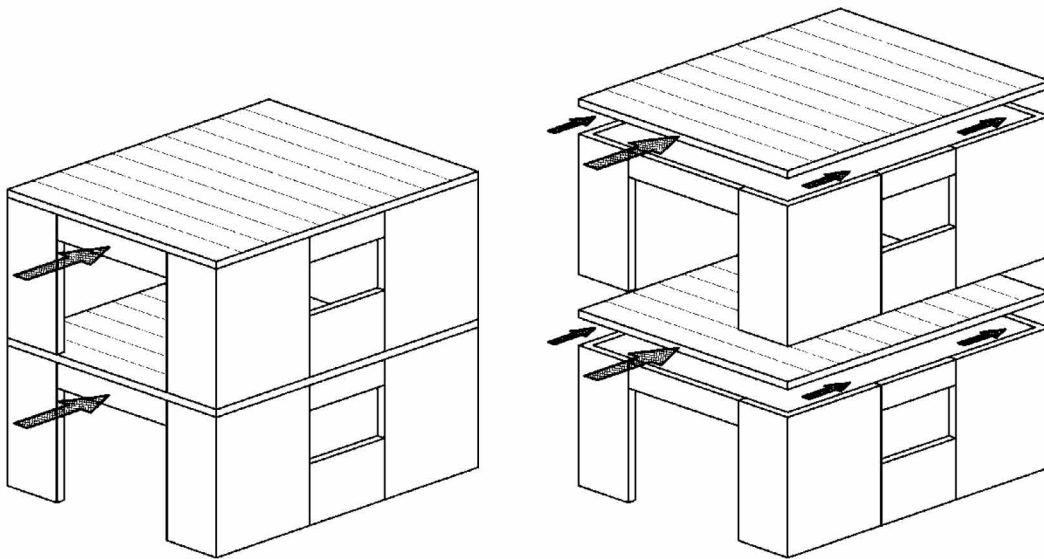


Corso di approfondimento – Edifici in legno in X-lam



Lezione D Connessioni e collegamenti: principi ed applicazioni

ING. ROBERTO TOMASI

Università degli Studi di Trento
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e strutturale

Indice

1 Introduzione

2 I collegamenti strutturali in un edificio X-lam

- 2.1 Tipologie di collegamenti
 - 2.1.1 Collegamento parete-fondazione
 - 2.1.2 Collegamento parete-solaio-parete
 - 2.1.3 Collegamento parete-copertura
 - 2.1.4 Collegamento parete-parete continuo
 - 2.1.5 Collegamento parete-parete d'angolo
 - 2.1.6 Collegamento parete-parete incrocio
 - 2.1.7 Collegamento solaio-solaio
 - 2.1.8 Altre tipologie di collegamenti

3 Principi di calcolo delle giunzioni e dei collegamenti in un edificio X-lam

- 3.1 Comportamento meccanico di connettori a gambo cilindrico utilizzati nei pannelli X-lam
 - 3.1.1 Resistenza a taglio di connettori a gambo cilindrico inseriti nelle superfici laterali
 - 3.1.2 Resistenza a taglio di connettori a gambo cilindrico inseriti nelle superfici strette di estremità
 - 3.1.3 Resistenza ad estrazioni di connettori a gambo cilindrico
 - 3.1.4 Distanze ed interassi dai bordi

1 Introduzione

La seguente lezione fa parte del materiale didattico del corso di approfondimento di Promo_legno Edifici in legno con pannelli X-lam. La lezione D riguarda in modo particolare le connessioni ed i collegamenti.

L'obiettivo della lezione D è illustrare le tipologie di collegamenti più comunemente utilizzati nelle edifici realizzati con pannelli X-lam, con particolare riguardo sia alle problematiche tecnologiche che strutturali.

Un prerequisito fondamentale per affrontare i contenuti didattici di questa lezione è la conoscenza di base del calcolo e del dimensionamento delle strutture in legno (anche per esempio una conoscenza dei contenuti del corso Ho_lz di base).

Nel capitolo 2 si illustrano, partendo un edificio tipo, le tipologie di collegamenti più comuni, e si illustrano nel dettaglio alcune soluzioni ed alcuni particolari costruttivi.

Nel capitolo 3 si illustrano alcune tematiche di calcolo strutturale dei collegamenti in un edificio X-lam.

2 I collegamenti strutturali in un edificio X-lam

2.1 Tipologie di collegamenti

In figura sono illustrate le principali tipologie di collegamenti più comuni presenti in un edificio in X-lam. Si possono principalmente distinguere le seguenti tipologie di collegamenti:

- Collegamento tra pannello verticale e pannello o diaframma orizzontale (particolari 1, 2 e 3)
- Collegamento tra pannello verticale e pannello verticale (particolari 4, 5 e 6)
- Collegamento tra pannello orizzontale e pannello orizzontale (particolare 7)

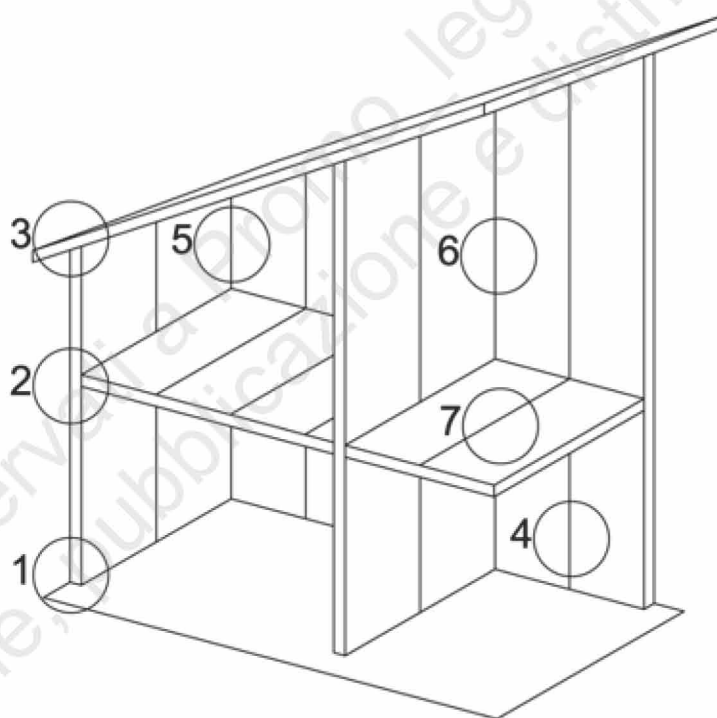


Figura 1 Nodi strutturali principali in un edificio realizzato con pannelli X-lam

Di seguito verranno illustrate nel dettaglio le diverse tipologie di collegamenti, riportando le possibili diverse soluzioni costruttive.

Si deve sottolineare che i disegni dei particolari costruttivi illustrati di seguito sono limitati solamente ai dettagli dei sistemi meccanici di collegamento: non sono dunque riportati invece i particolari relativi al posizionamento di altri elementi legati alla protezione della parete e dei collegamenti (guaine, teli, nastri, strati di isolamento etc.).

2.1.1 Collegamento parete fondazione

Di seguito si riportano alcune possibili soluzioni per il collegamento tra la parete verticale e l'elemento orizzontale di fondazione realizzato in cemento armato (platea o soletta di fondazione).

Il pannello è solidarizzato con gli elementi di fondazione in cemento armato, al fine di contrastare l'effetto delle azioni orizzontali sugli edifici (vento e sisma) che possono generare forze di scorrimento e forze di sollevamento del pannello rispetto alla fondazione. In figura sono illustrati gli elementi preformati ad L in acciaio atti a trasferire le forze orizzontali e verticali tra pannello e fondazione. Spesso si utilizzano degli speciali elementi angolari allungati denominati hold-down (traduzione letterale dall'inglese "tieni giù") solamente per la trasmissione delle forze assiali che contrastano il ribaltamento della parete. Le piastre angolari in acciaio sono collegamenti agli elementi lignei con chiodi o viti, ed alle fondazioni in calcestruzzo con barre filettate o tasselli fissati in maniera meccanica o chimica.



Figura 2 Alcune tipologie di piastre metalliche angolari da cataloghi dei produttori per la trasmissione delle forze di taglio e di trazione tra elementi verticali ed elementi orizzontali

La prima soluzione è quella di appoggiare direttamente la parete sulla platea di fondazione (ovviamente con l'interposizione dei teli di impermeabilizzazione non riportati in figura, atti a proteggere il legno dall'umidità e dalle risalite capillari) di

collegare il pannello per la trasmissione delle forze orizzontali e verticali tramite piastre angolari.

Si noti che con tale soluzione, poiché la platea di fondazione non risulta perfettamente a livello, è spesso necessario utilizzare dei cunei di legno per mettere "in bolla" la parete.

Nella seconda soluzione viene realizzato un cordolo di cemento armato della larghezza necessaria ad accogliere lo spessore della stratigrafia della parete (pannello ligneo e strati di isolamento).

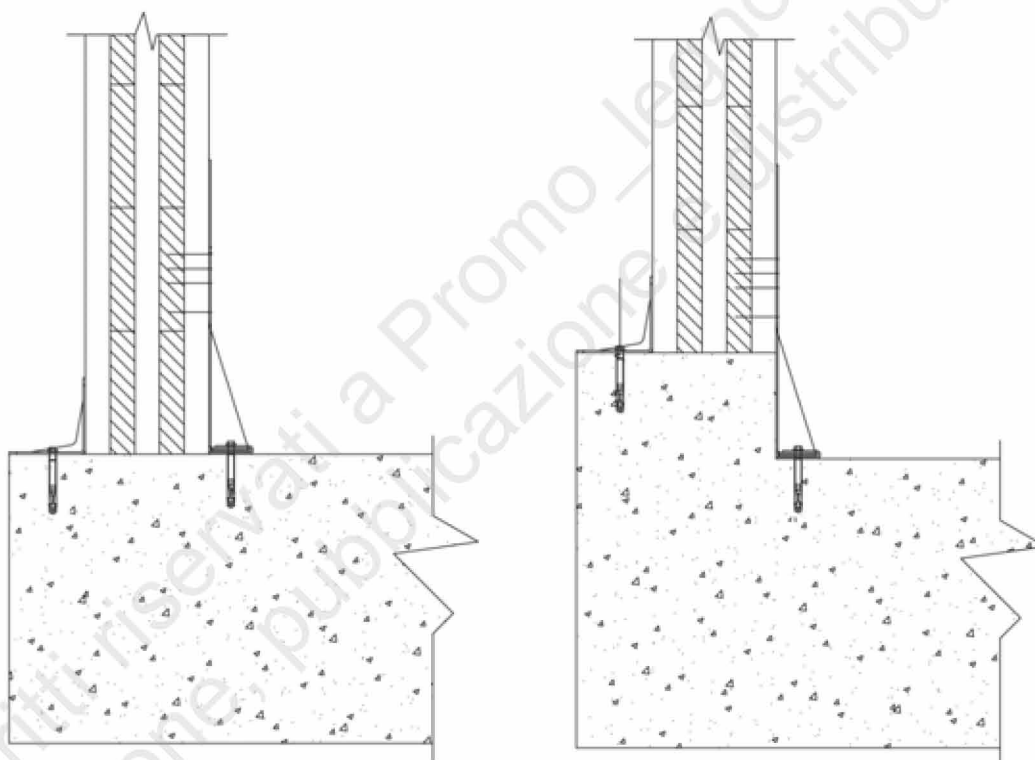


Figura 3 Soluzione 1 e soluzione 2 nodo di fondazione



Figura 4 Soluzione 1 e 2 del nodo di fondazione (courtesy of STP srl)

Un'altra possibile metodo di collegamento prevede il posizionamento di un cordolo di legno di interposizione tra parte e fondazione (spesso realizzato utilizzando una specie legnosa più naturalmente durabile come può essere il larice): in questo caso occorre prevedere un collegamento a taglio tra pannello e cordolo e tra cordolo e fondazione.

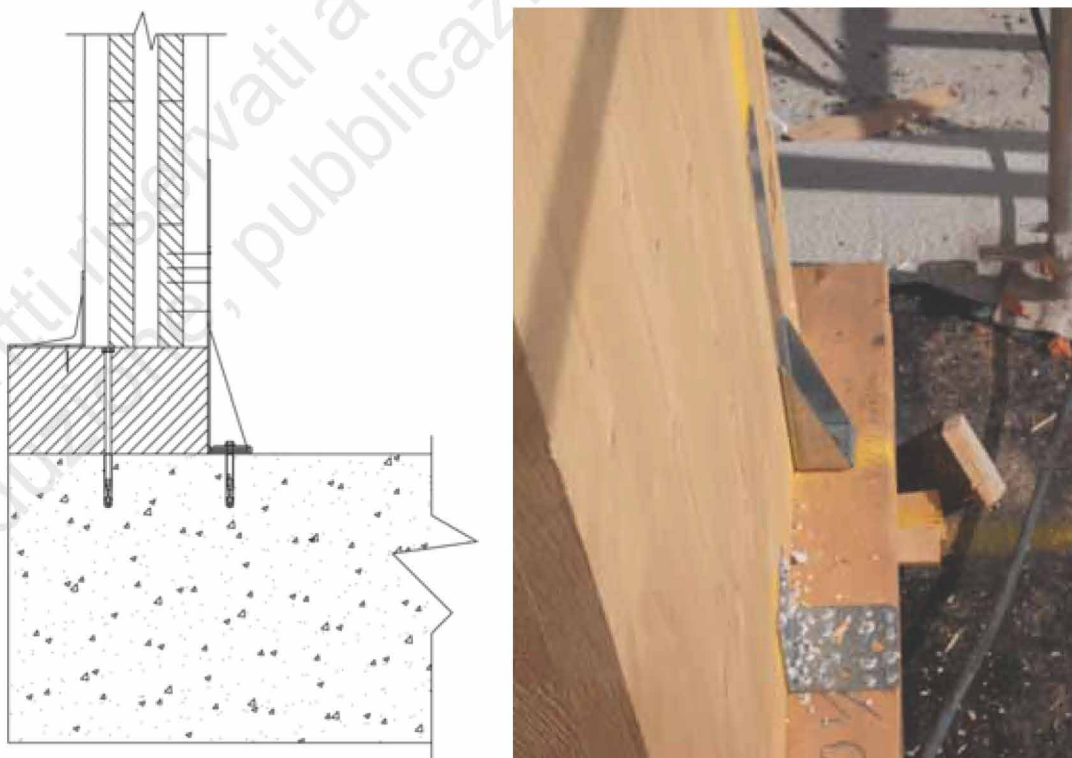


Figura 5 Soluzione 3 nodo di fondazione



Figura 6 Soluzione 3 del nodo di fondazione (courtesy of STP srl)

2.1.2 Collegamento parete solaio parete

Gli edifici in X-lam sono sistemi prefabbricati, dove gli elementi vengono montati in opera e collegati successivamente tra di loro tramite giunzioni. Il processo costruttivo si ripete piano per piano: si montano i pannelli verticali che formano le pareti, si chiude il piano con i pannelli orizzontali, e tali pannelli fanno da piattaforma per il posizionamento dei pannelli verticali del piano successivo. I sistemi X-lam sono quindi sistemi a “piattaforma”, dove l’orizzontamento intermedio interseca gli elementi verticali. Nel nodo parete-solaio-parete deve essere quindi ripristinata la continuità strutturale tramite sistemi di giunzione analoghi a quelli utilizzati in fondazione, che consentano il collegamento del solaio intermedio con il pannello inferiore e superiore.

Anche per tale nodo si possono usare due tipi differenti tipologie di collegamento per la trasmissione degli sforzi di taglio o di sollevamento:

- **collegamento a taglio:** serve per trasferire le forze orizzontali dovute al taglio (per esempio angolare ad L, oppure angolari ad L + viti)
- **collegamento a trazione:** serve per trasferire le forze verticali dovute al momento (per esempio hold-down oppure piastre passanti)

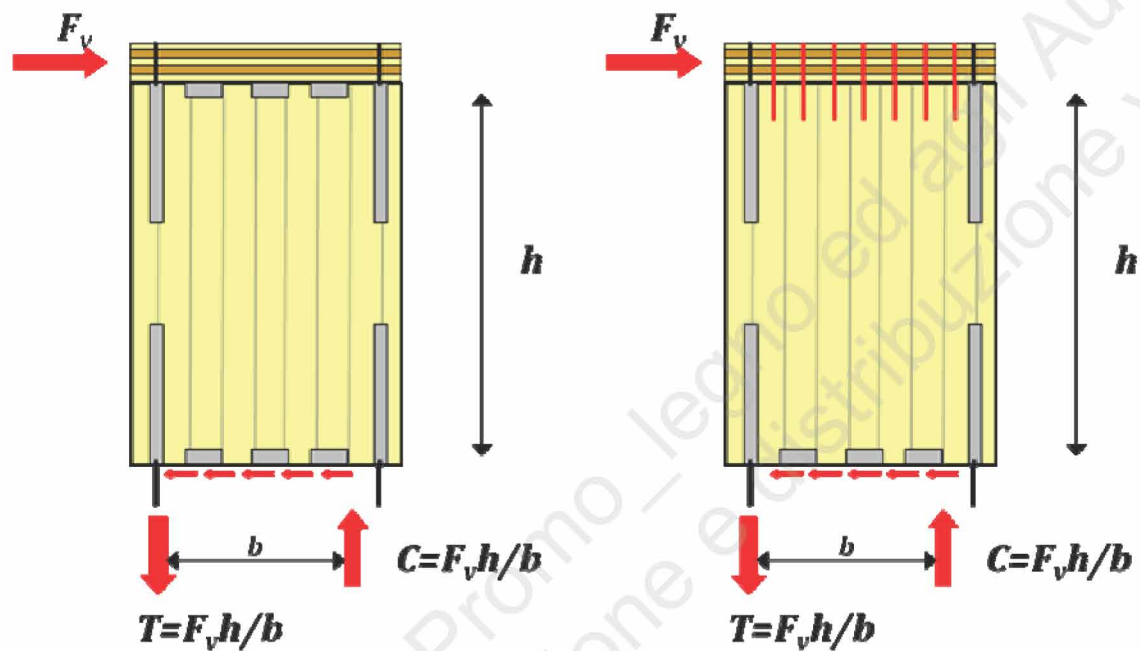


Figura 7 Sistemi di trasmissione degli sforzi tra pareti e solaio

Per trasmettere gli sforzi di taglio dal solaio al pannello inferiore si possono utilizzare piastre angolari che lavorano a taglio oppure viti auto foranti inserite direttamente dall'estradosso del pannello.



Figura 8 Sistemi di trasmissione degli sforzi di taglio tra parete e solaio (progetto C.A.S.E. L'Aquila 2009)

Per trasmettere gli sforzi di sollevamento tra pannello superiore al pannello inferiore si possono utilizzare gli stessi sistemi hold-down utilizzati in fondazione, in

questo caso vanno accoppiati sopra e sotto il solaio e collegati tra di loro tramite un bullone. In alternativa possono utilizzarsi delle piastre passanti che collegano direttamente pannello superiore e pannello inferiore.



Figura 9 Sistemi di trasmissione degli sforzi di sollevamento tra parete e solaio con hold-down e piastre passanti (courtesy of STP srl)



Figura 10 Sistemi di trasmissione degli sforzi di sollevamento piastre passanti (courtesy of STP srl)

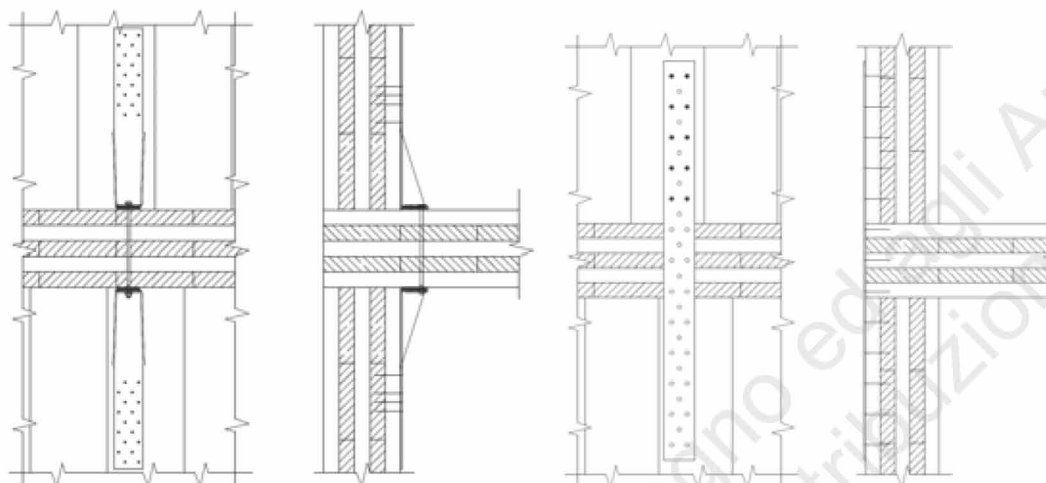


Figura 11 Sistemi di trasmissione degli sforzi di sollevamento tra parete e solaio

La soluzione, che talvolta si propone, di utilizzare viti per la trasmissione anche degli sforzi verticali, risulta invece più problematica dal punto di vista strutturale, sia per la scarsa resistenza delle viti ad estrazione inserite nella superficie di testa del pannello, qualora siano inserite parallelamente alla direzione delle fibre, sia per la possibilità che si instaurino sollecitazioni di trazione ortogonale alle fibre nel solaio.

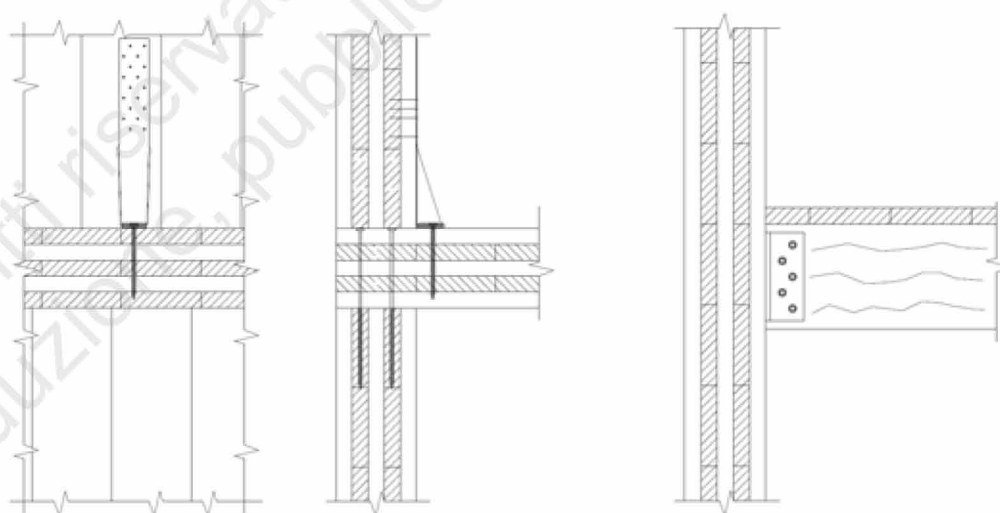


Figura 12 Sistemi di trasmissione degli sforzi di sollevamento tra parete e solaio; soluzione a parete continua.

Nel caso in cui, nell'intersezione tra partizione verticale e partizione orizzontale, l'elemento continuo sia rappresentato dalla parete, l'ancoraggio del solaio o della

trave sulla parete avviene con le tecniche già note della carpenteria lignea, come quella illustrata in figura con staffa a scomparsa.

2.1.3 Collegamento parete-copertura

Nei sistemi X-lam la copertura può essere realizzata sia con pannelli di tavole incrociate, sia con il tetto tradizionale composto tra travi di colmo, arcarecci e puntoni.

Nel caso di tetto realizzato con pannelli il collegamento può avvenire con i metodi già descritti, per esempio con viti auto foranti e angolari metallici. Si tenga conto della possibilità, come illustrato nella figura seguente, di avere l'orizzontamento passante sopra l'intersezione con il pannello verticale, in modo da avere lo sbalzo necessario per la gronda, oppure l'orizzontamento interrotto sopra l'intersezione con il pannello verticale, ed in questo caso si utilizzano dei "falsi travetti" collegati a mensola sopra il pannello, in modo tale da poter realizzare lo sporto di gronda. Questa seconda soluzione può essere indicata per evitare soluzioni di continuità del rivestimento termico, e quindi ponti termici data dalla presenza del solaio passante, consentendo nello stesso tempo di mantenere la forma tradizionale dello sporto di gronda.

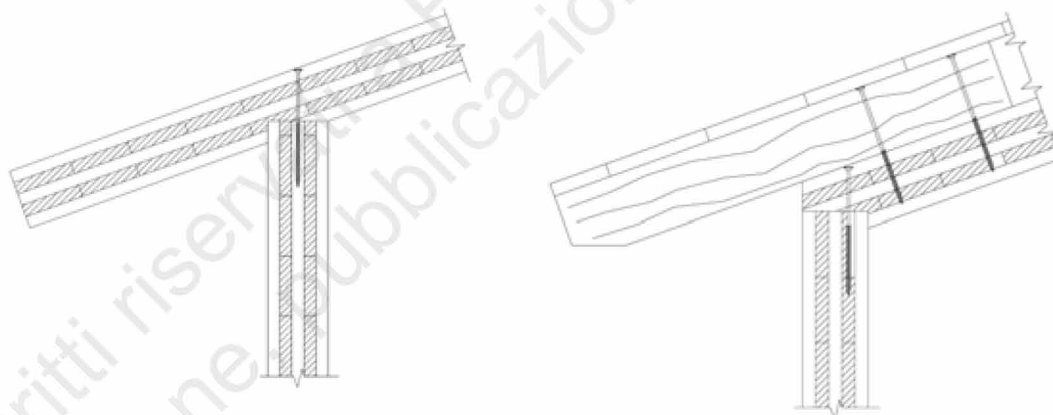


Figura 13 Collegamento parete copertura realizzata con pannelli di legno

Nel caso di tetto "tradizionale" è possibile ricavare le sedi di alloggio delle mezze case o dei falsi puntoni attraverso lavorazioni in stabilimento del pannello. Si rimanda al materiale di approfondimento del corso Promo_legno tetti per maggiori dettagli sui possibili collegamenti.



Figura 14 Collegamento parte copertura “tradizionale”(courtesy of STP srl)

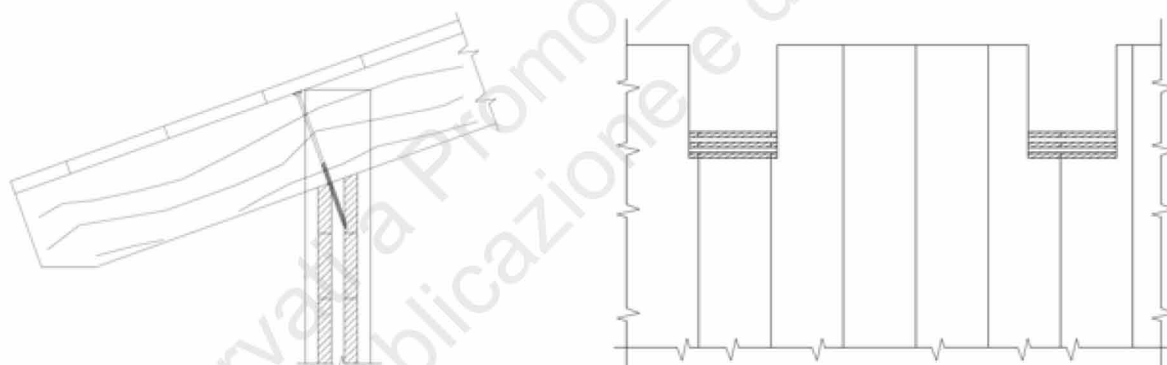


Figura 15 Collegamento parte copertura “tradizionale”

2.1.4 Collegamento parete parete continuo

Le dimensioni laterali dei pannelli possono essere limitate da ragioni produttive e di trasporto, perche cui risulta necessario collegare verticale più pannelli di tavole incrociate per realizzare una parete di un certa lunghezza. La parete finale può essere quindi composta da diversi pannelli collegati verticalmente tra di loro, come illustrato nella figura seguente.

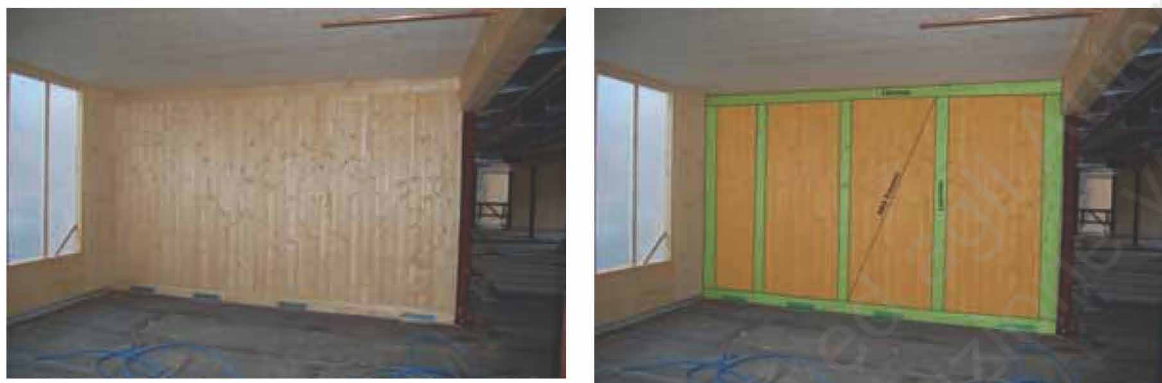


Figura 16 Collegamento parete-parete verticale (Binder BBS)

Alcuni dettagli delle possibilità di collegamento tra elementi verticali sono illustrate nella figura seguente. Questi collegamenti devono essere dimensionati per trasmettere le forze di taglio che si trasmettono da un pannello all'altro in una parete sollecitata a carichi orizzontali.

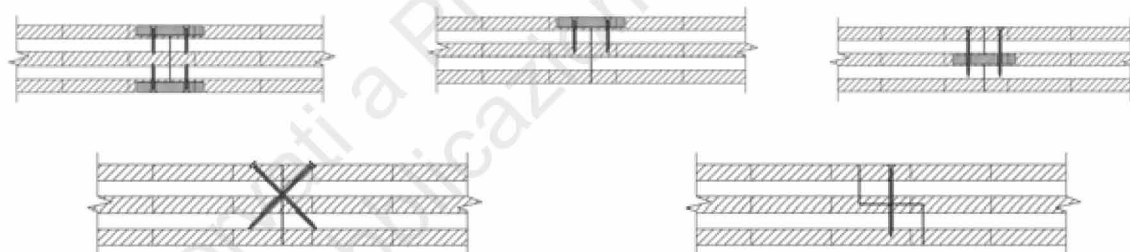


Figura 17 Alcuni particolari costruttivi dei collegamenti parete-parete verticale

2.1.5 Collegamento parete parete d'angolo

Il collegamento d'angolo tra pareti ortogonali è indispensabile per garantire una maggiore robustezza all'intera costruzione. Inoltre tale vincolo può costituire un presidio per le forze fuori piano delle pareti, dovuto per esempio all'effetto del vento in pressione sulle pareti, oppure alle forze di in stabilizzazione laterale. Esistono anche in questo caso diverse soluzioni possibili di collegamento utilizzando per esempio viti auto-foranti o piastre angolari di acciaio, come illustrato nella figura seguente.

Soluzioni come quella illustrata nella terza immagine della figura sono da sconsigliare in quanto l'intaglio, se non adeguatamente rinforzato, può innescare una fessurazione trasversale per valori modesti di tensione di trazione.

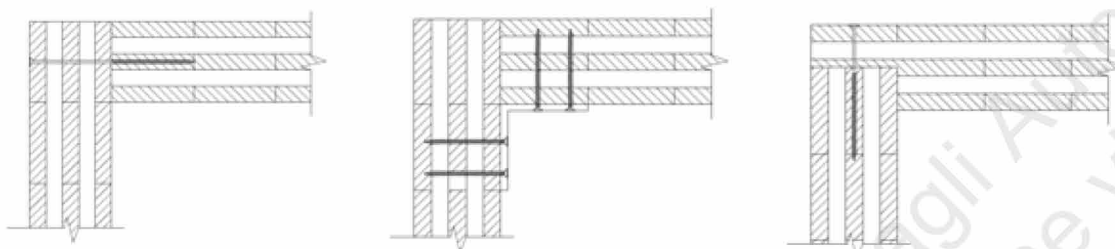


Figura 18 Alcuni particolari costruttivi dei collegamenti parete-parete d'angolo

Nel caso in cui si faccia affidamento alla resistenza ad estrazione di viti auto foranti, si deve fare attenzione alle modalità di inserimento della vite, come illustrato nella seguente figura. Infatti se la vite viene inserita in uno strato del pannello con direzione della fibra parallela all'asse della vite, questo può essere considerata inefficace o comunque con resistenza ad estrazione ridotta.

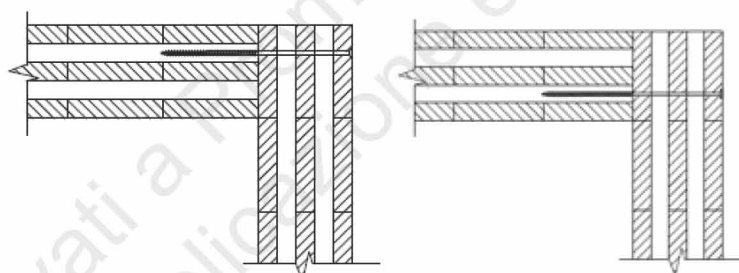


Figura 19 Modalità non corrette di inserimento delle viti

Poiché in fase di montaggio in cantiere può essere non sempre facile individuare lo strato corretto in cui inserire la vite auto forante, si consiglia di inserire le viti con una direzione leggermente inclinata rispetto al piano della parete, in modo tale da essere sicuri di intercettare almeno due strati del pannello.

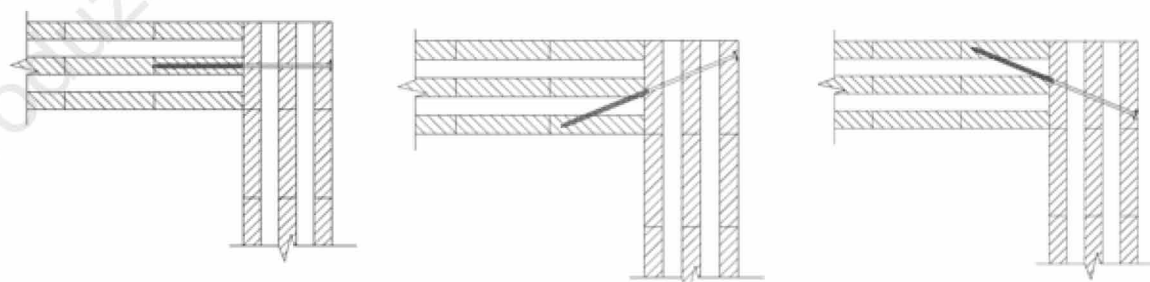


Figura 20 Modalità corrette di inserimento delle viti



Figura 21 Collegamento parete – parete (courtesy of STP srl)

Un'altra possibilità è quella di utilizzare collegamenti a forma di gancio oppure a forma di coda di rondine. Questi sistemi presentano il vantaggio che, se fissati in maniera corretta, permettono il montaggio autocentrante delle pareti senza ulteriori accorgimenti.

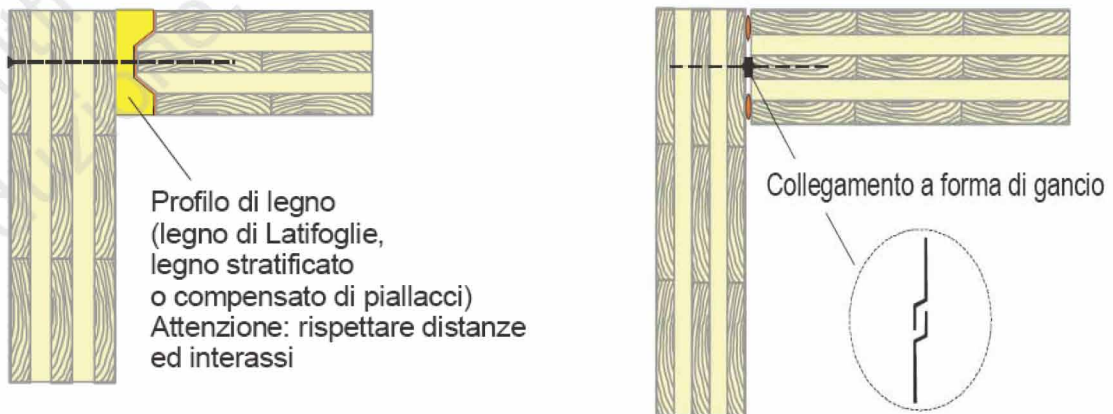


Figura 22 Collegamento parete – parete con coda di rondine oppure con gancio

2.1.6 Collegamento parete parete incrocio

Anche nel caso di una parete interna che interseca una parete esterna, è necessario collegare le pareti per conferire una maggiore robustezza alla costruzione ed offrire un presidio per i meccanismi fuori piano. Si possono riproporre anche in questo caso soluzioni simili a quelle già illustrate per il collegamento d'angolo.

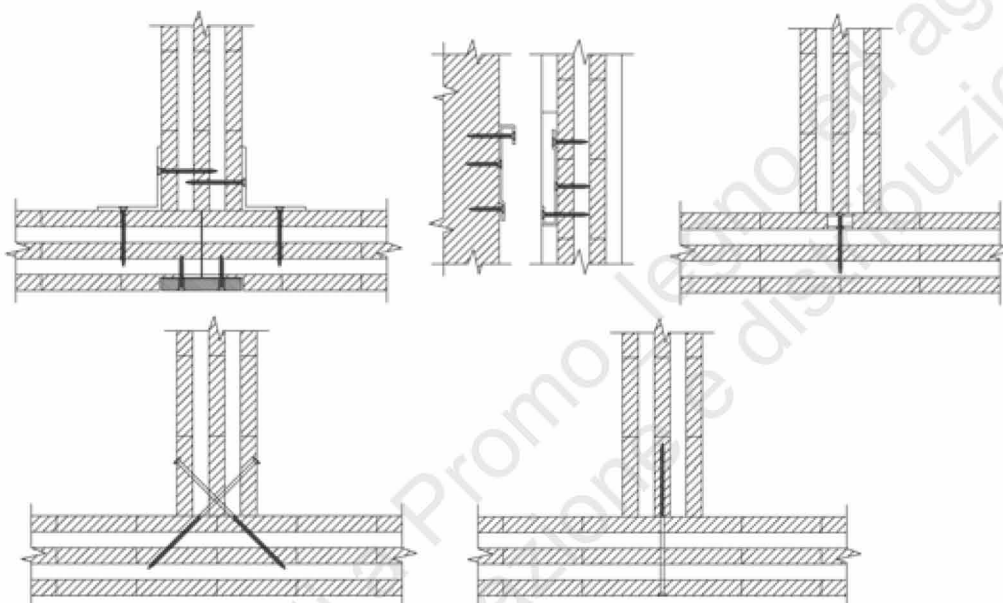


Figura 23 Collegamento parete – parete: alcune soluzioni costruttive

2.1.7 Collegamento solaio-solaio

Anche nel caso delle partizioni orizzontali come i solai e le coperture, realizzati con pannelli di tavole incrociate, poiché questi hanno una dimensione trasversale ridotta per ragioni produttive e di trasporto, è necessario realizzare giunti trasversali tra pannello e pannello, per realizzare un diaframma orizzontale continuo di maggiori dimensioni (comportamento a lastra) e per evitare abbassamenti differenziali (comportamento a piastra). Poiché si tratta di collegamenti “a cerniera” in cui può essere trasmesso il taglio e non la flessione, la direzione di queste giunzioni è ovviamente parallela alla direzione portante principale del solaio.

Alcuni dettagli delle possibilità di collegamento tra elementi orizzontali sono illustrate nella figura seguente (del tutto simili a quelli illustrati per in giunto continuo parete-parete).

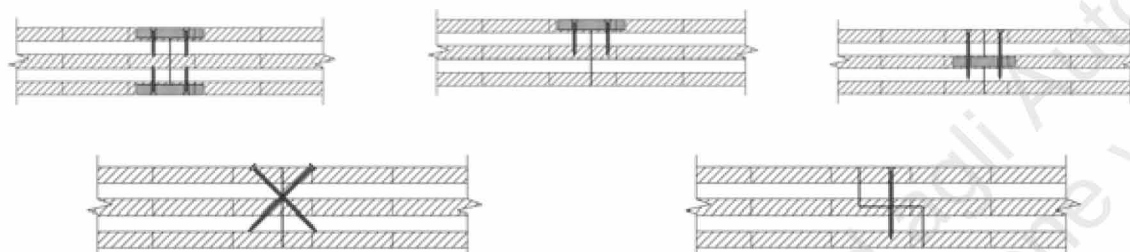


Figura 24 Alcuni particolari costruttivi dei collegamenti solaio-solaio

2.1.8 Altre tipologie di collegamenti

Il collegamento tra la trave principale e il solaio può avvenire in due modi: il solaio può appoggiare superiormente all'estradosso della trave (soluzione con trave fuori spessore del solaio), oppure il solaio può rimanere affiancato "nello spessore" della trave principale. In questo ultimo caso può esserci un certo vantaggio nel limitare l'ingombro della struttura, ma può essere più impegnativo anche per aspetti costruttivi, nonché nelle verifiche strutturali, utilizzare elementi lignei. Inoltre nei casi pratici può essere di fatto non possibile limitare l'altezza della trave principale allo spessore del solaio. Sono inoltre da evitare soluzioni del tipo di quelle illustrate in figura, dove l'elemento secondario è in pratica "appeso" all'elemento principale, perché, come già ricordato in precedenza, ciò può dare luogo a stati di sollecitazione di trazione ortogonale alla fibratura nella trave principale. Una possibile soluzione per realizzare "travi in spessore" può essere quella dei profilati di acciaio.

In un edificio X-lam quando un elemento verticale come un pilastro interseca un elemento di orizzontamento (ad esempio una trave oppure un solaio), essendo un sistema costruttivo "a piattaforma", si adotta solitamente la soluzione del pilastro interrotto. In questo caso il collegamento con la trave è sicuramente più semplice anche dal punto di vista costruttivo (la trave è appoggiata direttamente sul pilastro), però intervengono delle problematiche di dimensionamento dell'appoggio da considerare con attenzione legate alla verifica di compressione ortogonale alle fibre.

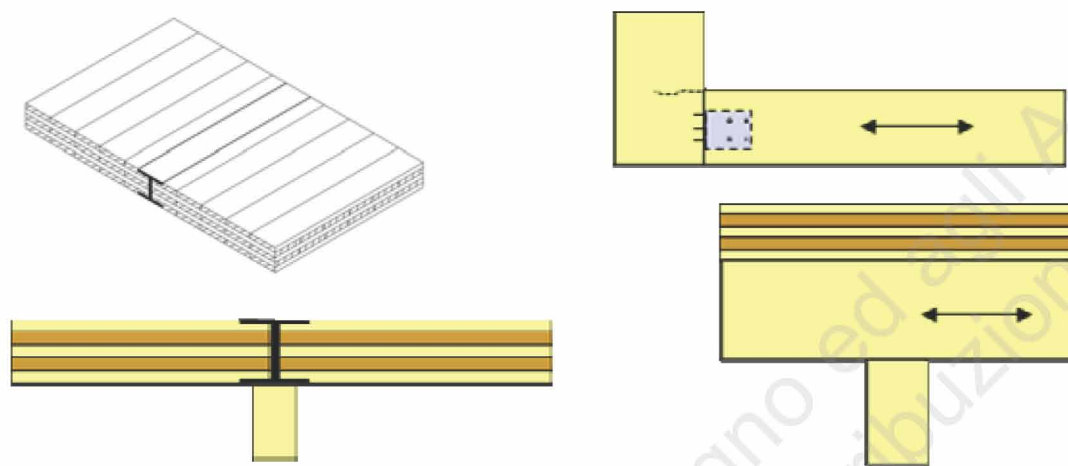


Figura 25 Alcuni particolari costruttivi dei collegamenti pilastro-trave-solaio

Si riportano di seguito alcuni esempi di particolari costruttivi relativi alla realizzazione delle scale e dei balconi in un edificio X-lam.

Relativamente alla costruzione delle scale, spesso in tali sistemi costruttivi si adotta la soluzione di vano scale e ascensore realizzato in cemento armato, realizzando in questo modo un nucleo di controvento rigido a cui vien affidato il compito di portare a terra i carichi orizzontali che agiscono sulla struttura. Esiste tuttavia anche la possibilità di realizzare anche in vani scala ed ascensore con pannelli X-lam (a Londra è stato realizzato per esempio un edificio di 9 piani con nucleo di controvento in legno). In questo caso le scale possono essere realizzate con struttura lignea, e nelle figure seguenti si riportano alcune immagini relativamente a soluzioni costruttive con schemi statici differenti: In una soluzione costruttiva la rampa dei gradini è un elemento secondario che va in appoggio sugli elementi del pianerottolo (i quali sono vincolati alle pareti perimetrali lignee); nella seconda soluzione costruttiva i gradini sono elementi a mensola incastrati sulle pareti perimetrali, mentre i pianerottoli vengono vincolati agli elementi di gradino.



Figura 26 Alcuni particolari costruttivi dei collegamenti pannello-pannello orizzontale (courtesy of STP srl)



Figura 27 Alcuni particolari costruttivi per i collegamenti delle scale (progetto C.A.S.E. L'Aquila 2009)

Anche nel caso dei balconi si possono proporre diverse soluzioni costruttive per la realizzazione della struttura.

Nella figura seguente il balcone è un elemento a mensola; nella prima immagine viene realizzato proseguendo con il solaio al di fuori dell'appoggio perimetrale (soluzione a sbalzo), nel secondo caso si realizza una giunzione ad incastro del balcone.

Si osservi, relativamente alla prima soluzione, che lo stesso elemento costruttivo in X-lam viene a trovarsi in classi di servizio (e di conseguenza anche in classi di rischio) differenti, a seconda che si trovi all'interno (solaio) o all'esterno (balcone) dell'involucro edilizio.

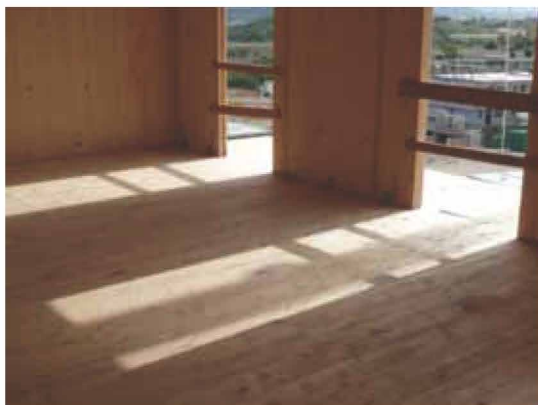


Figura 28 Alcuni particolari costruttivi per i collegamenti dei balconi (progetto C.A.S.E. L'Aquila 2009)

Nella figura seguente il balcone è un elemento in semplice appoggio.

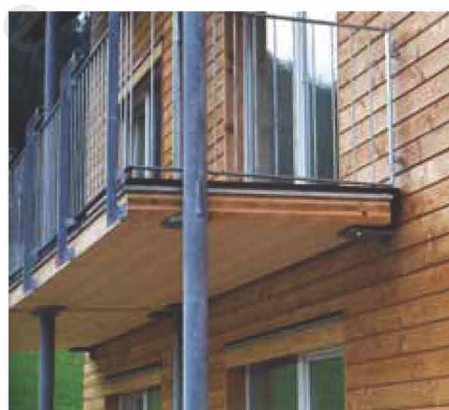


Figura 29 Alcuni particolari costruttivi per i collegamenti dei balconi

In generale sono comunque consigliabili soluzioni costruttive che consentano la separazione completa degli elementi strutturali esterni all'involucro edilizio. Questo garantisce più facilmente, in caso di degrado dovuto alla più elevata classe di rischio (elementi sottoposti alle intemperie), la completa sostituibilità di tali elementi nel corso della vita della costruzione, senza effettuare interventi sulla struttura interna dell'edificio.

3 Principi di calcolo

3.1 Comportamento meccanico di connettori a gambo cilindrico utilizzati nei pannelli X-lam

La capacità portante dei connettori metallici più frequentemente utilizzati per assemblare le membrature lignee, genericamente denominati a gambo cilindrico (chiodi, viti, bulloni e perni), viene determinata con alcuni modelli meccanici già illustrati nei corsi base e avanzati di promo_legno (corso Ho_1z, e corso Tetti in legno), a cui si rimanda per un approfondimento sul tema.

Si ricorda che la resistenza a taglio di giunzioni a gambo cilindrico si determina attraverso modelli di calcolo plastici definiti dalla teoria di Johansen, che consentono di stimare la capacità portante del connettore attraverso l'individuazione delle principali modalità di rottura:

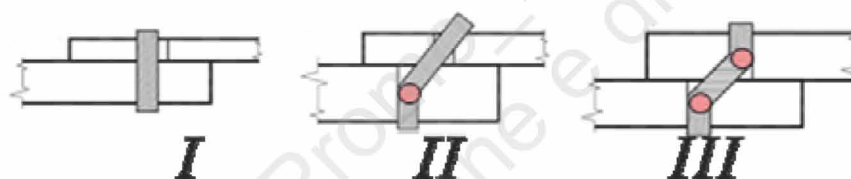


Figura 30 Principali modalità di rottura previste dalla teoria di Johansen

Le formule per la resistenza caratteristica a taglio, per le varie modalità di rottura, sono espresse in funzione di parametri meccanici e geometrici.

$R_{k,I,II,III}(f_{h,k}; M_{y,k}; d; t)$ (*formule di Johansen*)

Parametri meccanici e geometrici:

t_1 e t_2	spessori del legno o del pannello, o profondità di infissione del mezzo di unione
$f_{h,1,k}$ e $f_{h,2,k}$	resistenze caratteristiche a rifollamento degli elementi di legno caratterizzati dallo spessore, rispettivamente, t_1 e t_2 ;
d	diametro del connettore;
$M_{y,k}$	valore caratteristico del momento di snervamento del connettore;
R_k	valore caratteristico della resistenza a taglio della connessione per singolo piano di taglio.

Si osservi che, nei modelli descritti in normativa per elementi a base di legno (per esempio legno massiccio oppure legno lamellare) si ipotizza che:

- i connettori a gambo cilindrico sono inseriti nell'elemento a base di legno con asse ortogonale alla direzione delle fibre;
- la resistenza a rifollamento è costante lungo ciascun elemento ligneo attraversato dal connettore a gambo cilindrico

E' facile evidenziare che tali ipotesi, a causa delle stratigrafia dei pannelli, non sono soddisfatte nei pannelli di tavole incrociate, come nel caso illustrato nella figura seguente (giunto d'angolo tra due pannelli X-lam fissato tramite viti auto foranti).

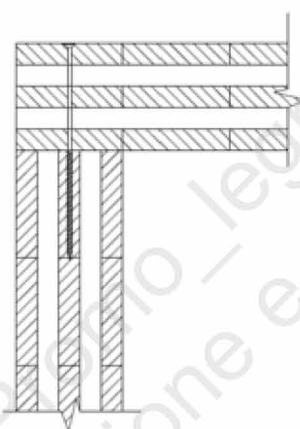


Figura 31 Nodi strutturali in un edificio realizzato con pannelli X-lam

Si può osservare che in un pannello il gambo della vite è inserito nella superficie laterale, mentre nell'altro l'asse della vite è inserito nelle superfici strette di bordo (si veda anche la figura seguente).

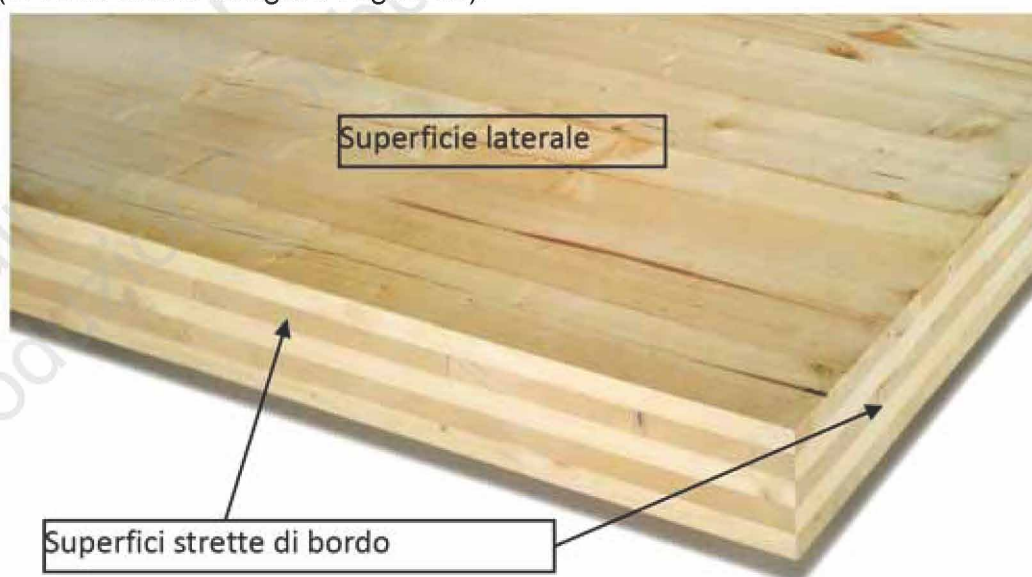


Figura 32 Superfici di un pannello X-LAM

Alcuni sistemi di collegamento a gambo cilindrico (come ad esempio le viti), sono dotati di gambo ad aderenza migliorata oppure filettato, in modo da garantire un certo grado di resistenza all'estrazione del connettore. La capacità di resistere all'estrazione può essere sfruttata in molte situazioni ed è quindi fondamentale definirla in modo preciso.

In accordo con l'Eurocodice 5, la **resistenza all'estrazione della punta** è riportata in funzione dell'angolo α' tra la direzione della fibra e la direzione dell'asse della vite (sollecitata ad estrazione), in accordo con la figura.

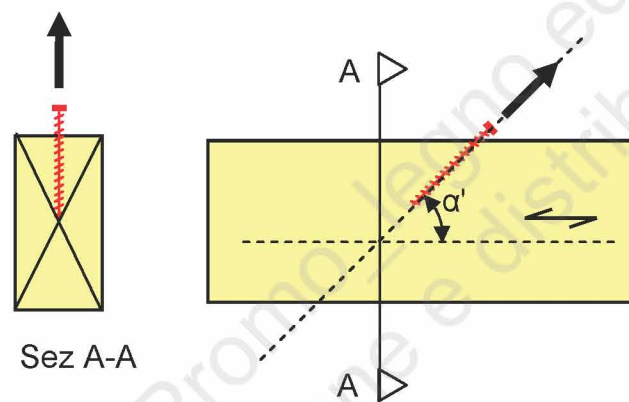


Figura 33 Dipendenza della resistenza ad estrazione dall'angolo di infissione

Resistenza caratteristica ad estrazione della punta filettata

$$F_{ax,\alpha',k} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha',k}$$

dove

l_{ef} lunghezza della parte filettata della vite

$$f_{ax,\alpha',k} = \frac{f_{ax}}{\sin^2 \alpha' + 1,5 \cos^2 \alpha'}$$

$$\text{dove } f_{ax,k} = 3,6 \times 10^{-3} \rho_k^{1,5}$$

La resistenza massima ad estrazione della punta si ha quindi per viti infisse ortogonalmente alla direzione della fibra, la resistenza minima si ha invece per viti infisse parallelamente alla direzione della fibra. Si possono quindi avere i seguenti casi particolari in accordo con la figura.

$$\alpha' = 90^\circ \quad f_{ax,90,k} = f_{ax} \quad (\text{valore massimo})$$

$$\alpha' = 0^\circ \quad f_{ax,0,k} = f_{ax}/1,5 \quad (\text{valore minimo})$$

$$\alpha' = 45^\circ \quad f_{ax,45,k} = f_{ax}/1,25 \quad (\text{valore intermedio})$$

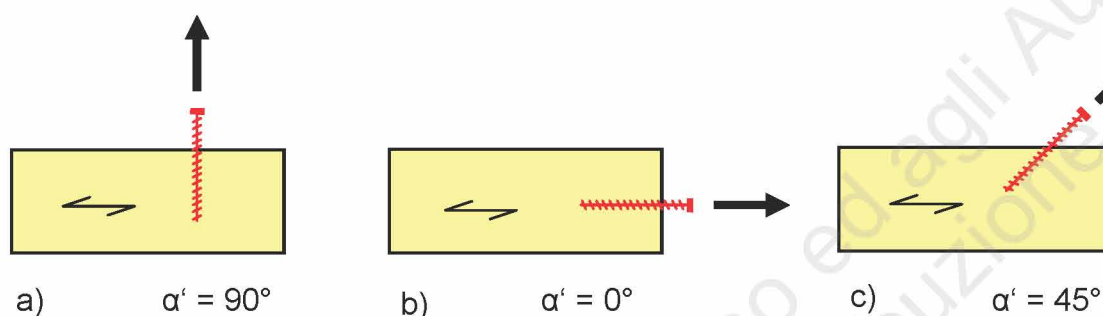


Figura 34 Dipendenza della resistenza ad estrazione dall'angolo di infissione

Si nota che l'eurocodice 5 non fissa dei limiti rispetto all'angolo α' , che può variare da 0° a 90° .

Si nota inoltre che in accordo con l'eurocodice 5 per un gruppo di viti sollecitate ad estrazione si deve tener in conto di un effetto gruppo ad estrazione attraverso il numero efficace $n_{ef} = n^{0,9}$. Si prescrive inoltre una lunghezza minima di infissione della parte filettata della vite pari a $l_{ef} > 6d$.

Queste formulazioni proposte nell'eurocodice sono relative al caso di viti inserite in un elemento a base di legno (p.e. legno lamellare o legno massiccio).

Anche queste formulazioni dovrebbero essere quindi corrette per tenere in considerazione della particolare stratigrafia dei pannelli X-lam, e della possibilità che le viti siano inserite nella superficie laterale oppure nella superficie stretta del pannello.

Ricerche effettuate presso le Università di Karlsruhe e di Graz, anche attraverso un'ampia campagna sperimentale, hanno portato ad alcune formulazioni di calcolo per determinare la capacità portante a taglio ed a estrazione per connettori inseriti in pannelli X-lam. Alcune di queste formulazioni, pur non essendo riportate negli attuali documenti normativi nazionali o europei, sono state recepite nei certificati dei produttori di pannelli X-lam.

3.1.1 Resistenza a taglio di connettori a gambo cilindrico inseriti nelle superfici laterali

La resistenza a taglio di un connettore a gambo cilindrico inserito nelle superfici laterali di un pannello può essere determinata adottando uno di questi approcci:

1. si considera una *teoria di Johansen modificata*, che tenga in considerazione del fatto che il gambo del connettore cilindrico è interessato da diversi strati ortogonali tra di loro, e quindi con differenti resistenze a rifollamento nei diversi strati (tali resistenze a rifollamento possono essere determinate in accordo con la formulazioni presente in normativa in funzione dell'angolo tra la direzione della forza e la direzione delle fibre);
2. si considera una *teoria di Johansen classica*, adottando però delle resistenze a rifollamento modificate per i pannelli X-lam.

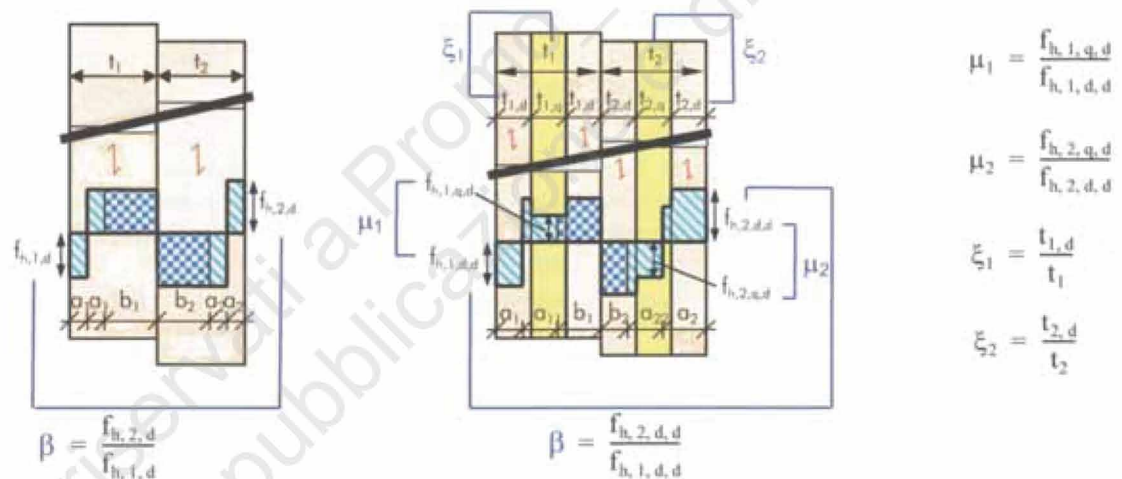


Figura 35 Confronto tra la teoria di Johansen e la teoria di Johansen modificata per tenere in conto della diversa stratigrafia del pannello

Il primo approccio impone la riscrittura delle equazioni di Johansen in funzione del numero di strati del pannello. Si può dimostrare che, anche per un pannello composto di soli 3 strati, questo comporta una complicazione eccessiva delle formulazioni di Johansen.

Per esempio nel caso di una unione X-lam con tre strati e piastra di acciaio si ha:

Modalità di rottura 1

$$R = f_h \cdot d \cdot t_1$$

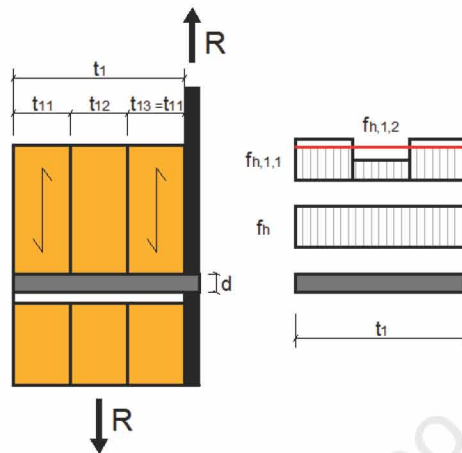


Figura 36 Teoria di Johansen modificata: modalità di rottura 1

Modalità di rottura 2

Ponendo

$$\beta_{1,2} = \frac{f_{h,1,2}}{f_{f,1,1}} \quad \psi = \frac{t_{11}}{t_1}$$

Si ha

modo 2.1

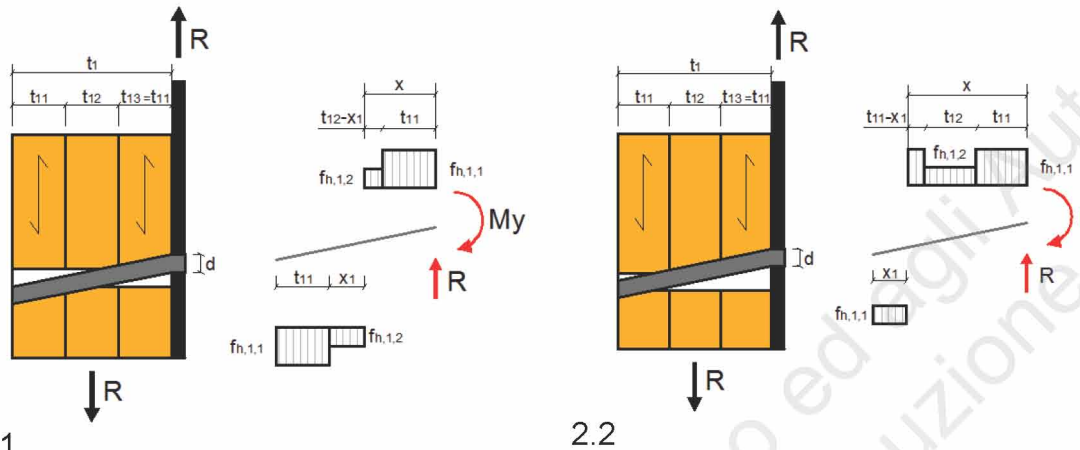
$$R = f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1 \cdot \left[\left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\beta_{1,2} \cdot \left(\beta_{1,2} \cdot (2 \cdot \psi^2 - 2 \cdot \psi + 1) + 2 \cdot \psi \cdot (1 - \psi) + \frac{2 \cdot M_y}{f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1^2} \right)} \right) - \beta_{1,2} \right]$$

$$\text{con } \psi \leq \frac{1}{2} \cdot \left(\beta_{1,2} + 1 - \sqrt{\beta_{1,2}^2 + 1 + \frac{4 \cdot M_y}{d \cdot f_{h,1,1} \cdot t_1^2}} \right)$$

modo 2.2

$$R = f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1 \cdot \left[\left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\psi \cdot (2 \cdot \beta_{1,2} - 2) + 2 - \beta_{1,2} + \frac{2 \cdot M_y}{f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1^2} + 2 \cdot \psi + \beta_{1,2} \cdot (1 - 2 \cdot \psi) - 2} \right) \right]$$

$$\text{con } \psi \geq \frac{1}{2} \cdot \left(\beta_{1,2} + 1 - \sqrt{\beta_{1,2}^2 + 1 + \frac{4 \cdot M_y}{d \cdot f_{h,1,1} \cdot t_1^2}} \right)$$



2.1

2.2

Figura 37 Teoria di Johansen modificata: modalità di rottura 2

Modalità di rottura 3

modo 3.1

$$R = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot f_{h,1,1} \cdot M_y \cdot d}$$

$$\psi \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{M_y}{f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1^2}}$$

modo 3.2

$$R = f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1 \cdot \psi \cdot \left(1 - \beta_{1,2} + \sqrt{\beta_{1,2} \cdot \left(\beta_{1,2} - 1 + \frac{4 \cdot M_y}{f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1^2 \cdot \psi^2} \right)} \right)$$

con
$$\psi \leq 2 \cdot \sqrt{\frac{M_y}{f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1^2}}$$

e
$$\frac{\psi}{\beta_{1,2}} \cdot \sqrt{\beta_{1,2} \cdot \left(\beta_{1,2} - 1 + \frac{4 \cdot M_y}{f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1^2 \cdot \psi^2} \right)} + \psi \leq 1$$

modo 3.2

$$R = f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1 \cdot \left(\beta_{1,2} \cdot (1 - 2 \cdot \psi) + 2 \cdot \psi - 1 + \sqrt{2 \cdot \psi \cdot (\beta_{1,2} - 1) - \beta_{1,2} + 1 + \frac{4 \cdot M_y}{f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1^2}} \right)$$

con $\psi \leq 2 \cdot \sqrt{\frac{M_y}{f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1^2}}$

e $\sqrt{2 \cdot \psi \cdot (\beta_{1,2} - 1) - \beta_{1,2} + 1 + \frac{4 \cdot M_y}{f_{h,1,1} \cdot d \cdot t_1^2}} + \psi \geq 1$

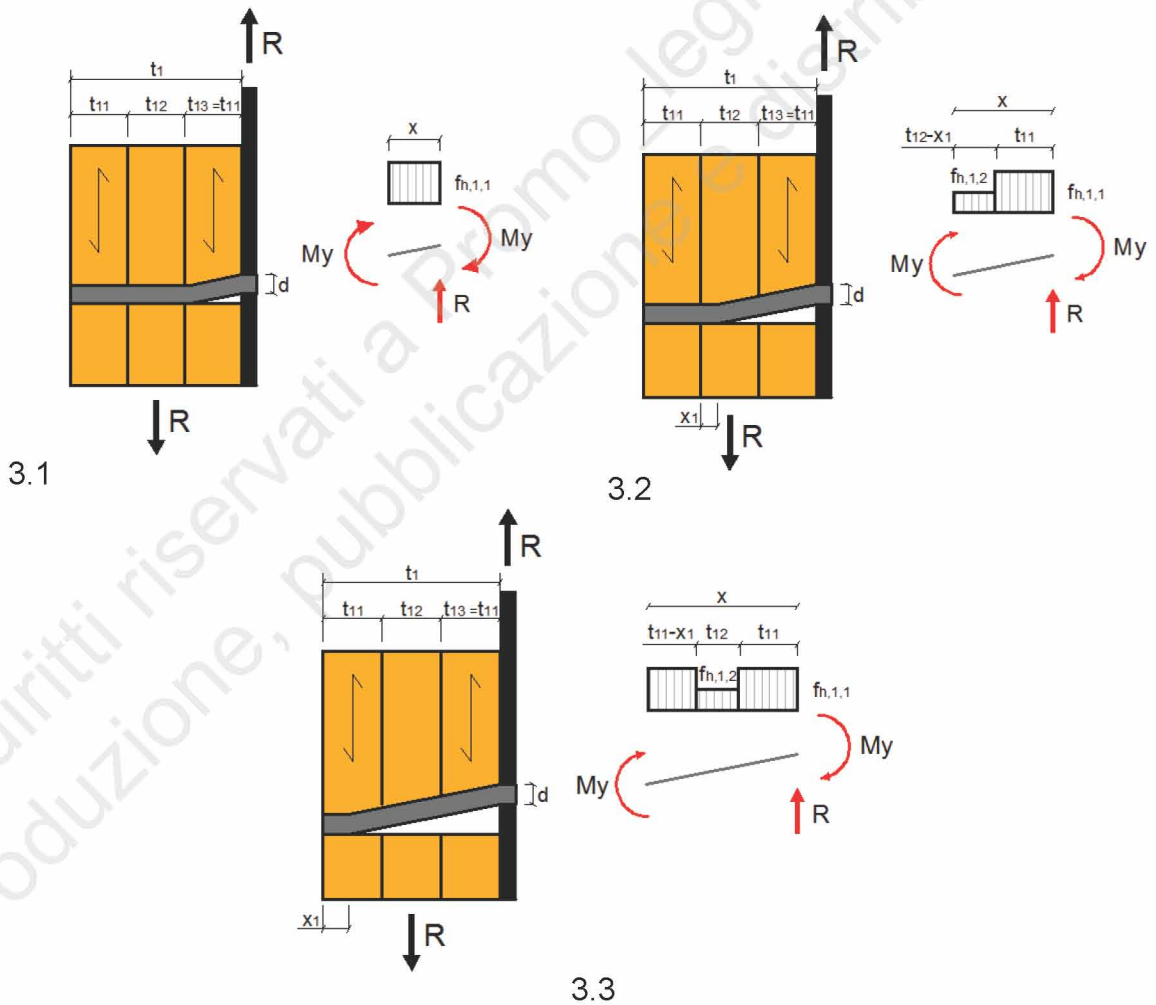


Figura 38 Teoria di Johansen modificata: modalità di rottura 2

Come si vede le espressioni di Johansen modificate diventano estremamente complicate anche per un pannello a 3 strati.

Per applicare il secondo approccio è necessario determinare delle espressioni per le resistenze a rifollamento modificate per i pannelli X-lam, che siano validate attraverso un'ampia campagna sperimentale¹. Questo lavoro ha portato alla proposta delle seguenti espressioni per la resistenza a rifollamento per connettori a gambo cilindrico inseriti nella **superficie laterale** di un pannello X-lam:

Resistenza a rifollamento per chiodi:

$$f_{h,k} = 60 \cdot d^{-0,5}$$

Resistenza a rifollamento per perni e bulloni:

$$f_{h,k} = \frac{32 \cdot (1 - 0,015 \cdot d)}{1,1 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Dove α è l'angolo tra la direzione della forza e la direzione della fibra dello strato esterno.

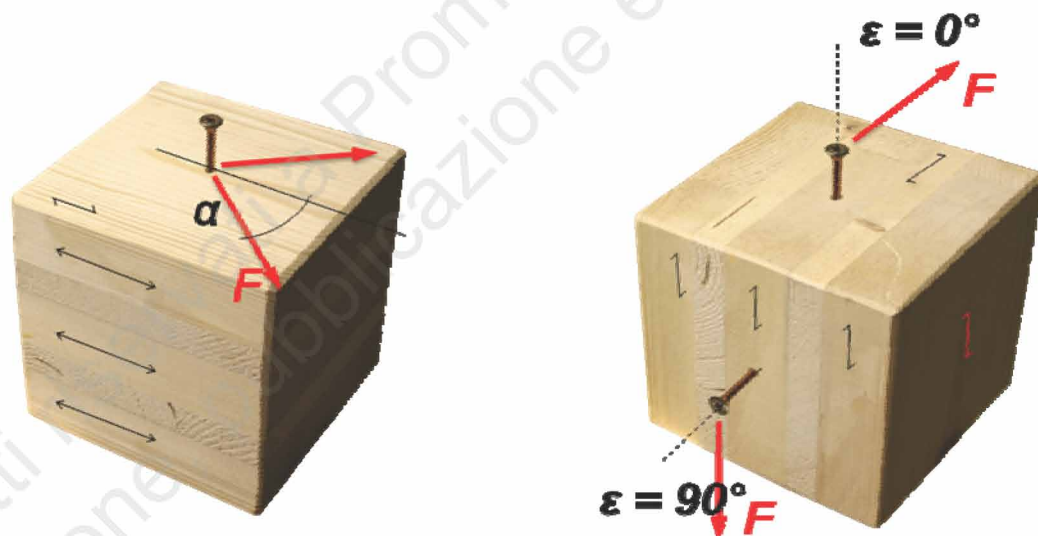


Figura 39 Resistenza a taglio di connettori a gambo cilindrico inseriti nella superficie laterale o nella superficie stretta di bordo di un pannello X-lam

¹ Blaas, H.J., Uibel, Th., Forschung an der Universität Karlsruhe –Stifförmige Verbindungsmittel in Brettsperrholz, In: 5. Grazer Holzbau Fachtagung- Tagungsband, ISBN: 3-90-2020-32-6, Graz, 2006

Attraverso un esempio di calcolo si è dimostrato² che i due approcci sopra proposti forniscono risultati equivalenti, e comunque confrontabili con i risultati sperimentali. Questi valori di resistenza a rifollamento sono stati quindi recepiti nei certificati dei produttori di pannelli X-lam.

Nails

The characteristic value of the load-bearing capacity of nails in the side surfaces can be calculated according to EN 1995-1-1.

The characteristic value of the embedment strength of not predrilled "HMS - Elemente" can be calculated by:

$$f_{h,k} = 60 \cdot d^{-0,5} \text{ in N/mm}^2$$

with d = Diameter of the nail in mm.

Decisive for the minimum spacing between the nails is the direction of the grain of the side surfaces.

Nails in the lateral surfaces of "HMS - Elemente" might not be taken into consideration as load-bearing.

Bolts and dowels

The characteristic value of junctions with bolts and dowels in the side surfaces can be calculated according to EN 1995-1-1.

Decisive for the embedment strength is the direction of the grain of the surface layer. The characteristic embedment strength of "HMS - Elemente" can be calculated by:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{32 \cdot (1 - 0,015 \cdot d)}{1,1 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \text{ in N/mm}^2$$

with

d = Diameter of the fastener in mm

α = Angle between direction of the force and direction of the grain of the surface layer.

Screws

The characteristic value of the load-bearing capacity of screws in the side surfaces of the board can be calculated according to EN 1995-1-1.

The characteristic value of the embedment strength of not predrilled "HMS - Elemente" can be calculated by:

$$f_{h,k} = 60 \cdot d^{-0,5} \text{ in N/mm}^2$$

Figura 40 Certificato di produttore X-lam

Di seguito sono riportati i confronti tra le resistenze a rifollamento indicate nei certificati e quelle ottenute applicando la norma EN 1995 (euro codice 5), per le classi di legno massiccio C24 e C35.

² Pirmbacher, G., Traetta, G., Schickhofer, G., Forschung an der TU Graz – Anwendung der Johansen-Theorie für gekreuzt geschichtete Strukturen, In: 5. Grazer Holzbau Fachtagung-Tagungsband, ISBN: 3-90-2020-32-6, Graz, 2006

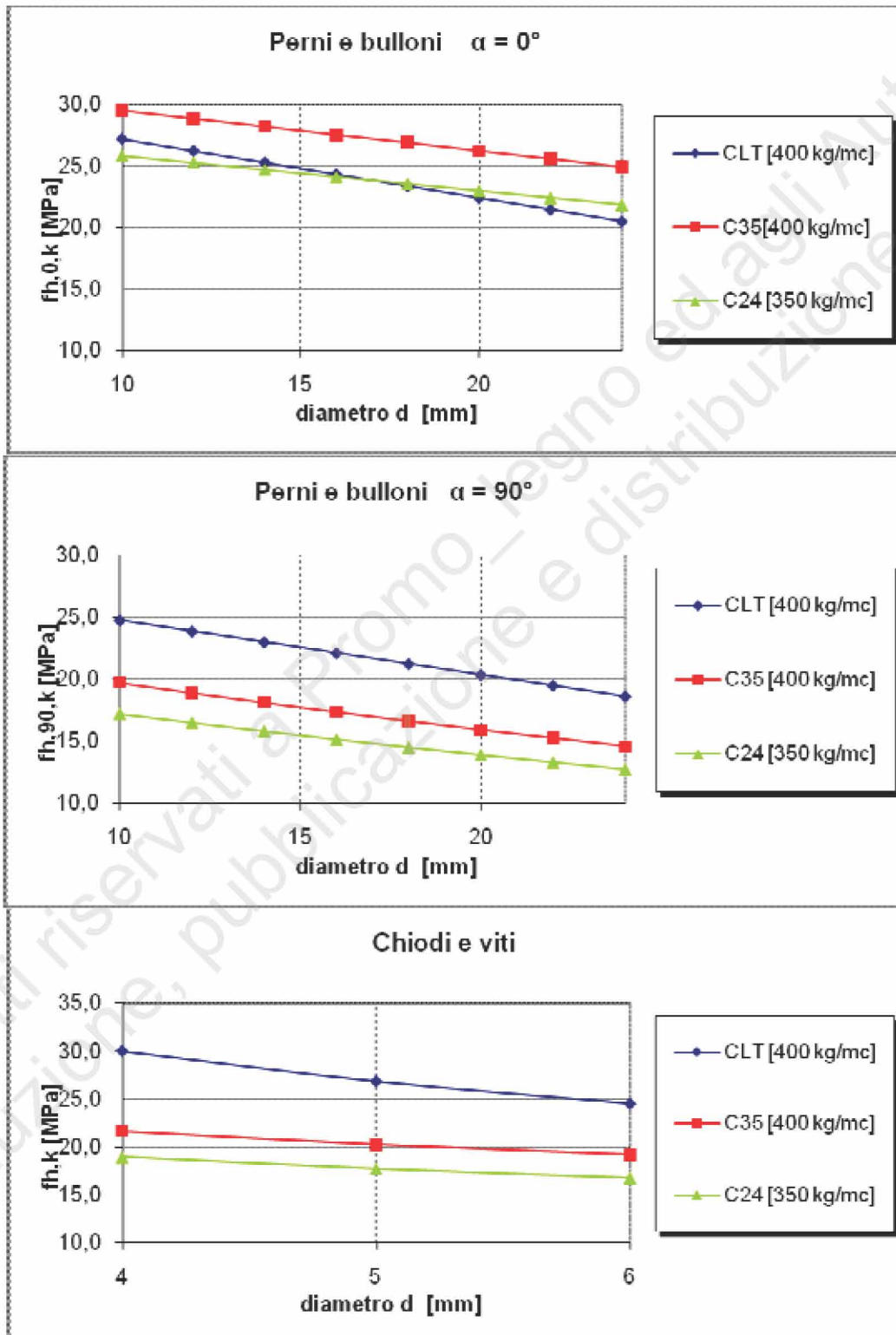


Figura 41 Confronto tra resistenze a rifollamento

3.1.2 Resistenza a taglio di connettori a gambo cilindrico inseriti nelle superfici strette di bordo

Per applicare la teoria classica di Johansen sono state proposte le espressioni per le resistenze a rifollamento modificate per i pannelli X-lam, nel caso di connettori a gambo cilindrico inseriti nella superficie stretta di bordo di un pannello X-lam.

Resistenza a rifollamento per viti³:

$$f_{h,k} = \frac{32 \cdot d^{-0,3}}{2,5 \cdot \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon}$$

Dove ε è l'angolo tra l'asse del connettore e la direzione della fibra.

Screws

For calculation of screws in the cross grain of the lateral surfaces the characteristic embedment strength of not predrilled "HMS - Elemente" is calculated by

$$f_{h,k} = \frac{32 \cdot d^{-0,3}}{2,5 \cdot \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} \text{ in N/mm}^2$$

mit

d = diameter of the screw thread in mm und

ε = Angle between direction of the grain and axis of the screw.

Decisive for the minimum spacing of the screws is the direction of the grain of the side surfaces.

The characteristic load-bearing capacity of axially loaded screws in the side surfaces can be calculated according to EN 1995-1-1.

For axially loaded screws in the cross grain of lateral surfaces the parameter $f_{ax,k}$ has to be decreased by 25 %.

Figura 42 Certificato di produttore X-lam

3.1.3 Resistenza ad estrazione di connettori a gambo cilindrico

Per connettori a vite inseriti nelle superfici dei pannelli X-lam, è possibile utilizzare la seguente formula per la resistenza ad estrazione della vite⁴

³ Blaas, H.J., Bejtka, I.; Uibel, Th., Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 4, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 2006

⁴ Uibel, Th., Bemessung stiftförmiger Verbindungsmittel in Brettsperrholz - Anwendung aktueller Forschungsergebnisse. In: Praktische Anwendung von Massivholzplatten, 39. Fortbildungskurs der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung 2007. Tagungsband, SAH Schweizerische

$$R_{ax,s,k} = \frac{31 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef}^{0,9}}{1,5 \cdot \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon}$$

Dove ε è l'angolo tra l'asse del connettore e la direzione della fibra, l_{ef} è la profondità di penetrazione della vite, d è il diametro nominale della vite.

Nel caso di viti inserite nelle superfici laterali dei pannelli, l'angolo ε risulterà pari a 90° (le viti sono sempre inserite ortogonalmente alla direzione della fibra). Nel caso di viti inserite nelle superfici strette di bordo dei pannelli, l'angolo ε dipende dallo strato in cui è inserita la vite (si veda figura). A favore di sicurezza potrà essere adottato pari a 0° .

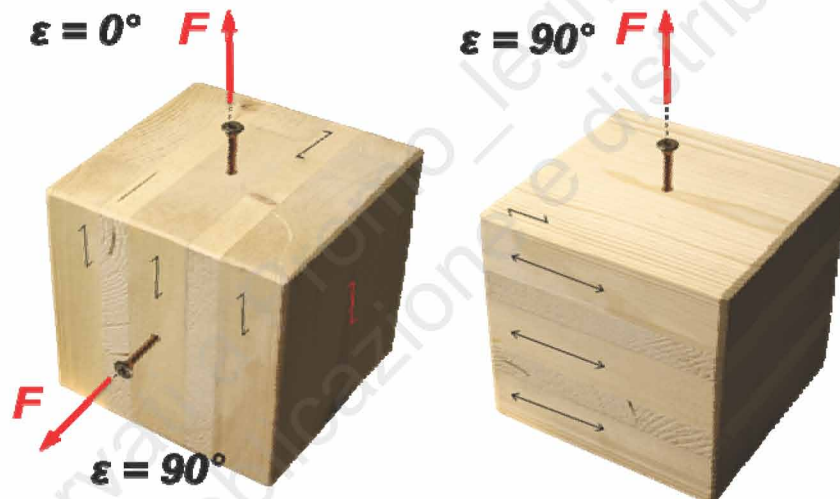


Figura 43 Resistenza ad estrazione di connettori a gambo cilindrico inseriti nella superficie laterale o nella superficie stretta di bordo di un pannello X-lam

Screws

For axially loaded screws in the cross grain of lateral surfaces the parameter $f_{ax,k}$ has to be decreased by 25 %.

Figura 44 Certificato di produttore X-lam

3.1.4 Interassi e distanze dai bordi

Di seguito vengono riportate alcune proposte di tabelle per gli interassi e le distanze dai bordi e dalle bordi di connettori a gambo cilindrico inseriti in pannelli X-lam, determinate in base alle prove sperimentali⁵

Nel caso di connettori a gambo cilindrico inseriti nella superficie laterale di un pannello X-lam gli interassi e le distanze dai bordi e dalle estremità vengono definite nelle figure seguenti.

Di seguito viene riportata la tabella per gli interassi e le distanze dai bordi e dalle estremità di connettori a gambo cilindrico inseriti nella superficie laterale di un pannello X-lam.

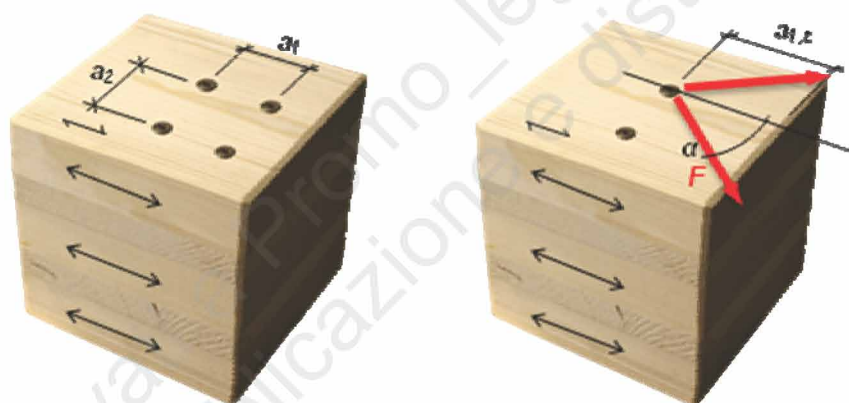


Figura 45 Distanze ed interassi per connettori inseriti nella superficie laterale di un pannello X-lam

⁵ Blaas, H.J., Uibel, Th., Tragfähigkeit von stiftförmige Verbindungsmittel in Brettsperrholz, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 8, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 2007

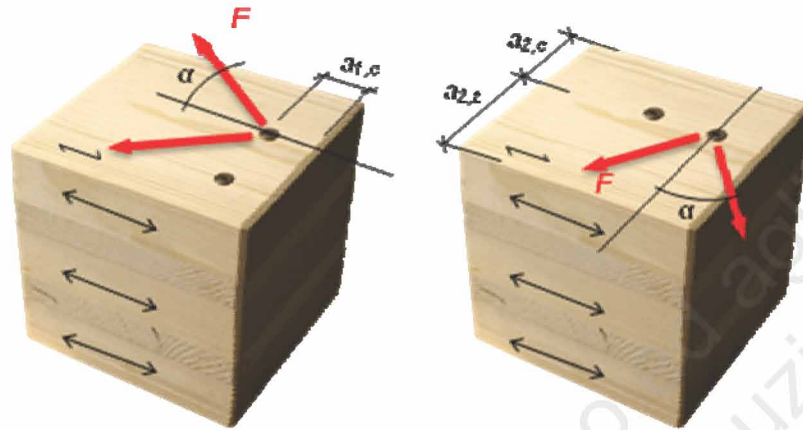


Figura 46 Distanze ed interassi per connettori inseriti nella superficie laterale di un pannello X-lam

	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	a_1	$a_{2,t}$	$a_{2,c}$	a_2
VITI	$6 \cdot d$	$6 \cdot d$	$4 \cdot d$	$6 \cdot d$	$2,5 \cdot d$	$2,5 \cdot d$
CHIODI	$(7 + 3 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$6 \cdot d$	$(3 + 3 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(3 + 4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$
PERNI BULLONI	$5 \cdot d$	$4 \cdot d \cdot \sin \alpha$ (min. $3 \cdot d$)	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$	$4 \cdot d$

α Angolo tra la forza e la direzione delle fibra dello strato esterno

Nel caso di connettori a gambo cilindrico inseriti nella superficie stretta di un pannello X-lam gli interassi e le distanze dai bordi e dalle estremità vengono definite nelle figure seguenti.

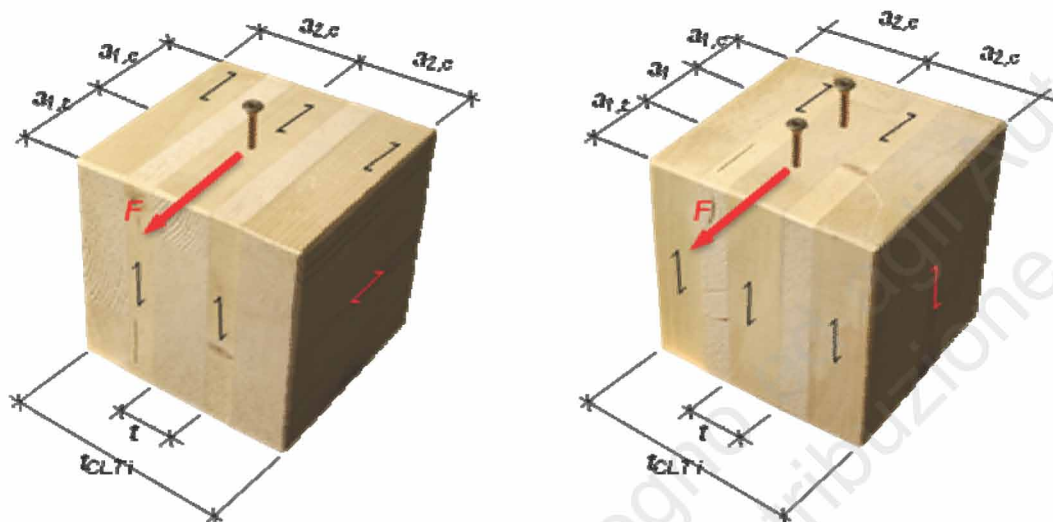


Figura 47 Distanze ed interassi per connettori inseriti nella superficie stretta di bordo di un pannello X-lam

Di seguito viene riportata la tabella per gli interassi e le distanze dai bordi e dalle estremità di connettori a gambo cilindrico inseriti nella superficie stretta di un pannello X-lam.

	a_1	a_2	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	$a_{2,c}$
VITI	$10 \cdot d$	$3 \cdot d$	$12 \cdot d$	$7 \cdot d$	$5 \cdot d$
PERNI BULLONI	$4 \cdot d$	$4 \cdot d$	$5 \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$

Di seguito viene riportata la tabella relativa a gli spessori minimi delle lamelle in cui va inserito il connettore, lo spessore totale minimo del pannello e la profondità minima di infissione del connettore.

	Spessore minimo lamelle	Spessore minimo pannello	Profondità di infissione minima
VITI	$d > 8 \text{ mm}: 3 \cdot d$ $d \leq 8 \text{ mm}: 2 \cdot d$	$10 \cdot d$	$10 \cdot d$
PERNI BULLONI	d	$6 \cdot d$	$5 \cdot d$