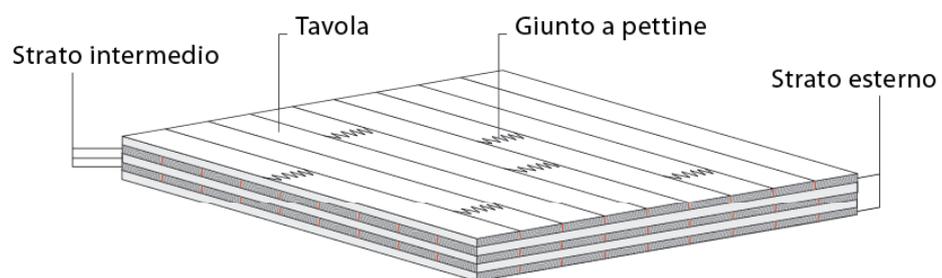
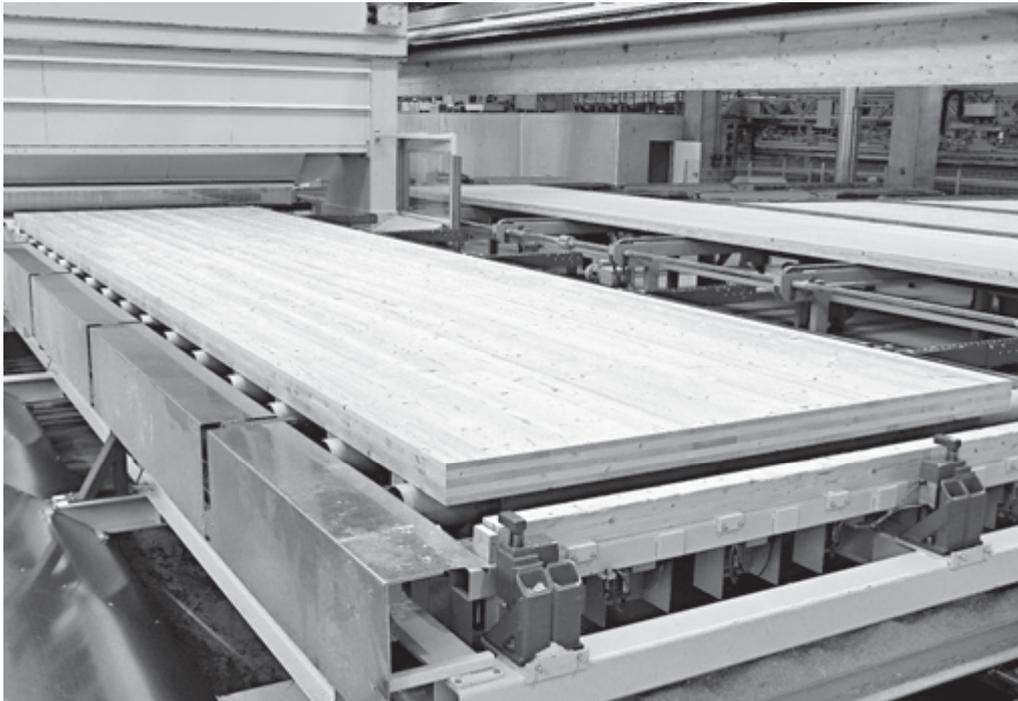


promo_legno

Il materiale XLAM

Caratteristiche e prestazioni

Andrea Bernasconi



Materiale: caratteristiche, proprietà e prestazioni

1 Introduzione

I pannelli XLAM, così come li definiamo oggi, vedono la luce sul mercato austriaco e tedesco per la prima volta alla fine degli anni '90, quale coronamento dell'evoluzione e dello sviluppo dell'idea di permettere l'utilizzo di elementi strutturali di legno, piani e di grandi dimensioni. La costruzione di legno si basava fino allora sull'impiego di elementi strutturali lineari, creando strutture basate sul principio della combinazione di travi, montanti, pilastri, ecc.

1.1 La struttura classica dell'edificio di legno moderno

La creazione di elementi strutturali piani è nota e diffusissima nella costruzione di legno. La tipologia costruttiva ancora oggi più diffusa in questo ambito, la costruzione intelaiata di legno, è composta da elementi piani formanti solai e pareti. La discesa dei carichi in queste strutture prevede la distribuzione delle sollecitazioni su tutto il perimetro delle pareti, in modo da ridurre al minimo le sollecitazioni locali. Gli elementi strutturali sono, però, il risultato dell'assemblaggio di più componenti. All'origine l'elemento di solaio e di parete era composto esclusivamente da elementi lineari di sezione molto ridotta: travetti di legno massiccio per formare i montanti verticali della parete o per formare le travi del solaio, e tavole sottili per formare il rivestimento strutturale e creare un elemento stabile nel proprio piano. I montanti e le travi inflesse, completate con una travatura di bordo su tutto il perimetro dell'elemento, formano l'intelaiatura, le tavole di rivestimento formano il rivestimento strutturale che permette di mantenere la forma dell'elemento piano, di garantirne la stabilità e la funzionalità strutturale.

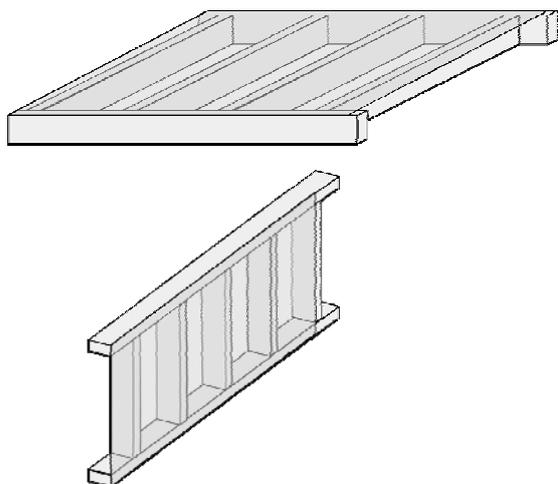


Figura 1: Elementi di solaio e di parete della costruzione intelaiata

Più tardi, con l'avvento dei pannelli truciolari e di compensato di piallacci e sfogliati, le tavole inclinate del rivestimento strutturale dell'intelaiatura sono state rimpiazzate dai pannelli sottili. Fra i pannelli sottili si possono citare i pannelli di compensato di piallacci e sfogliati, i pannelli truciolari e i pannelli a truciol allungati, più noti come pannelli OSB, dall'abbreviazione inglese della descrizione "Oriented Strands Board".

Al giorno d'oggi questo elemento di rivestimento strutturale è realizzato nella maggior parte dei casi con pannelli di tipo OSB in Europa e con pannelli di compensato sottile nel continente Americano, dove la diffusione dei pannelli OSB ha iniziato più tardi e dove, probabilmente, l'evoluzione del mercato e della tecnologia del materiale ha seguito una strada diversa dall'Europa.

Va aggiunto che, ancora oggi, si costruiscono edifici di legno con struttura intelaiata e rivestimento strutturale formato da tavole sottili inchiodate all'intelaiatura. Non si tratta soltanto di reminiscenze del passato o della volontà di costruire secondo sistemi tradizionali, ma di strutture in perfetta regola con le esigenze strutturali e tecniche del giorno d'oggi. Questo sistema di formare pareti e solai è senz'altro da definire come tradizionale e presenta caratteristiche tecniche e prestazioni meccaniche ridotte, rispetto agli elementi eseguiti con elementi di pannelli sottili, in particolar modo per quanto concerne la rigidezza nel piano dell'elemento. È quindi senz'altro consigliabile riservare questo tipo di strutture per costruzioni dalle dimensioni comunque limitate all'edilizia di abitazione più tradizionale, cioè di tipo mono o bifamiliare, e con un numero di piani limitato.

La parete, come il solaio, dell'edificio intelaiato è quindi formata da un telaio e da un rivestimento strutturale sottile, che, indipendentemente dal tipo di pannello usato, di regola presenta uno spessore di ca. 20 mm.

Dal punto di vista strutturale questi elementi sono formati da due componenti ben distinte: il telaio e la pannellatura. Al telaio, formato da travi o montanti, spetta il compito di assumere tutte sollecitazioni derivanti dalle forze perpendicolari al piano dell'elemento, come pure della discesa delle forze verticali agenti sulle pareti dell'edificio. Alla pannellatura spetta il compito di irrigidire e stabilizzare questi elementi, come pure quello della discesa delle sollecitazioni orizzontali nel medesimo piano degli elementi strutturali, o, semplicemente, quello della controventatura orizzontale e verticale di tutta la struttura.

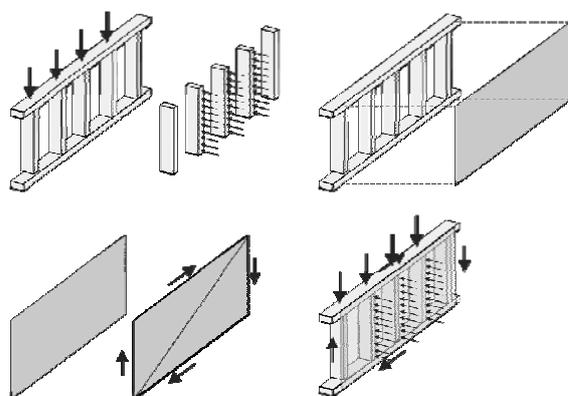


Figura 2: Composizione dell'elemento di parete intelaiata - funzione strutturale delle sue componenti

Alla pannellatura spetta, inoltre, il compito della funzione strutturale locale, cioè nello spazio fra i montanti delle pareti o fra le travi del solaio. L'interasse ridotto fra quest'ultimi elementi è quindi giustificato sia dalla necessità di ridurre le sollecitazioni distribuendole su un numero di elementi elevato, sia dalla necessità di non avere luci troppo grandi fra i singoli elementi di travi e di montanti. Di regola questo interasse si situa fra i 550 e i 650 mm, molto raramente supera i 700 mm. Il collegamento fra la pannellatura e l'intelaiatura è di regola eseguito con connettori di tipo meccanico, garantendo così non solo resistenza e rigidità sufficienti alla struttura, ma conferendole anche una duttilità particolarmente efficace e interessante in caso di sollecitazioni sismiche.

Questa tipologia strutturale, che non sarà analizzata ulteriormente in seguito, sta alla base dell'evoluzione e del successo della costruzione di legno in ambito edile degli ultimi decenni nel mondo intero. Gli edifici multipiano di legno costruiti fino alla fine degli anni '90 del secolo scorso sono praticamente tutti stati concepiti, progettati e realizzati secondo questo principio. Si tratta quindi di una tipologia costruttiva e strutturale che può essere senz'altro definita come adatta alle esigenze attuali e moderna.

1.2 I limiti della struttura intelaiata

Il principio, e il grosso vantaggio, della struttura intelaiata, prevede la distribuzione delle sollecitazioni e dei carichi sull'integralità degli elementi piani (solai e pareti), in modo che ogni elemento lineare (travi dei solai e montanti delle pareti) sia sollecitato da una porzione di carico ridotta; l'unione di un numero elevato di elementi permette di far fronte alla totalità delle forze agenti sulla struttura dell'edificio, creando così l'effetto strutturale degli elementi piani di parete e di solaio.

Cercando i limiti di questo sistema strutturale, non si può fare a meno di osservare come l'effetto di superficie di questi elementi strutturali sia ottenuto tramite la pannellatura del rivestimento strutturale, che, di fatto, presenta uno spessore spesso molto limitato. Dal punto di vista strutturale questo spessore ridotto è senz'altro accettabile e permette di adempiere a tutte le funzioni strutturali, a condizione beninteso che esso sia dimensionato, verificato e realizzato a regola d'arte. Anche in caso di edifici di dimensioni importanti, questa struttura permette la realizzazione di elementi strutturali sufficientemente rigidi e resistenti. In caso di strutture particolarmente esigenti, per esempio in caso di edifici di altezza elevata e con un numero di pareti strutturali ridotte, si possono intravedere i primi limiti di questa tipologia. In questi casi il rivestimento delle pareti deve essere accuratamente concepito, se necessario aumentando gli spessori della pannellatura e scegliendo materiali - sempre fra i pannelli sottili - di spessore più elevato o che offrano caratteristiche meccaniche più elevate: i pannelli OSB ad alta resistenza, oppure l'uso di pannelli di compensato di piallacci, combinati con l'aumento del numero di connettori fra telaio e pannellatura, o ancora l'incollatura strutturale fra la pannellatura e il telaio, permettono quasi sempre di risolvere questi problemi e di realizzare la struttura richiesta dal progetto, senza doverne sconvolgere il concetto.

La parete della struttura intelaiata è prevista come elemento continuo e senza interruzioni importanti. Di fatto, ogni apertura presente nella parete rappresenta, quindi, un'interruzione dell'elemento strutturale e deve essere analizzata e studiata nel dettaglio. La soluzione di questa situazione si trova nell'aggiunta di un elemento di rinforzo della parete, chiamato comunemente

architrave, che permette di spostare i carichi presenti sull'apertura verso le parti adiacenti della parete, e di garantire così la discesa dei carichi verso il basso.

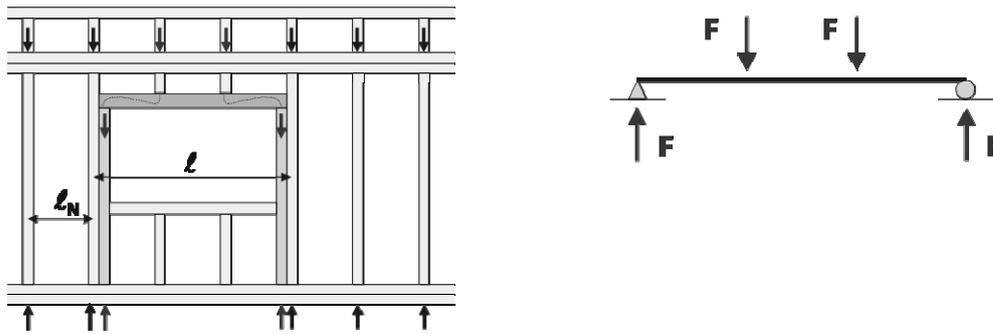


Figura 3: Architrave nella parete intelaiata

In presenza di aperture sulle pareti, quindi, la distribuzione delle sollecitazioni non può più essere distribuita su tutta la lunghezza dell'elemento di parete, ed in particolar modo in prossimità delle aperture si presenta una concentrazione di sollecitazioni tanto più importanti quanto più grande è l'apertura nella parete. Visto che la discesa delle forze verticali avviene esclusivamente tramite i montanti verticali della parete, queste concentrazioni di sollecitazioni in prossimità delle aperture non hanno un effetto solo locale, ma si presentano su tutti gli elementi di parete di livello inferiore. Il principio dell'introduzione dell'architrave si presta quindi molto bene fintanto che l'edificio presenta un numero di piani limitato, o fintanto che le aperture sulle pareti si trovano nella medesima posizione, permettendo quindi di rinforzare la parete in un numero di punti limitato.

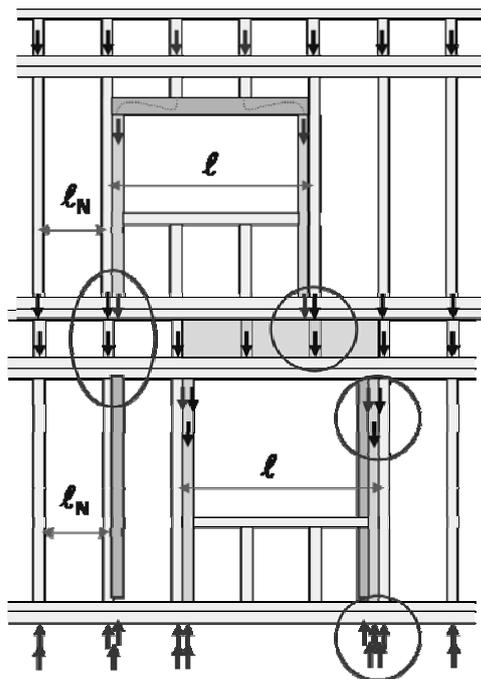


Figura 4: Architravi in costruzioni a più piani con aperture non regolari

L'applicazione di questo principio ad edifici multipiano comporta quindi l'evoluzione della struttura intelaiata di base verso una struttura adattata alla geometria dell'edificio. Il grado di complessità della struttura portante aumenterà con l'aumentare della dimensione delle aperture nelle pareti, con l'aumentare delle irregolarità o discrepanze in pianta fra i diversi piani che compongono l'edificio e con l'aumentare della variazione della posizione delle aperture nelle pareti. Nelle costruzioni di grandi dimensioni ciò porta spesso alla definizione di una struttura più simile al principio della struttura a travi inflesse e pilastri, che a quella della costruzione intelaiata: la discesa dei carichi verticali è concentrata in una griglia di pilastri, adattata alle esigenze geometriche del progetto, sui quali appoggiano travi inflesse di dimensioni anche importanti. Gli elementi di solaio, benché eseguiti secondo il principio indicato sopra, sono semplicemente appoggiati sulla travatura che forma lo scheletro dell'edificio. Anche le pareti sono realizzate come elementi intelaiati, ma non formano più la struttura portante principale dell'edificio, essendo solo inserite nello scheletro formato da pilastri e travi inflesse; la funzione della controventatura dell'edificio è assicurata dalla pannellatura delle pareti, che assumono anche la funzione di stabilizzazione dello scheletro della struttura principale. Strutture di questo tipo sono senz'altro efficaci e adatte alla realizzazione di edifici di grandi dimensioni. Esse richiedono però una concezione - strutturale e costruttiva - accurata, e sono piuttosto lontane dal principio originale della struttura intelaiata. Dal punto di vista dell'esecuzione, ogni edificio presenta caratteristiche e particolarità proprie e diverse dagli altri.

Anche gli elementi dei solai intelaiati sono originariamente nati per la realizzazione di edifici abitativi di dimensioni modeste. Con luci oltre i 5,50 m il sistema costruttivo del solaio intelaiato mostra tutti i suoi limiti, derivati dal fatto che alla base dell'effetto strutturale si trova una serie di travi semplici, dal punto di vista strutturale completamente indipendenti una dall'altra. Con luci più grandi, le dimensioni delle sezioni delle travi, pur considerando l'interasse ridotto, diventano tanto importanti da mettere in discussione la possibile realizzazione del solaio: oltre i 5,50 m di luce l'altezza strutturale necessaria per ottenere un solaio che rispetti le esigenze di resistenza e di rigidità dettate dalla realizzazione di edifici multipiano moderni, rappresenta almeno un ventesimo della luce, superando quindi facilmente i 300 mm. Che questo sia un limite del sistema, non deve essere sottolineato ulteriormente.

La realizzazione di solai di grandi dimensioni e luci anche nell'edilizia abitativa ha portato all'evoluzione del solaio intelaiato verso il solaio a cassone, dove un secondo strato di pannellatura appositamente collegato con le travi permette di ottenere elementi strutturalmente più performanti.

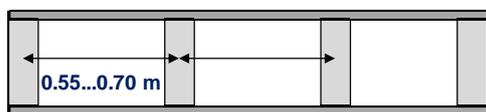


Figura 5: Elemento di solaio a cassone con pannellatura incollata da sui due lati

Il collegamento strutturale fra la pannellatura e le travi, che ora formano le anime della trave composta, deve essere realizzato tramite incollatura strutturale, in modo da assicurarne una rigidità sufficiente. Questo tipo di solai richiede una tecnica di produzione decisamente più impegnativa e l'uso di pannelli adatti all'incollatura strutturale con la travatura. Inoltre la struttura di base di questo tipo di solai è sempre quella dalla serie di travi parallele e indipendenti fra loro: si tratta quindi sempre di un elemento di piastra con effetto strutturale unidirezionale. Questo tipo di

solaio può essere considerato come il solaio corrispondente alla costruzione intelaiata per luci più grandi di 5 m, o per ridurre l'altezza strutturale del solaio in generale.

1.4 La superficie quale elemento strutturale

La costruzione intelaiata rappresenta. Quindi, una tipologia strutturale basata sulla realizzazione di una struttura composta da elementi di solaio e di parete, quindi elementi piani, ma non può essere definita come una tipologia strutturale basata su elementi strutturali piani, o come la realizzazione dell'uso della superficie come elemento geometrico fondamentale della struttura.

L'uso della superficie quale elemento strutturale, o dell'elemento strutturale superficiale è piano, richiede la capacità strutturale del materiale in tutte le direzioni del piano considerato. In particolare modo in caso di sollecitazione perpendicolare al piano dell'elemento strutturale è necessaria la possibilità di distribuire il carico, tramite flessione e taglio, nelle due direzioni del piano dell'elemento.

Nell'ambito dei prodotti a base di legno, queste caratteristiche sono state riservate, fino all'avvento dei pannelli XLAM, ai pannelli truciolari sottili ed ai pannelli di compensato di piallacci o sfogliati. Per la loro natura di elemento sottile, questi pannelli non hanno però mai permesso di creare elementi strutturali di superficie delle dimensioni di un solaio o di una parete di un edificio.

Per correttezza e completezza di informazione ricordiamo che l'evoluzione delle piastre massicce di legno comprende diversi sistemi di piastre strutturali che permettono una certa distribuzione delle sollecitazioni anche nella direzione trasversale rispetto alla fibratura; malgrado ciò, anche questi elementi rientrano per principio negli elementi a capacità portante unidirezionale.

L'XLAM ha colmato questa lacuna, ed ha introdotto anche nella costruzione di legno la possibilità di disporre di elementi strutturali massicci, piani e di grandi dimensioni. Agli elementi strutturali lineari di legno, formati da travi con sezione e forma praticamente a piacimento, alla possibilità di formare elementi costruttivi e strutturali piani di grandi dimensioni riunendoli e combinandoli con i pannelli sottili, si aggiunge la possibilità di concepire, progettare e realizzare strutture formate da elementi portanti piani, riunendo nell'unico elemento massiccio le funzioni di piastra e di lastra. Su questo materiale e sulla sua applicazione concreta alla realizzazione di edifici anche di dimensioni importanti si concentrano le indicazioni seguenti.

1.5 XLAM: un materiale nuovo e una rivoluzione nella costruzione

L'XLAM nasce alla fine degli anni '90, in Austria e in Germania. In Austria si può identificare all'origine dell'XLAM un progetto di sviluppo e ricerca, realizzato presso l'Università di Graz, che portasse ad aprire nuove vie per un migliore sfruttamento delle risorse messe a disposizione dalla lavorazione del legno in segheria, realizzando elementi piani di grandi dimensioni. A questo progetto ne sono seguiti diversi altri, che, insieme a diversi altri lavori di sviluppo e ricerca in diversi paesi europei, hanno portato allo stato della tecnica attuale. La capacità produttiva installata attualmente, dopo circa un decennio, in tutta Europa di ca. 0,5 Mio. di metri cubi annui rappresenta

forse la dimostrazione migliore del successo di questo materiale. La tendenza è senz'altro al rialzo, e i grossi produttori di altri continenti stanno mostrando un interesse molto importante per questo materiale.

Nei primi anni del 1900 sono stati realizzati in Inghilterra i primi edifici multipiano con struttura in calcestruzzo armato, sfruttando fra all'altro proprio l'allora nuova possibilità di realizzare elementi strutturali piani con questo materiale. Nel 2007 è stato realizzato a Londra un edificio con 9 piani di struttura portante di pannelli XLAM; idee e studi per costruire edifici di legno, con questo materiale, di altezza ancora superiore sono già in discussione. Ma anche senza andare a cercare le altezze da record, sembra che, ad poco più di un secolo di distanza dall'avvento della tecnologia strutturale delle pareti e solette di calcestruzzo armato, il pannello XLAM sembra stia permettendo al legno di offrire una tipologia costruttiva ad essa concorrenziale anche dal punto di vista della concezione strutturale dell'edificio: le porte sono aperte alla superficie - cioè all'elemento piano - di legno massiccio quale elemento strutturale. Il presente sembra dire che questa possibilità incontra l'interesse sia dei progettisti, sia della committenza. Il futuro ci dirà se siamo davanti ad un'altra rivoluzione, come già con il calcestruzzo armato ne ha provocato una, poco più di un secolo fa.

2 XLAM: un materiale nuovo

2.1 Principio

I pannelli di legno massiccio a strati incrociati XLAM sono pannelli di grandi dimensioni, formati da più strati di tavole, sovrapposti e incollati uno sull'altro in modo che la fibratura di ogni singolo strato sia ruotata nel piano del pannello di 90° rispetto agli strati adiacenti. Il numero di strati e il loro spessore può variare a dipendenza del tipo di pannello e del produttore dello stesso. Il numero minimo di strati per ottenere un pannello XLAM è di 3; va però subito sottolineato che per ottenere un comportamento fisico e meccanico efficace sotto tutti i punti di vista e corrispondente alla definizione di elemento multistrato, il numero minimo di strati dovrebbe essere uguale a 5. Come le osservazioni seguenti potranno chiarire, il pannello formato da 3 strati presenta nel proprio piano una direzione particolarmente debole dal punto di vista delle caratteristiche strutturali e meccaniche; il pannello a 3 strati è e resta, comunque, un pannello XLAM a tutti gli effetti.

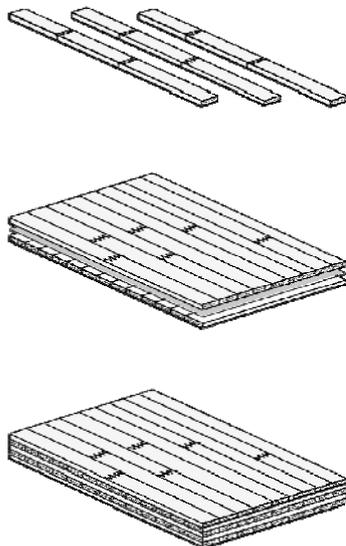


Figura 6: Principio della composizione dell'XLAM

I pannelli XLAM sono prodotti con legno di conifera, come la maggior parte degli elementi di legno per uso strutturale realizzati secondo le tecnologie più moderne. La produzione normale di pannelli XLAM è quindi realizzata con legno di abete (in prevalenza abete rosso); è senz'altro possibile la produzione con il legno del larice e della douglasia. L'uso di altre specie legnose è possibile per principio, ma è allo stato attuale riservato ai prototipi e alla ricerca mirante a sviluppare proprio l'uso di altre specie legnose per la realizzazione di elementi strutturali.

2.2 Lo strato di tavole

I singoli strati di tavole sono composti da tavole di spessore variabile, di regola fra 15 e 30 mm. La larghezza delle singole tavole è pure variabile e si situa di regola fra gli 80 ed i 240 mm. Nelle intenzioni di chi ha sviluppato i pannelli, essi avrebbero potuto essere realizzati con materiale di qualità inferiore a quello usato per la produzione di legno lamellare; l'evoluzione e il mercato hanno portato i diversi produttori a sviluppare le proprie strategie per poter realizzare pannelli XLAM in condizioni ottimali, e in particolar modo ottimizzando i costi della materia prima, cioè delle tavole di legno. Essenziale per la qualità del prodotto finito è la qualità delle tavole dal punto di vista meccanico e del rispettivo profilo prestazionale.

Le tavole usate per la produzione di pannelli XLAM devono rispettare i medesimi criteri delle tavole per la produzione di legno lamellare incollato. Si tratta cioè di materiale classificato secondo la resistenza e appartenente ad una ben precisa classe di resistenza.

La produzione delle tavole avviene quindi sulla base delle fasi di lavorazione seguenti:

- taglio delle tavole (o lamelle)

Come per la produzione del legno lamellare incollato, la prima fase della lavorazione avviene in impianti altamente industrializzati e specializzati alla produzione di questo tipo.

- essiccazione

L'essiccazione delle tavole è una fase essenziale della produzione, in quanto non solo per la classificazione, ma anche per l'incollatura, è indispensabile un tasso di umidità del legno ben definito, di regola del 12%, cui si aggiunge un margine di tolleranza di 2 o 3%.

- classificazione

La classificazione delle tavole avviene in modo visivo o meccanico e permette di eliminare le parti di qualità troppo scadenti tramite troncatura dell'elemento; in seguito si procede all'attribuzione di ogni tavola ad una classe di resistenza. Le normative di riferimento per la classificazione sono quelle che definiscono la classificazione del legno massiccio (per esempio EN14081 e correlate) e che ne definiscono i profili prestazionali delle diverse classi di resistenza (per esempio EN 338).

- giunti longitudinali delle lamelle

Le singole lamelle che formano il singolo strato di tavole sono continue su tutta la lunghezza del pannello, in modo da garantire la continuità strutturale, ininterrotta, dello strato per tutta la lunghezza del pannello. Anche in questo caso la tecnologia applicata è quella della produzione del legno lamellare incollato, con la giunzione longitudinale incollata, a pettine, delle singole tavole. Le procedure di controllo della qualità e di garanzia delle caratteristiche del prodotto finito fanno riferimento alla produzione di legno lamellare incollato.

- giunti trasversali delle tavole

Il collegamento trasversale fra le singole tavole è realizzato in modi diversi, a dipendenza del procedimento di produzione e, quindi, a dipendenza del produttore in questione. In alcuni casi le tavole sono incollate una all'altra anche nella direzione trasversale, in altri casi esse sono accostate in modo da creare una superficie omogenea senza che il giunto fra una tavola e l'altra sia visibile, in altri casi ancora la superficie di contatto fra le tavole non è particolarmente curata e può restare un'intercapedine visibile fra le due tavole.

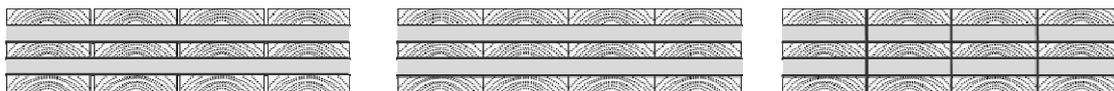


Figura 7: Diversi sistemi di collegamento trasversale delle tavole

Il risultato finale, dal punto di vista delle caratteristiche tecniche dell'XLAM, non è influenzato dalla continuità, o non continuità, fra una tavola e l'altra nella direzione perpendicolare alla fibratura. La resistenza e la rigidezza del singolo strato in questa direzione sono, di fatto, molto ridotte, anche indispensabili in funzione del comportamento strutturale del pannello. Le singole tavole sono, inoltre, soggette alla formazione di fessure trasversali, che possono avere diverse cause, e che, comunque portano alla discontinuità del materiale nella direzione perpendicolare alla fibratura. Dal punto di vista teorico le differenze dovute a queste circostanze possono essere analizzate, ma si tratta di un tema sul quale mancano ancora studi approfonditi, che possano dimostrare una differenza nel comportamento strutturale dell'XLAM in funzione delle continuità, o non continuità, delle tavole nella direzione trasversale alla fibratura.

2.3 Le procedure di produzione

La produzione dell'XLAM deve permettere la realizzazione dell'incollatura strutturale degli strati di tavole, ruotati di 90° uno rispetto all'altro, in modo da formare un unico elemento monolitico e multistrato. L'incollatura fra i singoli strati deve corrispondere alle esigenze dell'incollatura strutturale. I collanti usati sono quelli sviluppati per la produzione del legno lamellare incollato; anche per la produzione di XLAM si incontrano nella produzione sia gli adesivi più classici a base di formaldeide, sia quelli più recenti a base di poliuretani, con una prevalenza di quest'ultimi, probabilmente dettata dalla migliore predisposizione all'applicazione in condizioni particolari.

Il pannello XLAM non è un materiale o un prodotto definito da una specifica normativa di prodotto o da una regolamentazione del materiale. Anche le procedure di produzione non sono definite o prescritte in modo generale, ma si rifanno alle condizioni di produzione del legno incollato - cioè prodotto tramite incollatura - per uso strutturale. Per queste ragioni ogni produttore ha sviluppato la tecnologia di produzione più confacente alle sue particolarità e più promettente dal proprio punto di vista. Il risultato di questo sviluppo, tanto variegato quanto spesso privo di coordinazione, ha portato alla produzione dell'XLAM in molti modi, altrettanto diversi fra di loro. Senza entrare negli aspetti più tecnici, legati per esempio al tipo di soluzioni usate per assicurare una pressione sufficiente sulle superfici incollate fra i vari strati, in modo da assicurare un corretto indurimento della colla, indichiamo brevemente, per completezza di informazione, le diverse procedure di produzione. Anche in questo caso è opportuno ricordare che le diverse procedure di produzione non portano a differenze di rilievo nel comportamento meccanico del pannello finito.

I pannelli XLAM sono di regola pannelli piani e vengono prodotti tramite incollatura degli strati di tavole sovrapposti e incrociati, cioè ruotati di 90° nel proprio piano uno rispetto all'altro.

Produzione in una fase

Il pacchetto di tavole incollate, formante il pannello multistrato è composto a partire dalle tavole della lunghezza desiderata e incollato in un'unica fase di lavoro. Di regola in questi casi le superfici laterali delle tavole non sono incollate.

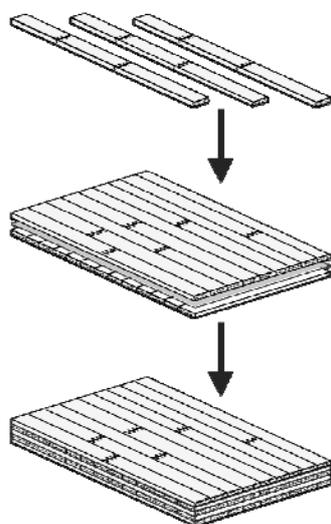


Figura 8: Produzione del pannello XLAM in una unica fase di produzione

Produzione in due fasi

Le tavole nella lunghezza desiderata sono sempre il materiale di base per la produzione. L'incollatura avviene però in due fasi distinte. In una prima fase si producono singoli strati di tavole della dimensione del pannello finito, incollando le tavole una accanto all'altra. In una seconda fase si procede all'incollatura dei singoli strati, impilandoli nella sequenza e nella direzione richiesta.

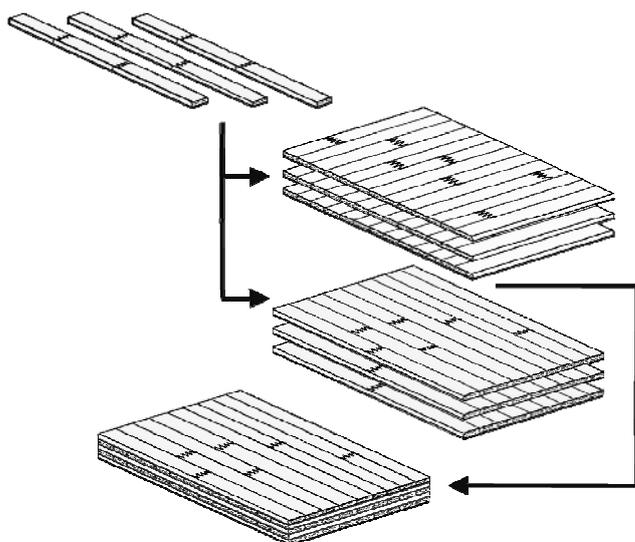


Figura 9: Produzione del pannello XLAM in due distinte fasi di produzione

Pannelli curvi

L'XLAM è per principio e per definizione un elemento massiccio di superficie; tale superficie è di regola piana. La produzione di pannelli curvi è da considerarsi come un caso decisamente particolare, che richiede una tecnologia particolare, non corrispondente alla produzione normale. È comunque interessante notare come, usando tecnologie particolari e impianti di produzione specifici, sia possibile realizzare anche pannelli con forme particolari, definite dalla forma cilindrica del piano del pannello. È inutile aggiungere che l'effettiva fattibilità deve essere studiata accuratamente e in relazione all'oggetto da realizzare, fin dalla fase della progettazione preliminare dell'edificio.

2.4 Dimensioni e formati dell'XLAM

I pannelli XLAM possono essere definiti come pannelli di grandi dimensioni in relazione al loro impiego per la realizzazione di elementi strutturali per l'edilizia. Non esistendo una definizione generica del prodotto, ogni produttore ha sviluppato e definito la propria offerta in merito alla disponibilità di dimensioni e composizione del proprio "prodotto XLAM". Le differenze, in questo contesto, fra i diversi prodotti disponibili sul mercato, sono tutt'altro che trascurabili.

In modo generale si può affermare che i pannelli XLAM sono disponibili in dimensioni che possono raggiungere i 24,0 m in una direzione, i 4,80 m nell'altra e uno spessore di 500 mm. Entro questi limiti, le dimensioni massime della produzione del singolo pannello variano in modo notevole. In modo altrettanto notevole variano le dimensioni dello spessore dei singoli strati e della composizione del pannello: in alcuni casi si producono pannelli con strati doppi, in modo da ottenere una prevalenza delle caratteristiche meccaniche in una delle due direzioni del piano del pannello.

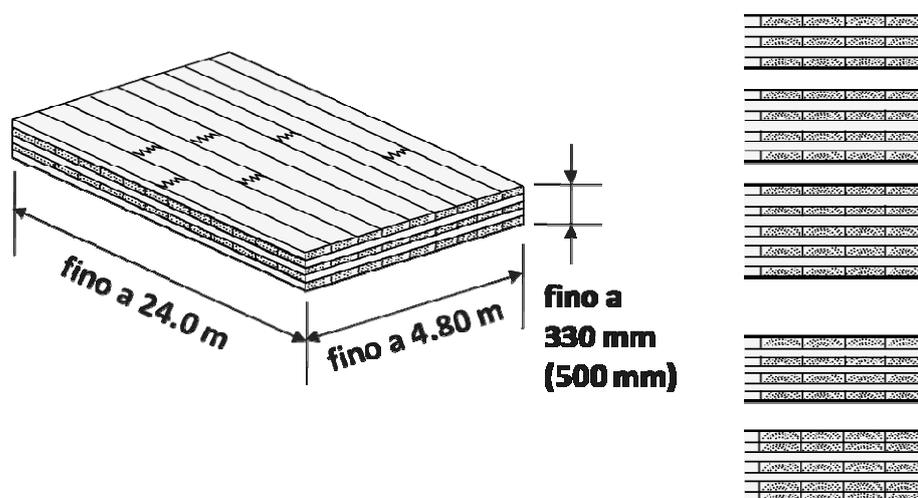


Figura 10: Dimensioni massime e esempi della composizione della stratigrafia dei pannelli XLAM

La produzione standard prevede pannelli che di regola non superano, nella dimensione più corta, l'altezza di un piano d'edificio, per evidenti ragioni di opportunità progettuale e costruttiva, ma anche per evidenti ragioni di trasporto del pannello finito. Una veduta d'insieme delle dimensioni prodotte si trova nella tabella seguente. Per indicazioni dettagliate circa la composizione delle sezioni e la disponibilità effettiva delle diverse dimensioni si rimanda ai singoli produttori e alle rispettive reti di distribuzione.

Prodotto	Numero strati	Dimensioni max. standard			Dimensioni max.		
		Larghezza in m	Lunghezza in m	Spessore in mm	Larghezza in m	Lunghezza in m	Spessore in mm
KLH	... 7 +	2.95	16.5	500			
Leno	... 11	4.80	14.8	297	4.80	20.0	500
MM-BSP	...7	3.00	16.5	278			
CLT	...7	2.95	16.0	301	3.0	16.0	400
BBS	...7	1.25	24.0	341			
HMS	...7	4.00	18.0	217			

Tabella 1: XLAM principali prodotti a livello europeo

La tabella indica i produttori più importanti a livello europeo, ed è aggiornata alla primavera dell'anno 2009. A questi si aggiungono diversi produttori, meno importanti per capacità di produzione, e che quindi hanno anche un'importanza più ridotta in relazione alle cifre del mercato europeo dell'XLAM. Essendo praticamente impossibile dare indicazioni durature e complete al riguardo, anche perché si tratta di un settore in piena evoluzione, si preferisce rinunciare in questa sede a fornire ulteriori dettagli. I dati contenuti nella tabella sono pure soggetti a variazioni, ed hanno quindi carattere informativo; per informazioni complete e aggiornate si rimanda alle indicazioni dei produttori.

La tabella mostra come la diversità dell'offerta sia ampia e come in alcuni casi le dimensioni massime di un lato del pannello siano limitate a 1,25 m. È opportuno ricordare che anche pannelli di queste dimensioni possano essere considerati come pannelli di legno massiccio a strati incrociati XLAM a tutti gli effetti, in quanto la loro conformazione e dimensione li assoggetta di diritto a questa definizione. La larghezza diversa del pannello porta evidentemente ad una gestione diversa della produzione e del montaggio degli elementi costruttivi dell'edificio, che può e deve di volta in volta essere valutata ed analizzata nel dettaglio. Le esperienze fatte fino ad ora mostrano che anche in queste condizioni si possono ottenere soluzioni assolutamente interessanti sia dal punto di vista tecnico che dal punto di vista economico; dove le dimensioni più grandi del pannello fossero richieste per ragioni particolari, per esempio strutturali, la valutazione della realizzazione dell'elemento strutturale tramite giunzione di più elementi o tramite produzione di un singolo pannello, sotto i diversi punti di vista delle esigenze progettuali, rappresenta la base per la definizione da parte dei progettisti della soluzione più appropriata. È anche opportuno ricordare che i pannelli XLAM di dimensioni più ridotte rientrano appieno nella definizione generica dell'XLAM di "pannelli di legno massiccio per uso strutturale di grandi dimensione", in quanto questa definizione, spesso usata ma per niente formalmente o ufficialmente definita, differenzia e definisce l'XLAM rispetto ai pannelli sottili di legno compensato o di trucioli, di dimensioni e spessori ben più ridotti dell'XLAM.

2.5 Aspetto e finitura dell'XLAM

I pannelli XLAM sono prodotti industrialmente in stabilimenti moderni e possono essere finiti secondo le esigenze del singolo progetto o forniti allo stadio grezzo per la lavorazione finale da parte del cliente o della carpenteria. Le tecnologie di lavorazione sono principalmente quelle della carpenteria di legno: l'XLAM è e resta un elemento di legno massiccio.

L'uso dell'XLAM quale elemento a vista è senz'altro possibile: in questo caso la produzione del pannello e qualità delle sue superfici esterne saranno adeguate all'uso previsto, in modo da avere una superficie praticamente priva di fessure e nella quale la giunzione trasversale fra le tavole non sia marcata da una apertura visibile. Oltre alla particolare qualità del materiale degli strati esterni, la superficie sarà piallata o levigata, in modo da ottenere una qualità ottimale della superficie. Questa superficie può restare naturale o essere trattata come tutte le superfici degli elementi di legno.

L'aggiunta di uno strato supplementare per ragioni estetiche è per principio possibile direttamente durante la produzione. Si tratta comunque di finiture particolari, che richiedono la concertazione fra

le esigenze progettuali e quelle di produzione. È comunque consigliabile realizzare sempre una sezione simmetrica del pannello.

Gli stabilimenti di produzione sono di regola equipaggiati per fornire direttamente dalla fabbrica il pannello finto e lavorato secondo le specifiche del cliente. Di questo fanno parte la produzione adattata alle dimensioni richieste e il taglio nelle dimensioni esatte e definitive del pannello, compresa l'eventuale lavorazione particolare degli spigoli (maschiature, intagli per coprigiunti o altri tipi di connessioni, ecc.) e il taglio delle aperture all'interno della superficie del pannello. Beninteso è possibile la fornitura dei pannelli grezzi o semilavorati, qualora la lavorazione finale debba o voglia essere eseguita in altro modo o in altro luogo.

3 Caratteristiche fisiche

3.1 Principio

L'XLAM è a tutti gli effetti un elemento di legno massiccio, dove la struttura del legno non ha subito alcuna modifica dal punto di vista fisico, chimico o biologico. Facendo quindi le dovute riserve riguardo agli adesivi usati per l'incollatura, si può affermare che si tratta di legno massiccio al suo stato naturale, in modo assolutamente simile al legno lamellare incollato, da cui prende a prestito tutte le basi tecniche, tecnologiche e scientifiche legate alla caratterizzazione e al comportamento fisico e meccanico del materiale di base, cioè del legno massiccio classificato secondo la resistenza.

In questo contesto rientrano tutte le caratteristiche legate agli aspetti della fisica tecnica, delle considerazioni ecologiche e del comportamento fisico del materiale, che non sono oggetto di questo capitolo, ma che saranno trattati, in relazione alla discussione di questi temi.

3.2 Stabilità dimensionale

Il legno è notoriamente soggetto a ritiro e rigonfiamento in funzione della riduzione o dell'aumento del suo contenuto di acqua. L'ampiezza del fenomeno dipende dalla direzione del materiale che si considera ed è proporzionale alla variazione di u (contenuto in acqua del legno, espresso in % della massa). In caso di ritiro, si arriva molto facilmente alla fessurazione del legno. Le fessure da ritiro sono sempre parallele alla fibratura.

I pannelli XLAM sono prodotti tramite incollatura di più tavole, e devono quindi trovarsi, al momento della produzione, in condizioni di $u = 12\%$, cui si aggiungono le tolleranze di misura. Come tutti gli elementi di legno, anche i pannelli XLAM sono sottoposti alle variazioni di u dettate dalle variazioni delle condizioni climatiche in cui si trovano. L'incollatura strutturale dei diversi strati di tavole, permette però di ridurre di molto le deformazioni dovute alle variazioni di umidità del legno.

La variazione dell'umidità del legno provoca XLAM nel pannello una variazione della dimensione del legno differente nei vari strati, a dipendenze dell'orientazione degli stessi. Considerando il fenomeno in una sola direzione del piano del pannello si ottiene una variazione praticamente trascurabile degli strati longitudinali e una variazione più marcata degli strati trasversali. L'incollatura

fra i diversi strati impone, di fatto, la medesima deformazione, o la medesima variazione della lunghezza di tutti gli strati. Ne risultano delle sollecitazioni interne, dovute all'interazione fra i diversi strati e al loro diverso comportamento. La differenza di modulo E fra gli strati trasversali longitudinali e trasversali definisce l'ampiezza della deformazione e delle sollecitazioni allo stato di equilibrio meccanico fra i diversi strati di tavole. Rinunciando alla descrizione del possibile modello di calcolo, e ricordando che la differenza fra il modulo E nella direzione longitudinale e nella direzione trasversale presenta un rapporto di almeno 30:1, appare abbastanza facilmente comprensibile che la maggiore deformazione degli strati trasversali sia praticamente completamente impedita da quelli longitudinali e che il comportamento dell'intero pannello, nelle due direzioni del proprio piano, sia molto simile a quello del legno nella direzione longitudinale. Questa stabilità dimensionale nel piano del pannello è nota da tempo per i pannelli sottili di compensato di piallacci, alla quale probabilmente devono proprio la definizione di "compensato", intesa come la compensazione della direzione debole della struttura del legno - quella trasversale rispetto alla fibratura - dagli strati disposti proprio in questa direzione. L'XLAM presenta la stessa struttura di "pannello compensato", dove i sottilissimi piallacci sono sostituiti da strati di tavole di spessore variabile fra 17 e 35 mm.

I pannelli XLAM sono ammessi all'uso nelle classi di servizio 1 e 2, cioè in condizioni climatiche che non permettano l'aumento del valore di u oltre il 20%: il loro uso è quindi limitato alle situazioni che non ne compromettono la durabilità, o in condizioni da escludere ogni fenomeno di degrado biologico. Ricordiamo che la classe di servizio 1 corrisponde agli ambienti interni e riscaldati, mentre la classe di servizio 2 corrisponde agli ambienti esterni, ma escludendo sia il contatto diretto con l'acqua che l'esposizione diretta alle intemperie. Le variazioni attendibili delle dimensioni di un pannello XLAM, nel suo piano, sono quindi teoricamente al massimo dell'ordine dello 0.1 %, cioè di meno di 1 mm per metro lineare. A questa considerazione numerica e teorica occorre aggiungere che gli strati trasversali presentano al loro interno con certezza delle fessure da ritiro, dovute sia all'essiccazione iniziale cui sono stati sottoposti, sia alle variazioni di umidità che subiscono in fase di servizio. È quindi molto probabile che l'ordine di grandezza appena citato si manifesti, nell'applicazione pratica, in forma ancora più ridotta.

A conclusione di ciò si può affermare che i pannelli XLAM presentano una stabilità dimensionale praticamente completa e totale per quanto concerne le dimensioni nel loro piano. Ciò permette non soltanto l'uso di pannelli di dimensioni elevate senza conseguenze o pregiudizi per gli altri elementi costruttivi e strutturali durante la fase di servizio, ma permette la lavorazione di precisione in fase di prefabbricazione, con la certezza di non dover considerare tolleranze o margini di riserva importanti, dettati dalla variazione di dimensione del materiale.

Sul lato dello spessore del pannello, invece, il materiale assume la direzione perpendicolare alla fibratura in tutti gli strati, per questa ragione le variazioni dell'umidità del legno si traducono direttamente in variazioni dello spessore del pannello. In questo caso, le dimensioni assolute dello spessore del pannello essendo comunque limitate, e le condizioni climatiche variando solo fra la classe di servizio 1 e la classe di servizio 2, le conseguenze del ritiro e del rigonfiamento possono essere definite come non problematiche: le variazioni di u fra la classe di servizio 1 e la classe di servizio 2 provocano una variazione dello spessore del pannello XLAM di 2-3 punti percentuali.

3.3 Esposizione alle intemperie

Come già detto l'uso dei pannelli XLAM è limitato alle classi di servizio 1 e 2. L'uso quale elemento strutturale in situazioni di diretta esposizione alle intemperie è quindi escluso. La ragione di questa limitazione è da cercare nell'ancora non del tutto chiarito comportamento del pannello in caso di forte e differenziato ritiro o rigonfiamento dei singoli strati, sia dal punto di vista dell'ampiezza delle sollecitazioni, sia dal punto di vista della eventuale deformazione del pannello.

Inoltre in caso di esposizione diretta alle intemperie la durabilità dei pannelli XLAM è seriamente messa in discussione, poiché la fessurazione delle tavole, e quindi la penetrazione di grandi quantità di acqua, non può essere esclusa.

4 Caratteristiche strutturali

Le caratteristiche meccaniche dell'XLAM possono essere definite sulla base della composizione del pannello, e considerando i singoli strati da cui il pannello è composto. In questo capitolo sono trattate, in forma breve, le caratteristiche meccaniche dell'XLAM in funzione del suo uso quale elemento strutturale. Per l'analisi strutturale, per il calcolo e per le procedure della verifica strutturale si rimanda all'apposito capitolo.

4.1 L'elemento inflesso

Il pannello è formato da una serie di strati di tavole di legno, il cui comportamento strutturale può essere descritto sulla base delle caratteristiche strutturali del legno massiccio da cui sono composti. Questi strati possono essere definiti come strati unidirezionali, le cui caratteristiche meccaniche dipendono dalla direzione considerata rispetto alla direzione della fibratura.

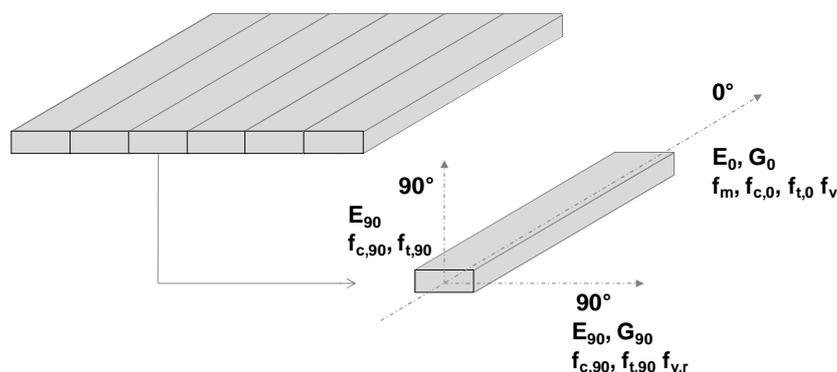


Figura 11: Caratteristiche meccaniche (profilo prestazionale) di uno strato di tavole

L'unione di più strati crea il pannello multistrato, o pannello a strati incrociati, XLAM. L'unione fra i singoli strati è realizzata tramite incollatura strutturale, e non rappresenta un indebolimento del sistema multistrato, ma rende i diversi strati di tavole collegati fra loro in modo rigido. Come per il legno lamellare incollato, lo strato di colla può essere come infinitamente rigido in relazione alla

rigidezza dei componenti di legno. In altre parole, lo strato di colla fra gli strati di tavole può essere trascurato ai fini della descrizione delle caratteristiche meccaniche del materiale.

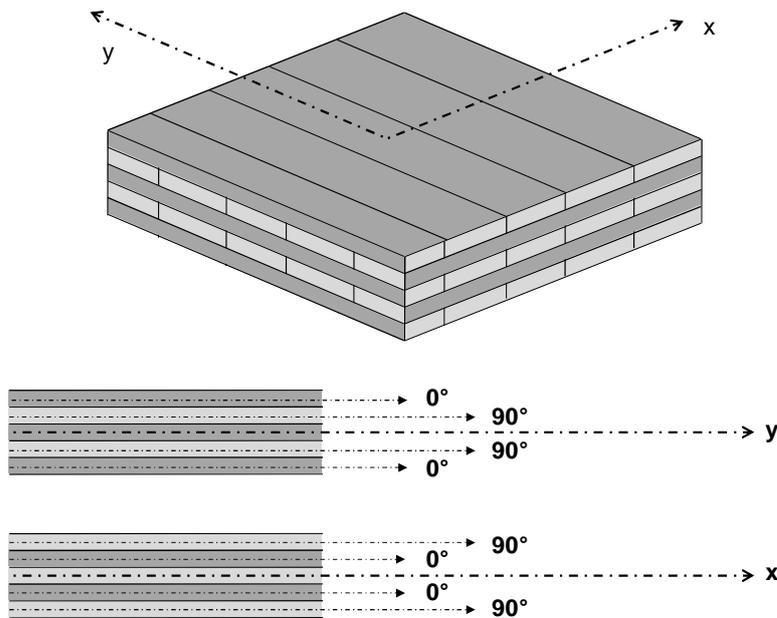


Figura 12: XLAM: Pannello multistrato con strati incrociati

Il comportamento meccanico del pannello può essere analizzato sulla base della considerazione delle due direzioni del piano del pannello.

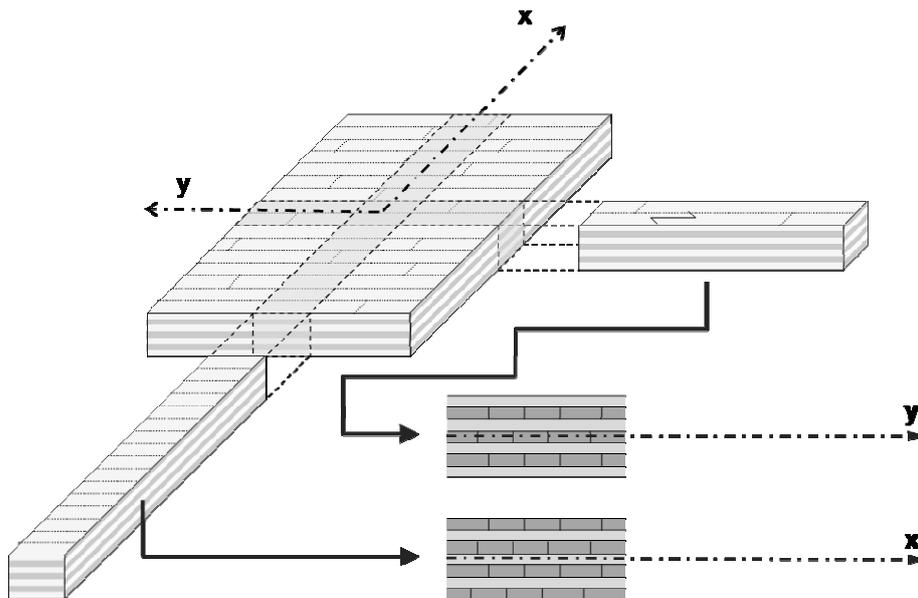


Figura 13: XLAM quale griglia di elementi lineari e multistrato

Il comportamento dell'elemento inflesso con la sezione composta da un numero di strati variabili può essere definito in modo piuttosto semplice, applicando le regole della scienza delle costruzioni, e più precisamente determinando la distribuzione delle tensioni sui singoli strati in funzione delle rispettive caratteristiche meccaniche.

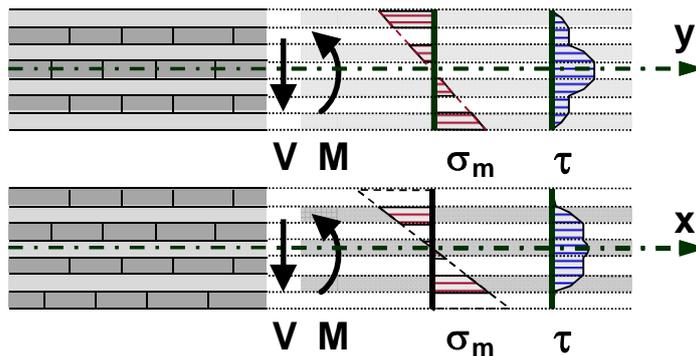


Figura 14: Distribuzione delle tensioni di flessione e di taglio sulla sezione per i due casi

Si può notare come gli strati orientati trasversalmente rispetto alla direzione considerata assumano comunque una funzione essenziale, garantendo il collegamento rigido fra i diversi strati da cui è composto il pannello. L'effetto di ciò sulla rigidità e sulla resistenza del pannello è descritto nel capitolo dedicato al calcolo.

4.2 L'elemento strutturale piastra

L'analisi più semplice della piastra prevede la sua descrizione come griglia di elementi inflessi, che possono presentare caratteristiche meccaniche diverse nelle due direzioni del piano. L'applicazione di questo modello è giustificata dal fatto che, nella maggior parte dei casi concreti, la geometria degli elementi della piastra portano alla considerazione dell'effetto strutturale in una sola direzione; inoltre la rigidità torsionale dell'XLAM è comunque ridotta a causa dei ridotti valori del modulo G del legno. A ciò va ancora aggiunto l'effetto della possibile fessurazione degli strati di tavole, che ne riduce la continuità nella direzione trasversale.

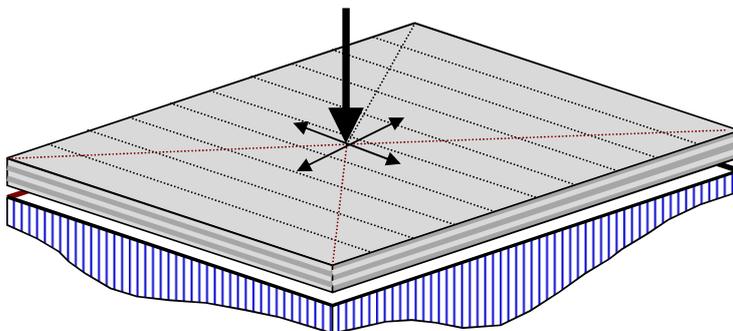


Figura 15: Effetto strutturale dell'elemento piastra

L'elemento strutturale così descritto permette di distribuire i carichi ad esso applicati nelle due direzioni del suo piano, sfruttando quindi tutto il materiale disponibile, riducendo così le sollecitazioni locali all'interno della piastra e premettendo di distribuire i carichi su tutto il suo perimetro.

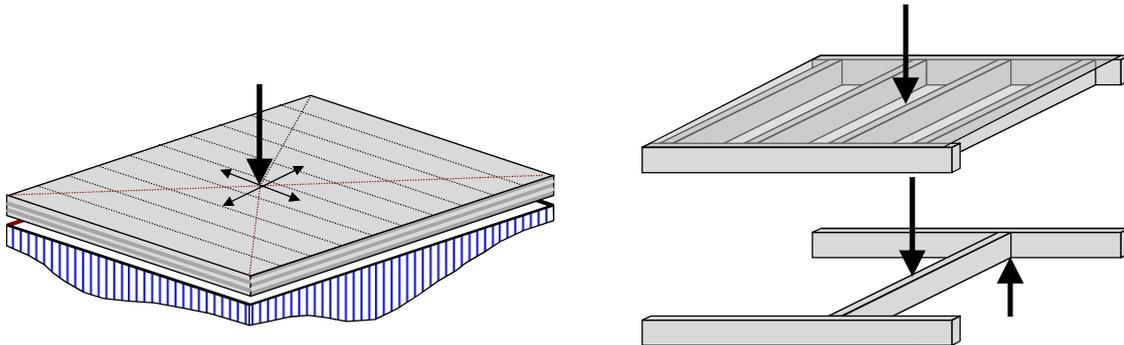


Figura 16: Differente comportamento strutturale fra la piastra XLAM e un solaio con travatura inflessa

4.3 L'elemento strutturale lastra

L'elemento base di parete è formato da una lastra verticale che deve assumere le funzioni di elemento compresso (forza assiale verticale) e di lastra (controventatura, forze orizzontali nel piano della parete). Il pannello XLAM permette di assumere entrambe le funzioni.

La rigidità e la resistenza sono anche in questo caso definite dalla composizione dei diversi strati del pannello, dove lo spessore del pannello è la dimensione di riferimento.

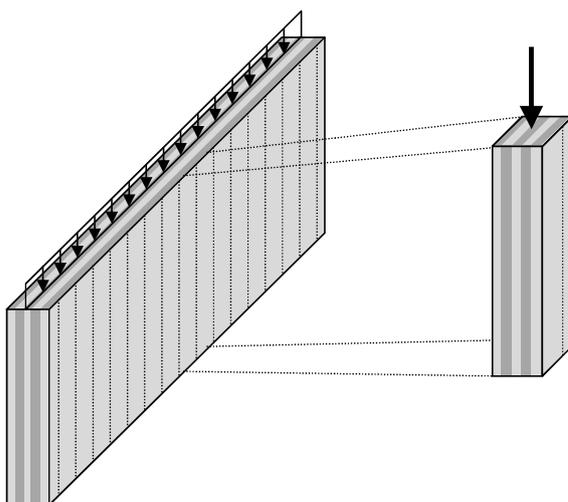


Figura 17: Elemento di parete con funzione di discesa dei carichi verticali

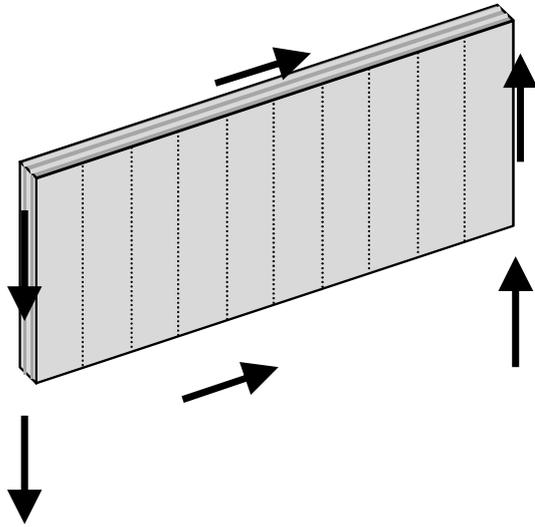


Figura 17: Elemento di parete con funzione controventatura (forze orizzontali nel piano della parete)

4.4 L'elemento strutturale piano e la struttura portante dell'edificio

Il pannello XLAM offre quindi un elemento strutturale di superficie che può assumere tutte le funzioni strutturali:

- l'effetto di piastra, dato dalle sollecitazioni perpendicolari al piano del pannello e dalla resistenza e rigidità del pannello a flessione e taglio nelle due direzioni del suo piano;
- l'effetto di lastra, dato dalle sollecitazioni nel piano del pannello e dalla resistenza e rigidità agli sforzi normali e di taglio nel suo piano.

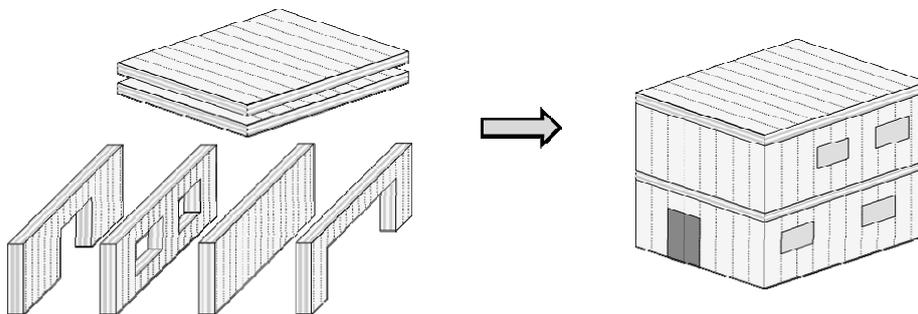


Figura 18: Struttura portante dell'edificio formata da elementi piani

La struttura portante di un edificio è quindi il risultato della combinazione di elementi di questo tipo, appositamente collegati fra di loro in modo da creare strutture portanti tridimensionali. I collegamenti fra i diversi elementi formanti la struttura dell'edificio sono di regola da considerare come delle cerniere, che permettono e assicurano la trasmissione fra un elemento e l'altro di forze, la cui linea d'azione è passa sempre per lo spigolo d'intersezione fra i piani dei due elementi

collegati. L'eccentricità dei collegamenti è quindi da considerare come fenomeno locale, e da considerare come tale nella definizione delle sollecitazioni dei singoli elementi.

5 Qualità

5.1 Basi

La produzione di pannelli XLAM per uso strutturale è regolata dalla certificazione e omologazione della produzione dei singoli pannelli. La basi per la produzione sono definite dalla regolamentazione sulla produzione di elementi di legno strutturale incollati a livello industriale, conosciute per esempio in relazione al legno lamellare incollato.

Ogni produttore sottosta quindi alle procedure di controllo della qualità prescritte in questo ambito e deve esibire una certificazione valida per il prodotto che offre sul mercato. Le omologazioni dei principali prodotti XLAM sono contenute nella tabella seguente, che si riferisce alla situazione a settembre 2009 e che ha carattere indicativo.

Prodotto	Omologazioni		
	de	at	eu
KLH	Z-9.1-482	AT-3 06-77	ETA-06/0138
Leno	Z-9.1-501		
MM-BSP	Z-9.1-638		ETA-06/0036
CLT	Z-9.1-559		ETA-08/0271
BBS	Z-9.1-534		ETA-06/0009
HMS	Z-9.1-680		ETA-06/0242

Tabella 2: omologazioni dei principali prodotti XLAM

Per i riferimenti alla situazione normativa in Italia e l'inquadramento dell'XLAM si rimanda al capitolo sul calcolo dei pannelli XLAM.

6 Campi di applicazione

6.1 Classi di servizio

Come già accennato, l'uso dell'XLAM quale elemento strutturale è ammesso, tramite le omologazioni dei diversi prodotti, nelle classi di servizio 1 e 2; è quindi escluso l'uso in caso di esposizione diretta alle intemperie o in caso di contatto diretto con l'acqua. Trattandosi principalmente di elementi della struttura portante principale della costruzione o dell'edificio, si tratta di una limitazione che non dovrebbe creare situazioni di conflitto, in quanto, di fatto, impone che gli elementi strutturali di XLAM siano sempre posti in condizioni tali da non essere esposti al rischio di degrado biologico.

L'applicazione di elementi di XLAM senza funzione strutturale e in classe di rischio 3, quindi direttamente esposto alle intemperie, non viene considerata ulteriormente. È opportuno però aggiungere che il comportamento fisico dell'XLAM in queste condizioni deve essere considerato in modo accurato, e che le esperienze in questo ambito sono ancora molto ridotte.

6.2 Solette di legno massiccio XLAM

Solette massicce formate da XLAM richiedono uno spessore fra $1/35$ e $1/40$ della luce che determina la flessione massima della soletta, cioè normalmente della luce più piccola dell'elemento considerato. Questi valori hanno evidentemente carattere indicativo, perché tanto i carichi quanto le esigenze di rigidità della soletta riguardo alla verifica dello stato di servizio hanno un effetto decisivo sul dimensionamento e quindi sullo spessore necessario dell'elemento strutturale. È opportuno sottolineare che oltre ai noti criteri di limitazione delle deformazioni della struttura, anche il comportamento oscillatorio e vibrazionale può essere rilevante ai fini della verifica dell'attitudine al servizio. Le solette XLAM permettono, infatti, l'applicazione con luci più importanti rispetto ad altre tipologie più tradizionali della costruzione di legno, quali gli edifici abitativi multipiano o gli edifici ad uso ufficio o spazio amministrativo. In queste applicazioni i criteri legati al comportamento oscillatorio delle solette possono assumere un'importanza più grande e devono essere analizzati con cura. La struttura della soletta XLAM, anche grazie alle sue caratteristiche di elemento piano permette di rispondere anche a queste esigenze.

La dimensione massima di trasporto determina di regola le dimensioni massime degli elementi che formano la soletta XLAM; è senz'altro possibile, e in molti casi indispensabile, usare pannelli di dimensioni più ridotte. Le ragioni per l'uso di pannelli di dimensioni ridotte possono essere di natura diversa, come per esempio il trasporto in piccole unità, la modularità della costruzione, la necessità di lavorare con elementi di peso ridotto o altro ancora. La maggior parte delle solette dell'edilizia abitativa sono comunque composte da diversi elementi di pannelli XLAM, che possono essere considerati in prima analisi come elementi strutturali inflessi con effetto portante in una direzione.

Il giunto fra i vari elementi di soletta XLAM, parallelo alla direzione strutturale principale, è di regola realizzato in modo semplice, così da ottenere la continuità strutturale anche in questa direzione, ma senza realizzare un giunto rigido, cioè senza continuità flessionale ma formando una cerniera. La continuità dell'elemento strutturale, sia come piastra che come lastra, è quindi garantita, ma senza dover realizzare un impegnativo giunto rigido alla flessione. In questo caso la larghezza dei singoli elementi XLAM gioca un ruolo secondario dal punto di vista strutturale, a condizione di accettare un numero di giunti strutturali più elevato in caso di elementi di larghezza ridotta.

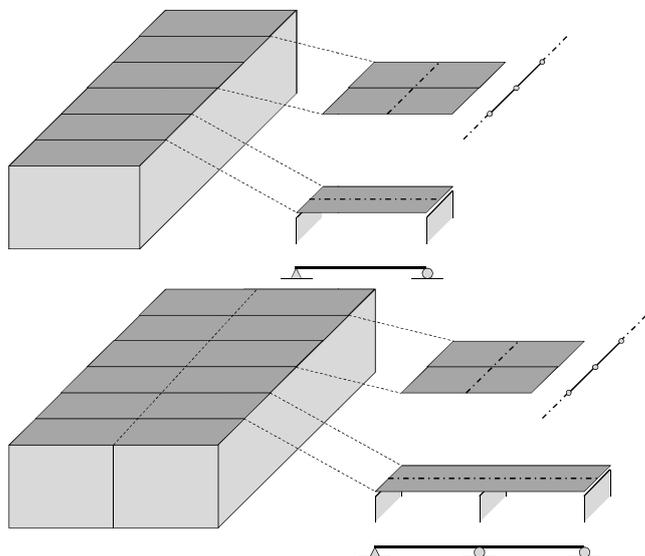


Figura 19: Principio strutturale e giunti della soletta XLAM

Il sistema strutturale della soletta può quindi essere analizzato in modo semplice, sulla base del modello della trave inflessa. È senz'altro possibile sfruttare la continuità strutturale di questo elemento su più campate, in modo da ottimizzarne il comportamento strutturale o altri aspetti.

È senz'altro interessante sottolineare come l'XLAM permetta la realizzazione di elementi con capacità portante a flessione nelle due direzioni del piano. L'elemento di piastra formato da un unico pannello XLAM, o da più pannelli uniti in modo da assicurare la continuità della rigidità flessionale permette di ottenere un elemento di questo tipo.

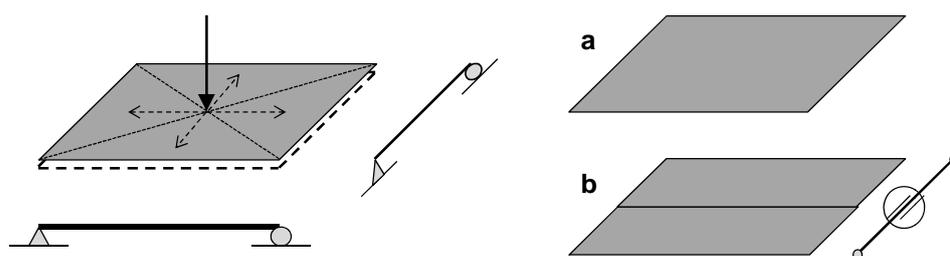


Figura 20: Piastra con funzione portante in due direzioni:
 a) elemento unico
 b) elemento composto da più parti con giunti rigidi

L'importanza di elementi di questo tipo è piuttosto ridotta nelle strutture dell'edilizia, dove i carichi concentrati di grandezza importante sono praticamente assenti. Ciò nonostante può essere utile e interessante sfruttare questa caratteristica laddove si presentano elementi ad angolo con sbalzi nelle due direzioni, o in caso di necessità di ridurre al minimo lo spessore della struttura. Dove queste situazioni non possono essere risolte con un unico pannello XLAM, i giunti fra i diversi pannelli dovranno essere concepiti e dimensionati in modo da garantire una sufficiente rigidità e resistenza tanto a flessione quanto a taglio.

6.3 Pareti XLAM

La parete strutturale di XLAM può essere vista come un montante o un pilastro di lunghezza continua (v. figura 17). Lo spessore minimo degli elementi di parete è determinato principalmente dai carichi verticali agenti sulla parete, ma anche dalle esigenze di rigidità dovute all'azione dei carichi orizzontali e dalle esigenze di rigidità e di resistenza spesso non direttamente considerate nel calcolo strutturale ma non per questo da sottovalutare: di quest'ultime fanno parte le esigenze legate direttamente o indirettamente all'isolamento fonico, alla presenza di una massa sufficiente nella costruzione e alla necessità di offrire, comunque, anche localmente o in presenza di aperture anche di piccola dimensione, una sufficiente rigidità e resistenza dell'elemento strutturale. Pur ammettendo che il calcolo strutturale dell'elemento di parete nella sua globalità può portare a spessori minimi degli elementi di parete piuttosto ridotti, e che la realizzazione di pareti molto sottili è senz'altro possibile, è consigliabile di valutare molto attentamente e nel dettaglio la scelta di spessori delle pareti esterne al di sotto di 110 mm, o delle pareti portanti interne al di sotto di 100 mm.

La presenza di aperture nelle pareti rappresenta la situazione strutturale particolare per eccellenza degli elementi di parete. L'apertura crea un'interruzione del flusso di forze verso il basso, che deve essere deviato sulle zone a lato delle aperture, dove si crea una concentrazione di carichi e di sollecitazioni. Nella zona sopra l'apertura è necessario un elemento strutturale che garantisca una rigidità ed una resistenza a flessione sufficienti a fungere da architrave. Le pareti di XLAM si prestano particolarmente bene in queste circostanze, in quanto la sezione verticale della parte di parete al di sopra dell'apertura è costituita anche da un numero di strati di tavole orizzontali, che possono essere adibiti alla funzione di architrave. In presenza di una altezza sufficiente di questa parte di parete, l'architrave di rinforzo della parete, sopra all'apertura, è quindi disponibile senza l'aggiunta di ulteriori rinforzi.

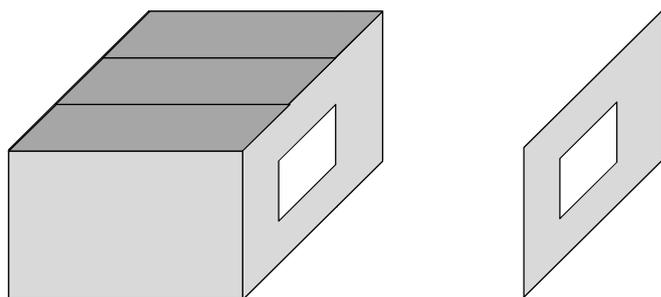


Figura 21: Parete con apertura

L'analisi strutturale di un elemento di parete di questo tipo si presenta come l'analisi di un elemento di lastra con una forma irregolare e richiede la determinazione delle forze interne della lastra e la verifica delle sezioni o delle parti con la sollecitazione più grande e determinante ai fini della verifica della sicurezza strutturale. Il comportamento dell'elemento di lastra e la sua analisi e verifica sono descritti nel capitolo dedicato al calcolo. L'approccio indicato qui sopra, con la considerazione dell'architrave sopra all'apertura permette comunque una prima e grossolana analisi della discesa dei carichi e delle sollecitazioni che queste comportano.

Le indicazioni sulle dimensioni minime dello spessore delle pareti indicate sopra sono valide in particolar modo per le pareti contenenti aperture o interruzioni, in quanto spesso - almeno in fase di primo dimensionamento della struttura, e senz'altro a ragione - gli aspetti legati alla rigidezza e alla resistenza delle pareti nella direzione orizzontale non vengono considerati. In caso di apertura di larghezza importante o in caso di interruzioni di pareti di altezza più grande, e in presenza di spessori estremamente ridotti, questo aspetto può assumere un ruolo importante.

6.4 Travi pareti

L'elemento strutturale della trave-parete o del diaframma con funzione strutturale di trave è poco conosciuto nelle strutture di legno, in quanto la formazione di elementi di questo tipo senza ricorrere all'XLAM è decisamente impegnativa e riservata a casi molto particolari. La parete di XLAM permette di offrire una soluzione anche in questo caso. La parete XLAM si presta senz'altro ad assumere questa funzione, che è rappresentata in modo schematico nella figura seguente.

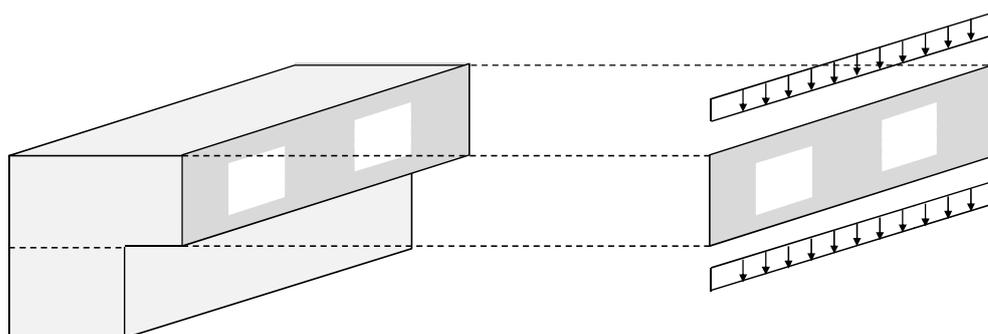


Figura 22: Trave parete

Anche in questo caso il calcolo strutturale richiede l'analisi dell'elemento di parete e la verifica delle sollecitazioni che ne risultano.

In questa considerazione rientra anche lo sfruttamento delle pareti quali elementi strutturali a formare la struttura tridimensionale dell'edificio. Le pareti possono quindi essere considerate come travi verticali, appoggiate alle pareti sottostanti, aprendo quindi la strada alla realizzazione di sistemi strutturali spaziali basati sull'uso delle superfici quali elementi strutturali principali. La realizzazione di strutture a sbalzo, sostenute dalla pareti ad esse perpendicolari è solo una delle molteplici applicazioni possibili.

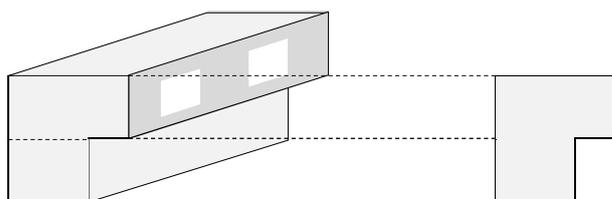


Figura 23: Parete laterale quale elemento di sostegno dello sbalzo

6.5 L'edificio - struttura spaziale

L'edificio XLAM è composto da una serie di elementi piani, che nel loro insieme formano la struttura portante della costruzione. L'XLAM permette, quindi, la realizzazione di strutture spaziali composte da elementi piani, di grandi dimensioni e sottili, offrendo alla costruzione di legno di ripetere l'evoluzione che poco più di un secolo fa aveva portato con sé l'avvento del calcestruzzo armato: la struttura portante è distribuita su tutto il perimetro delle pareti formati l'edificio, permettendo di sfruttare al meglio tutti gli elementi e tutte le superfici che formano la costruzione. L'elemento piano non è più soltanto tamponamento senza funzione strutturale, o con la sola funzione della discesa diretta, o tamponamento con funzione di controventatura, ma parte essenziale della struttura portante con funzione di lastra e di piastra. Le forze agenti sulla costruzione possono essere distribuite sulle diverse superfici degli elementi piani, riducendo - o evitando del tutto - la necessità di elementi strutturali lineari di grandi dimensioni ed evitando, quindi, di concentrare le forze in pochi punti della costruzione. Il risultato di questa evoluzione è duplice: da un lato le dimensioni degli elementi strutturali si riducono - per esempio l'altezza delle solette risulta più ridotta rispetto ai solai formati da travi; da un altro punto di vista, la flessibilità progettuale aumenta in modo importante.

La controventatura della struttura, tanto verticale quanto orizzontale, non richiede più una considerazione separata dalla struttura portante principale, ma è integrata in essa: tutti gli elementi strutturali piani rappresentano e fungono da lastre strutturali, realizzando quindi automaticamente anche la controventatura della struttura.

L'XLAM non rappresenta però una soluzione interessante e affascinante per la realizzazione di strutture basate sulla composizione di elementi piani e dello sfruttamento delle possibilità appena indicate. Il pannello XLAM permette senz'altro anche la realizzazione di strutture più semplici, quali le strutture degli edifici di abitazione più comuni, dove la discesa dei carichi non richiede strutture complesse, ma dove le forze verticali creano un flusso diretto e semplice verso le fondamenta, dove tutte i carichi sono trasportati da una travatura semplice verso le pareti esterne dell'edificio e da queste trasmesse direttamente alle fondamenta. Anche in questi casi, e sono i più comuni e più frequenti, l'XLAM permette di realizzare strutture particolarmente rigide e resistenti in modo semplice ed efficace.

6.6 Concezione e progetto della struttura

L'uso dell'XLAM per la realizzazione di edifici è considerato spesso come un'alternativa alle tipologie costruttive più frequenti e tradizionali della costruzione di legno, e in molti casi l'uso dell'XLAM si riduce ad una variante, possibilmente più conveniente, per la fase esecutiva del progetto. Un approccio di questo tipo è senz'altro corretto, permette di valutare le diverse alternative per la fase di realizzazione e di trovare la soluzione ottimale per l'aspetto considerato. La valutazione delle diverse possibilità avviene, in questo caso, sulla base di prestazioni definite dal progetto, e senza che le caratteristiche e proprietà delle diverse tipologie costruttive e dei diversi materiali siano state incluse nella progettazione fin dall'inizio.

Le potenzialità del materiale possono però essere sfruttate al meglio se considerate come una degli ingredienti della progettazione, integrandosi quindi in modo ideale e ottimale al progetto fin dalle sue prime fasi.

L'XLAM non è un prodotto, ma un materiale disponibile - come già indicato più sopra - in formati e composizione diversa a dipendenza del prodotto scelto. La stratigrafia, gli spessori e le dimensioni dell'XLAM variano in funzione del produttore. Il comportamento strutturale del materiale è però identico, pur differenziandosi in funzione della qualità del materiale e della composizione esatta del pannello. La considerazione del comportamento della struttura dell'edificio dipende perciò anche dal prodotto utilizzato per la sua realizzazione e dal modo con cui questo è impiegato. Il compito di scegliere il prodotto da impiegare e definire gli effetti di questa scelta sul progetto, considerandone anche le conseguenze e gli effetti sul comportamento strutturale, spetta quindi al progettista. Va aggiunto che la scelta del prodotto non è soltanto legata al comportamento strutturale, ma anche - e in parte in modo preponderante - a tutta una serie di aspetti, che comprendono la produzione e prefabbricazione degli elementi costruttivi, le condizioni e le possibilità di trasporto, la definizione delle fasi di montaggio e delle infrastrutture necessarie sul cantiere, i tempi di lavorazione nelle varie fasi, e altro ancora. È senza dubbio impossibile dire quale di questi aspetti sia più importante senza considerare le particolarità del singolo progetto. Ci si limita perciò qui a ricordare che, a dipendenza delle caratteristiche del singolo progetto, alcuni di questi aspetti possono essere preponderanti - o vincolanti - rispetto ad altri, e che l'insieme di queste considerazioni ha senz'altro anche un effetto non trascurabile sui costi della realizzazione.

Il ventaglio di prodotti XLAM disponibili è particolarmente vasto; una decina di produttori offrono pannelli XLAM con dimensioni, composizione della stratigrafia e in parte anche caratteristiche leggermente diverse fra loro. Le riflessioni e le indicazioni sull'uso e l'applicazione hanno senz'altro valore generale e indipendente dal prodotto usato; a dipendenza del prodotto usato, però, la progettazione di dettaglio ed esecutiva deve prendere in considerazione le caratteristiche del prodotto specifico. Di seguito quindi alcune considerazioni sulle diverse possibilità di realizzazione.

6.6.1 Solette XLAM

La maggior parte delle solette XLAM possono essere considerate come elementi strutturali inflessi lineari, in quanto gli effetti strutturali della lastra si manifestano solo in prossimità degli angoli o, comunque, in zone con luci ridotte. Appare quindi piuttosto evidente come sia caldamente consigliabile rinunciare a giunti dei pannelli XLAM nella direzione della sollecitazione principale a flessione. Una volta determinato lo spessore necessario della soletta, la larghezza degli elementi XLAM può essere scelta a piacimento secondo le diverse, altre esigenze (produzione, trasporto, montaggio, ecc.). Non va però trascurato che i pannelli dovranno comunque essere collegati fra di loro in modo corretto e secondo le esigenze strutturali dettate dalla necessità di garantire la continuità strutturale del pannello anche nella direzione meno sollecitata e, soprattutto, di garantire l'effetto di lastra controventante della soletta nella sua globalità. La larghezza massima degli elementi di una soletta XLAM è limitata dalla disponibilità degli elementi e dalle possibilità di trasporto: la larghezza dei singoli elementi si situa quindi, di regola, fra 1,20 m e ca. 3 m. Dimensioni maggiori o minori sono senz'altro possibili, comportano però un impegno decisamente maggiore in relazione alle condizioni di trasporto e alla necessità di un grande numero di giunti.

Le dimensioni dell'elemento XLAM possono anche essere dettate dalle esigenze strutturali. Nel caso della soletta ciò si presenta laddove è necessario sfruttare la capacità portante anche nella direzione secondaria, o trasversale a quella principale (v. figura 20). La necessità di avere un lato

della soletta a sbalzo, o la presenza di aperture possono richiedere la continuità strutturale flessionale della soletta nella direzione trasversale. L'uso di elementi di larghezza ridotta resta possibile, ma a condizione di realizzare giunti che offrano una sufficiente resistenza - e, soprattutto, rigidità - a flessione.

6.6.2 Pareti XLAM

Anche per gli elementi di parete la realizzazione pratica può avvenire in modi diversi. L'altezza degli elementi di parete è spesso determinata dall'altezza di un piano dell'edificio: a dipendenza del tipo di edificio questa altezza si situa poco al di sotto o poco al di sopra dei 3 metri, per cui normalmente gli elementi di parete sono formati da un unico pannello XLAM nella direzione verticale. A dipendenza della lunghezza della parete è senz'altro possibile produrre l'intera parete con un solo elemento XLAM: il limite massimo di lunghezza è dato dalla produzione dei pannelli e dalle fasi di trasporto e montaggio. È comunque possibile lavorare con elementi XLAM che raggiungono i 20 m di lunghezza.

Gli elementi di parete hanno la doppia funzione della discesa dei carichi verticali e di elemento inflesso in caso di carichi perpendicolari al proprio piano (per esempio il vento agente sulle pareti esterne), per cui di preferenza gli strati esterni del pannello saranno orientati nella direzione verticale.

L'uso di elementi XLAM di dimensioni più ridotte richiede la composizione degli elementi di parete tramite la giunzione di diversi pannelli, offrendo la possibilità di produrre, manipolare e trasportare elementi di dimensioni più piccole e, quindi, semplificando queste fasi della lavorazione e dell'esecuzione. La soluzione più semplice prevede in questo caso la suddivisione della parete in strisce verticali che ne garantiscano la continuità strutturale su tutta l'altezza. Il collegamento fra i diversi elementi XLAM della parete deve, in questo caso, assicurare la continuità della parete quale lastra verticale con funzione di controventatura (trasmissione e discesa delle forze orizzontali agenti nel piano della parete), mentre non è necessaria la continuità della rigidità flessionale nel giunto: il giunto assume quindi la funzione di una cerniera su tutta l'altezza della parete. Lo scorrimento dei giunti - dovuto all'uso di giunti meccanici fra i diversi elementi - è senz'altro possibile; a dipendenza dell'ampiezza delle forze in gioco e del tipo di giunto meccanico usato, dovranno essere considerate delle deformazioni più importanti e, eventualmente, l'ancoraggio verticale di tutti gli elementi di parete.

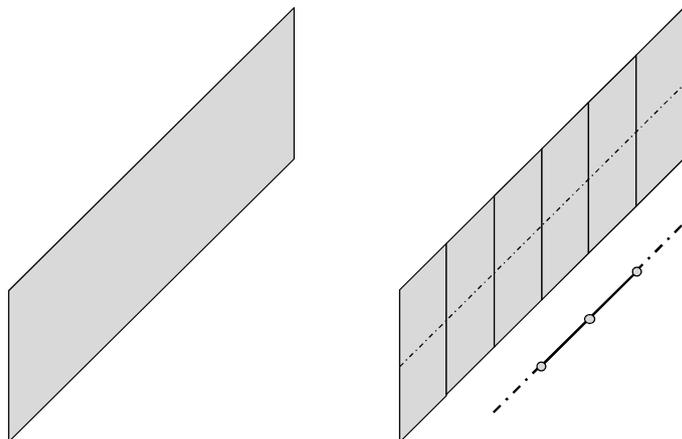


Figura 24: parete intera o parete formata da più elementi con giunti verticali

Il comportamento strutturale della lastra verticale dipende non soltanto dalla composizione della parete, ma anche dalle eventuali aperture presenti nella parete. Il sistema strutturale di calcolo della parete dovrà quindi tener conto anche di questi aspetti.

La formazione di pareti strutturali tramite la composizione di più elementi XLAM può avvenire anche tramite giunti orizzontali all'interno della parete. Questo modo di procedere può essere interessante in funzione dell'ottimizzazione del materiale e della riduzione al minimo degli scarti di lavorazione o, in ogni caso, della riduzione della lavorazione necessaria all'intaglio delle aperture. Le osservazioni appena formulate mantengono la loro validità anche in questi casi; i giunti orizzontali all'interno della parete richiedono però la continuità strutturale anche della rigidità flessionale dell'elemento, in mancanza della quale la parete non può più essere considerata né come una lastra né come una piastra verticale.

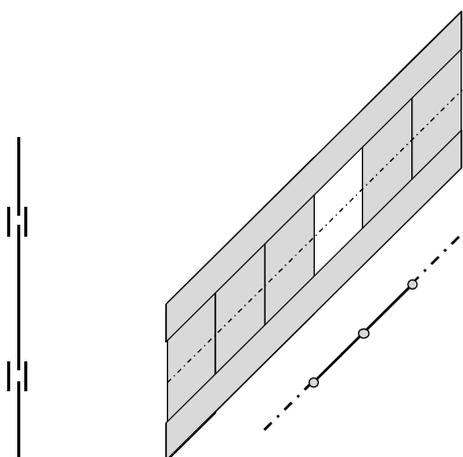


Figura 25: Lastra verticale composta da più elementi con giunti orizzontali rigidi

Queste considerazioni sulla formazione delle pareti strutturali sono applicabili anche ai sistemi strutturali più complessi, dove gli elementi di parete non sono direttamente appoggiati alla struttura sottostante, ma dove la loro funzione strutturale è quella di trave-parete, sia che l'elemento in

questione funga da trave fra due pareti, sia che funga da elemento a sbalzo. Alle funzioni di elemento strutturale per la discesa dei carichi verticali e di piastra verticale sollecitata dalla pressione del vento, si aggiunge la funzione di elemento strutturale principale. La presenza di giunti e collegamenti all'interno di elementi di questo tipo è senz'altro possibile, richiede però un'analisi accurata dell'effetto delle caratteristiche delle giunzioni sul comportamento strutturale globale, sia in relazione alla resistenza che in relazione alle deformazioni di tutta la struttura. È opportuno ricordare che, laddove tecnicamente realizzabile, l'uso di elementi di grandi dimensioni, e quindi senza interruzioni e discontinuità della struttura, porta comunque sempre alla realizzazione di strutture di rigidezza e resistenza maggiore: in caso di elementi strutturali di questo tipo, particolari e di uso tutt'altro che frequente, la rinuncia a queste caratteristiche deve essere accuratamente valutata.

La combinazione di diversi elementi e di diversi materiali può rappresentare una soluzione interessante sia dal punto di vista strutturale che da quello economico. È quindi senz'altro possibile combinare elementi di diverso tipo, e completare la struttura con elementi classici di travi di legno lamellare incollato. Ricordiamo a questo proposito la possibilità di introdurre elementi di trave all'interno delle pareti laddove sia necessaria la presenza di una zona con caratteristiche flessionali importanti (architravi di altezza ridotta o con carichi importanti), o la possibilità di rinforzare l'XLAM con l'aggiunta di nervature o rinforzi tramite incollatura strutturale di elementi lineari.

6.8 La struttura tridimensionale

L'analisi della struttura tridimensionale composta da pannelli XLAM può apparire complessa e impegnativa, in particolar modo a causa dell'effetto strutturale delle superfici che compongono la struttura portante. Trattandosi però, nella maggior parte dei casi, di elementi di parete e di soletta collegati fra loro senza giunti rigidi a flessione, la prima analisi della struttura può praticamente sempre essere eseguita scomponendo la struttura nelle sue diverse componenti, in modo da poter considerare i singoli elementi in modo indipendente. Questo modo di procedere, evidentemente non adatto all'analisi dettagliata della struttura, necessaria ad esempio per definire il comportamento in caso di azione sismica o per determinarne le deformazioni effettive e in modo preciso, è comunque sempre consigliabile quale primo approccio e per poter definire in modo univoco e chiaro il comportamento strutturale e la funzione di ogni singolo elemento XLAM.

Il calcolo e la verifica dei singoli elementi può quindi avvenire, in una prima fase, in modo relativamente semplice ed efficace, permettendo anche di valutare l'effetto delle scelte costruttive ed esecutive che saranno fatte in fase di definizione del progetto esecutivo.

7. Limitazioni

Le considerazioni di questo documento si riferiscono all'XLAM, cioè ai pannelli di legno massiccio incollato a strati incrociati. I prodotti formati da più strati di tavole, incrociati ma non incollati fra di loro, come pure i prodotti compositi di legno simili, presentano caratteristiche meccaniche e fisiche in parte simili, ma in parte decisamente diverse da quelle dell'XLAM.