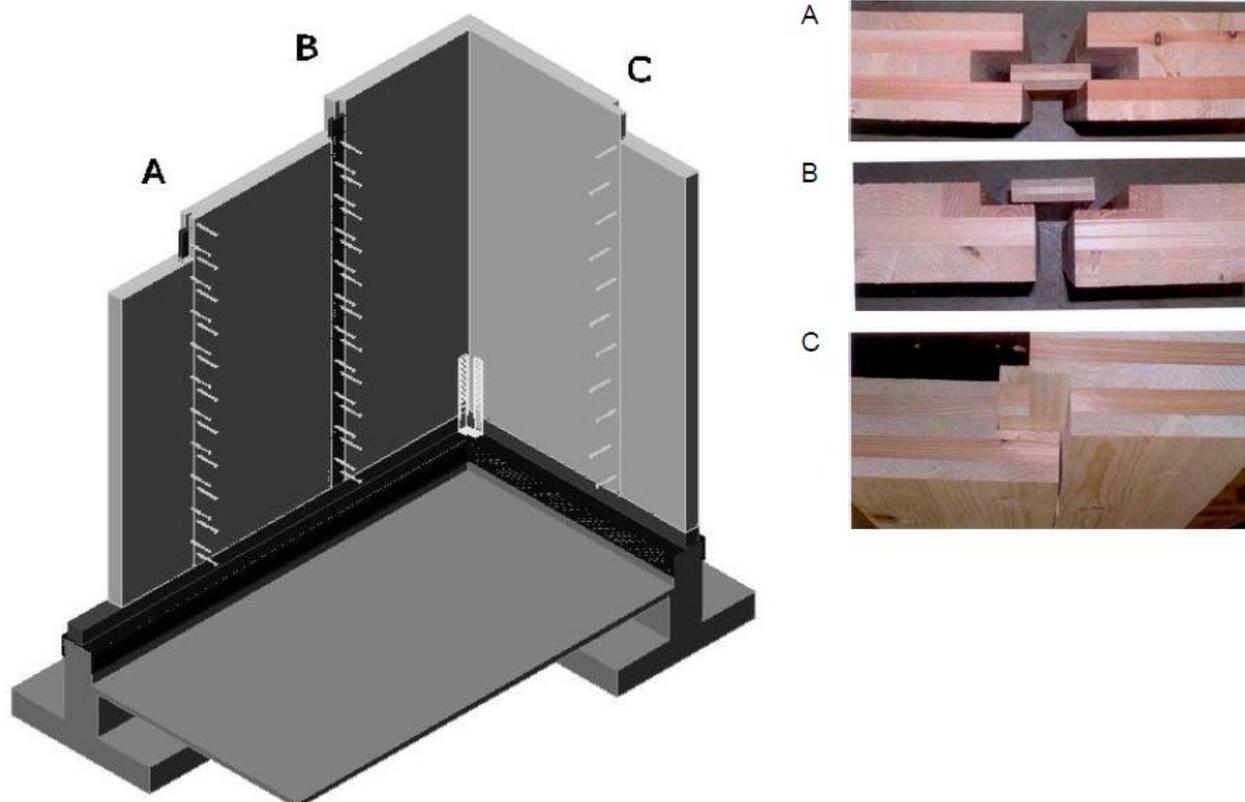
A differenza delle azioni verticali che possono interessare solamente una porzione della struttura ed alcuni elementi costruttivi, l'azione sismica è un'azione orizzontale che coinvolge la struttura nel suo insieme e pertanto la continuità dei collegamenti fra le diverse porzioni di struttura, in tutte le posizioni, è particolarmente importante e deve essere effettiva sia a trazione che a compressione. Dal punto di vista del comportamento sismico, un edificio X-Lam è sostanzialmente assimilabile ad una struttura scatolare in cui le pareti ed i solai sono formati da diaframmi costituiti da pannelli di legno massiccio molto rigidi e resistenti, collegati tra loro meccanicamente. Il collegamento delle pareti del piano terra alle fondazioni deve svolgere una duplice funzione di impedire il ribaltamento della parete per effetto delle azioni orizzontali agenti nel piano stesso ma anche lo scorrimento rispetto alle fondazioni. Il ribaltamento viene solitamente contrastato con delle piastre angolari allungate, dette comunemente *hold-down* (dall'inglese tener giù). Gli *hold-down* sono collegati alle pareti di legno con chiodi o viti e alle fondazioni in calcestruzzo con delle barre filettate in acciaio inserite in fori sigillati con malta cementizia o epossidica. Devono essere posizionati in corrispondenza dei limiti estremi delle pareti ed in prossimità delle aperture. I chiodi (meglio se ad aderenza migliorata) e le viti di collegamento alla parete hanno diametri variabili dai 3 ai 6 mm e le barre filettate dai 12 ai 18 mm a seconda del tipo di *hold-down* w dei carichi in gioco.

Lo scorrimento invece può essere contrastato in vari modi, secondo il metodo di collegamento delle pareti alle fondazioni. Nel caso di presenza di cordolo di legno di interposizione fra le pareti e la fondazione, deve essere previsto un doppio collegamento del cordolo di legno alle fondazioni, realizzato sempre con barre filettate, e della parete al cordolo in legno, garantito con viti auto-foranti, direttamente al cordolo di fondazione solitamente si prevedono delle staffe angolari di acciaio collegate con chiodi o viti alle pareti e sempre con tirafondi in acciaio alle fondazioni (diametro sempre 12-18 mm).



Effetti dell'azione sismica agente su una parete e diversa funzione degli elementi di collegamento

L'utilizzo di pareti intere è in diversi casi la soluzione migliore in termini di velocità di montaggio e per alcune situazioni progettuali particolari, come ad esempio il caso di pareti che fuoriescono a sbalzo rispetto al piano inferiore. In alternativa, soprattutto per esigenze di trasporto, facilità di maneggevolezza e montaggio in cantiere, vengono suddivise in pannelli di larghezze variabili a seconda del produttore fino ad un massimo di 3 m e collegate fra loro con la realizzazione di giunti verticali.



*Diverse modalità di realizzazione del giunto verticale tra i pannelli*

Una volta montate le pareti del piano terra è possibile posare il primo solaio. Quest'ultimo è formato da pannelli a strati incrociati di spessore solitamente maggiore di quello delle pareti, ovviamente in funzione delle luci e dei carichi che poggiano sulle pareti del piano inferiore e su travi di legno lamellare quando previste. Anche per il solaio, per esigenze di trasporto e montaggio, si preferisce il montaggio a pannelli di larghezza inferiore ai 3 metri, che vengono poi collegati tra loro mediante giunti orizzontali realizzati con le stesse tecniche utilizzate per la realizzazione dei giunti verticali fra pannelli parete e alle pareti sottostanti viene effettuato sempre mediante l'utilizzo di viti auto-foranti. Una volta realizzato il primo solaio il processo costruttivo si ripete: ossia il primo solaio fa da piattaforma per la realizzazione dei piani successivi.

La tecnica delle costruzioni degli edifici X-Lam e la ricerca sul comportamento statico e sismico condotta soprattutto in Europa negli ultimi anni, consente ad oggi di stabilire delle regole di progettazione sia in campo statico che sismico. Essendo edifici

piuttosto leggeri, generalmente l'azione orizzontale indotta dal vento è dello stesso ordine di grandezza di quella sismica e non è affatto trascurabile, pertanto, anche in zone a bassa sismicità, la progettazione per azioni orizzontali è particolarmente importante.

L'isolamento termico e acustico è poi disposto all'esterno in modo continuo su tutta la facciata, a garanzia di un'ottima efficacia contro il raffreddamento delle pareti in inverno ed il surriscaldamento in estate. Per garantire perfetta tenuta al vento i punti di collegamento verso l'esterno saranno sigillati utilizzando apposito nastro detto appunto di "tenuta all'aria".

E' presente inoltre una guaina termoadesiva, saldata per un'altezza complessiva di circa 100 cm ripartita in 50 cm nella struttura in legno e 50 cm nella struttura in calcestruzzo sottostante.

Il cappotto isolante esterno, realizzato in pannelli di fibra minerale o fibra di legno di spessore a piacere (60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 mm ecc.) fuorché alla base, dove per motivi di protezione dall'acqua sarà posato un pannello in estruso ad alta densità dello spessore uguale al cappotto esterno fino al raggiungimento di 60 cm d'altezza circa.

Le finiture esterne possono essere realizzate con:

1. Rasatura del cappotto con rete e graffiato;
2. Rivestimento in scandole/perline in legno di larice;
3. Controparete in fibrocemento per rivestimenti pesanti (lastre in porfido, sassi ecc);

□

Le finiture interne realizzate con:

1. Controparete in cartongesso costituita da doppia lastra di cartongesso fissata alla struttura metallica, utilizzata per il passaggio dell'impiantistica e come ulteriore strato isolante interno;
2. Rivestimento con perline in legno su listelli verticali o orizzontali con possibilità di variare l'orientamento delle perline (orizzontale, diagonale, verticale).

## **Conclusioni**

I nuovi sistemi costruttivi in legno lamellare e massiccio permettono quindi nuove possibilità, con architetture formali e linguistiche, raffinate nei dettagli ed una particolare attenzione ai consumi energetici e dell'ecosostenibilità. Una crescente sensibilizzazione nei confronti di queste tematiche ha sviluppato una nuova concezione del progettare e le scelte architettoniche sono più legate all'uso di risorse rinnovabili piuttosto che a scelte estetiche ed il materiale legno ritorna come innovazione tecnologica della tradizione costruttiva. Vanno congiuntamente lo sviluppo tecnologico ed il controllo di qualità: le strutture preassemblate in stabilimento assicurano l'affidabilità del sistema e la qualità dei componenti, le lavorazioni in cantiere sono ridotte al minimo, le macchine a controllo numerico permettono lavorazioni complesse ed accurate, la perfezione delle connessioni, la realizzazione di manufatti un tempo tecnicamente impensabili od estremamente costosi. L'industria ha risolto molti aspetti che costituivano un limite per l'applicazione di questo materiale nel campo delle costruzioni, come il comportamento al fuoco e le problematiche connesse alla durabilità e alla manutenzione.