

# Relazione tecnica strutture



# 1. Relazione generale illustrativa

Il progetto prevede, all'interno del lotto di circa 16.700 mq, la realizzazione di un nuovo polo didattico omnicomprensivo che dovrà offrire anche servizi territoriali di connessione tra le istituzioni e la cittadinanza.

L'idea progettuale propone la realizzazione di tre macromoduli, a pianta quadrata, che si intersecano tra di loro dando vita ad un unico complesso. L'interno di due dei tre macromoduli è "svuotato" attraverso la realizzazione di due chiostre, anch'esse a pianta quadrata, attorno alle quali si sviluppano i percorsi funzionali delle aree dedicate alla didattica. Il terzo macromodulo ospita tra l'altro la palestra e la mensa ed è l'unico ad un solo piano, essendo gli altri due dotati di un piano terra e un piano primo.

Parte della copertura ospita una palestra a cielo aperto e degli orti didattici. Su di essa trova inoltre posto un campo fotovoltaico.

Dal punto di vista delle tecnologie strutturali sono state adottate soluzioni che declinano in maniera differente, in modo da poter meglio rispondere alle diverse tipologie edilizie, l'utilizzo di un unico materiale: il legno. In generale sia per i corpi pluripiano destinati a ospitare le aule che per le altre aree si è ricorso all'utilizzo della tecnologia a pannelli di legno a tavole incrociati (XLAM), sia per le pareti portanti che per i solai di piano. Lungo le pareti vetrate interne che si affacciano sulle chiostre e per parte delle facciate esterne la pareti in XLAM sono state sostituite da cortine di pilastri ravvicinati, collocati in facciata, che supportano direttamente i solai o, come nel caso della palestra, travi, sempre in legno lamellare, ordite perpendicolarmente alle facciate.

Le fondazioni dell'intero complesso, sono di tipo diretto e, in virtù dei modesti carichi trasmessi al terreno dalle strutture in elevazione, sono risultate sufficienti della tipologia a trave rovescia e solo localmente a platea. Tutto il piano terra risulta inoltre isolato dal terreno dalla presenza di un vespaio areato con moduli in plastica riciclata. Tutte le porzioni degli edifici collocate a ridosso del terreno sono separate da questo dalla presenza di uno scannafosso in collegamento con il vespaio areato.

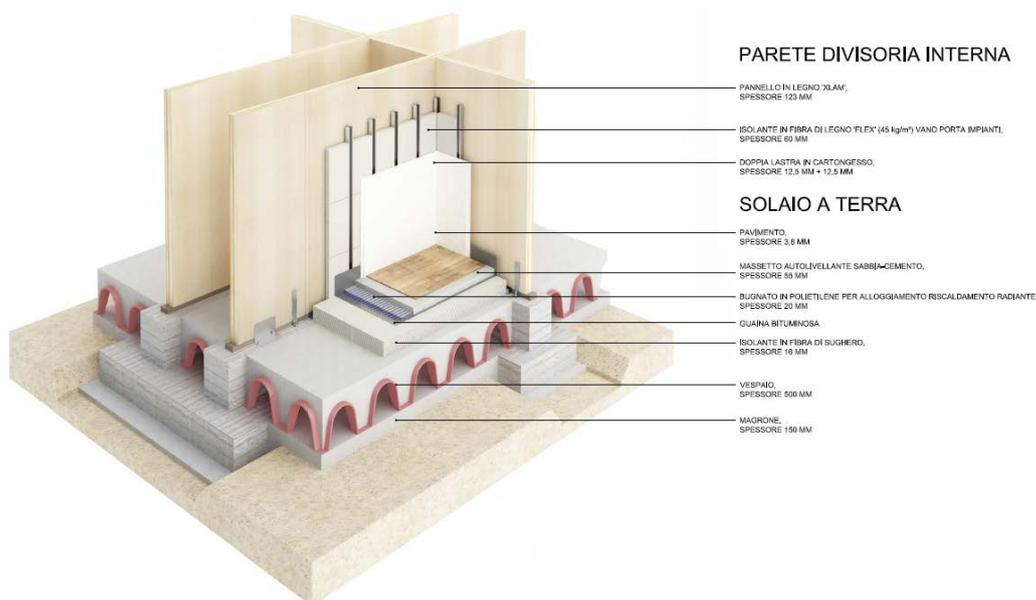


Fig. 1 – Spaccato assonometrico dell'attacco a terra

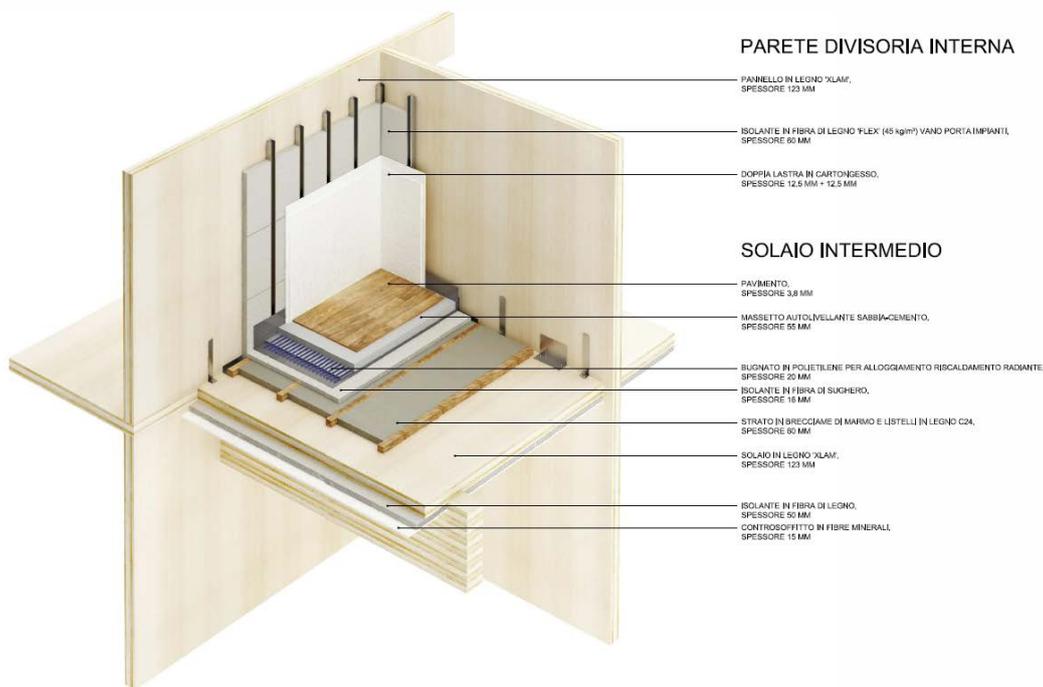


Fig. 2 – Spaccato assonometrico del nodo pareti-solai

## 2. Il legno come materiale per le strutture

Attualmente esistono al mondo diversi metodi costruttivi per realizzare edifici a struttura di legno che hanno avuto origine principalmente in regioni dotate di grandi estensioni boschive e climi piovosi e si sono sviluppati secondo le diverse tradizioni costruttive.

Ogni sistema ha le proprie caratteristiche distintive, che lo differenziano dagli altri per il comportamento strutturale o per gli aspetti estetico architettonici o ancora per i dettagli costruttivi e che lo rendono più o meno adatto in determinati contesti climatici e ambientali, ma tutti offrono gli indiscutibili vantaggi delle strutture di legno.

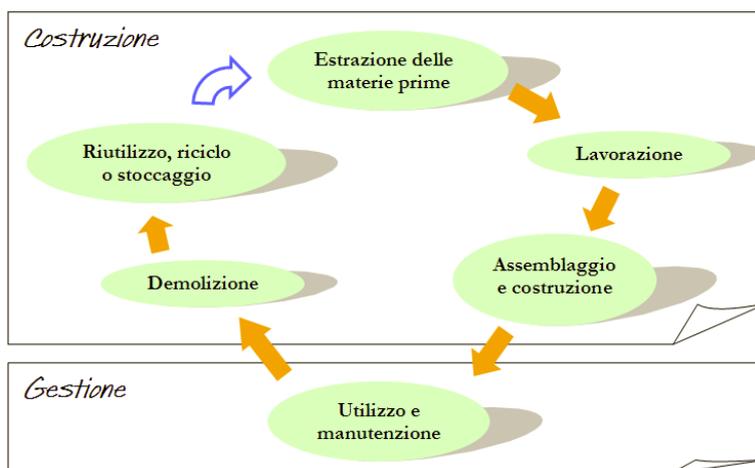
Nel presente caso la tecnologia adottata per la realizzazione delle strutture è quella che prevede il ricorso al legno lamellare e a pannelli di legno a strati incrociati (XLAM). Il sistema a pannelli portanti è forse l'ultimo arrivato tra i sistemi costruttivi per la realizzazione di edifici a struttura di legno e di fatto costituisce un'evoluzione del legno lamellare, pensato per elementi lineari, per la realizzazione di elementi bidimensionali.

Il sistema trae origine dal pannello a strati incrociati ideato e sviluppato per la prima volta in Germania nella prima metà degli anni 90, e ha conosciuto negli ultimi 10-15 anni un rapido e crescente sviluppo in tutta Europa fino a diventare allo stato attuale probabilmente il sistema più utilizzato nella realizzazione di edifici a struttura di legno. Il pannello a strati incrociati è un prodotto formato dalla sovrapposizione di strati di tavole di legno massiccio disposti ortogonalmente fra loro collegati mediante incollaggio.

### 2.1 Sostenibilità

Il valore del legno come materiale da costruzione dal punto di vista ecologico è facilmente comprensibile: proviene da una fonte, gli alberi, il cui rinnovamento e riproducibilità, sono determinati essenzialmente dall'unica sorgente energetica, ad oggi, definibile come illimitata: il sole. Attualmente la maggioranza dei materiali impiegati in edilizia non sono rinnovabili: la pietra, l'acciaio, il policarbonato, il cemento armato, il titanio, ecc. sono tutti materiali riciclabili, ma non rinnovabili; uno tra i pochi materiali rinnovabili e di largo impiego è proprio il legno. Per quanto riguarda l'inquinamento ambientale l'uso del legno in edilizia ha un elevato grado di sostenibilità. Le piante nella fase di crescita assorbono anidride carbonica e nel processo della sintesi clorofilliana imprigionano il carbonio all'interno del legno. In un metro cubo di legno, che pesa circa 500 kg, ci sono circa 250 kg di carbonio, che rimane in tal modo imbrigliato negli edifici all'interno

dei manufatti in legno, il che è un fatto estremamente positivo poiché la percentuale di anidride carbonica nell'atmosfera è quella più alta tra i gas responsabili dell'effetto serra. Inoltre, l'utilizzazione del legno genera meno emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto a quelle causate utilizzando altri materiali. Il consumo energetico in edilizia è relativo a tre fasi della vita degli edifici: la realizzazione, la gestione e la demolizione. Accorpendo la prima e l'ultima delle fasi si può parlare, per semplicità, di due fasi: la costruzione e la gestione. In genere la maggior parte dell'energia impiegata in queste fasi proviene da fonti energetiche non rinnovabili e altamente inquinanti per immissione di anidride carbonica prodotta dalla combustione dei derivati del petrolio o del carbone; la lavorazione di materiali da costruzione come il calcestruzzo, i mattoni, il vetro o l'acciaio richiede infatti un consumo energetico superiore. Per fare un esempio, per produrre una trave di legno è necessario un sesto dell'energia necessaria per produrre un elemento di resistenza equivalente d'acciaio. Inoltre la costruzione di una casa in legno richiede l'impiego della metà dell'energia necessaria per una costruzione in laterizio o calcestruzzo armato.



Infine, al contrario di quanto si possa pensare, utilizzare il legname proveniente da boschi gestiti correttamente significa consentire lo sviluppo delle foreste e non la loro distruzione in quanto si arriva ad asportare una quantità di materiale legnoso inferiore rispetto a quella prodotta annualmente.

## 2.2 Estrema semplicità e velocità di esecuzione

Le strutture di legno garantiscono un'estrema semplicità di esecuzione e velocità di realizzazione neanche paragonabili ad i tradizionali sistemi costruttivi, con conseguente contenimento dei costi e minori imprevisti in corso d'opera: per un cantiere di un edificio a struttura di legno si ragiona in termini di settimane mentre per un edificio di cemento armato o di muratura di mesi o talvolta anni; queste caratteristiche sono ottenute grazie alla leggerezza del materiale che consente facilità di trasporto e maneggevolezza nell'utilizzo in cantiere e all'assenza di getti.

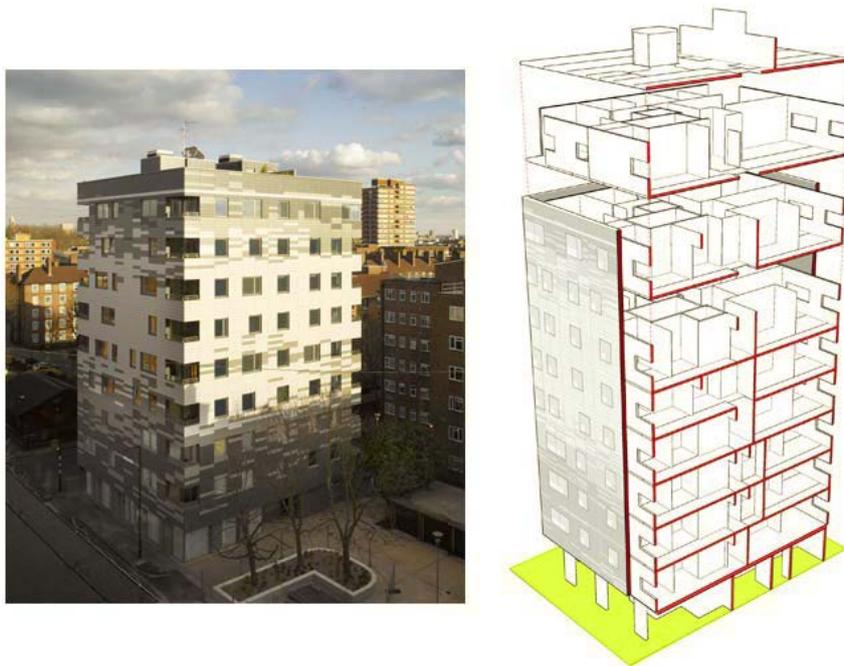


Fig. 3: Edificio interamente a struttura di legno di 9 piani realizzato nel 2008 a Murray Grove, Londra su progetto dello studio Waugh-Thistleton. Tempo di realizzazione delle strutture: 9 settimane

### 2.3 Buon isolamento termo-acustico

Il legno di per sé è un ottimo isolante termico e un buon isolante acustico. Avendo cura nella scelta del tipo di isolante adatto alla situazione climatica esistente così come nella previsione di dettagli progettuali adeguati che ne garantiscano il corretto funzionamento (barriera al vapore, intercapedine di ventilazione in parete ed in copertura), si ottengono livelli di comfort termico anche migliori di quelli degli edifici realizzati con materiali tradizionali. Inoltre l'utilizzo di materiali naturali a base di legno o suoi derivati per il pacchetto isolante contribuisce a migliorare la traspirabilità complessiva dell'involucro migliorando il comfort e la salubrità dell'edificio.

### 2.4 Eccellente resistenza alle azioni sismiche

È opinione ormai comune e diffusa in paesi caratterizzati da una elevata pericolosità sismica come la California (ma anche in tutto il resto degli Stati Uniti e anche in Canada ed in Giappone) che il legno sia un materiale particolarmente appropriato per realizzare strutture in grado di resistere a terremoti anche di elevata intensità.

Gli edifici a pannelli portanti a strati incrociati possiedono tutte le caratteristiche che rendono le strutture di 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,  $\text{forza} = \text{massa} \times \text{accelerazione}$ . È quindi evidente che strutture realizzate con materiali leggeri come il legno 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; la sua resistenza in dimensioni strutturali è dello stesso ordine di grandezza di quella del calcestruzzo, ma rispetto a quest'ultimo è presente anche a trazione.

Inoltre, e questo è un concetto meno intuitivo, a le strutture rigide sono interessate da forze sismiche maggiori rispetto alle strutture flessibili e deformabili, come è il caso delle strutture di legno. Il valore medio del modulo elastico del legno parallelamente alla fibratura è all'incirca pari a 1/3 di quello del calcestruzzo. Il fatto che il legno sia deformabile comporta bassi valori di rigidità e quindi un'alta flessibilità che si può tradurre in un aumento del periodo proprio di oscillazione e, quindi, in una minore suscettibilità della struttura nei confronti dell'azione sismica

Oltre alle proprietà citate ne esiste un'ulteriore, altrettanto importante, ossia la duttilità, che rappresenta 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 un materiale a comportamento lineare elastico fino a rottura, ovvero fragile (solo per alcuni stati di sollecitazione), caratteristica che sembrerebbe sconsigliarne l'utilizzo in zona sismica, nelle strutture realizzate in legno è possibile raggiungere elevati livelli di duttilità mediante l'utilizzo di connessioni meccaniche con elementi metallici (piastre metalliche, chiodi, viti e bulloni) per collegare i vari elementi strutturali di legno. Questo in virtù delle modalità costruttive relative al sistema considerato, ossia alle regole specifiche per la progettazione e realizzazione dei collegamenti fra i vari componenti strutturali, specificate al fine di consentire all'intero organismo strutturale di raggiungere la classe di duttilità indicata. Ciò è particolarmente vero nel caso di edifici per realizzati con intelaiatura in legno e rivestimento in compensato strutturale o OSB, dove la presenza di migliaia di chiodi che collegano gli elementi portanti di legno massiccio ai pannelli di compensato svolge un ruolo fondamentale nel raggiungimento del livello di duttilità necessario al buon comportamento dell'edificio sotto l'azione del terremoto; questo vale anche e soprattutto per il sistema a pannelli portanti a strati incrociati, dove la presenza di tante viti e chiodi per il collegamento dei pannelli parete e solaio consente di poter classificare questo sistema costruttivo fra quelli ad alta capacità dissipativa.

## 2.5 Elevata durabilità

Il legno, se conosciuto e adeguatamente progettato può durare secoli, basti pensare agli esempi di coperture di chiese ed edifici monumentali presenti nel nostro paese o alle incredibili pagode dei templi giapponesi.

Nelle strutture di legno, la conoscenza del materiale e la corretta progettazione e realizzazione di alcuni dettagli costruttivi fondamentali, accompagnata dalla redazione di un corretto programma di manutenzione, consente, senza costi aggiuntivi rispetto agli altri materiali, di raggiungere e superare abbondantemente i livelli di vita nominale della struttura previsti dalla normativa: in Nord America l'80% degli edifici residenziali, anche multipiano, sono di legno e superano tranquillamente i 100 anni di vita.

## 2.6 Buon comportamento al fuoco

È noto che il legno è un materiale combustibile, questo però non significa che le strutture di legno non possiedano resistenza al fuoco e che siano più vulnerabili rispetto alle strutture di acciaio o di calcestruzzo armato, specie se precompresso. La spiegazione è data dal comportamento stesso di un elemento strutturale di legno soggetto ad incendio:

- il legno brucia lentamente, la carbonizzazione procede dall'esterno verso l'interno della sezione;
- il legno non ancora carbonizzato rimane efficiente dal punto di vista meccanico anche se la sua temperatura è aumentata; la rottura meccanica dell'elemento avviene quando la parte della sezione non ancora carbonizzata è talmente ridotta da non riuscire più ad assolvere alla sua funzione portante.

Pertanto la perdita di efficienza di una struttura di legno avviene per riduzione della sezione e non per decadimento delle caratteristiche meccaniche. Il processo di carbonizzazione può portare alla rottura dell'elemento strutturale in un tempo compreso fra alcuni minuti primi e alcune ore, ciò in dipendenza della specie legnosa ma soprattutto delle dimensioni originarie della sezione.

Se poi si confronta il comportamento del legno con quello di altri materiali da costruzione più tradizionalmente utilizzati nel nostro paese, verso i quali normalmente non c'è alcun pregiudizio rispetto alla loro resistenza nei confronti dell'incendio non essendo materiali combustibili, si capisce ancora meglio perché il legno non parta svantaggiato, ma anzi, al contrario dell'opinione comunemente diffusa, possa essere considerato addirittura preferibile:

- gli elementi strutturali di acciaio non bruciano ma il materiale subisce un rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche in funzione della temperatura;
- nelle costruzioni di calcestruzzo armato la resistenza al fuoco è determinata dallo spessore del rivestimento delle armature metalliche (copri ferro);

- nelle strutture di legno i punti deboli sono le unioni che presentano elementi metallici a vista, le quali, se non protette, sono le prime a cedere durante l'incendio.

## 2.7 Sintesi degli Aspetti Prestazionali dei Pannelli a Strati Incrociati

Sul piano prestazionale, la più importante qualità dei pannelli a strati incrociati è la completezza: lo si capisce bene analizzando la maniera con cui, in termini generali, questa tipologia di prodotti risponde ai 6 Requisiti Essenziali della Direttiva europea 89/106 sui prodotti da costruzione:

Requisito	Prestazioni tipiche del compensato di tavole
Resistenza meccanica	Ottimo rapporto peso/prestazioni, buona isotropia nel piano, elevata stabilità dimensionale. Facile ottenere strutture con elevata duttilità, progettando bene i giunti.
Sicurezza in caso d'incendio	Facile ottenere una resistenza al fuoco elevata, in funzione degli spessori impiegati, spesso ridondanti. Assenza di fumi tossici o scuri (in caso d'incendio, sono questi i fattori maggiormente pericolosi).
Igiene, salute ed ambiente	Assenza di emissioni inquinanti e/o polveri. Assenza di formaldeide per pannelli incollati con adesivi di tipo poliuretano o chiodati.  Bassa emissione di formaldeide per pannelli incollati con MUF (melamina-urea-formaldeide).
Sicurezza di utilizzazione	Facili da manovrare in cantiere, sicuri come resistenza all'impatto, non più scivolosi rispetto ad altri materiali a base di legno.
Protezione contro il rumore	Una massa più elevata, rispetto alla costruzione a telaio e pannelli, fornisce automaticamente un migliore isolamento, anche alle frequenze più basse.
Risparmio energetico	La conducibilità è quella del legno ( $U=0,13 \text{ W/mK}$ ) quindi l'elemento strutturale è già anche isolante, e possiede una buona inerzia (utile per lo sfasamento e l'attenuazione in regime estivo). Molto facile evitare i ponti termici.

Tab. 1: Sintesi dei Requisiti Essenziali della CPD e prestazioni tipiche dei pannelli.

### 3. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA COSTRUTTIVO E COMPORTAMENTO SISMICO

A differenza delle azioni verticali che possono interessare solamente una porzione della struttura e 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.

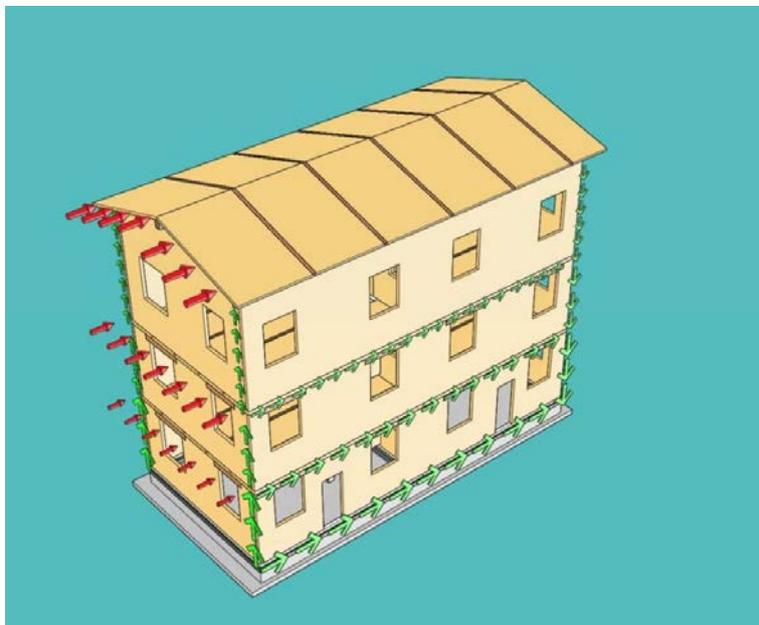


Fig. 4: Forze sismiche agenti su un edificio a pannelli portanti a strati incrociati (X-Lam).

Dal punto di vista del comportamento sismico, un edificio a pannelli portanti a strati incrociati è sostanzialmente assimilabile ad una struttura scatolare in cui le pareti e i solai sono formati da diaframmi costituiti da pannelli di legno massiccio molto rigidi e resistenti, collegati fra loro mediante giunti meccanici. I pannelli per le pareti e i solai vengono prefabbricati in stabilimento mediante il taglio computerizzato a controllo numerico e arrivano in cantiere pronti per il montaggio già dotati di aperture per porte e finestre, alloggiamenti per travi ed architravi, lavorazioni per i giunti, aperture per cavedi ed impianti.

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 o talvolta anche fino a 16 m), oppure mediante l'assemblaggio di più pannelli (normalmente di larghezza uguale o inferiore ai 3m) collegati fra di loro mediante collegamenti meccanici realizzati con l'utilizzo di strisce di pannello multistrato o con giunti a mezzo-legno fra i pannelli e viti o chiodi.

I solai di interpiano e di copertura sono realizzati mediante l'assemblaggio di più pannelli di larghezza uguale o inferiore ai 3 m con giunti meccanici realizzati con modalità simili a quelle utilizzate per il collegamento verticale fra i pannelli della parete che poggiano e sono collegati alle pareti sottostanti ed eventualmente a travi rompitratta di legno lamellare.

Prima di analizzare il comportamento sismico di questa tipologia di edifici occorre esaminare in dettaglio il processo costruttivo e le modalità di collegamento fra i vari componenti strutturali.

Le strutture di fondazione sono realizzate con travi rovesce in c.a. 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.

Al contatto fra la parete e le fondazioni, oltre alla guaina, viene posizionato un ulteriore strato di gomma, utilizzato anche in tutte le zone di contatto fra le pareti ortogonali e fra pareti e solaio,

usato non solo con la funzione di impedire il passaggio dell'aria attraverso le zone di contatto, ma anche come smorzatore acustico.

Il collegamento delle pareti del piano terra alle fondazioni deve svolgere una duplice funzione: impedire che per effetto delle azioni orizzontali (vento o sisma), agenti nel piano stesso della parete e in generale su tutto l'edificio si possa verificare sia il ribaltamento che lo scorrimento rispetto alle fondazioni. Il ribaltamento viene solitamente contrastato con delle piastre angolari allungate, dette comunemente hold-down (dall'inglese hold down ossia appunto tieni giù). Gli hold-down vengono 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 e 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 e dei carichi in gioco.

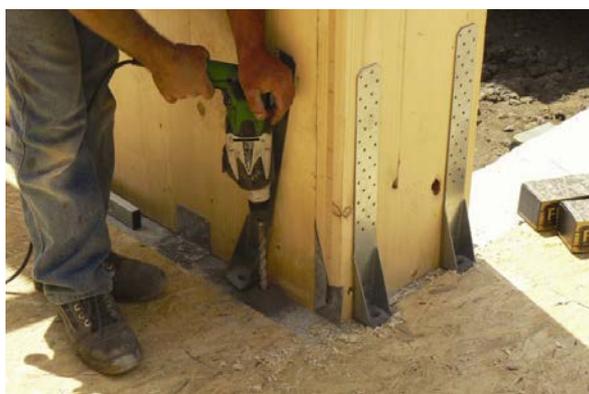


Fig. 5: Hold-down sugli spigoli dell'edificio ed in corrispondenza delle aperture, di presidio al sollevamento.

Lo scorrimento invece può essere contrastato in vari modi, a seconda del 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 di legno, garantito con viti auto-foranti (diametro di 8-10 mm) inserite inclinate sui due lati della parete. Nel caso invece di parete collegata direttamente al cordolo di fondazione solitamente si prevedono delle staffe angolari di acciaio collegate con chiodi o viti alle pareti (diametri come sopra) e sempre con tirafondi in acciaio alle fondazioni (diametro sempre 12-18 mm. Figura 6).

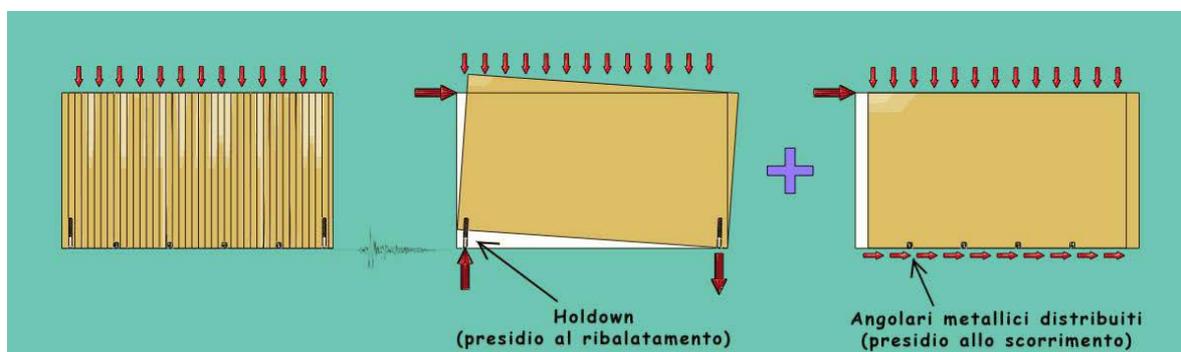
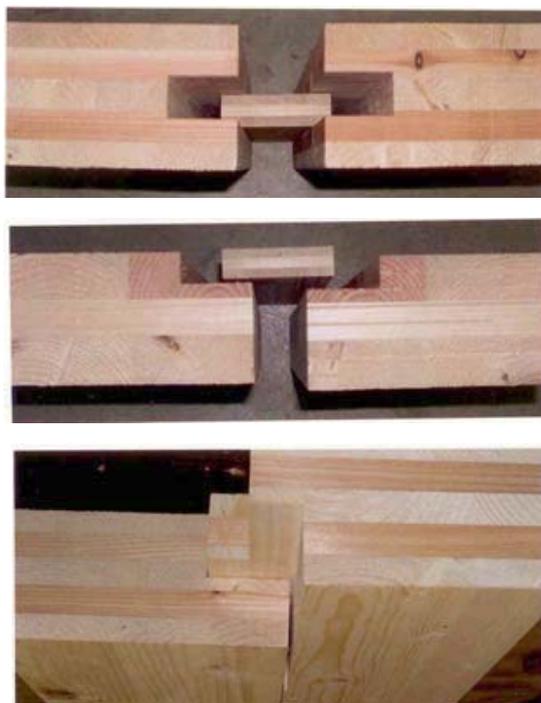
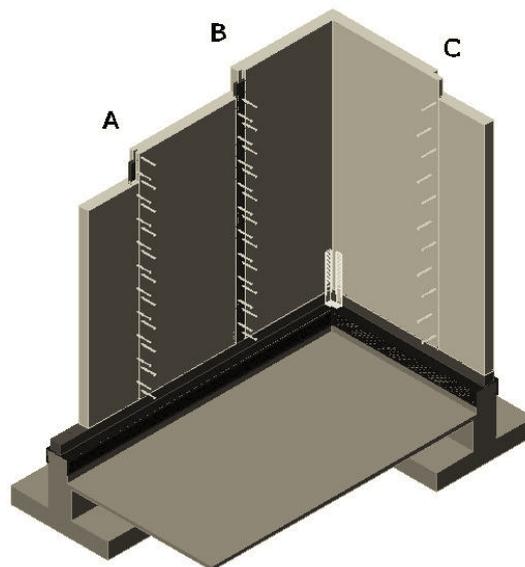


Fig. 6: Effetti dell'azione sismica agente su una parete e diversa funzione degli elementi di collegamento.

Le pareti possono essere costituite come detto da pannelli interi per lunghezze fino a 16 m e con una altezza pari all'altezza di interpiano, preparati in stabilimento mediante il taglio con macchine a controllo numerico e già completi di aperture. Una volta arrivate in cantiere vengono issate con mezzi meccanici di sollevamento e collegate fra loro e alle fondazioni: il processo costruttivo è molto veloce, sebbene il trasporto possa risultare più difficoltoso soprattutto in aree di cantiere con

accessibilità limitata. 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.



*Fig. 7: Tre diversi modi di realizzare il giunto verticale fra pannelli parete. A: con striscia di pannello multistrato inserita in fresatura interna ai pannelli e viti, B: con striscia di pannello multistrato inserita in fresatura sul lato interno parete e viti, C: con giunto a mezzo legno a tutta altezza e viti.*

In alternativa, soprattutto per esigenze di trasporto e facilità di maneggevolezza e montaggio in cantiere, vengono suddivise in pannelli di larghezze variabili a seconda del produttore fino ad un massimo di 3m e collegate fra loro con la realizzazione di giunti verticali. Questi ultimi vengono solitamente eseguiti con l'interposizione di una striscia di pannello multistrato a base di legno che può essere inserita in apposite fresature internamente alla parete o su una sua faccia. Talvolta viene realizzato anche un giunto a mezzo legno a tutta altezza. Il collegamento avviene sempre

mediante l'inserimento di viti auto-foranti di diametro variabile dai 6 ai 10 mm o chiodi di 3mm di diametro e interasse variabile in funzione dei carichi (Figura 7).

Il collegamento fra pareti ortogonali avviene sempre mediante l'inserimento di viti auto-foranti. Occorre fare attenzione nell'inserimento delle viti ad intercettare gli strati del pannello con direzione della fibratura verticale, diversamente, se si intercettano gli strati con direzione della fibratura orizzontale, l'unione diventa totalmente inefficace essendo la resistenza dell'unione con viti infisse parallelamente alla fibratura molto bassa. Dato che l'inserimento nello strato "corretto" non è sempre agevole e preciso, la cosa migliore è realizzare il collegamento con la vite infissa con asse leggermente inclinato rispetto alla direzione del piano della parete in modo da essere assolutamente sicuri di andare a intercettare gli strati di tavole a fibratura ortogonale e quindi dell'efficacia del collegamento

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 m, che vengono poi collegati fra 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. Le pareti del primo piano devono essere collegate al solaio sottostante sempre con mezzi di collegamento meccanico (piastre metalliche angolari, chiodi e viti) di presidio al sollevamento e allo scorrimento, con le stesse modalità del collegamento alle fondazioni. Per il sollevamento si possono continuare ad utilizzare gli stessi hold-down utilizzati in fondazione che però questa volta andranno posti a coppie di due, uno sopra e uno sotto il solaio, collegati da un bullone, per garantire la trasmissione dell'azione di sollevamento dalla parete del piano superiore a quella del piano inferiore. In alternativa possono essere utilizzate delle più pratiche bande forate da collegare esternamente alla parete con chiodi sia alla parete del piano inferiore che a quella del piano superiore.

La copertura è realizzata a pannelli. Il collegamento, nel caso di copertura a pannelli avviene come per i solai, mentre nel caso di copertura a travi il metodo di prefabbricazione in stabilimento dei pannelli consente di realizzare con estrema precisione le sedi di alloggio per le travi di copertura che poi possono essere più praticamente collegate con l'utilizzo sempre di viti auto-foranti oppure viti a doppio filetto o in alternativa anche con le classiche scarpe metalliche.

#### 4. Indicazione della spesa sommaria per le strutture

Descrizione	U.M.	Quantità	C. Unitario	Costo Totale	Sub-Totale
<b>MOVIMENTI TERRA</b>					
Piano Interrato	m <sup>3</sup>	1.148	€ 25,00	€	28.700,00
Piano Terra	m <sup>3</sup>	6.305	€ 15,00	€	94.575,00
<b>TOTALE</b>					<b>€ 123.275,00</b>
<b>FONDAZIONI E OPERE CONTROTERRA</b>					
Piano Interrato	m <sup>2</sup>	287	€ 255,00	€	73.185,00
Piano Terra	m <sup>2</sup>	4.203	€ 110,00	€	462.330,00
<b>TOTALE</b>					<b>€ 535.515,00</b>
<b>STRUTTURE LIGNEE E METALLICHE</b>					
Piano terra	m <sup>2</sup>	4.203	€ 110,00	€	462.330,00
Piano Primo	m <sup>2</sup>	2.418	€ 210,00	€	507.780,00
Piani Copertura	m <sup>2</sup>	4.203	€ 135,00	€	567.405,00
<b>TOTALE</b>					<b>€ 1.537.515,00</b>
<b>RIEPILOGO STRUTTURE</b>					<b>€ 2.196.305,00</b>

## 5. Normativa di riferimento

Si riportano elencate di seguito le normative di riferimento, intese anche come semplici fonti utili a chiarire aspetti non approfonditi nelle norme tecniche attualmente vigenti, ed esclusivamente qualora gli eventuali approfondimenti non siano in contrasto a quest'ultime.

- **D. Min. Infrastrutture 17 gennaio 2018.** “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”.
- **D. Min. Infrastrutture 14 gennaio 2008.** “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”.
- **D. Min. Infrastrutture 6 maggio 2008.** “Integrazione al decreto 14 gennaio 2008 di approvazione delle nuove «Norme tecniche per le costruzioni»”.
- **Circolare 2 febbraio 2009, n. 617.** “Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 14 gennaio 2008”.
- **Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011.** “Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008”.
- **D. Min. Infrastrutture 15 novembre 2011.** “Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Modifica delle norme tecniche per le costruzioni in materia di utilizzo degli acciai B450A”.
- **D. Min. Infrastrutture 31 luglio 2012.** “Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici”.
- **Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007.** “Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni”.
- **Decreto Presidenza del Consiglio dei Ministri 21 ottobre 2003.** “Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica»”.
- **Legge n. 64 del 2 febbraio 1974.** “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- **Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971.** “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”.