

RR
RoofRox[®]
Sistemi di Fissaggio

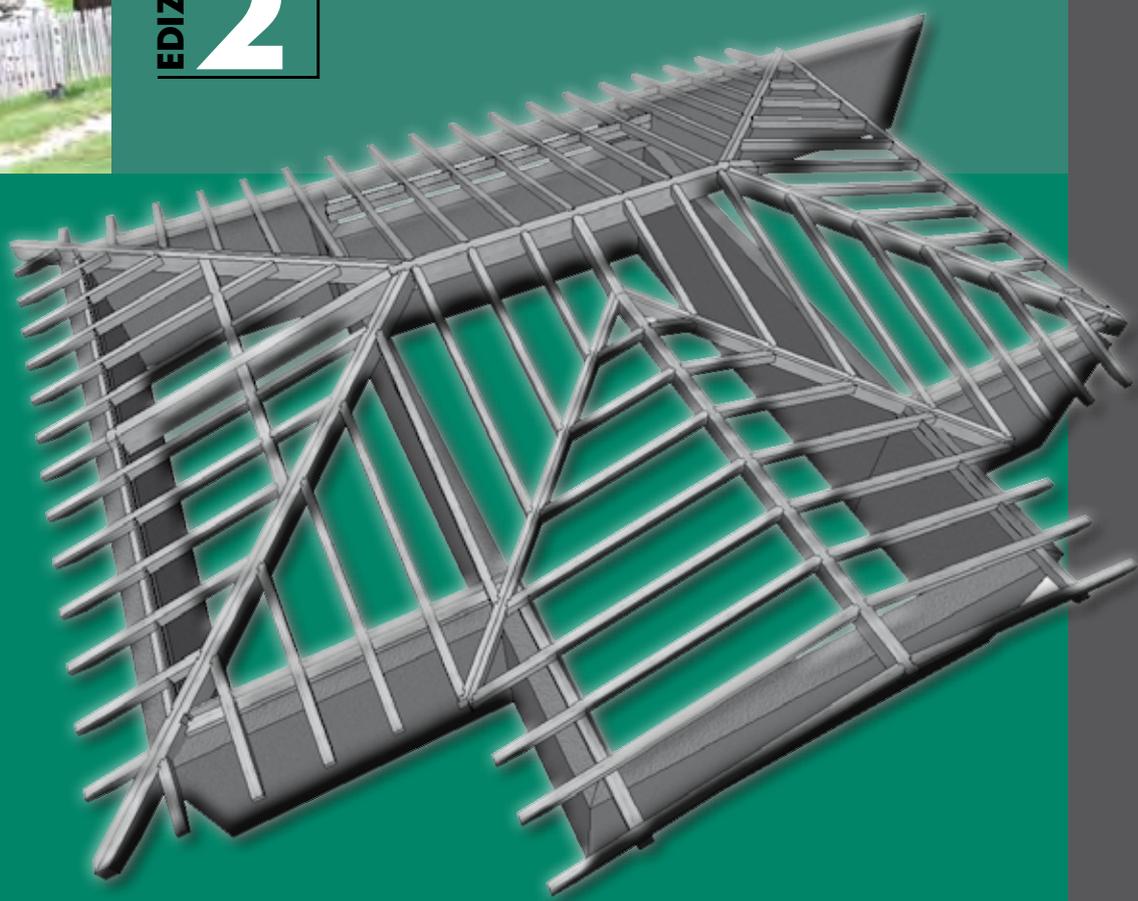
NUOVA EDIZIONE



Il libro del carpentiere

Fascicolo tecnico

EDIZIONE 2012
2°



Sistemi di fissaggio moderni per strutture in legno

Il legno non ha bisogno dell'energia della tua pelle. Non importa se fa caldo o freddo: in un edificio in legno, la temperatura che avverti è sempre vicina a quella che vorresti. Se fa molto caldo, è sempre inferiore di 2 o 3 gradi, e viceversa. Il legno non ha bisogno di te: sta lì e basta."

Peter Zumthor



Franco Piva, laureato in ingegneria civile indirizzo strutture alla facoltà di Trento con tesi specifica sulle costruzioni in legno sviluppata presso la Chalmers University of Technology di Göteborg sotto la supervisione dei proff. Björn Åkesson, Robert Kliger e Maurizio Piazza.

Matura presso aziende leader del settore una vasta esperienza nel campo della progettazione di edifici in legno realizzati in tutta Italia con diversi sistemi costruttivi: dalla villetta monofamigliare fino al condominio multipiano, dal telaio (tipo "Holzrahmenbau" o "platform frame"), al pannello multistrato chiodato o incollato (tipo X-lam). Era, è, e rimane fermamente convinto che una corretta progettazione statica sia essenziale per la buona riuscita dell'edificio e pertanto si interessa ed approfondisce negli anni le numerose tematiche che interessano le costruzioni in legno siano esse ad uno o a più piani fuori terra.

Con lo scopo di garantire le massime prestazioni e sfruttare al meglio tutte le eccezionali qualità del materiale legno studia poi in maniera approfondita il comportamento fisicotecnico delle varie tipologie

costruttive con particolare attenzione a tutti i dettagli necessari per garantire una lunga durata ed una perfetta coibentazione, tenuta all'aria ed al vento con particolare riferimento all'edificio di tipo passivo.

Su queste basi fonda quindi nel 2007 lo studio Ergodomus che fornisce consulenze a 360° a carpentieri, carpenterie ed in generale agli studi di progettazione di tutta Italia in merito a statica, fisica tecnica e progettazione completa di edifici in legno.

Grazie allo studio della fisicatecnica diventa prima consulente energetico esperto CasaClima® e quindi docente ai corsi avanzati CasaClima® per quanto riguarda le tematiche di tenuta all'aria (test Blower-Door), rilievi termografici, fisica tecnica e statica delle costruzioni in legno.

Sentiti ringraziamenti vanno a Carlo per i validi suggerimenti ed a Sergio per la fiducia e la pazienza.

Impressum:
Studio Ergodomus di ing. Franco Piva
Loc. Fratte, 18
38057 - Pergine Valsugana (TN)
Tel. 0461 51 09 32
www.ergodomus.it - info@ergodomus.it

Editore:
RoofRox Srl
Via Brughiera, 12
22060 Novedrate (CO)
Tel. 031 789 959 - Fax 031 79 40 098
www.roofrox.com - info@roofrox.com

1. Definizione elementi strutturali tetto	6-16
1.1 Copertura multifalda	6
1.2 Capriata	7
1.3 Tipi di legno utilizzati nelle costruzioni	8
1.4 Legno massiccio	9
1.5 Legno lamellare o bilama	10
1.6 Castagno	14
1.7 Bamboo	14
1.8 Il mercato delle case in legno	15
1.9 Edifici in legno multipiano e social housing	16
2. Statica ed aspetti normativi	17-18
2.1 L'importanza della statica	17
2.2 Il passato	17
2.3 Presente e futuro	18
3. Calcolo delle azioni	19-24
3.1 Neve	19
3.2 Vento	20
3.3 Sisma	21
3.4 Vantaggi delle costruzioni in legno in zone sismiche	24
4. Il calcolo agli Stati Limite	27-30
4.1 Generalità	27
4.2 Esempio	28
4.3 Il legno ed il fuoco	30
5. Schemi di calcolo e distribuzione delle forze per una copertura	32-36
6. Esempi di connessioni	37-50
7. Sistemi costruttivi di case in legno	51-57
7.1 Blockhaus	52
7.2 Telaio (Holzrahmenbau o Platform frame)	52
7.3 Pannello chiodato	55
7.4 Pannello con perni	56
7.5 Pannello incollato (X-Lam)	57
8. Principi di calcolo statico per i pannelli Xlam	60-62
9. Schemi di calcolo e distribuzione delle forze per un edificio	63-75
10. Principi base di risparmio energetico	76-77
10.1 Test tenuta all'aria	77
11. Riferimenti normativi	79

PERCHÉ COSTRUIRE IN LEGNO?

Costruire in legno significa abitare sano. L'uomo trascorre infatti tre quarti della propria vita in spazi chiusi e di questi circa la metà nella sua abitazione. Dato che i materiali utilizzati influenzano notevolmente la nostra salute è importante usare prodotti il più possibile naturali. E cosa c'è di più naturale del legno? Con la costruzione in legno, infatti, si crea un'atmosfera accogliente e salubre. Gli edifici in legno favoriscono l'instaurarsi di un equilibrio ideale tra temperatura e umidità dell'aria e contribuiscono alla "salute abitativa" di un edificio.

Altri aspetti da valutare sono l'ottima resistenza sismica e la rapidità di realizzazione, oltre chiaramente all'eccellente risparmio energetico raggiungibile con un prodotto di qualità.

L'attenzione per la costruzione in legno, come sottolineato nei paragrafi seguenti, ha avuto una notevole crescita negli ultimi anni e di conseguenza anche il numero di imprese che si sono orientate verso questo settore sono in costante aumento.

In molti casi le imprese sono molto "giovani", con una relativa tradizione ed esperienza nelle costruzioni di case in legno e concretizzano spesso solamente uno o due progetti all'anno. In questo modo aumenta il rischio d'errore di realizzazione, non per scarsa capacità ma per poca conoscenza dei procedimenti costruttivi a regola d'arte.

Questa situazione di sviluppo incontrollato deve necessariamente focalizzare la nostra attenzione verso la qualità costruttiva assoluta.

Il vero successo può essere raggiunto non solo con la capacità di realizzare opere piacevoli alla vista, ma soprattutto scegliendo prodotti che garantiscano la piena tranquillità di utilizzo nella realizzazione.

Roofrox propone sul mercato una vastissima gamma di prodotti per il fissaggio appositamente realizzati per la costruzione di edifici in legno. Le certificazioni ad essi annessi ne garantiscono l'utilizzo in piena tranquillità, permettendo di ottenere un risultato finale di assoluta eccellenza.

Guardando in maniera approfondita le pagine che seguiranno ci si renderà conto di quanto le strutture in legno siano un meraviglioso intreccio di tecnologia e creatività, valutando sempre con la massima attenzione, l'aspetto statico ed energetico.

L'obiettivo di questo importante libro tecnico è quello di chiarire molti aspetti essenziali per la realizzazione di strutture in legno in maniera corretta e sicura. La facile comprensione e i riferimenti alle normative che regolano le costruzioni in legno in Europa lo rendono adatto alla consultazione da parte di tutti, dal progettista all'ingegnere, dal carpentiere al committente e perché no, anche a chi con curiosità, per la prima volta si affaccia a questo splendido modo di costruire.

Di seguito verranno trattate diverse tipologie costruttive, sottolineando le linee guida per raggiungere il corretto sistema costruttivo, valutando problematiche e soluzioni per portarvi a scoprire il significato di costruire a regola d'arte.

Costruire in legno significa creare benessere a patto che si sappia come farlo!

Sergio Rosati
Amministratore RoofRox

1. Definizione elementi strutturali tetto

Prima di addentrarci nello studio delle costruzioni in legno si vuole cercare di fare un po' di chiarezza riguardo a quali sono i componenti principali che compongono un tetto. La figura seguente mostra una copertura multifalda con le indicazioni del nome, o meglio dei possibili nomi di ogni elemento. E' importante sottolineare come lo stesso elemento possa assumere nomi differenti in base alla zona geografica in cui ci si trova; a volte è addirittura sufficiente spostarsi di pochi chilometri per trovare nomi molto diversi tra loro.

1.1 Copertura multifalda

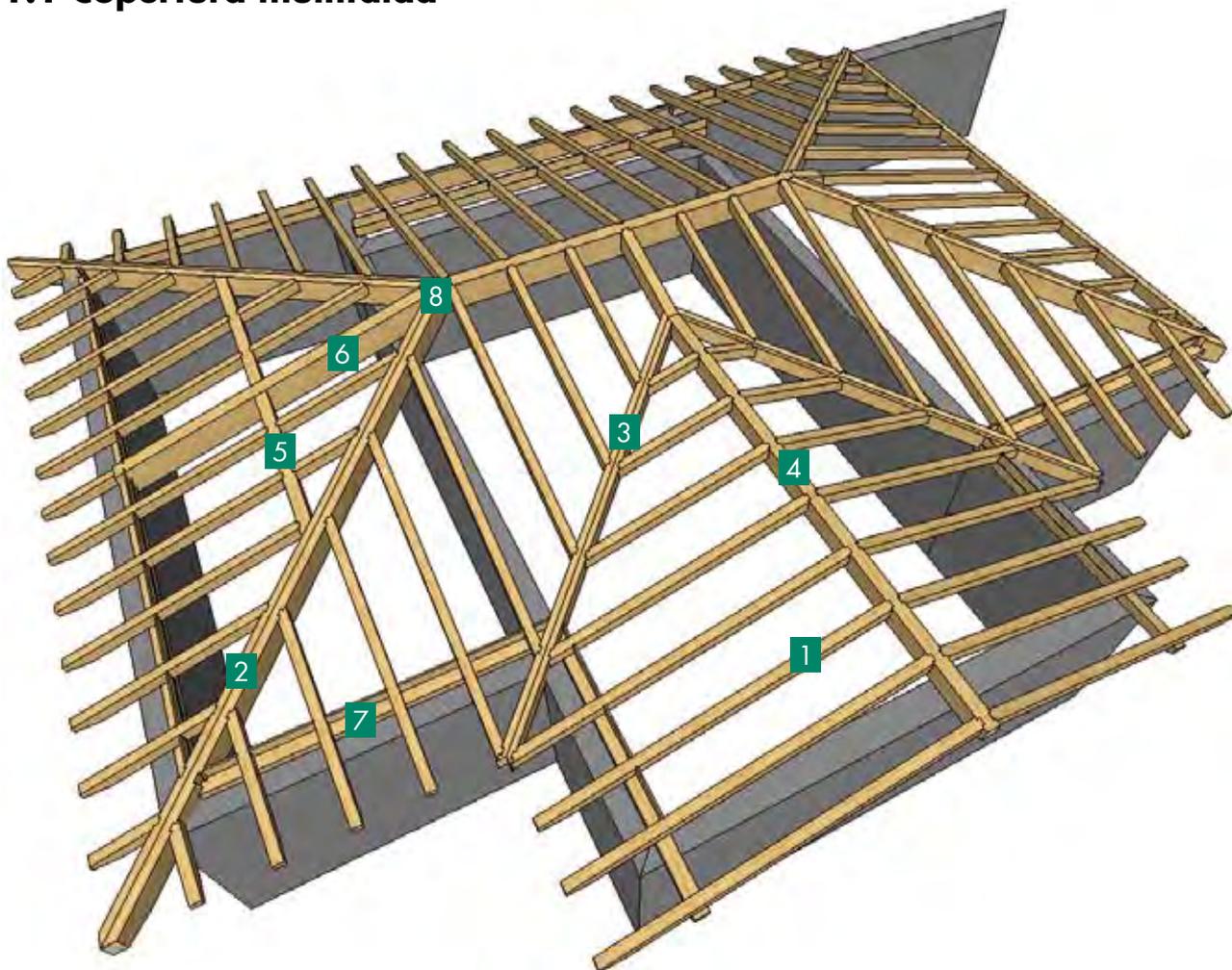


Fig. 1.1 Identificazione elementi della copertura

ID	Nome
1	Correntino Arcareccio Travetto Candela Puntoni
2 / 3	Displuvio (2) Compluvio (3) Cantonale Spigone Diagonale Conversa
4	Colmo

ID	Nome
5	Mezzacasa Terzera Rompitratta
6	Falso puntone Falso colmo Trave portante
7	Banchina Radice Dormiente Trave su cordolo
8	Giunto rigido

Tab. 1.1

1.2 Capriata

La figura seguente mostra una capriata semplice con le giunzioni senza ferramenta in carpenteria tradizionale.

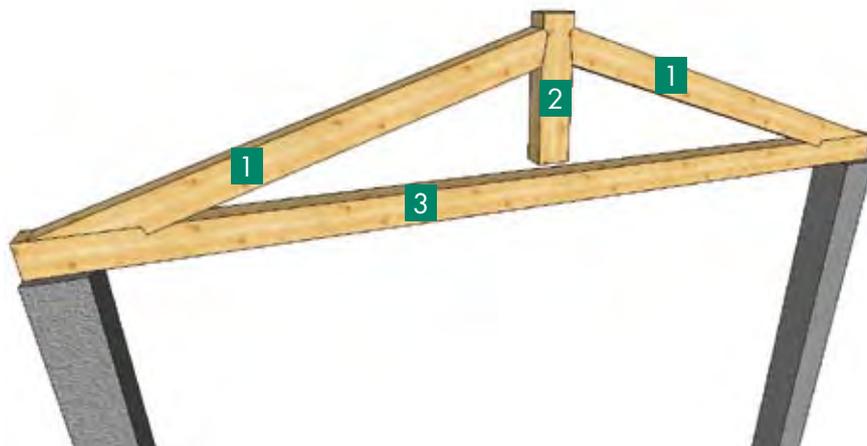


Fig. 1.2 Identificazione elementi della capriata

ID	Nome
1	Puntoni (compressione)
2	Monaco Chiave Ometto
3	Tirante (trazione) Catena

Tab. 1.2

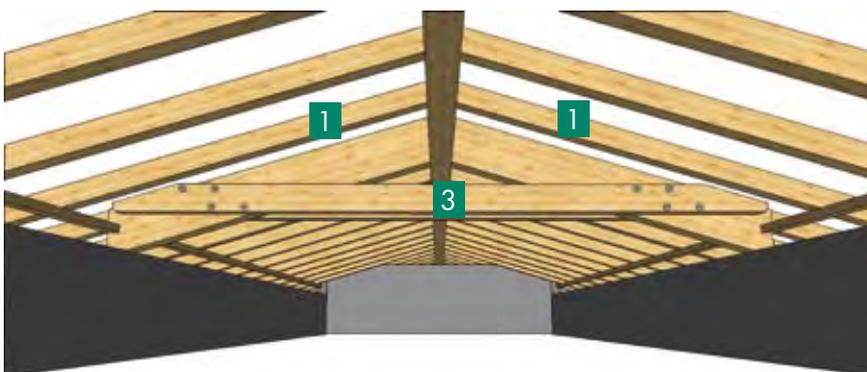


Fig. 1.3 Capriata con tirante rialzato



Fig. 1.4 Capriata con tirante rialzato



1.3 Tipi di legno utilizzati nelle costruzioni

Prima di proseguire si ritiene opportuno soffermarsi brevemente su quali sono le specie legnose utilizzate in campo strutturale in Italia e quali sono i prodotti a base di legno.

Il prospetto seguente riassume le caratteristiche principali delle varie specie legnose.

	Abete bianco (Abies alba)	Abete rosso (Picea abies)	Larice (Larix decidua)	Pino (Pinus)	Castagno (Castanea sativa)	Quercia
tedesco	Tanne	Fichte	Lärche	Kiefer	Edelkastanie	Eiche
inglese	Silver Fir	Spruce	European larch	Scots Pine o Black Pine	Sweet chestnut	Common oak
colore	biancastro, giallognolo	biancastro, giallognolo	biancastro, rossastro	biancastro, rossastro	biancastro, bruno	biancastro, bruno
resina:	assente	presente	presente	presente	assente (attenzione ai tannini)	assente (attenzione ai tannini)
varie:	non impregnabile, alburno e durame non differenziati	non impregnabile, alburno e durame non differenziati, la specie maggiormente diffusa nell'arco alpino (ca. 60% di tutte le conifere)	alburno (biancastro) e durame (rossastro) ben distinti, maggiore durabilità rispetto all'abete	facilmente impregnabile, alburno (biancastro) e durame (rossastro chiaro) ben distinti	alburno (biancastro) e durame (bruno)	alburno (biancastro) e durame (bruno-giallastro) ben distinti
utilizzo:	strutture, imballaggi, falegnameria	strutture (dimensionalmente più stabile dell'abete bianco), imballaggi, falegnameria	strutture (dimensionalmente meno stabile dell'abete), falegnameria, infissi	strutture, falegnameria, infissi	strutture, falegnameria, palificate	costruzioni navali, ferroviarie e stradali, falegnameria

Tab. 1.3

L'abete, prevalentemente quello rosso, è indubbiamente il più utilizzato grazie anche alla sua facile lavorabilità (legno morbido) e reperibilità sul mercato. Seguono poi il larice e quindi le latifoglie come il castagno e la quercia: questi ultimi sono utilizzati soprattutto nel centro-sud Italia.

La scelta della specie legnosa è determinata da diversi aspetti:

- estetici: ogni specie possiede colore, venature e nodi caratteristici
- ambito di utilizzo: interno, esterno, ambienti particolarmente umidi, etc...
- requisiti particolari: elevata durabilità, caratteristiche meccaniche specifiche, ridotta deformabilità, etc...
- Reperibilità e tradizioni costruttive tipiche del luogo di costruzione

La scelta della specie legnosa è solo il primo passo cui fa seguito quello della scelta della classe di resistenza che è regolata da apposite norme.

La normativa distingue solo tra conifere (massiccio EN338 o lamellare EN1194) e latifoglia (massiccio EN338). L'insieme delle caratteristiche meccaniche viene indicato con il termine "profilo prestazionale". La classificazione attualmente vigente assegna una lettera che indica il tipo di legname seguito da due numeri che si riferiscono alla resistenza caratteristica a flessione $f_{m,k}$.

Prima di addentrarci in questioni tecniche legate alle proprietà dei singoli materiali è necessario esporre le differenze che intercorrono tra i tre prodotti che sono normalmente reperibili sul mercato ovvero: massiccio, bilame e lamellare.

1.4 Legno massiccio

Il legno è un materiale "sempre vivo", ovvero anche dopo il taglio continua ad avere dei movimenti più o meno pronunciati al variare dell'umidità presente nell'ambiente e dei carichi cui è sottoposto. Questi movimenti (flessione e torsione) assieme alla formazione di crepe da ritiro sono direttamente proporzionali alla sezione di partenza ed alla differenza di percentuale di umidità tra l'ambiente e quella interna del legno. Ovvero più grande è la sezione e maggiore sarà la "nervosità" dell'elemento; più il legno è "verde" e maggiore sarà l'ampiezza delle crepe che si formeranno nel corso del lento processo di essiccazione del materiale. Quest'ultimo fenomeno è causato dal comportamento spiccatamente ortotropo del legno che si manifesta in ritiri dimensionali molto diversi in direzione tangenziale (maggiori) e radiale (minori). La presenza o meno del midollo nell'elemento considerato accentua ulteriormente l'effetto di questi fenomeni.

Si raccomanda pertanto, ove possibile, di richiedere che il legname massiccio consegnato in cantiere abbia un tasso di umidità contenuta per evitare problemi. Va altresì sottolineato che la formazione di crepe nel legno massiccio non è un fenomeno pericoloso ovvero la capacità portante dell'elemento non si riduce al punto da rendere pericolante o addirittura inagibile la struttura. Ciò resta valido fintanto che si ha a che fare solo con crepe da ritiro (ovvero non causate dal raggiungimento della portata limite) che rimangano comunque sempre sulla stessa faccia dell'elemento lungo il loro sviluppo longitudinale. Ne segue che si tratta di una questione puramente statica (spesso sono necessarie sezioni troppo grandi per essere realizzate in legno massiccio fuori cuore) e soprattutto estetica la scelta del massiccio rispetto al lamellare: alcuni più di altri gradiscono la sensazione di "vitalità" trasmessa dal legname che presenta crepe non apprezzando invece la "staticità" nel tempo tipica di una trave incollata.

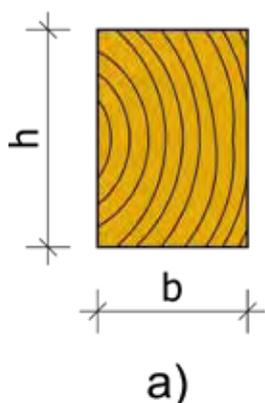


Fig. 1.5 Legno massiccio

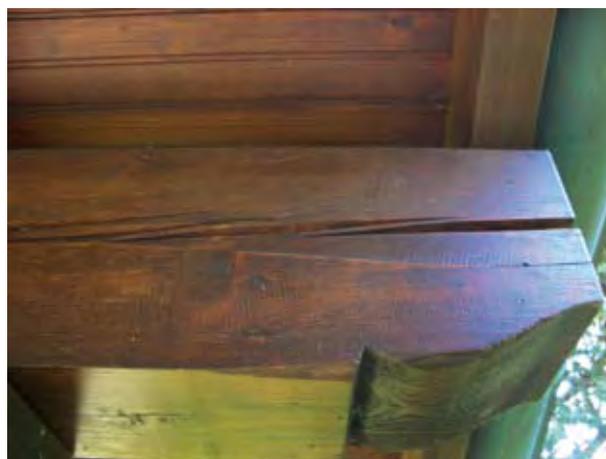


Fig. 1.6 Crepe da ritiro su legno massiccio

Con riferimento all'immagine precedente si avrà pertanto:
Legno massiccio: formato da un unico pezzo privo di colla ricavato dal taglio di un tronco

1.5 Legno lamellare o bilama

Le tavole che vanno a formare il legno lamellare o il bilama vengono sottoposte ad un processo di essiccazione accelerato artificialmente per portare il loro contenuto di umidità prossimo al 12% e permettere quindi l'incollaggio altrimenti non possibile. Questo processo fa sì che tutto il legname incollato nel momento in cui arriva in cantiere abbia un contenuto d'acqua ridotto e di conseguenza, anche per sezioni di notevoli dimensioni, non vi siano movimenti se non di lievissima entità.

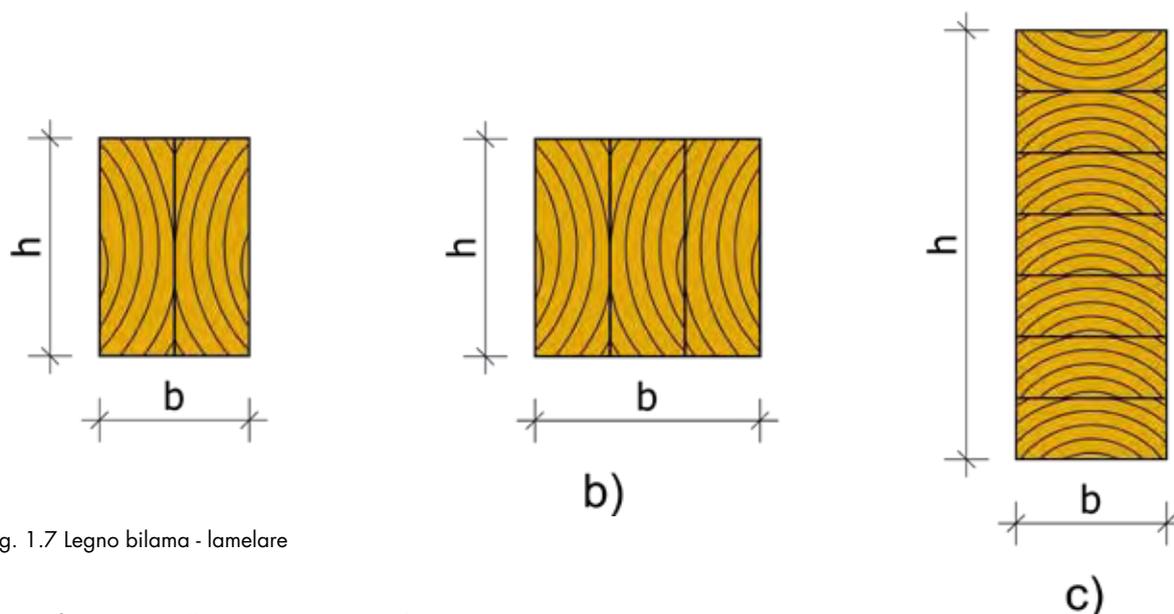


Fig. 1.7 Legno bilama - lamellare

Con riferimento all'immagine precedente si avrà pertanto:

Legno bilama o trilama: ottenuto dall'incollaggio longitudinale di due (bilama) o tre (trilama) tavole.

Legno lamellare: ottenuto dall'incollaggio di più tavole sovrapposte tra loro

Il legno lamellare a suo vantaggio offre la possibilità di realizzare elementi di grande sezione e di lunghezza elevata per soddisfare anche le esigenze più "particolari":



Fig. 1.8 Trasporto travi di grandi dimensioni

**L'abete bianco e quello rosso sono apparentemente quasi uguali
Per distinguerli si devono osservare le pigne: verso l'alto per l'abete
bianco e verso il basso per quello rosso.**

Tipo legno	lettera identificativa	Reperibilità sul mercato
massiccio conifera o pioppo	C	C22, C24
latifoglie	D	
lamellare	GL	GL24h, GL28h

Tab. 1.4

Come anche specificato nella tabella soprastante non tutte le classi di resistenza sono disponibili sul mercato e per quanto riguarda il legno lamellare in casi particolari si può arrivare fino a GL32h. La tabella seguente riassume le caratteristiche meccaniche del massiccio C24 e D35 del lamellare GL28h:

Proprietà	Simbolo	C24	GL28h	D35
		Valore		
flessione [MPa]	$f_{m,k}$	24	28	35
trazione parallela alla fibratura [MPa]	$f_{t,0,g,k}$	14	19.5	21
trazione perpendicolare alla fibratura [MPa]	$f_{t,90,g,k}$	0.5	0.45	0.60
compressione parallela alla fibratura [MPa]	$f_{c,0,g,k}$	21	26.5	25
compressione ortogonale alla fibratura [MPa]	$f_{c,90,g,k}$	2.5	3	8.4
taglio [MPa]	$f_{v,g,k}$	2.5	3.2	3.4
modulo elastico parallelo alle fibre [GPa]	$E_{0,g,mean}$	11	12.6	10
modulo di taglio medio [GPa]	$G_{g,mean}$	0.69	0.78	0.65
massa volumica caratteristica (kg/m ³)	ρ_k	350	410	560

Tab. 1.5 Profili prestazionali del legno

Per quanto riguarda il legno lamellare a parità di resistenza caratteristica a flessione $f_{m,k}$ si distingue tra "omogeneo" identificato con la lettera "h" e "combinato" identificato con la lettera "c". Si potranno così trovare su mercato travi classificate come GL24h o GL24c piuttosto che GL28h o GL28c in base al sistema di produzione e classificazione del singolo fornitore.

La normativa di prodotto armonizzata EN 14080 permette infatti di comporre sezioni utilizzando sia tavole appartenenti alla stessa classe di resistenza sia tavole appartenenti a classi diverse. Poiché in caso di flessione la sollecitazione è massima ai lembi estremi della sezione (vedi figura seguente) le lamelle più esterne dovranno essere quelle di qualità maggiore.

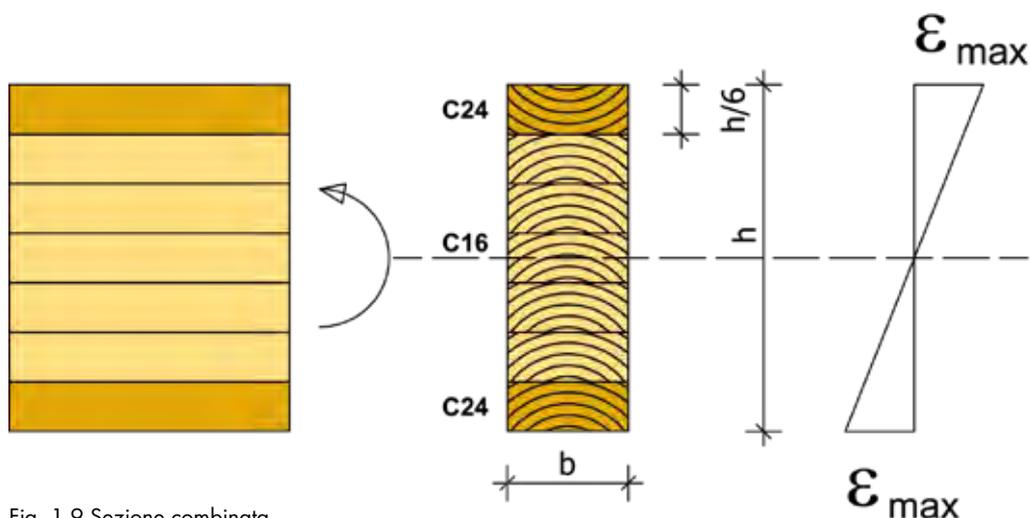


Fig. 1.9 Sezione combinata

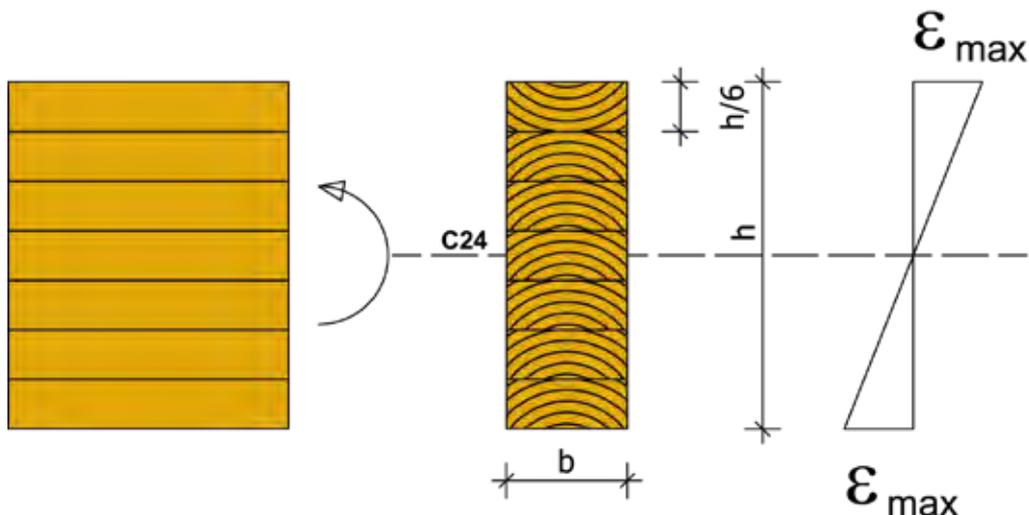


Fig. 1.10 Sezione omogenea

Oltre alla sopracitata EN 14080 si riporta quanto contenuto nella EN 1194 che prevede la possibilità di utilizzare tavole di qualità C16 per le parti interne e C24 per quelle alle due estremità (superiori ed inferiori) nel caso di legno lamellare GL24c. Discorso analogo, ma con valori diversi, per quanto riguarda il GL28c (combinazione tra tavole C24 e C30) e GL32c (combinazione tra tavole C25 e C35). In accordo a quanto prescritto dalla normativa EN 14080 le lamelle di qualità maggiore devono coprire un'altezza pari ad almeno 1/6 dell'altezza della trave in un numero minimo di due.

A titolo esemplificativo si riporta la classe di resistenza minima che devono avere tutte le tavole in accordo alla EN 14080 per andare a comporre una sezione di lamellare omogeneo GLxxh:

- GL24h: C24
- GL28h: C30
- GL32h: C35

Per quanto riguarda la certificazione del prodotto non esistono differenze dal punto di vista formale in quanto sia il combinato sia l'omogeneo sono definiti nella norma EN 14080. Fermo restando naturalmente che i documenti forniti dal produttore dovranno riportare in maniera chiara la classe di resistenza. Si riporta di seguito a titolo di esempio un'etichetta tipo posta sulla testa di una trave GL28c:

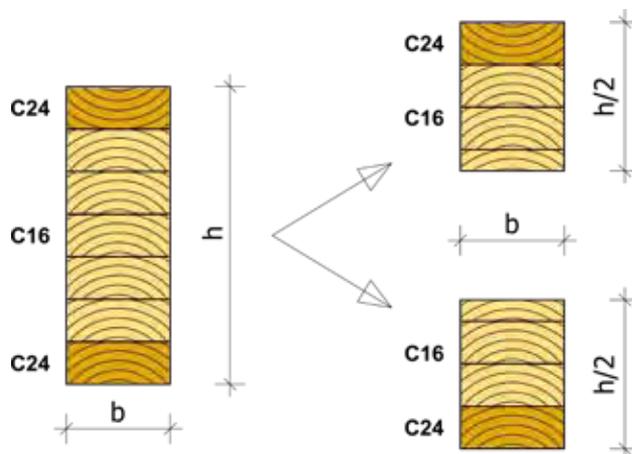


Fig. 1.11 Taglio sezione combinata nel caso di lamellare combinato GL24c

NOTA: la rimozione della lamella più esterna, o comunque una riduzione del suo spessore, comporta gravi problemi di tipo statico in quanto si va a togliere l'elemento più resistente. Si raccomanda comunque di evitare lavorazioni di questo genere anche su travi di tipo "h" omogenee in quanto le due tavole più esterne presentano in sezione una specifica disposizione degli anelli (vedi immagine sopra). Per quanto possa apparire una operazione semplice il taglio longitudinale di una trave in legno lamellare come mostrato nella figura sopra è indubbiamente tra le operazioni da non effettuare.

Con riferimento ai dati riportati nella tabella 1.3 è interessante comparare tra loro i valori di compressione-trazione ortogonale alla fibra ($f_{c,90,g,k}$ e $f_{t,90,g,k}$) e di compressione-trazione parallela alla fibra ($f_{c,0,g,k}$ e $f_{t,0,g,k}$). Se si considera per esempio il GL28h si avrà:

Proprietà	Valore [MPa]
$f_{t,0,g,k}$	19.5
$f_{c,0,g,k}$	26.5
$f_{t,90,g,k}$	0.45
$f_{c,90,g,k}$	3.0

Tab. 1.6

Come si può vedere sono valori molto diversi tra loro e strettamente legati alla direzione della fibra: le proprietà meccaniche del legno cambiano a seconda della direzione considerata ovvero a seconda dell'angolo forza applicata – orientamento fibra. Nella progettazione delle costruzioni particolare attenzione va posta a quelle forze che agiscono ortogonalmente alle fibre ed in particolar modo se queste sono di trazione. Il parametro di calcolo caratteristico passa infatti da 26.5MPa per la compressione parallela a 3.0MPa nel caso di compressione ortogonale (ovvero circa 1/9) fino ad arrivare a 0.45MPa nel caso di trazione ortogonale (ovvero quasi 60 volte meno di $f_{c,0,g,k}$). Questo comportamento è definito in gergo tecnico come "ortotropo".

Fare attenzione ai carichi di trazione ortogonali alle fibre!

Nel caso in cui vi siano problematiche di trazione ortogonale alle fibre causate da carichi appesi o intagli all'intradosso della trave è possibile realizzare dei rinforzi con viti RoofRox giunzioni disposte ortogonalmente alla fibra come riportato nel capitolo 6.

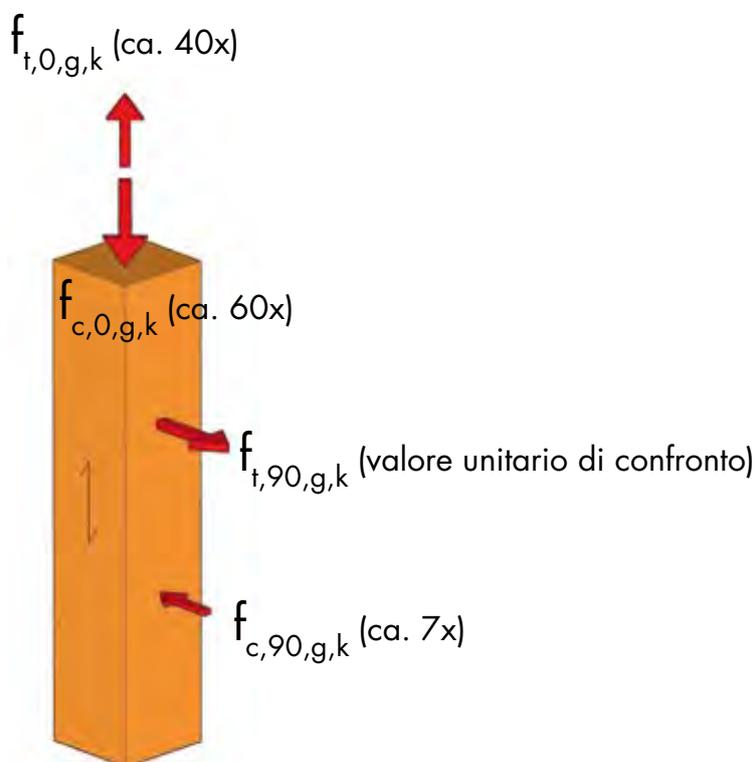


Fig. 1.12 Comparazione tra le resistenze caratteristiche parallele ed ortogonali alla fibra assumendo come unitaria la trazione ortogonale

1.6 Castagno

Il castagno è un materiale poco conosciuto al di fuori di ben delimitate zone geografiche quali ad esempio la Toscana dove esistono moltissime costruzioni storiche che ne danno testimonianza. E' una latifoglia e come tale presenta caratteristiche meccaniche molto elevate e nettamente superiori a quelle delle conifere (abete e larice) come si può evincere dalla tabella 1.3. Per contro non è facilmente lavorabile per via della sua durezza e le sezioni utilizzabili sono limitate dal diametro e dalla lunghezza della pianta di origine in quanto non esiste la possibilità di incollarlo per ottenere elementi di grandi dimensioni. Per quanto riguarda la durabilità si tratta di un materiale con ottime prestazioni grazie alla presenza del tannino.

Al momento dell'arrivo presso le segherie i tronchi presentano un contenuto di umidità piuttosto elevato che lo porta ad avere una massa volumica di circa $900-950\text{kg/m}^3$; durante il periodo stoccaggio a magazzino – taglio il castagno si essicca leggermente per arrivare in cantiere con un peso di circa $800-850\text{kg/m}^3$. Nel corso di questo processo di riduzione del contenuto d'acqua il tronco presenta ritiri evidenti che per una sezione quadrata 25×25 possono anche superare i 2cm complessivi riferiti al singolo lato. Contrariamente a quanto avviene per le conifere l'essiccazione non può essere effettuata in forno ma deve avvenire naturalmente nel rispetto dei tempi della pianta.

La classificazione dei tronchi viene per lo più fatta visivamente in accordo alla normativa UNI 11035 da segherie autorizzate e certificate tenendo conto di smussi, nodi, crepe, cipollature, fenomeni di arcatura che ne compromettono la resistenza.



Fig. 1.13 Cipollatura su trave in castagno

1.7 Bamboo

Accanto a queste specie legnose conosciute e tradizionalmente utilizzate nel settore delle costruzioni si ritiene doveroso fare un accenno ad un materiale che potrebbe rappresentare una nuova frontiera in quei paesi dove è presente in abbondanza: il bamboo. Al momento non esistono normative specifiche per il suo dimensionamento ma presenta proprietà meccaniche molto buone abbinate ad una ottima versatilità e velocità di crescita notevolmente superiore alle conifere. Numerosi ricercatori e studiosi lo stanno utilizzando a livello ormai non più pionieristico per realizzare strutture portanti ed estremamente leggere.

1.8 Il mercato delle case in legno

La specie legnosa più usata in campo strutturale è senza alcun dubbio l'abete che coniuga in un unico materiale le proprietà di leggerezza e resistenza richieste dal progettista. Accanto all'abete si trovano anche altri tipi di legno quali il larice ed alcune latifoglie come il rovere o il castagno. Questi ultimi a fronte di caratteristiche meccaniche nettamente superiori al legno di conifera hanno però un peso molto elevato, una difficile lavorabilità sia in cantiere sia in stabilimento ed una non sempre facile reperibilità sul mercato.

Scopo di questo fascicolo è quello di approfondire gli aspetti che interessano la struttura portante in legno dei tetti ma non solo: negli ultimi anni sta infatti prendendo sempre più piede anche in Italia la costruzione di case in legno.

La figura seguente mostra alcuni dati relativi al mercato delle case in legno in Europa (purtroppo non sono disponibili dati certi ma esistono solo delle stime indicative sul numero di costruzioni in legno realizzate annualmente):

Paesi scandinavi:	la quasi totalità degli edifici ad uno o due piani.
Germania:	ca. 18.000 case/anno
Austria:	ca. 27.000 case/anno
Francia:	ca. 9.000 case/anno
Svizzera:	ca. 1.500 case/anno
Italia*:	ca. 4.000 case/anno (sola Provincia di Bolzano: ca. 200 case/anno)

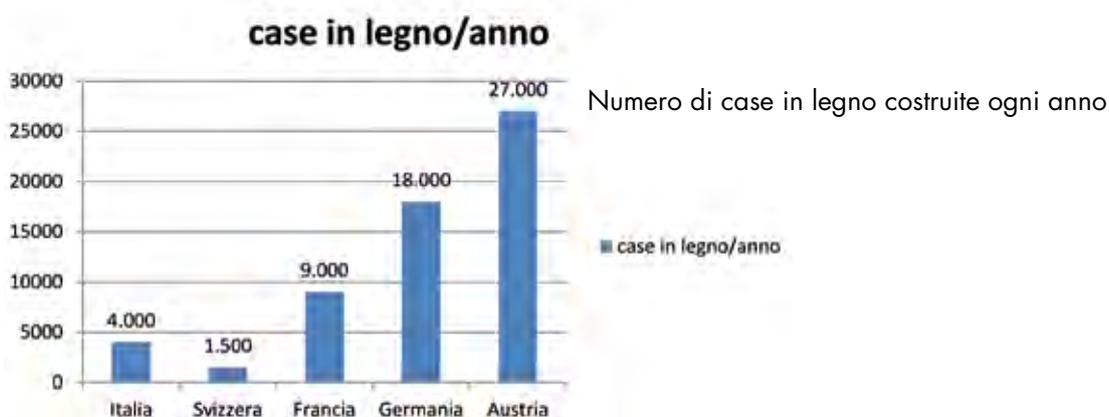


Fig. 1.14

Se però si rapportano i dati di cui sopra al numero di abitanti allora si ottengono dei dati ancora più interessanti:



Fig. 1.15

Come si può vedere l'Austria stacca gli altri stati con un notevolissimo margine e questo deve far molto riflettere circa l'enorme potenziale offerto attualmente in Italia dal mercato delle case in legno.

*I dati non comprendono le nuove costruzioni realizzate in Abruzzo dopo il terremoto del 2009 quantificabili in circa 3000 edifici.

Al di fuori dei confini europei i dati sono altrettanto difficili da reperire ma sono sicuramente note le costruzioni in legno giapponesi o le case a telaio realizzate in gran numero in America e Canada. Basti pensare che il "Canadian Wood Council" ovvero l'ente che promuove le costruzioni in legno in Canada stima che circa il 95% delle case monofamiliari ed il 15% dei piccoli edifici commerciali abbia struttura portante in legno!

Una nazione certamente famosa per le sue bellezze naturali si dimostra però particolarmente attenta al mondo del legno: la Nuova Zelanda. In questo stato vengono costruiti ogni anno circa 20000 nuovi appartamenti e di questi ben il 93% presenta una struttura portante in legno se ci si limita a valutare gli edifici con massimo due piani fuori terra. Il recente terremoto che ha colpito la Nuova Zelanda ha dato un nuovo impulso al settore a tal punto che per l'anno 2012 è prevista l'apertura del primo stabilimento in grado di produrre Xlam. E' indubbiamente un grande traguardo ed un segnale che fa capire quanto elevato sia il potenziale di crescita del settore delle costruzioni in legno.

1.9 Edifici in legno multipiano e social housing

Da un po' di tempo a questa parte si sente parlare con sempre maggior frequenza di case in legno multipiano e di grattacieli con altezze e costi molto improbabili. Non si vuole assolutamente mettere un freno alla ricerca e/o porre dei limiti poco sensati: il legno ha indubbiamente tutte le carte in regola per poter essere utilizzato quale elemento strutturale portante anche di edifici di grosse dimensioni. Come si vedrà nei paragrafi successivi è di estrema importanza conoscere in maniera approfondita il comportamento del materiale sotto carico per dimensionare correttamente le sezioni e garantire le condizioni di sicurezza e di comfort richieste dall'utente finale. A tal proposito si deve ricordare che il legno è un materiale molto leggero ma allo stesso tempo dotato di una notevole flessibilità che va considerata durante le fasi progettuali.

Un altro argomento molto attuale è quello del "social housing" ovvero di specifici programmi di sviluppo urbanistico basati su edifici sostenibili, a basso consumo energetico con tempi di realizzazione contenuti e soprattutto a costi accessibili anche per le fasce meno abbienti. Il tema è diventato argomento di discussione soprattutto dopo il terremoto in Abruzzo del 2009 in conseguenza del quale sono stati realizzati decine di appartamenti in poco tempo e con costi contenuti e di questi molti avevano una struttura portante in legno. Sicuramente quello del social housing su strutture multipiano rappresenta un nuovo settore particolarmente interessante per le costruzioni in legno tra le poche in grado di soddisfare facilmente i requisiti sopra riportati.

Vale la pena fare un piccolo accenno ad uno studio commissionato da promo_legno* i cui risultati dimostrano l'enorme potenziale di questo settore:

- il numero di abitazioni realizzate in legno è quintuplicato tra il 2006 ed il 2010 a fronte di un netto calo delle settore „tradizionale“
- le previsioni di crescita 2010->2015 sono dell'ordine del +50%
- escludendo gli edifici realizzati in Abruzzo dopo il sisma del 2009 quelli in legno rappresentano circa l'8% del totale costruito
- si assiste ad un sempre maggiore interesse per edifici in legno di tipo non residenziale dove scuole ed edifici commerciali rappresentano una fetta di circa il 45%
- l'xlam viene giudicato dagli operatori del settore come la tipologia costruttiva che avrà il maggior sviluppo nei prossimi anni
- le costruzioni in legno si concentrano prevalentemente al nord (71%) ed a seguire il centro (22%) ed il sud (7%).

* „Il mercato italiano delle case in legno nel 2010. Analisi del mercato. Previsioni fino al 2015“. Analisi del Dott. Paolo Gardino su incarico di promo_legno in collaborazione con Assolegno e Federlegno.

2. Statica ed aspetti normativi

2.1 L'importanza della statica

Per sottolineare quanto l'aspetto statico sia importante può risultare utile richiamare la favola dei tre porcellini in cui il lupo cattivo, dopo la casa in paglia, spazza via con un soffio anche la seconda, quella realizzata interamente in legno.

Tutti sanno quale sia il finale della favola ma forse non tutti si sono posti la seguente domanda: chi ha sbagliato? Di chi è la colpa? Del materiale utilizzato? Del porcellino? A noi piace pensare che se i fratelli Grimm avessero conosciuto le potenzialità del legno avrebbero fermato la storia già alla casa in legno trasformando la storia in - I DUE porcellini -

La colpa non è nella scelta del materiale legno ma nel non averlo usato correttamente e soprattutto nel non aver fatto un corretto dimensionamento delle sezioni e delle connessioni. Come si vedrà nei prossimi paragrafi le forze di cui tener conto in fase di calcolo strutturale sono varie ed assumono importanza diversa a seconda dei casi specifici.

Al calcolatore statico spetta il non sempre facile compito di portare fino a terra tutte le forze che agiscono sull'edificio evitando che questo vada in crisi e possa quindi compromettere l'incolumità dei suoi abitanti.

2.2 Il passato

Il calcolo di queste azioni è regolato in Italia da norme ben precise e se ne discuterà in maniera più approfondita nei paragrafi successivi. Si vuole ora invece affrontare quegli aspetti normativi che interessano in maniera diretta e specifica il mondo del legno in Italia. Come è purtroppo ben noto ai progettisti del settore per molti anni vi è stata una grande lacuna in ambito legislativo in quanto al materiale legno non era riconosciuto a livello strutturale un ruolo di pari dignità rispetto agli altri materiali più "tradizionali" come acciaio, mattoni e l'onnipresente calcestruzzo. Per capirne le ragioni si deve tornare indietro fino alla legge 1086 del 1971 in cui si parlava esplicitamente di "Conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e di strutture metalliche" ma non di legno. L'obbligo di collaudo delle strutture e quindi di deposito di una apposita relazione di calcolo redatta da un tecnico abilitato era previsto ma solo per le costruzioni "tradizionali". La conseguenza di ciò è stata quella che in Italia il legno ha sempre avuto una posizione di secondo piano rispetto agli altri tradizionalmente utilizzati.

In mancanza di un riferimento ben preciso per molti anni, la progettazione è stata fatta seguendo le indicazioni fornite da normative estere: come si potrebbe quindi non citare la più importante e conosciuta ovvero la DIN 1052 tedesca che non ha però mai visto una traduzione ufficiale in lingua italiana. Nell'ambito della normativa tecnica l'Italia ha vissuto negli scorsi anni un periodo piuttosto "travagliato" fatto di: nascita e morte di normative poco o per nulla applicabili, continui rinvii e proroghe, discussioni infinite sui coefficienti di sicurezza da applicare, etc...

Stato	Normativa
Italia	?
Germania	DIN 1052
Svizzera	SIA 265
Francia	CB71
Austria	ÖNORM B 4100-2
Svezia	BKR
Danimarca	DS 413
Norvegia	NS 3470-1
UK	BSI 5268

Tab. 2.1 Normative sulle costruzioni in legno in vigore negli stati europei prima del 2008



2.3 Presente e futuro

In seguito al tragico evento in Abruzzo la situazione si sblocca improvvisamente e per effetto del DL 39/2009, convertito poi nella legge 77/2009, termina il regime transitorio con il 30 giugno 2009 ed entrano pertanto in vigore ufficialmente le Normative Tecniche delle Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008). Nelle NTC sono raccolte in unico testo tutte le indicazioni per la progettazione strutturale di tutti i materiali più comuni tra cui finalmente anche il legno che ottiene così il giusto riconoscimento. Le novità sono molte ma le principali riguardano il metodo di calcolo che passa dalle tensioni ammissibili a quello semiprobabilistico agli stati limite come si vedrà in maniera più approfondita nel capitolo 4. Cambia anche la classificazione sismica del territorio: l'Italia non è più divisa in sole 4 zone in base all'intensità del terremoto bensì in un fitto reticolato a maglie pressochè quadrate di lato circa 5,5km (vedi capitolo 3). Va purtroppo però detto che nella stesura di queste normative è intervenuto un qualche fattore esterno che ha opportunamente modificato i coefficienti di sicurezza del legno peggiorandoli sensibilmente e togliendo di fatto al materiale un po' di competitività soprattutto nel settore delle grandi opere.

Si riportano di seguito le tabelle con questi coefficienti proposti dalle NTC e dal documento ufficiale del CNR* per il legno (DT 206).

	γ_m	
	NTC '08 (§ Tab. 44.III)	CNR DT 206 (§ Tab. 16-1)
Legno massiccio	1.50	1.30
Legno lamellare incollato	1.45	1.25
Pannelli di particelle o fibre	1.50	1.30
Pannelli di compensato o fibre orientate	1.40	1.20
Unioni	1.50	1.30

Tab. 2.2 Coefficiente di sicurezza proposti da NTC'08 e CNR DT 206

Come si vedrà in maniera più approfondita nel capitolo 4 maggiore sarà il valore di γ_m e peggiori saranno le prestazioni del materiale da considerare nel calcolo: in questo caso specifico le prestazioni diminuiscono di circa il 15%.

Attenzione! L'introduzione di una nuova normativa non è sufficiente a migliorare la qualità costruttiva degli edifici. La normativa deve essere correttamente applicata ma soprattutto occorrono maestranze in cantiere capaci e rispettose del materiale legno.

Come anticipato al paragrafo precedente le Normative Tecniche delle Costruzioni al capitolo 3 forniscono il metodo di calcolo delle azioni necessarie al dimensionamento delle strutture e valide per ogni materiale. Nei paragrafi seguenti se ne riporta una sintesi.

* Il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) è Ente pubblico nazionale con il compito di svolgere, promuovere, diffondere, trasferire e valorizzare attività di ricerca nei principali settori di sviluppo delle conoscenze e delle loro applicazioni per lo sviluppo scientifico, tecnologico, economico e sociale del Paese.

3. Calcolo delle azioni

3.1 Neve

La neve è un carico che agisce in direzione verticale e per il suo calcolo l'Italia è stata divisa in 4 zone come indicato nella figura 3.1 tratta dalle NTC '08.

Zona I - Alpina:

Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.

Zona I - Mediterranea:

Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.

Zona II: Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.

Zona III :

Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.



Zone di carico di neve kN/m²

	1	1,50
	2	1,00
	3	0,60

Fig. 3.1

Pendenza	
(°)	(%)
0	0
10	17.6
20	36.4
30	57.7
40	83.9
45	100.0

Tab. 3.1 Conversione pendenze ° -> %

Fino a 200m il carico neve non cambia mentre per quote superiori aumenta in maniera più o meno marcata a seconda della zona. I valori ottenuti dal calcolo vanno poi modificati opportunamente per tener conto dell'inclinazione del tetto (μ_1), dell'esposizione (C_e) e della presenza di coibentazione (C_i). Più il tetto è inclinato è minore sarà la quantità di neve che potenzialmente potrà accumularsi e quindi minore anche il carico in termini di kN/m². La neve rappresenta senza alcun dubbio il carico principale per il dimensionamento delle coperture.

Con la nuova normativa si parla di kN (Chilo Newton) e non più di chilogrammi.
1 kN/m² \approx 100kg/m²

Per il calcolo del carico neve RoofRox mette gratuitamente a disposizione uno specifico software fornito su richiesta

La tabella seguente mostra i valori del carico neve per diverse quote in accordo alla normativa NTC '08 [cap. 3.4] e calcolati con il software sopra citato.

quota (a_s) [m]	Carico neve (1 KN/m ² = 100 kg/m ²)			
	Zona I - Alpina	Zona I - Medi- terranea	Zona II	Zona III
0 - >200	1.20	1.20	0.80	0.48
250	1.24	1.27	0.86	0.52
300	1.30	1.35	0.94	0.57
350	1.37	1.45	1.04	0.62
400	1.45	1.56	1.15	0.69
450	1.54	1.68	1.28	0.77
500	1.64	1.83	1.41	0.85
550	1.75	1.98	1.57	0.94
600	1.87	2.15	1.74	1.04
650	2.00	2.34	1.92	1.15
700	2.14	2.54	2.12	1.27
750	2.29	2.76	2.33	1.40
800	2.45	2.99	2.56	1.54
850	2.63	3.23	2.80	1.68
900	2.81	3.49	3.06	1.84
950	3.01	3.77	3.33	2.00
1000	3.21	4.06	3.62	2.17

Tab. 3.2

Nota: i valori della tabella sopra sono stati calcolati considerando una pendenza della copertura $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ [$0\% \leq \alpha \leq 58\%$] (ovvero $\mu_1=0,80$), $C_i=1.0$ e $C_e=1.0$.

3.2 Vento

Il calcolo dell'azione del vento riprende in parte quanto visto nel paragrafo precedente in merito alla neve; si individua la zona geografica in cui sorge la costruzione e si ottiene un valore di riferimento (v_b) che viene poi opportunamente modificato in base ai seguenti parametri: distanza dalla costa, caratteristiche morfologiche del terreno e dimensioni dell'edificio analizzato.

Il vento produce delle azioni orizzontali e diventa un carico importante nel caso di grandi coperture e di edifici.

Ai fini del calcolo statico il carico dinamico del vento (ovvero variabile nel tempo) viene trasformato in una azione statica ed uniforme nello spazio e nel tempo.

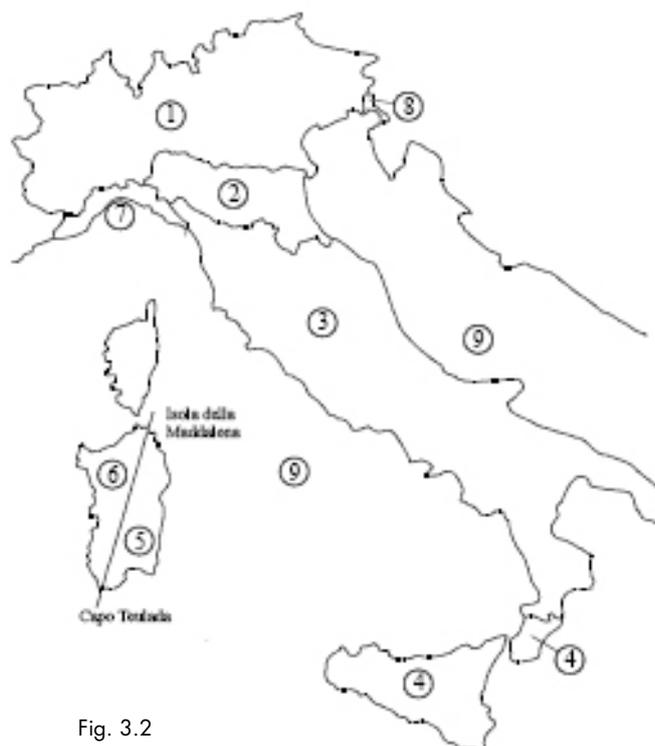


Fig. 3.2

3.3 Sisma

Prima di addentrarci nel calcolo specifico della azione sismica vale la pena fare una piccola introduzione in cui si spiega cosa è il terremoto e come agisce sulle case. Il sisma è originato da un'improvvisa liberazione di energia in profondità nella crosta terrestre che si propaga poi attraverso di essa sotto forma di onde. Quando queste arrivano in superficie si assiste a dei movimenti di vario tipo (ondulatori e/o sussultori) del suolo che provocano danni anche molto seri agli edifici come purtroppo la cronaca ci mostra periodicamente. La forza che si scarica sull'edificio è di tipo orizzontale ed agisce alternativamente in direzioni opposte scuotendo la costruzione dalle fondamenta fino all'ultimo piano. In fase di calcolo viene considerata una forza orizzontale agente a livello dei solai interpiano che rappresentano l'elemento più pesante cui è anche demandata la funzione di distribuire le azioni sulle varie pareti di taglio sottostanti.

L'entità di queste forze dipende da molti fattori: luogo di costruzione, forma in pianta ed in elevazione dell'edificio, materiali usati per le parti portanti, caratteristiche del terreno, etc...

I terremoti sono imprevedibili e ciclicamente si presentano per ricordarci quanto elevato possa essere il loro potenziale distruttivo misurato in apposite scale (Mercalli e Richter) riportate di seguito.

Scala Mercalli

Grado	Scossa	Descrizione
I	strumentale	avvertita solo dagli strumenti
II	debole	avvertito solo da poche persone sensibili in condizioni particolari
III	leggera	avvertito da poche persone
IV	moderata	avvertito da molte persone; tremiti di infissi e cristalli; oscillazione di oggetti sospesi
V	piuttosto forte	avvertito da molte persone, anche addormentate; caduta di oggetti
VI	forte	qualche lesione agli edifici
VII	molto forte	caduta di comignoli; lesione agli edifici
VIII	distruttiva	rovina parziale di alcuni edifici; vittime isolate
IX	rovinosa	rovina totale di alcuni edifici; molte vittime umane; crepacci nel suolo
X	disastrosa	crollo di parecchi edifici; numerose vittime umane; crepacci evidenti nel terreno
XI	catastrofica	distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci; frane; maremoto
XII	apocalittica	danneggiamento totale; distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo, maremoto

Tab. 3.3

Nota: La Scala Mercalli non è definita in termini molto rigorosi ed oggettivamente quantificabili come ampiezza della scossa, velocità di picco, accelerazione, o periodo.

Scala Richter

magnitudo	TNT equivalente	Frequenza	Equivalente Mercalli
0	1 chilogrammo	circa 8.000 al giorno	I
1	31,6 chilogrammi		I
1,5	178 chilogrammi		I
2	1 tonnellata	circa 1.000 al giorno	II-III
2,5	5,6 tonnellate		II-III
3	31,6 tonnellate	circa 130 al giorno	III-IV
3,5	178 tonnellate		III-IV
4	1000 tonnellate	circa 15 al giorno	V-VI
4,5	5600 tonnellate		V-VI
5	31600 tonnellate	2-3 al giorno	VII
5,5	178000 tonnellate		VII
6	1 milione di tonnellate	120 all'anno	VIII
6,5	5,6 milioni di tonnellate		VIII
7	31,6 milioni di tonnellate	18 all'anno	IX
7,5	178 milioni di tonnellate		IX
8	1 miliardo di tonnellate	1 all'anno	X
8,5	5,6 miliardi di tonnellate		X
9	31,6 miliardi di tonnellate	1 ogni 20 anni	XII
9,5	178 miliardi di tonnellate		XII
10	1000 miliardi di tonnellate	sconosciuto	-

Tab. 3.4

magnitudo	Effetti sisma
0- 1,9	può essere registrato solo mediante adeguati apparecchi.
2- 2,9	solo coloro che si trovano in posizione supina lo avvertono; un pendolo si muove
3- 3,9	poca gente lo avverte come un passaggio di un camion; vibrazione di un bicchiere
4- 4,9	normalmente viene avvertito; un pendolo si muove notevolmente; bicchieri e piatti tintinnano; piccoli danni
5- 5,9	tutti lo avvertono; possibili fessurazioni sulle mura; i mobili si spostano; alcuni feriti
6- 6,9	tutti lo percepiscono; eventualmente panico; crollo delle case; spesso feriti; pericolo di vita; onde alte
7- 7,9	panico; pericolo di vita negli edifici; solo alcune costruzioni rimangono illese; morti e feriti
8- 8,9	ovunque pericolo di vita; edifici inagibili; onde alte sino a 40 metri
9 e più	catastrofe; eventualmente un grande spostamento della superficie terrestre

Tab. 3.5

Le nuove normative tecniche delle costruzioni forniscono le necessarie indicazioni su come calcolare l'entità di queste forze sulla base del luogo in cui sorge la costruzione. A prescindere dagli aspetti geometrici dell'edificio e dalle caratteristiche del terreno il calcolo sismico ha come parametro principale un valore indicato con le lettere "a_g" che rappresenta la "accelerazione orizzontale massima al sito". Questo valore varia in base alle coordinate geografiche (longitudine e latitudine) del luogo in cui sorge la costruzione: il territorio italiano è stato pertanto diviso in un reticolo di oltre 10 mila punti (10751 per la precisione) con sismicità nota dai quali per interpolazione si ricava il valore di a_g in uno specifico punto. Tutti questi valori sono raccolti in una specifica tabella contenuta nelle NTC 08 (Allegato B).

Più alto è il valore di a_g è maggiori saranno le forze che andranno a sollecitare la struttura.

Le forze sismiche sono inoltre correlate al peso della struttura per cui più la struttura è leggera è minori saranno le azioni. A titolo di esempio si riportano i valori di a_g per alcune città italiane.

Valori di accelerazione sismica per diverse città italiane	
Città	a _g (m/s ²)
Milano	0.05216
Roma	0.116
Messina	0.242
Gemona del Friuli	0.259
L'Aquila	0.260

Tab. 3.6

Nota: il valore di a_g è stato calcolato nella condizione di Stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV), nel centro della città, tempo di ritorno 475anni con probabilità di superamento 10%, classe d'uso II, vita nominale edificio 50 anni.



Fig. 3.4 Calcolo della sismicità della città dell'Aquila. La normativa fornisce i parametri sismici nei 4 punti indicati da un cerchio e poi per interpolazione lineare si vanno a calcolare i parametri effettivi nel punto desiderato, in questo caso il centro della città.

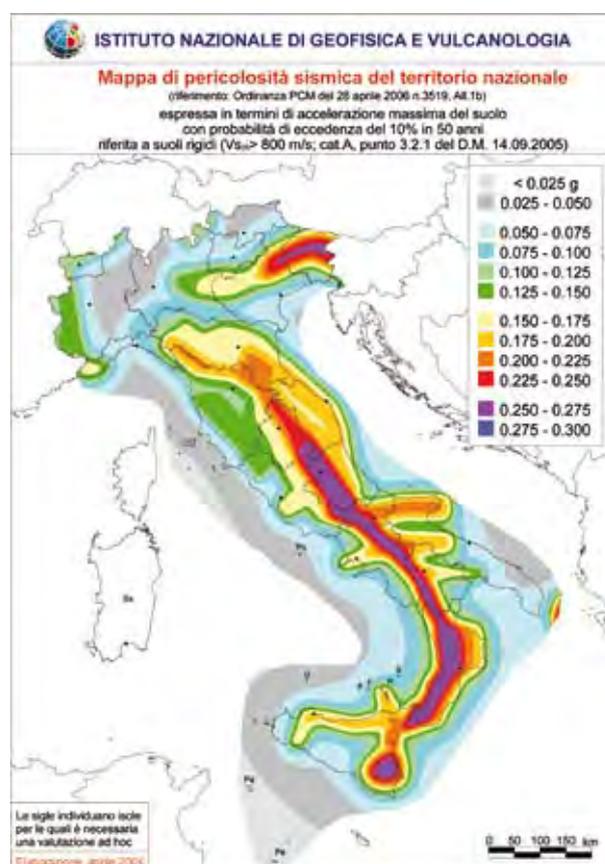


Fig. 3.3 - Mappa di pericolosità sismica

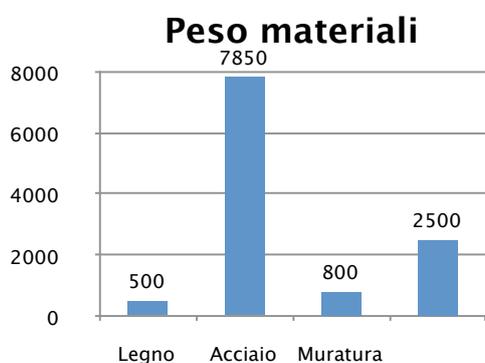
3.4 Vantaggi delle costruzioni in legno in zone sismiche

Per il calcolo sismico completo sono necessari numerosi altri parametri il cui calcolo è piuttosto complesso e va oltre gli obiettivi della presente pubblicazione; vale invece la pena approfondire e capire quali sono le caratteristiche offerte dalle costruzioni in legno in zona sismica.

⇒ leggerezza e rapporto resistenza/peso: se la struttura è leggera le azioni sismiche saranno basse. La tabella seguente mette a confronto il legno con altri materiali da costruzione "tradizionali":

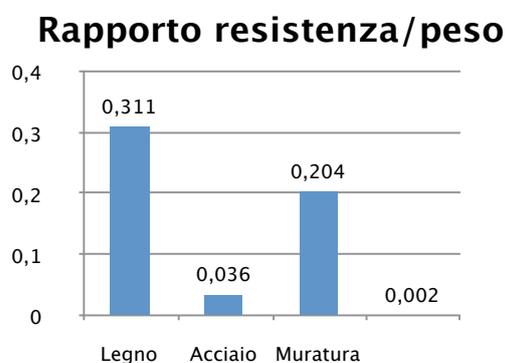
	legno	cemento armato	acciaio	muratura
peso specifico (kg/m ³)	500	2500	7850	800-1000
rapporto resistenza / peso	0.311	0.036	0.204	0.016

Tab. 3.7



■ peso specifico (kg/m³)

Fig. 3.5



■ rapporto resistenza/peso

Fig. 3.6

⇒ materiale omogeneo che lavora indifferentemente a trazione o a compressione.

⇒ il legno puro ha un comportamento di tipo fragile ovvero non è in grado di dissipare l'energia sismica.

Quest'ultima funzione viene però fortunatamente svolta in maniera ottimale dalle connessioni metalliche che sono invece molto duttili e presenti in grandi quantità in tutte le strutture lignee.

Per meglio comprendere l'ultimo concetto sopra esposto si invita a fare il seguente esperimento:

- tenere saldamente in mano un pezzo di filo di ferro di piccolo diametro (per esempio una grafetta) ed iniziare ciclicamente a spingerlo da una parte e dall'altra con spostamenti sempre maggiori. Si noterà che inizialmente questo ritorna da solo (campo elastico) nella posizione iniziale ma passato un certo limite di forza applicata il filo rimane in posizione, non ritorna indietro ma soprattutto non si è spezzato (campo plastico, risorse duttili ovvero elevata capacità dissipativa).
- ripetere la stessa operazione con uno stuzzicadenti. Anche qui nelle fasi iniziali si ha un ritorno automatico nella posizione iniziale ma superato un certo limite di spostamento il bastoncino si rompe compromettendo irrimediabilmente la sua capacità portante.

Quest'ultimo aspetto è di particolare importanza in quanto permette di abbattere sensibilmente l'entità delle azioni sismiche. La normativa tiene conto dei fenomeni dissipativi attraverso il coefficiente q "fattore di struttura" i cui valori sono riportati nella tabella 3.7.

Questo si riflette sui valori tabellati che nel caso di strutture aventi alta capacità di dissipazione sono più elevati rispetto al caso di strutture con ridotta capacità dissipativa.

L'insieme degli aspetti visti sopra fa sì che le strutture in legno siano particolarmente indicate in zone sismiche.

Ad un valore elevato di q corrisponde una forza sismica bassa.

Classe		q₀	Esempi di strutture
A	Strutture aventi una alta capacità di dissipazione energetica	3,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con giunti chiodati
		4,0	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del § 7.7.3)
		5,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi e bulloni
B	Strutture aventi una bassa capacità di dissipazione energetica	2,0	Pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con collegamenti a mezzo di bulloni o spinotti; strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti.
			Portali isostatici con giunti con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del § 7.7.3)
		2,5	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del § 7.7.3)

Tab. 3.8 (NTC'08 - 7.7.1)

Attenzione! Una struttura in legno garantisce la sicurezza in caso di sisma solo se calcolata bene!

Recentemente il CNR ha testato in uno speciale laboratorio in Giappone due edifici in legno: uno a tre piani ed uno a sette dimostrando che sono in grado di resistere ad eventi sismici anche molto forti. In seguito a questi test il coefficiente di struttura q per le pareti incollate (ora pari a 2,0) potrebbe in futuro essere ritoccato verso l'alto.

3.5 Il sisma e le costruzioni in legno



Fig. 3.7

Il terremoto avvenuto nell'aprile del 2009 all'Aquila ha fatto improvvisamente conoscere i pregi delle costruzioni in legno ad una vastissimo pubblico tramite diversi media: dalla televisione alla carta stampata. Nel paragrafo precedente sono stati esposti i vantaggi sismici delle costruzioni in legno legati agli aspetti tecnici ed intrinseci ai materiali utilizzati. Ma in fondo perchè il legno si è rilevato una scelta vincente nel periodo immediatamente successivo al disastroso evento sismico? La risposta più immediata, ma non totalmente corretta, potrebbe essere: perchè è un materiale antisismico! La risposta più completa è invece un'altra: perchè permette di costruire edifici leggeri, con buona caratteristiche antisismiche e di alta qualità in poco tempo. Il risparmio si è manifestato non solo in termini di tempo ma anche in termini economici in quanto sono state realizzare fondazioni più "semplici", utilizzate macchine da cantiere per la movimentazione più piccole e maneggevoli rispetto ai cantiere "tradizionali". La prefabbricazione più o meno spinta di queste strutture ha avuto una vetrina privilegiata per molti mesi e la avrà ancora per molto finchè gli abitanti non potranno andare ad abitare in edifici non provvisori e preferibilmente in legno!

Accanto all'euforia che ha accompagnato il settore delle costruzioni in legno dopo il terremoto si è purtroppo registrata in taluni casi anche una bassissima qualità costruttiva che non ha sicuramente soddisfatto pienamente la committenza. Ci si augura che questi siano e rimangano dei casi isolati affinché per colpa di pochi non ne risenta negativamente tutto il settore che deve poter sfruttare questo positivo momento per crescere; crescita che deve manifestarsi non solo in termini di fatturato ma anche e soprattutto in termini di qualità costruttiva e specializzazione tecnica.

Un'indagine commissionata dall'ente promo_legno in collaborazione con Assolegno e Federlegno ha stimato che in seguito al terremoto in Abruzzo siano state costruite in legno oltre 5700 abitazioni. Basti solo pensare per esempio che il 50% dei 185 edifici a tre piani realizzati per il progetto C.A.S.E. è in legno (2238 abitazioni su 4449).

4. Il calcolo agli Stati Limite

4.1 Generalità

Come accennato nei paragrafi precedenti con la nuova normativa è stato modificato profondamente il metodo di calcolo passando dalle "vecchie" tensioni ammissibili al più moderno metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Questo grande cambiamento interessa solo il calcolatore statico e rappresenta una sorta di "svolta epocale".

La differenza fondamentale consiste nel fatto che i parametri di resistenza dei materiali e delle connessioni vengono modificati di volta in volta con degli opportuni coefficienti correttivi di sicurezza definiti dalla normativa e scelti in base alla durata del carico ed alle condizioni ambientali in cui sorge la struttura. Con questa operazione si passa da un valore caratteristico (solitamente indicato con la lettera "k" al pedice) al valore di progetto (solitamente indicato con la lettera "d" al pedice).

Anche le forze agenti vengono modificate e combinate tra loro con dei coefficienti appositi definiti dalla normativa per arrivare all'azione di calcolo (lettera "d" al pedice).

In generale una qualsiasi struttura, sulla base delle NTC '08, deve possedere i requisiti qui di seguito riportati:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Esempio di una struttura calcolata erroneamente:

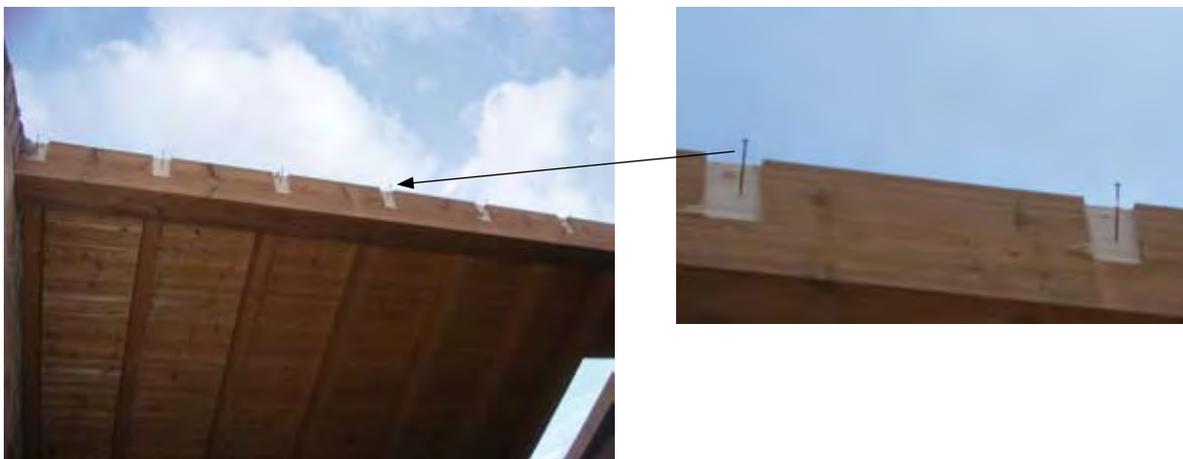


Fig. 4.1 Tetto scoperchiato durante una tromba d'aria. Le viti sono rimaste infisse nonostante il correntino sia stato rimosso dal vento.

4.2 Esempio

Si riporta di seguito un sintetico esempio di come viene calcolata la resistenza a flessione di progetto del legno lamellare qualità GL24h più o meno corrispondente al BS11 della precedente classificazione.

Resistenza caratteristica da normativa (EN 1194): $f_{m,k}=24\text{MPa}$.

Classe di servizio: 1

Classe di servizio 1	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 3	È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.

Tab. 4.1 (NTC'08 -4.4.II - classi di servizio)

Durata del carico: permanente più media durata

Classe di durata del carico	Durata del carico
Permanente	più di 10 anni
Lunga durata	6 mesi - 10 anni
Media durata	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	meno di una settimana
Istantaneo	nn

Tab. 4.2 (NTC'08 -4.4.I - classi di durata del carico)

Coefficiente di sicurezza da normativa per legno lamellare γ_m : 1.45 (Tabella 2.2)

Determinazione del parametro k_{mod} (vedi tabella seguente): 0.80 (Tabella 4.3)

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio	EN 1408-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Legno lamellare incollato	EN 14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Tab. 4.3 (NTC 08 - 4.4.IV - Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno)

In presenza di carichi di diversa durata nella determinazione di k_{mod} viene considerato quello di minor durata. Con questi dati viene quindi calcolata la resistenza di progetto a flessione del materiale con la seguente formula fornita dalla normativa (NTC 08):

$$X_d = \frac{K_{mod} \cdot X_k}{\gamma_m} \rightarrow f_{m,g,d} = \frac{(0,8 \cdot 24)}{1,45} = 13,24 \text{ MPa}$$

Vale la pena a questo punto riportare che nel caso di azione sismica, azione di tipo istantaneo, ($k_{mod}=1.00$) il valore di progetto diventa:

$$f_{m,g,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_m} \rightarrow f_{m,g,d} = \frac{(1,0 \cdot 24)}{1,45} = 16,55 \text{ MPa}$$

ovvero il 25% in più evidenziando ancora una volta come il legno abbia un ottimo comportamento in caso di sisma.

Sulla base di quanto visto nel paragrafo 2.3 si riporta lo stesso calcolo ma ora effettuato con i coefficienti consigliati dal CNR del documento tecnico DT 206.

$$f_{m,g,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_m} \rightarrow f_{m,g,d} = \frac{(0,8 \cdot 24)}{1,25} = 15,26 \text{ MPa}$$

Nel caso di azioni di tipo istantaneo il DT 206 propone inoltre un valore k_{mod} pari a 1.10 per le classi di servizio 1 e 2 per cui in caso di sisma si avrebbe:

$$f_{m,g,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_m} \rightarrow f_{m,g,d} = \frac{(1,1 \cdot 24)}{1,25} = 21,12 \text{ MPa}$$

Come anticipato al paragrafo 2.3 la modifica dei coefficienti di sicurezza apportata nell'ultima revisione delle NTC '08 ha come effetto quello di ridurre la capacità portante degli elementi. L'aumento di γ_m da 1.25 a 1.45 per il legno lamellare comporta una riduzione della capacità portante di circa il 15%! Stesso discorso anche per quanto riguarda le connessioni dove si passa invece da 1.3 a 1.5.

Il procedimento visto qui sopra va ripreso nel calcolo di ogni parametro di resistenza: taglio, compressione ortogonale e parallela, etc...

Per quanto riguarda le azioni il calcolo prevede di combinare le varie forze (neve, peso proprio, vento, etc...) moltiplicandole per opportuni coefficienti parziali di sicurezza in base al caso considerato: Stato limite ultimo, Stato limite di esercizio, Azioni eccezionali.

Nel caso di calcolo agli Stati Limite Ultimi (SLU) la combinazione base sarà:

$$F_d = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots + \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

I coefficienti parziali γ_{G1} , γ_{G2} e γ_{Qi} sono definiti nelle tabelle seguenti riprese dalla normativa NTC '08:

		Coefficiente	A1 - STR
		γ_F	
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	1,00
	sfavorevoli		1,30
Carichi permanenti non strutturali (1)	favorevoli	γ_{G2}	0,00
	sfavorevoli		1,50
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00
	sfavorevoli		1,50

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tab. 4.4 (NTC'08 - 2.6.1 - Coefficiente parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche slU)

Nella tabella 4.4. il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;

γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

Nel caso di più azioni contemporanee esse vanno quindi combinate di volta in volta con il coefficiente più opportuno in modo tale da tenere in considerazione la probabilità che queste forze agiscano contemporaneamente sulla struttura al massimo della loro intensità. Per esempio fino ad una quota di 1000m slm la probabilità che si abbia il peggiore evento sismico associato al massimo carico neve è nulla ($\Psi_{2i}=0.0$) mentre se ci si trova sopra i 1000m slm allora si considera che possa esserci il 20% del massimo carico neve in caso di sisma ($\Psi_{2i}=0.2$). Altro esempio: nel caso di un pilastro che porta il carico proveniente sia dal tetto (carico neve, quota <1000m slm) sia dal solaio (carico accidentale categoria A) la verifica non andrà condotta semplicemente sommando i due carichi come si faceva secondo il metodo alle tensioni ammissibili ma questi dovranno essere opportunamente combinati tra loro considerando le diverse probabilità ovvero:

- Caso 1: 100% massimo carico solaio + 50% massimo carico neve ($\Psi_{0i}=0.5$)
- Caso 2: 100% massimo carico neve + 70% massimo carico solaio ($\Psi_{0i}=0.7$)
- Caso 3: solo carico permanente senza accidentali

Il caso 3 risulta essere talvolta associato alla verifica più restrittiva in quanto per i carichi permanenti si ha $k_{mod}=0.60$ rispetto ai carichi accidentali categoria A ($k_{mod}=0.70$) ed al carico neve (media durata, $k_{mod}=0.80$). Vale la pena ricordare che maggiore è il valore di k_{mod} e maggiore sarà anche la resistenza di calcolo.

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0i}	Ψ_{1i}	Ψ_{2i}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tab. 4.5 - (NTC 2.5.1 - Valori dei coefficienti di combinazione)

4.3 Il legno ed il fuoco

Talvolta la costruzione in legno viene scartata a tutto guadagno di altre tipologie perché "il legno brucia". Premesso che si sta parlando comunque di un materiale incombustibile va detto che presenta un comportamento in caso di incendio "prevedibile". E' cioè possibile a livello di progettazione e di calcolo capire, analizzare e prevedere il meccanismo di collasso della struttura una volta noti alcuni punti chiave:

- La velocità di carbonizzazione è costante e tabulata nelle normative di riferimento. Ad esempio per il legno lamellare di abete si considera 0.7mm/min ovvero in 60 minuti la parte esposta al fuoco si riduce di $60\text{min} \cdot 0.7\text{mm}/\text{min} = 42\text{mm}$
- La parte di legno non combusta mantiene inalterate le proprie caratteristiche meccaniche di resistenza anche a fronte di un aumento sensibile della sua temperatura

Il metodo di verifica probabilmente più utilizzato dai progettisti è quello cosiddetto della "sezione efficace" che prevede il calcolo della sezione residua efficace al termine dei minuti di incendio richiesti. La figura seguente

mostra l'immagine tratta dal documento tecnico del CNR ovvero DT 206/2007:

L'entità dei carichi e le proprietà meccaniche del materiale vengono in caso di incendio modificate: i primi diminuiti e le seconde aumentate. Con i dati così ottenuti si procede alla verifica della sezione teoricamente rimasta non carbonizzata al termine dell'incendio.

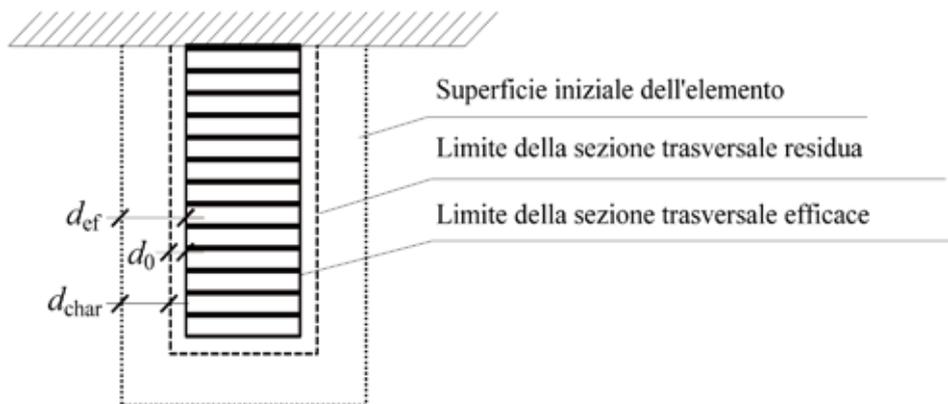


Fig. 4.2 Calcolo della sezione efficace

Si riportano di seguito alcune immagini di una struttura in legno rimasta vittima di un incendio senza conseguenze per gli occupanti:



Fig. 4.3

5. Schemi di calcolo e distribuzione delle forze per una copertura

Sulla base di quanto visto nei capitoli precedenti si riporta di seguito uno schema di calcolo del tutto generico per poter procedere con un dimensionamento dei vari elementi strutturali che formano una copertura multifalda. L'individuazione di uno schema statico ben preciso e del percorso delle forze verso i cordoli e da qui alle murature sottostanti rappresenta infatti il punto di partenza per poi effettuare il calcolo. Per questo motivo non vengono riportati esempi numerici ma si espongono solo i concetti base.

Va anzitutto precisato che, salvo situazioni particolari, nelle strutture in legno il vincolo più vicino alla realtà e quindi più corretto da utilizzare nella modellazione strutturale è quello di cerniera. Con riferimento all'immagine seguente vengono quindi mostrati gli schemi tipo di calcolo dei diversi elementi portanti.

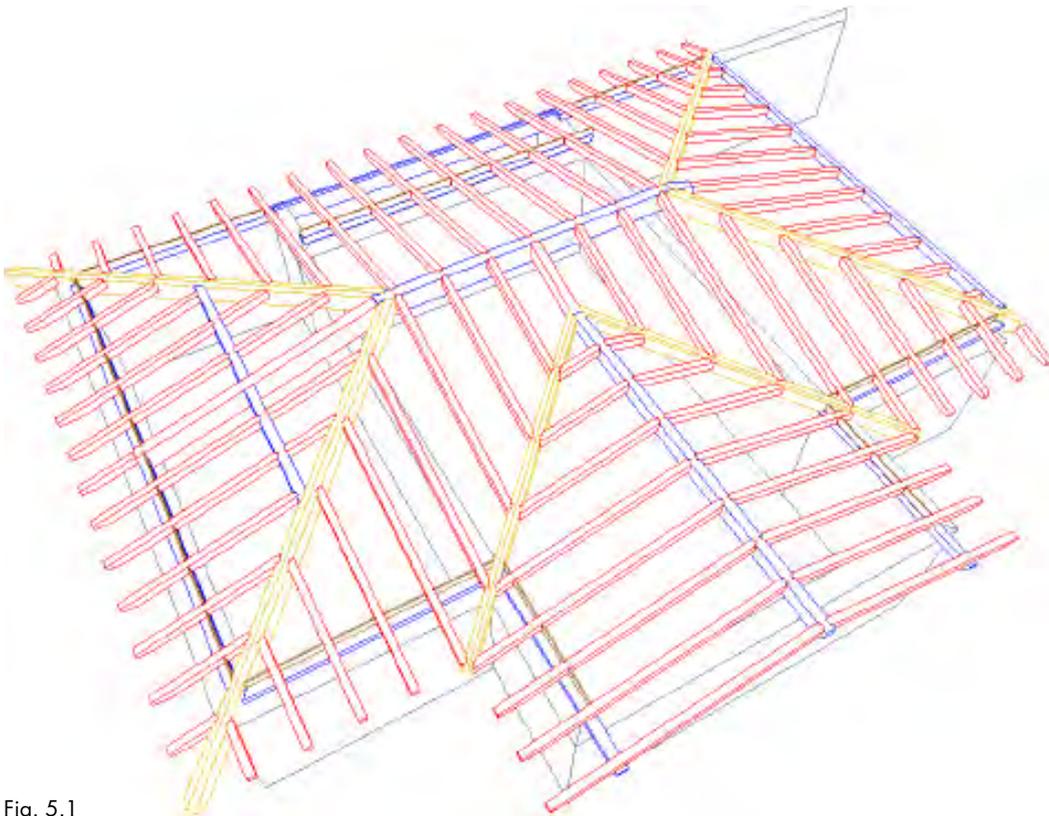


Fig. 5.1

Si ritiene opportuno ricordare come lo scopo degli elementi portanti sia quello di prendere i carichi esterni (peso proprio, carichi accidentali: neve e vento, carichi eccezionali: sisma) e portarli sui punti di appoggio sottostanti (muri, pilastri, etc...) seguendo il percorso più breve possibile. Ecco che quindi si parte con l'orditura secondaria ovvero i correntini, o arcarecci che vanno a trasferire il carico sull'orditura principale: colmo, mezzacasa, diagonale, etc...

Correntino (peso proprio, neve e vento).

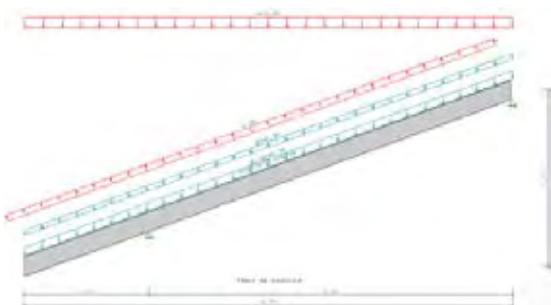


Fig. 5.2 - Schema di carico arcareccio

Correntino (involuppo dei momenti [kNm/m])

Correntino (involuppo delle deformate [cm/m])

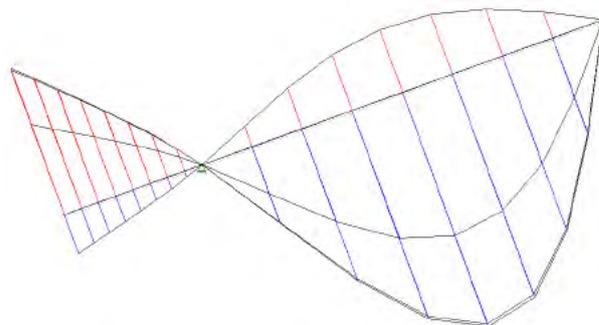
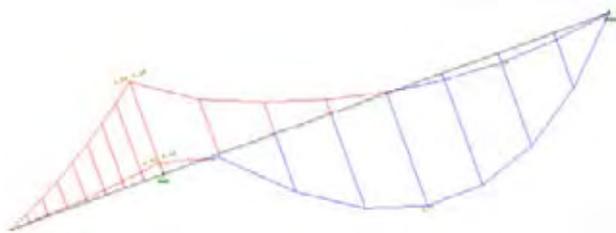


Fig. 5.3

Colmo abbaino (schema di carico)

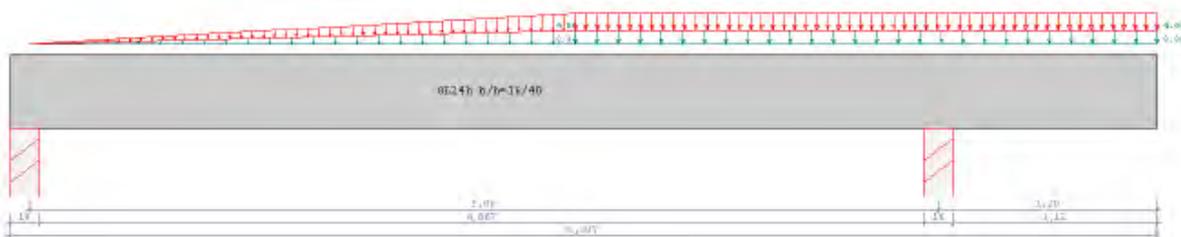


Fig. 5.4 - Schema di carico colmo

Nella parte sinistra il carico ha un andamento triangolare poichè i correntini che vanno a caricarlo si accorciano sempre di più fino ad arrivare a lunghezza zero. Il valore di queste forze viene dato dalle reazioni di appoggio dei correntini in kN/m.

Le immagini sotto riportano gli involuppi dei momenti flettenti [kNm] del taglio [kN].

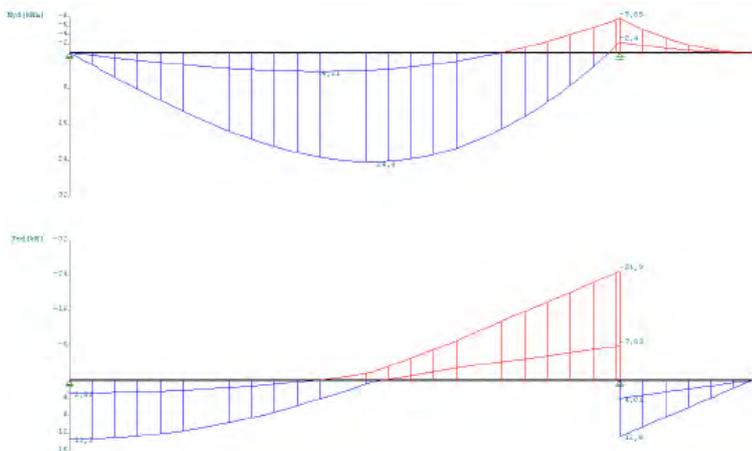


Fig. 5.5

Mezzacasa (interrotta dal falso puntone)

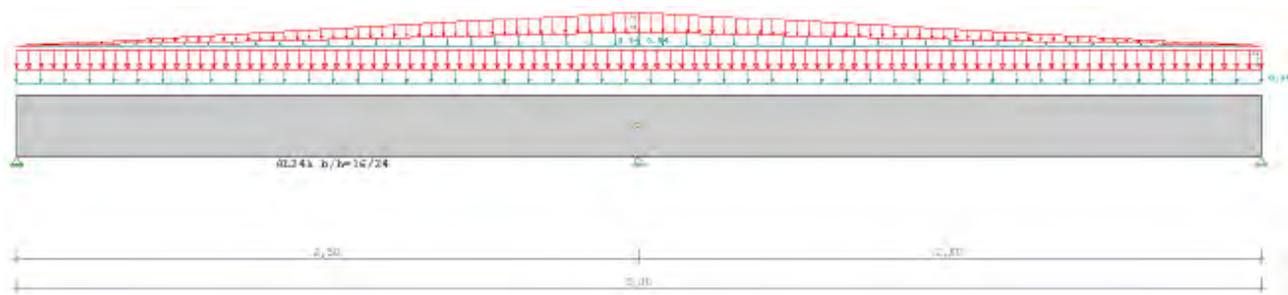


Fig. 5.6 - Schema di carico mezzacasa

Il carico presenta un andamento trapezoidale causato dalla conformazione della copertura. Poichè la mezzacasa è interrotta dal falso puntone si ha un andamento dei momenti come mostrato nella figura seguente ovvero si ha un punto di nullo in mezzeria. Vale la pena sottolineare che qualora fosse stato possibile realizzare la trave in un unico elemento si sarebbe potuto ridurre la sua sezione a scapito però di un aumento di carico sull'appoggio centrale (+25% circa sul puntone) ed una diminuzione su quelli laterali.

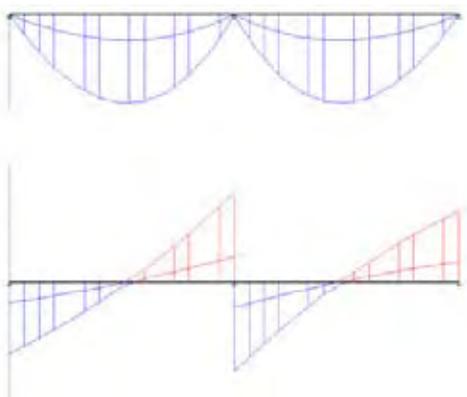


Fig. 5.7

Falso puntone

Per semplicità non si considera il giunto rigido supponendo vi sia un appoggio in prossimità della trave di colmo sull'incrocio con i diagonali. Si ripresenta uno schema di carico uguale a quello visto per il correntino con l'aggiunta però di un carico concentrato sull'intersezione con la mezzacasa

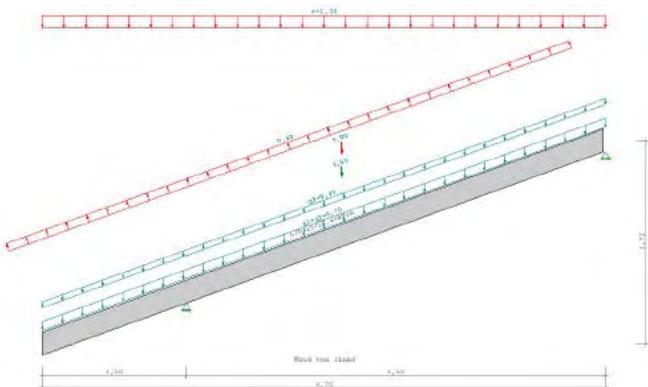
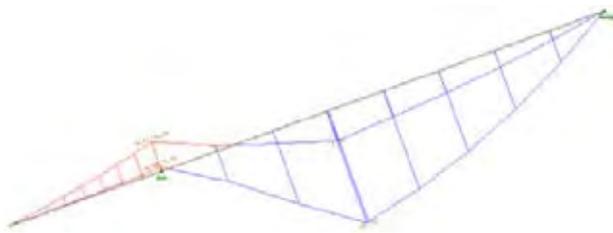


Fig. 5.8 - Schema di carico falso puntone

Inviluppo dei momenti flettenti [kNm/m]



Inviluppo del taglio [kN]

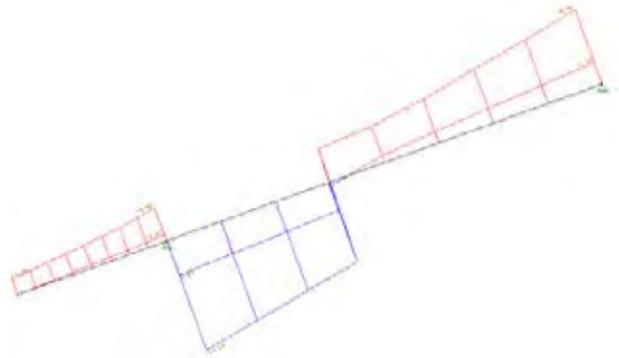


Fig. 5.9

Gli ultimi due elementi di cui si riporta lo schema di calcolo sono il displuvio cui si connette la mezzacasa ed il compluvio.

Displuvio

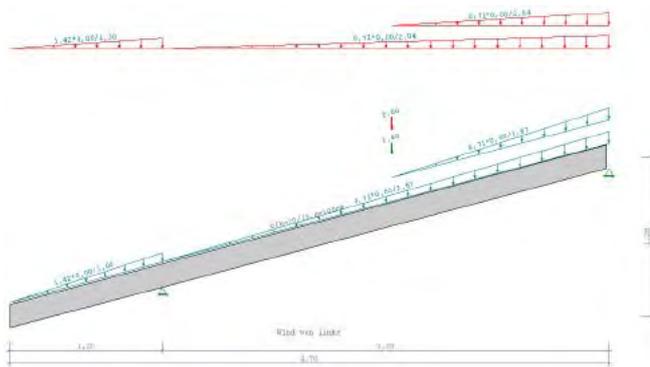
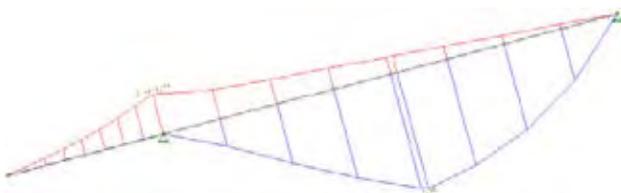


Fig. 5.10 - Schema di carico displuvio

I carichi applicati hanno andamento triangolare con una discontinuità in prossimità dell'appoggio della mezzacasa dove vi è un carico concentrato.

Inviluppo dei momenti flettenti [kNm/m]



Inviluppo del taglio [kN]

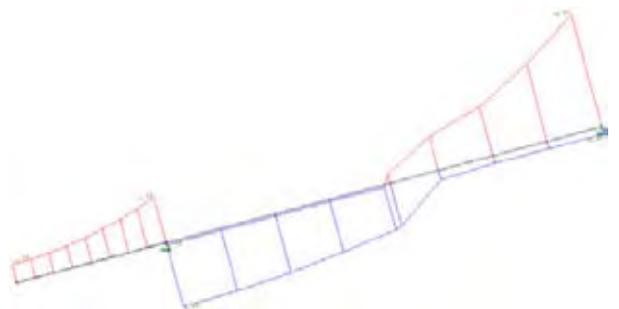


Fig. 5.11

Compluvio

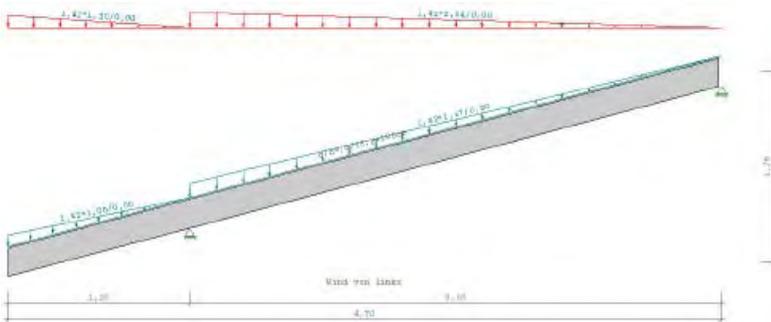


Fig. 5.12 - Schema di carico compluvio

I carichi applicati hanno anche qui un andamento triangolare.

Inviluppo dei momenti flettenti [kNm/m]

Inviluppo del taglio [kN]

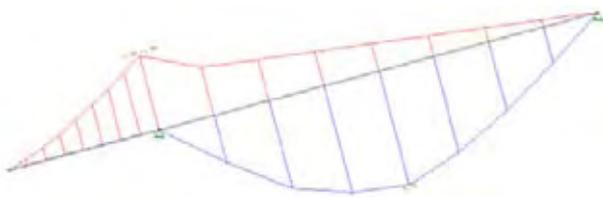


Fig. 5.13

In mancanza di pilastri talvolta la copertura può essere utilizzata come elemento di ausilio per sostenere il solaio della casa o il soppalco come riportato nell'immagine seguente.

Come si può vedere le barre metalliche sono passanti su colmo e mezzacasa per evitare l'insorgere di fenomeni di trazione ortogonale alle fibre.



Fig. 5.14

6. Esempi di connessioni

Le immagini seguenti mostrano alcuni esempi di connessioni tra elementi in legno relativi sia a coperture, sia a edifici. Le lunghezze delle viti sono indicative e vanno verificate di volta in volta in base alle dimensioni degli elementi strutturali.

Giunzione correntini-banchina

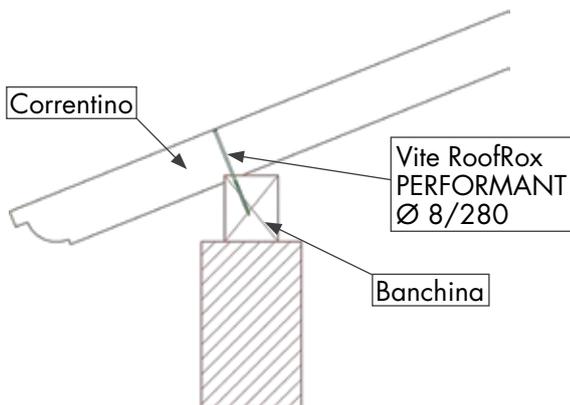
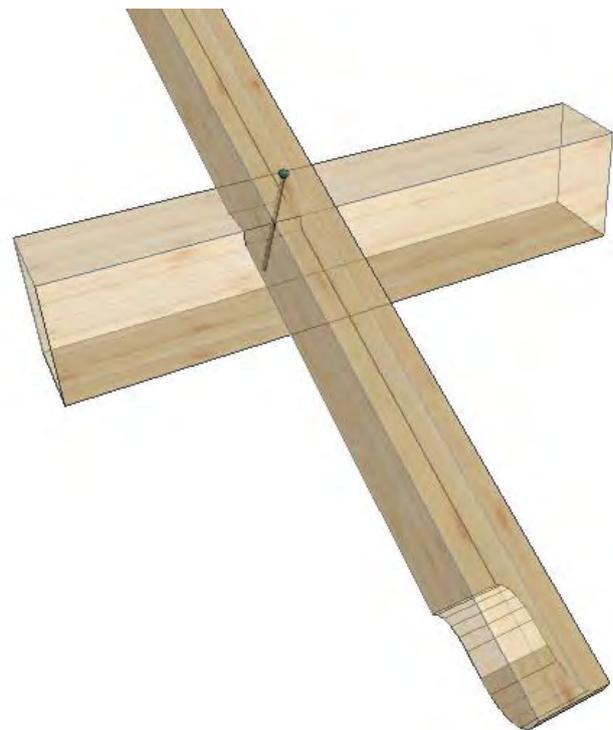


Fig. 6.1 - Giunzione correntini – banchina in appoggio



Giunzione correntini-trave di colmo in appoggio ed in luce

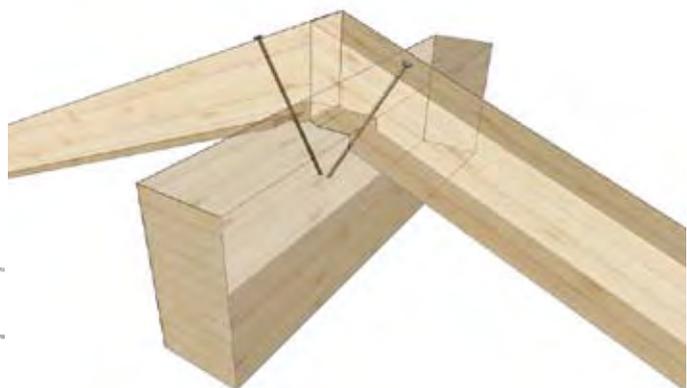
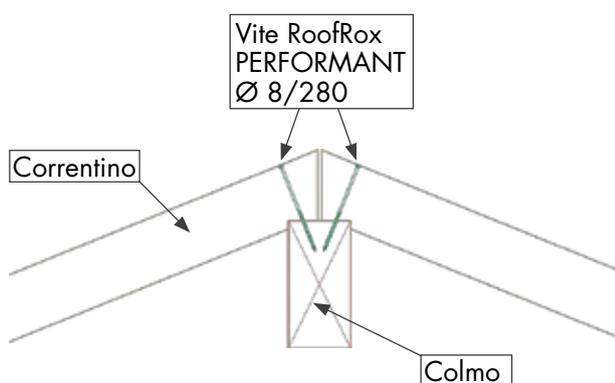


Fig. 6.2 - Giunzione correntini - colmo in appoggio

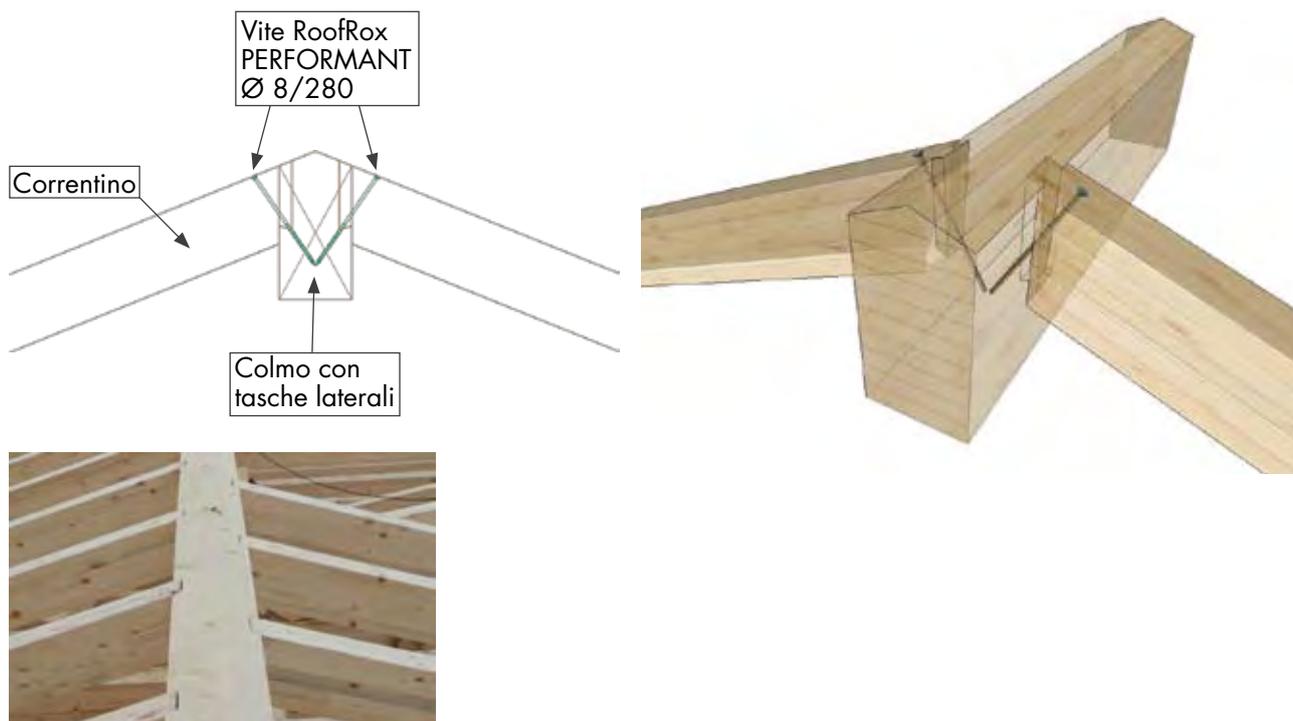


Fig. 6.3 - Giunzione con tasche in luce

Nota: si raccomanda sempre di fissare una vite su ogni connessione a coda di rondine!

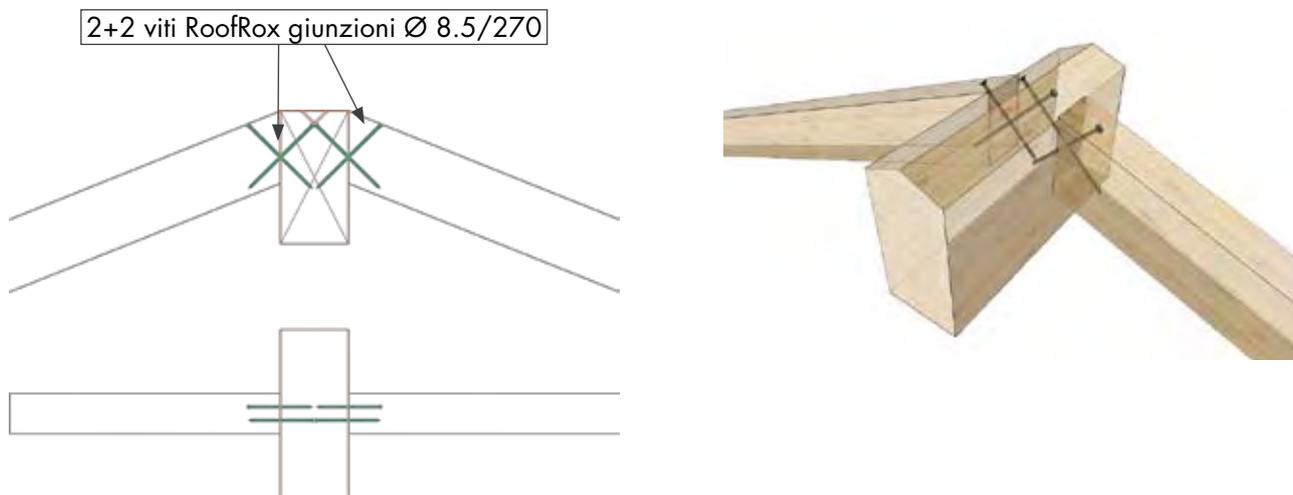


Fig. 6.4 - Giunzione con viti giunzione in luce

Giunzione trave principale - trave secondaria

Giunzione colmo-falsi puntone per mezzo di staffa a scomparsa RoofRox, spinotti e chiodi aderenza migliorata (anker). La medesima connessione può essere realizzata nel caso di una capriata con colmo passante e puntone interrotti.

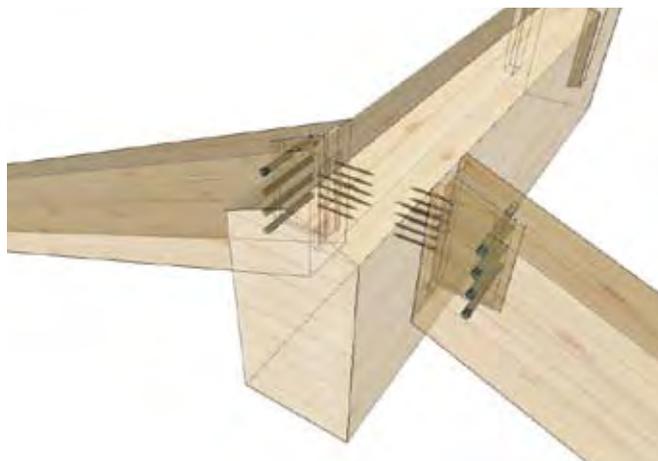
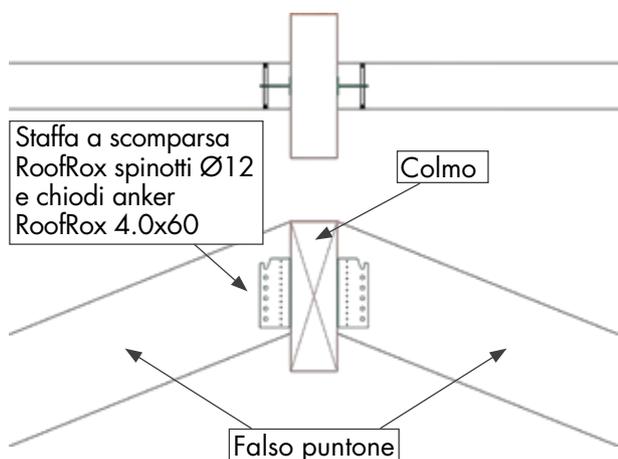


Fig. 6.5 - Giunzione con staffe a scomparsa in luce

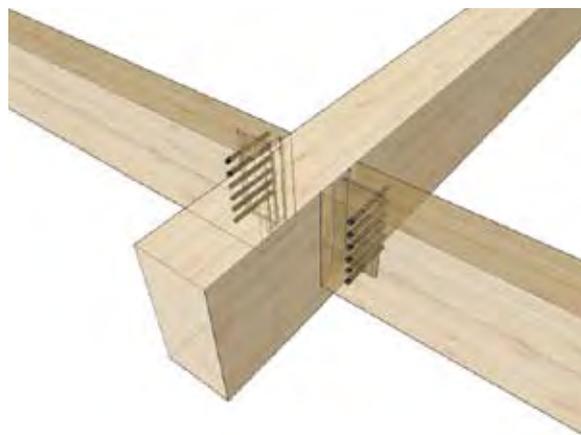
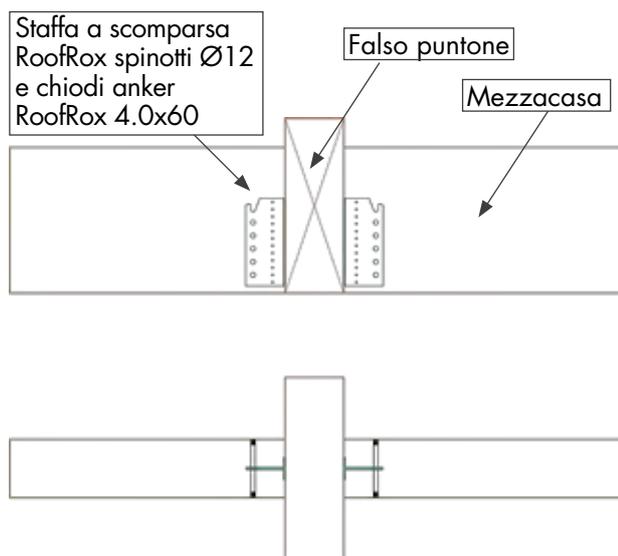


Fig. 6.6 - Giunzione con staffa a scomparsa

LINEA **Rox**System

VITE PERFORMANT

Viti dotate di punta autoforante e nervatura autosvasante sul gambo. Facile penetrazione su qualsiasi tipo di legno senza preforo e senza creare spaccature o fessurazioni delle fibre. Trattamento di lubrificazione particolare.

LA TESTA

La parte inferiore della testa è caratterizzata da una doppia inclinazione per un inserimento più dolce della testa stessa. A questa particolarità si uniscono delle vere e proprie nervature che, fresando la superficie del legno, creano una perfetta sede in cui si inserirà la testa. Sulla parte superiore di quest'ultima è stata impressa la misura della lunghezza della vite.

FILETTO

Il passo del filetto è differente rispetto alle tradizionali viti da legno. Una maggiore spaziatura garantisce una migliore stabilità perché diminuisce sensibilmente la possibilità di „sfilettare“ il foro e quindi rovinare il legno e compromettere la tenuta. Ovviamente il passo „lungo“ è sinonimo di alta velocità di inserimento; allo stesso tempo però garantisce anche un'elevata resistenza all'estrazione grazie alla maggiore porzione di legno presente tra un filetto e l'altro. A partire dalla fine della punta e per tutta la parte restante della filettatura, è stata inserita una piccola scanalatura obliqua per contribuire al perfetto taglio delle fibre del legno; questa caratteristica della cresta contribuisce anche al trasporto verso l'esterno del truciolo in eccesso.



SCANALATURE AD AZIONE SVASANTE

Prima della parte liscia del gambo è stata inserita una struttura a scanalature oblique con azione svasante. La direzione delle nervature, che segue il verso del filetto, crea un'azione di allargamento delle fibre legnose per permettere un più facile scorrimento del gambo: anche le viti di lunghezza maggiore potranno essere inserite con semplicità senza il rischio di fessurazioni del trave in legno.

PUNTA SPECIALE

La speciale punta è stata progettata per evitare l'operazione di preforo e per ottenere il miglior compromesso tra efficacia di perforazione e velocità di inserimento. La particolare scanalatura presente sulla prima parte della vite permette, già nella fase di inserimento, di rompere le fibre superficiali più dure del legno. Il tipico andamento a cuneo della fresatura favorisce il perfetto riflusso del truciolo del legno, evitando fastidiosi impuntamenti e antiestetici fenditure nella prima parte del legno.

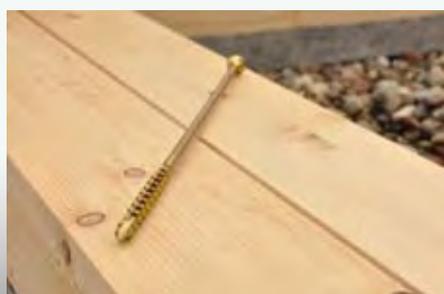


IMPORTANTE

Ogni lotto di produzione viene testato da un ente preposto a garantire la conformità della qualità del prodotto e dei requisiti geometrici e meccanici della vite stessa.

ZINCATURA GIALLA GARANZIA DI DURATA

A parità di spessore dello strato di rivestimento, la zincatura gialla garantisce una resistenza agli agenti atmosferici circa doppia rispetto alla zincatura bianca (48 ore contro 24 in nebbia salina).



Particolare che evidenzia la perfezione con cui la testa autosvasante della vite PERFORMANT crea il suo alloggiamento nel legno.

Disponibile su richiesta il software di calcolo



LINEARoxSystem

VITE ISOLANT

Viti dotate di punta autoforante e doppio filetto. Vite con funzione distanziale specifica per il fissaggio di pannelli isolanti e della listellatura di ventilazione nelle coperture in legno e pareti ventilate.

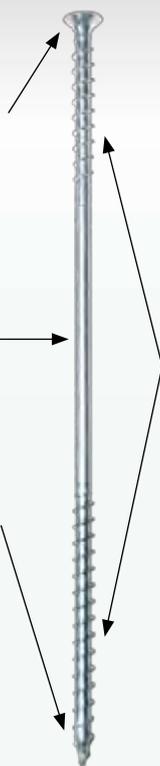
LA TESTA

La parte inferiore della testa è caratterizzata da una doppia inclinazione per un inserimento più dolce della testa stessa nel listello di ventilazione. A questa particolarità si uniscono delle vere e proprie nervature che, fresando la superficie del legno, creano una perfetta sede in cui si inserirà la testa evitando così una possibile rottura del listello di ventilazione. Sulla parte superiore di quest'ultima è stata impressa la misura della lunghezza della vite.

PARTE NON FILETTATA

PUNTA SPECIALE

La speciale punta è stata progettata per evitare l'operazione di preforo anche sui listelli di ventilazione e per ottenere il miglior compromesso tra efficacia di perforazione e velocità di inserimento senza rischio di fessurare il legno. La particolare scanalatura presente sulla prima parte della vite permette, già nella fase di inserimento, di rompere le fibre superficiali più dure del legno. Il tipico andamento a cuneo della fresatura favorisce il perfetto riflusso del truciolo del legno, evitando fastidiosi impuntamenti e antiestetici fenditure nella prima parte del legno.



Filettatura 6 cm per il sostegno garantito del travetto di ventilazione

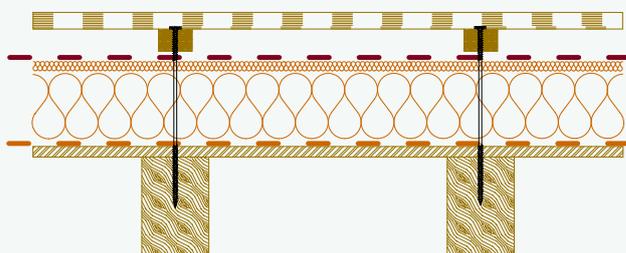
FILETTO

Il passo del filetto è paritetico in entrambe le filettature. Una maggiore spaziatura garantisce una migliore stabilità perché diminuisce sensibilmente la possibilità di „sfilettare“ il foro e quindi rovinare il legno e compromettere la tenuta. Ovviamente il passo „lungo“ è sinonimo di alta velocità di inserimento; allo stesso tempo però garantisce anche un'elevata resistenza all'estrazione grazie alla maggiore porzione di legno presente tra un filetto e l'altro.

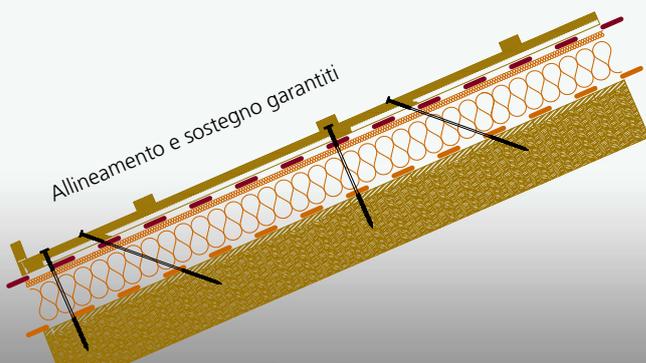
Filettatura 10 cm per l'ancoraggio nel trave

IMPORTANTE

Ogni lotto di produzione viene testato da un ente preposto a garantire la conformità della qualità del prodotto e dei requisiti geometrici e meccanici della vite stessa.



Sistema di fissaggio consigliato per
PACCHETTO TETTO KLIMAHOUSE



Disponibile su richiesta
il software di calcolo

LINEARoxFix

Geprüft nach

DIN 1052:2004-08

9X-WP160



Novità



Grazie alla continua evoluzione dei prodotti per il fissaggio ad aria compressa ed alla costante collaborazione con le più prestigiose marche produttrici di materiali specifici per la costruzione, si è giunti ad ottimizzare attrezzature per la perfetta posa in opera che, oltre a garantire una perfetta tenuta e una durabilità nel tempo, sono in grado di abbattere in maniera esponenziale i costi e il tempo di posa.

Le possibilità applicative sono svariate. Solo con un'attenta valutazione degli spessori dei pannelli si possono dimensionare, in maniera corretta, le graffe di fissaggio e la quantità necessaria per garantire la tenuta nel tempo.



La grappa per il fissaggio di coibentazioni a cappotto più lunga al mondo: ben 160 mm!

Prüf-
bescheinigung
Nr.
VHT-3.4.2/145

Prüf-
bescheinigung
Nr.
VHT-3.4.2/146

5C-ZT67COMBI



Per fissaggi che vengono sottoposti a lungo termine a forze di estrazione forniamo, ai sensi della normativa inerente le costruzioni in legno DIN 1052, graffe certificate dall'Istituto di sorveglianza dei lavori di costruzione e dalla legislazione edilizia vigente.



6F-WN25SNS



Le nostre graffe sono sottoposte ai più selettivi test di qualità, sia del materiale impiegato per la loro realizzazione, sia del livello di zincatura ideale per evitare problematiche nel tempo. Una speciale resinatura ne aumenta notevolmente la tenuta, differenziandole dalle tradizionali graffe presenti sul mercato.



Lamelle tipo WN:
WN09BK per OSB ≥ 15 mm
WN12BK per OSB ≥ 18 mm
WN15BK per OSB ≥ 22 mm



PREBENA®

LINEARoxMetal

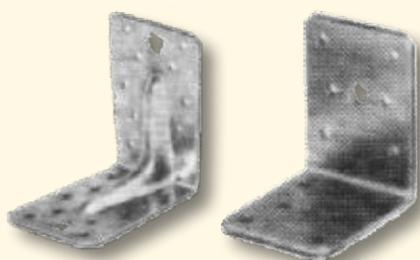
Angolari rinforzati 1055KR



RoofRox propone una linea completa di angolari di produzione tedesca appositamente studiati per la realizzazione di edifici in legno. I nostri angolari sono prodotti con i più severi standard qualitativi, selezionando i migliori metalli e le più resistenti finiture disponibili. L'angolare 1055KR, per esempio, è studiato appositamente per la congiunzione fra parete e banchina, in modo da garantire un perfetto sostegno della stessa.

L'angolare HTT è conosciuto nel mondo come uno dei migliori angolari per la costruzioni di edifici in legno anche multipiano. Le certificazioni che accompagnano questi prodotti sono le più severe ed accreditate disponibili sul mercato.

Angolari 1051



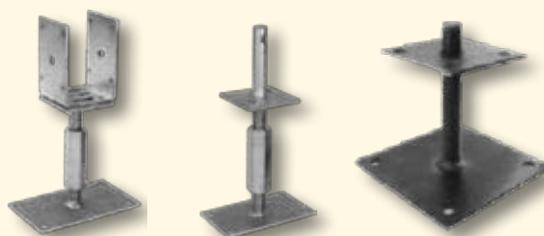
Angolari 1058 HTT



Portapilaastro tipo Z2



La vasta gamma di portapilastrini distingue RoofRox per la sua versatilità di proposte: un sostegno per ogni tipo di applicazione. I materiali con i quali sono prodotti i nostri portapilastrini garantiscono un perfetto sostegno e una tranquillità di utilizzo senza eguali. Sfolgiando il catalogo generale RoofRox, potrete trovare il prodotto più adatto alle vostre esigenze.



Staffa a T

Quando si ha necessità di congiungere due elementi in legno senza che si veda il tipo di congiunzione, sicuramente uno dei prodotti più conosciuti è la staffa a T. RoofRox propone staffe di diverse misure in modo da potersi adattare ad ogni esigenza di sezione. Ancoraggi sicuri, prodotti con materiali selezionati di provenienza tedesca e geometrie particolari garantiscono tenute strabilianti. Una grande novità è quella di poterli richiedere anche in alluminio.

Staffe a T disponibili anche in alluminio!



Giunzione con staffa RoofRox ad ali esterne fissata con chiodi ad aderenza migliorata

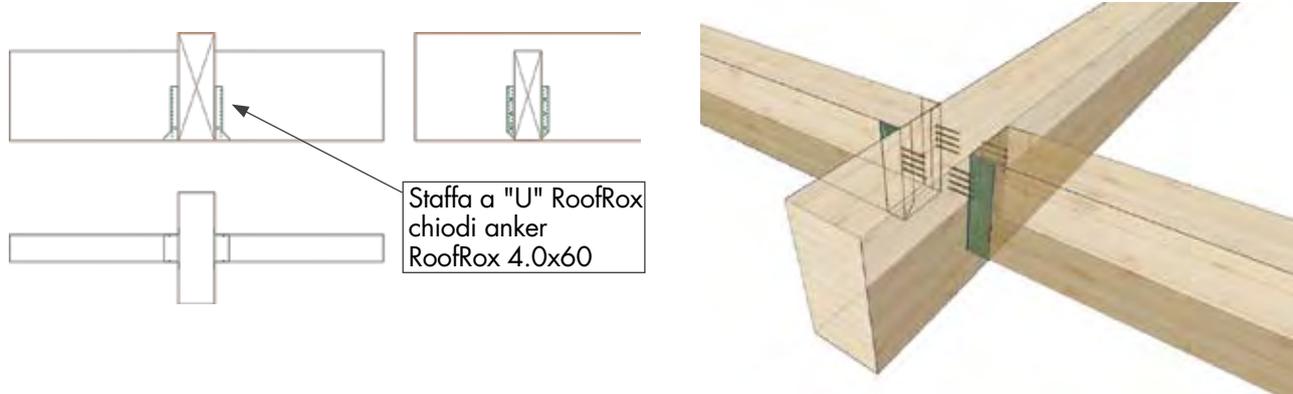


Fig. 6.7 - Giunzione con staffa ad ali esterne RoofRox

Connessione con viti RoofRox giunzioni

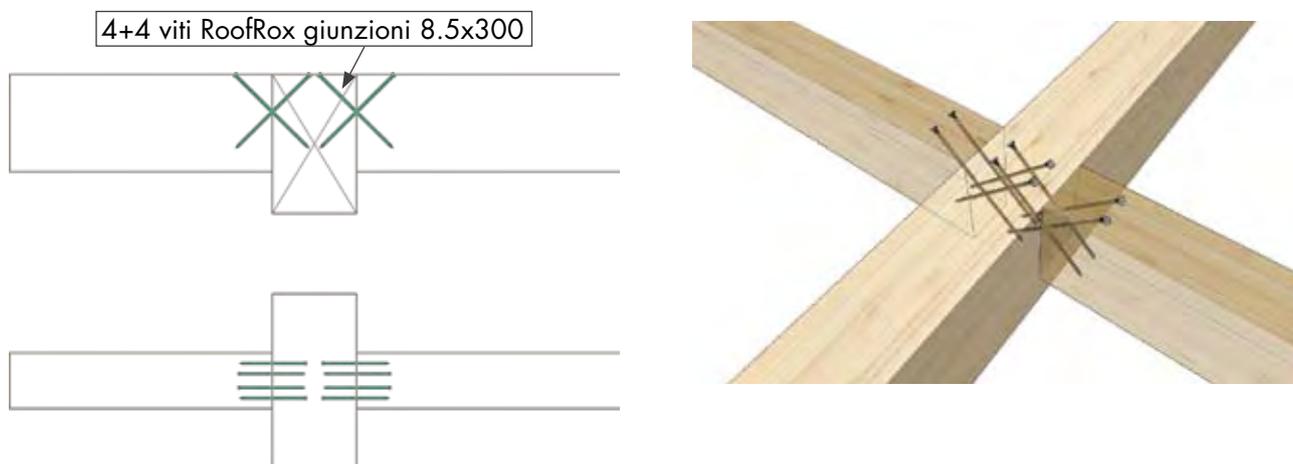


Fig. 6.8 - Giunzione con viti giunzione

Giunzione puntone-tirante capriata

Nota: la vite è necessaria per prevenire eventuali fenomeni di inversione del carico dovuti a vento o sisma.

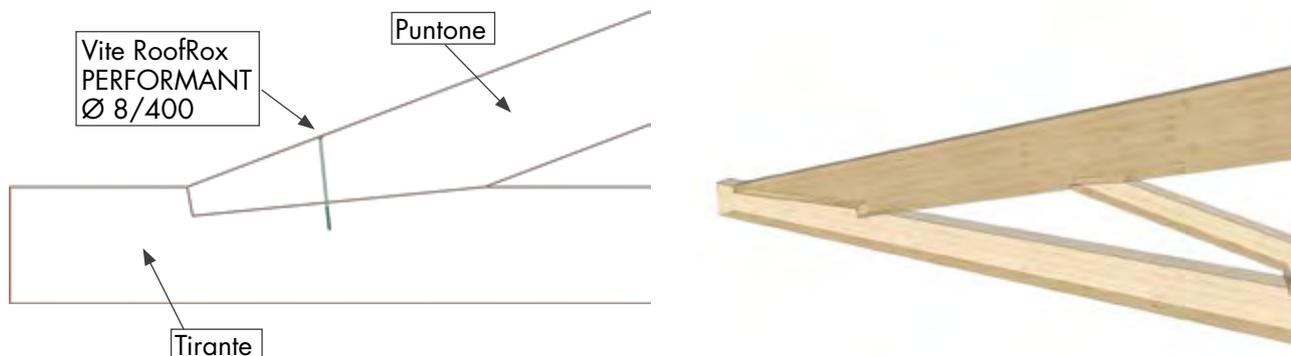


Fig. 6.9

Giunzione puntone-monaco capriata

Nota: la vite è necessaria per prevenire eventuali fenomeni di inversione del carico dovuti a vento o sisma.

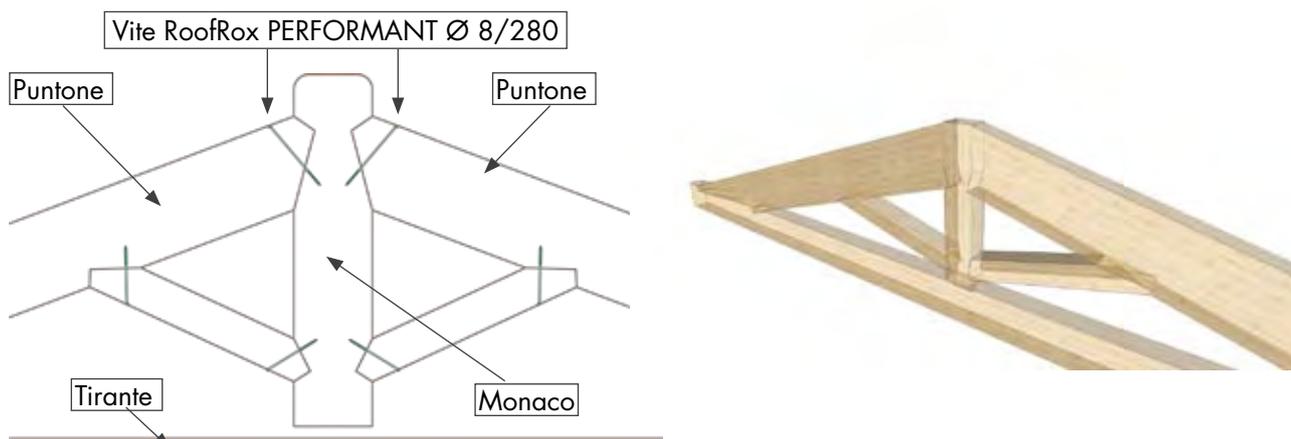


Fig. 6.10

Giunto rigido o giunto a momento

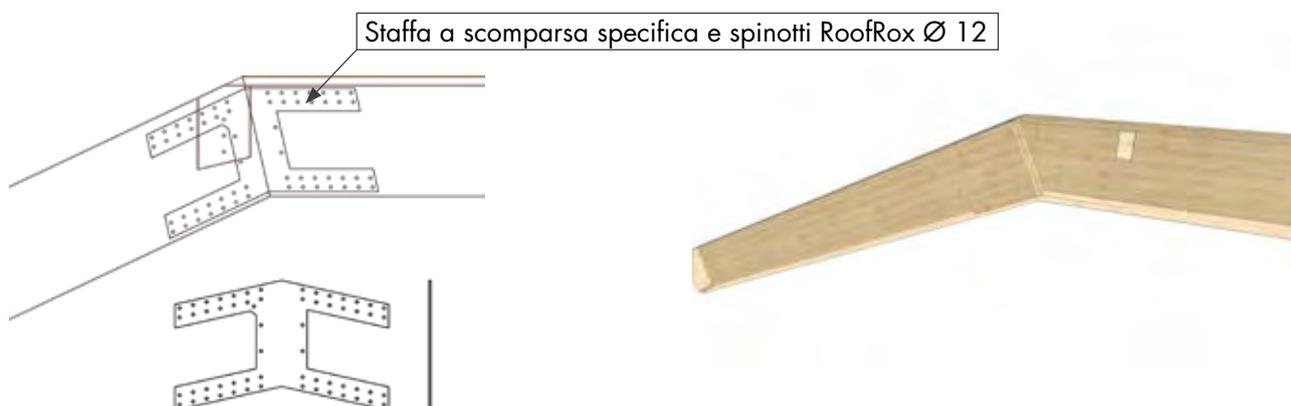


Fig. 6.11

Il giunto rigido viene utilizzato quando si presenta una copertura con pochi appoggi e si deve pertanto ricorrere ad un sistema di travi con pendenza variabile connesse rigidamente tra loro.

La realizzazione della connessione richiede il dimensionamento e la progettazione di ferramenta specifica che solitamente presenta la forma di una freccia come indicato in figura. Sono inoltre richieste opportune lavorazioni sulle travi per l'inserimento della piastra metallica e degli spinotti.

Giunto a coda di rondine

Come visto nelle immagini precedenti la connessione con tasca a coda di rondine viene spesso utilizzata per agevolare le operazioni di montaggio in cantiere e comunque garantire delle discrete prestazioni statiche. Si ritiene quindi opportuno riportare alcune osservazioni in merito a questo argomento.

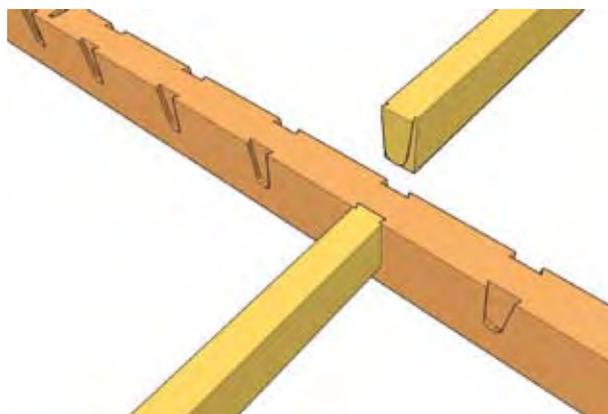


Fig. 6.12

La giunzione a coda di rondine presenta caratteristiche geometriche variabili in base alle preferenze del progettista ed alle capacità produttive del centro taglio; solitamente la profondità della tasca viene comunque limitata a 30mm. A differenza della tasca classica la connessione a coda di rondine presenta pareti laterali inclinate anziché verticali in maniera tale da trasferire parte del carico di appoggio su di una superficie maggiore. La verifica completa di questa tipologia di connessione è piuttosto complessa e si rimanda pertanto a letteratura specifica onde evitare una sovrastima della capacità portante e soprattutto l'innescarsi di crepe longitudinali sia nell'elemento secondario che in quello principale a causa di fenomeni di trazione ortogonale alle fibre (meccanismo di rottura di tipo fragile e privo di duttilità). Si raccomanda di garantire una adeguata distanza dal bordo della trave principale misurata in senso longitudinale e di valutare la capacità portante complessiva non considerando i singoli contributi dati da più mezzi di unione (es.: viti più tasca) ma solo quelli effettivamente strutturali. Un aspetto estremamente importante ma purtroppo spesso trascurato è l'indebolimento della sezione della trave principale: le fresature su uno o due lati producono infatti una riduzione della capacità portante come mostrato nella figura seguente:

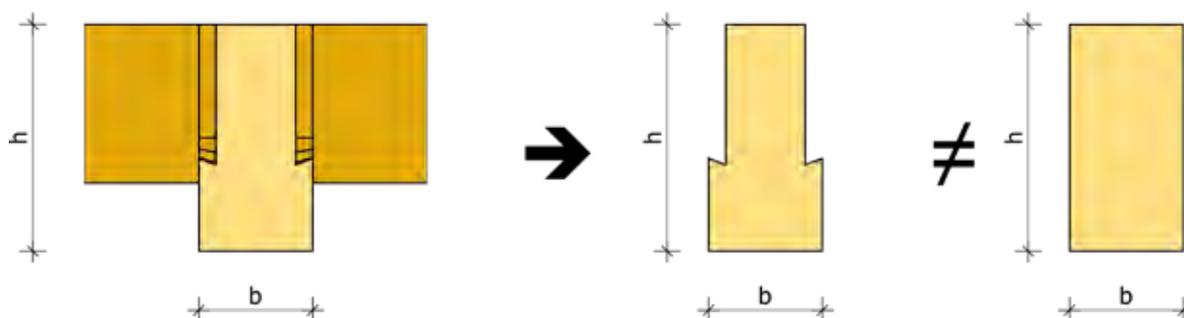


Fig. 6.13

A sinistra viene mostrata la situazione una volta posata l'orditura secondaria, mentre l'immagine centrale presenta la sezione della trave principale risultante dopo le lavorazioni. Risulta pertanto evidente come quest'ultima sia diversa da quanto mostrato nell'immagine di destra ovvero la sezione priva di lavorazioni. Dal punto di vista puramente tecnico si ha una sensibile riduzione dei parametri J (momento di inerzia) e W (momento statico). La presenza dell'orditura secondaria che "chiude" il vuoto non apporta migliorie statiche in quanto:

- Non sempre il lembo superiore della trave risulta compresso. Per esempio in una trave su più campate con carico uniforme il momento si inverte in prossimità degli appoggi centrali.
- Vi sono delle tolleranze dimensionali tra le due orditure che non consentono una perfetta aderenza delle superfici.
- Le deformazioni per effetto delle variazioni di umidità non sono uniformi tra i due elementi che non risultano così sempre perfettamente combacianti.

Un ulteriore effetto che va assolutamente tenuto in considerazione è dato dall'eventuale taglio in pendenza sull'estradosso della trave come mostrato nella seguente figura.

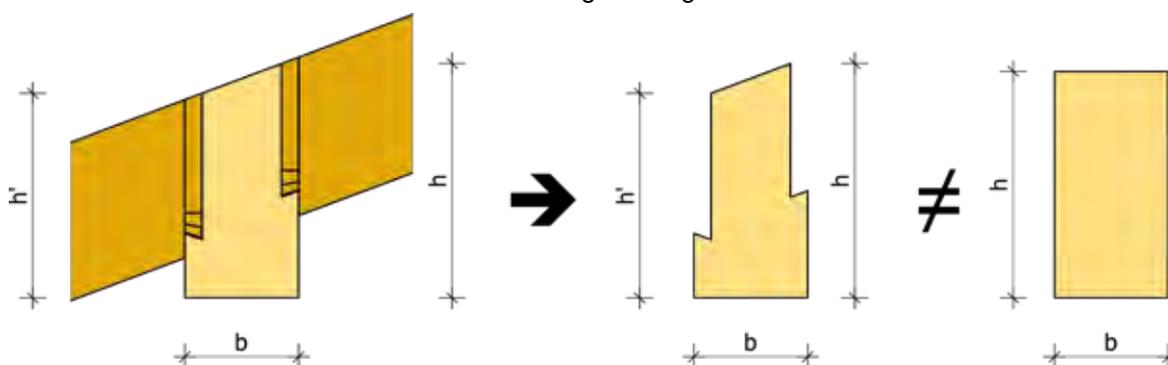


Fig. 6.14

Nota: la riduzione in termini di portata per effetto delle tasche e del taglio in pendenza può anche raggiungere e superare il 20%!

Rinforzo con viti RoofRox giunzioni nel caso di compressione ortogonale alle fibre



Fig. 6.15

Rinforzo con viti RoofRox giunzioni nel caso di trazione ortogonale alle fibre



Fig. 6.16

Rinforzo con viti RoofRox giunzioni nel caso di fori all'interno della trave

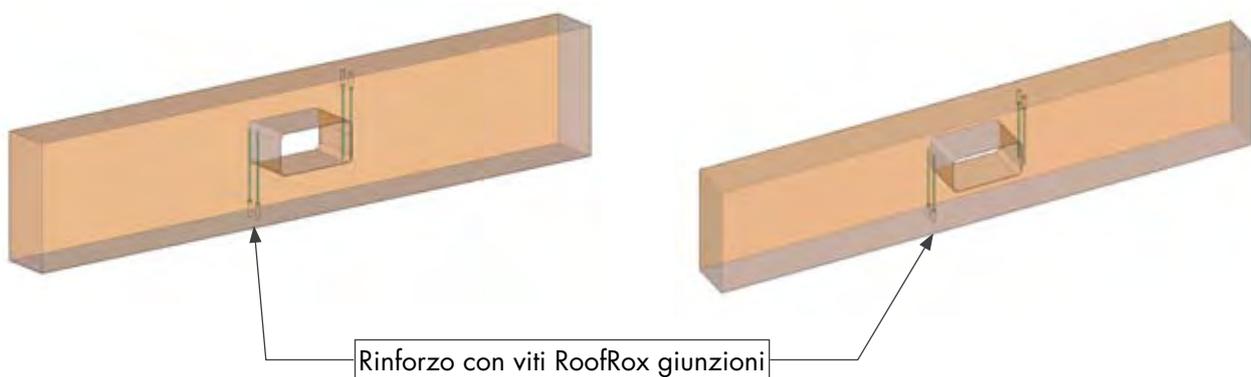
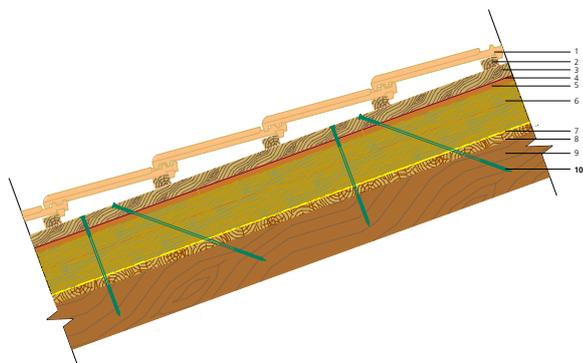


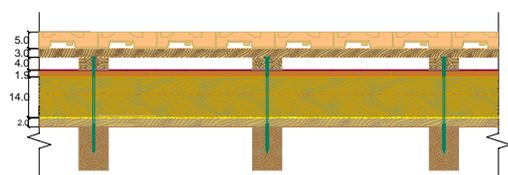
Fig. 6.17

Sistema di fissaggio innovativo per tetti ventilati con viti RoofRox ISOLANT



Descrizione degli strati:

- 1) Tegole in cotto
- 2) Listello portategola
- 3) Listello di ventilazione 40 mm
- 4) Membrana altamente traspirante
- 5) Pannello in fibra di legno
- 6) Pannello isolante in fibra di legno
- 7) Membrana freno al vapore
- 8) Tavolato in legno 20 mm
- 9) Struttura portante in legno
- 10) Viti RoofRox ISOLANT**



La vite ISOLANT garantisce un inserimento preciso e un sostegno garantito del listello di ventilazione. Il risultato finale evidenzia che la vite ISOLANT è un prodotto di eccellenza!

Fig. 6.18 - Fissaggio listello su isolante morbido con viti RoofRox ISOLANT

Il notevole aumento delle coperture in legno ha innescato una rapidissima evoluzione dei sistemi e dei materiali costruttivi. L'adozione di isolanti sempre più efficienti ed efficaci ha posto nuovi quesiti al mondo dei sistemi di fissaggio.

L'esperienza di RoofRox e il continuo confronto con le specifiche richieste dei nostri clienti professionali hanno portato alla creazione della vite ottimale per il fissaggio del pacchetto isolante nelle coperture in legno. La doppia filettatura permette il bloccaggio del listello di ventilazione rispetto al correntino. In caso di materiali isolanti soffici (non portanti) il problema principale è il possibile schiacciamento dovuto al peso del materiale sovrastante: listellatura, controlistellatura, teli, tegole, coppi o lastre in materiale roccioso, ganci, neve... La presenza del filetto sottotesta assorbe il carico dovuto alla presenza di tutto questo materiale, evitando antiestetici schiacciamenti che influenzano anche il comportamento termico e acustico dell'edificio.

Ne segue che queste viti vanno dimensionate opportunamente per arrivare a garantire le prestazioni richieste ed evitare oltre allo schiacciamento dell'isolante lo scivolamento verso il basso del manto di copertura assieme alla listellatura. Il numero e la tipologia delle viti così come la loro lunghezza vanno determinati sulla base dei seguenti parametri:

- spessore e caratteristiche meccaniche dell'isolante (resistenza a compressione del materiale indicato con $\sigma_{d10\%}$ in kPa)
- entità delle forze in gioco: peso proprio manto di copertura, carico neve, carico vento
- caratteristiche geometriche dei listelli di ventilazione
- pendenza e dimensioni della falda

In base alla situazione specifica si potrà quindi scegliere tra una prima soluzione che prevede l'utilizzo di solo viti RoofRox Isolant ed una seconda in cui si utilizzano viti RoofRox Isolant abbinata a viti RoofRox giunzioni.

Software di calcolo per viti ISOLANT

L'utilizzo di viti specifiche per il fissaggio del listello di ventilazione e di quanto vi sta sopra diventa sempre più importante man mano che lo spessore della coibentazione, i carichi esterni e la pendenza della falda aumentano. Un fissaggio tradizionale per mezzo di semplici viti torx si rivela infatti insufficiente a contrastare le forze di scorrimento e di compressione anche nel caso di isolanti ad alta densità resistenti a compressione. Grazie all'utilizzo di viti specifiche e disposte opportunamente le forze vengono scomposte in maniera tale da avere solo sollecitazioni di tipo assiale (trazione e compressione).

La ditta RoofRox mette a disposizione un software di calcolo gratuito, specificatamente realizzato per il dimensionamento di queste viti tenendo conto dei parametri trattati sopra.

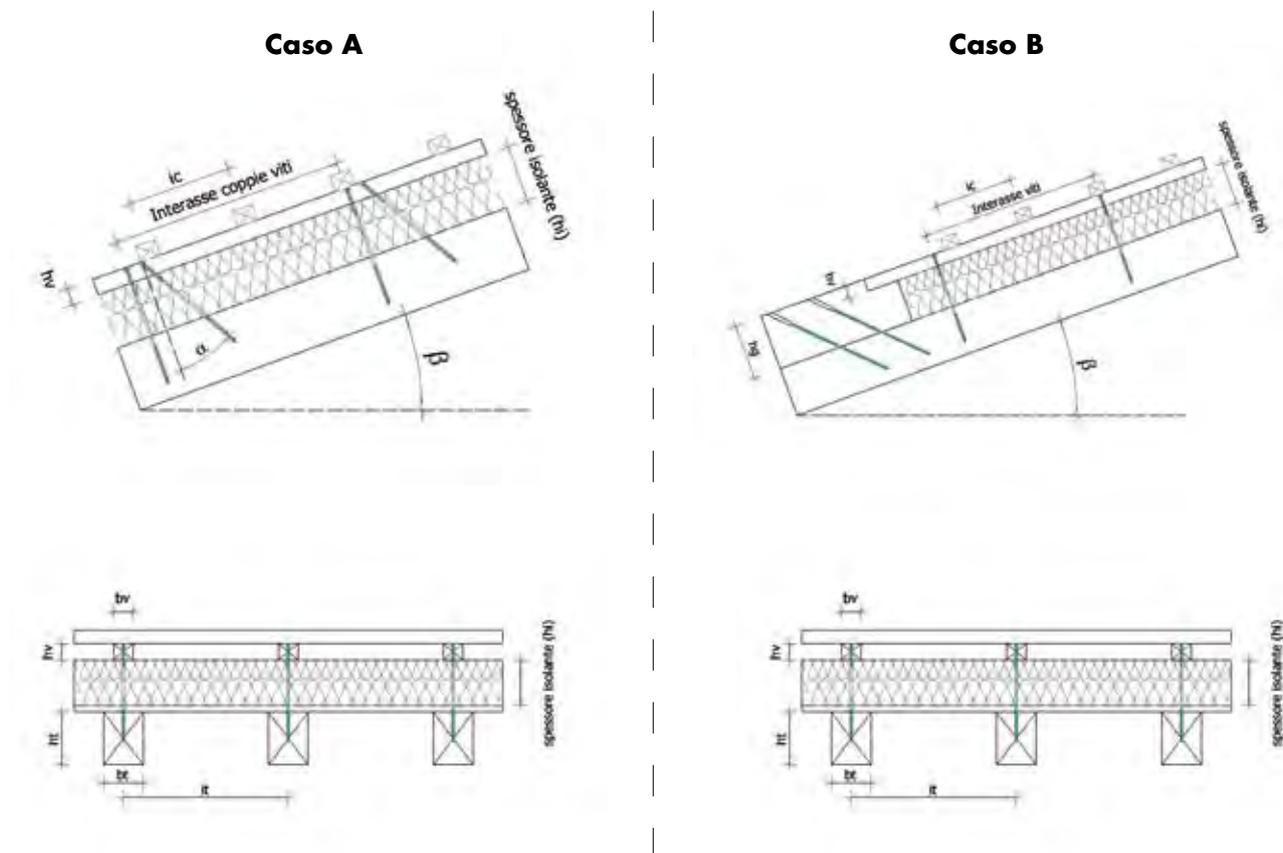


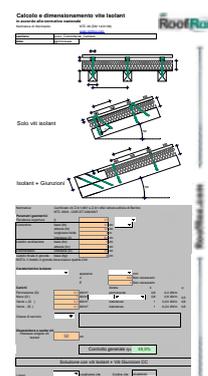
Fig. 6.19 - Fissaggio listello su isolante morbido con viti RoofRox ISOLANT

Attualmente il sistema più utilizzato prevede il fissaggio con una vite con testa svasata piana di diametro $\varnothing 6$ mm, con una resistenza ammissibile di circa 70 kg; la filettatura sottostante della VITE ISOLANT garantisce invece una resistenza di più di 240 kg.

Disponibile su richiesta il software di calcolo



Scaricabile gratuitamente sul sito internet www.roofrox.com registrandosi nell'aria riservata ai progettisti



7. Sistemi costruttivi di case in legno

Il legno è stato il primo materiale utilizzato per la costruzione delle case sin dall'antichità grazie al fatto che era facilmente reperibile in natura e lavorabile anche con strumenti semplici e rudimentali. Basti pensare alle palafitte, alle costruzioni sugli alberi, i templi giapponesi, persino una meravigliosa città come Venezia poggia su fondazioni realizzate con pali di legno. Per molti secoli il legno è stato l'unico materiale da costruzione che l'uomo aveva a disposizione per conquistare l'orizzontalità: per un solaio o per superare un piccolo ruscello. Noi tutti da piccoli abbiamo costruito delle torri con la sola sabbia, magari riuscivamo anche a farle piuttosto alte, ma ci siamo ben presto scontrati con l'impossibilità di realizzare ponti: ci serviva infatti un materiale che fosse in grado di resistere a trazione e per questo abbiamo iniziato a cercare dei pezzi di legno.

Le case in legno sono una solida realtà soprattutto nel nord Europa dove la materia prima abbonda come Svezia, Norvegia e Finlandia. In questi stati la quasi totalità delle abitazioni (fino a due piani di altezza) sono realizzate in legno. Anche Germania ed Austria vantano però a loro volta un numero di costruzioni in legno molto elevato ed una lunga tradizione nel settore.

L'Italia è un po' rimasta indietro, bloccata da leggi lacunose e forse anche dalle varie lobbies dei materiali "tradizionali". Una decina di anni fa questo prodotto è stato riscoperto, analizzato, capito e soprattutto utilizzato quasi in fase pionieristica. I primi coraggiosi costruttori venivano persino derisi ed additati con frasi del tipo: "Quello costruisce casette in legno!". La voglia del committente di avere qualcosa di nuovo, di diverso dal solito; la volontà di avere una abitazione più sana e che garantisca elevati livelli di comfort abitativo hanno fatto sì che la casa in legno venisse comunque sempre più richiesta sul mercato e che si conquistasse un suo meritato spazio.



Fig. 7.1 - Costruzione multipiano a pannello



Fig. 7.2 - Una delle più antiche costruzioni in legno, datata 1497, nelle Alpi Orientali si trova al Museo provinciale degli usi e costumi a Teodone/Brunico (BZ)

Questo sviluppo rapido ha però avuto come risvolto negativo quello che i progettisti (giovani o vecchi che siano) non hanno avuto il tempo, o la voglia, necessari per studiare e capire il prodotto fino in fondo. Molti si sono improvvisati creando non pochi problemi all'utente finale e magari rovinando anche il mercato con realizzazioni di bassa qualità.

La presente pubblicazione vuole pertanto cercare di fare un po' di chiarezza sulle principali tipologie costruttive senza avere la pretesa di fornire tutti gli strumenti necessari alla loro progettazione: per quello si rimanda a testi specifici ed alle indicazioni dei vari produttori. Sono state inoltre riportate a titolo di esempio alcune stratigrafie tipo con le indicazioni delle prestazioni termiche estive ed invernali.

Ogni produttore e/o progettista può apportare le modifiche che ritiene più opportune in base alla zona climatica dove ci si trova privilegiando di volta in volta le prestazioni invernali piuttosto che quelle estive. La scelta dei materiali corretti posti nel giusto ordine diventa così determinante.

7.1 Blockhaus

La tecnologia Blockbau rappresenta forse una delle più conosciute in quanto utilizzata per la realizzazione di numerose baite alpine dove tronchi opportunamente sagomanti e lavorati vengono sovrapposti ed incrociati sugli angoli spesso con esemplare maestria da parte di esperti carpentieri. Questa tipologia ha pertanto radici piuttosto lontane nel tempo ed è stata oggetto di numerose migliorie negli ultimi anni grazie all'avvento delle macchine a controllo numerico. Ciononostante essa presenta tutt'ora alcune criticità di non facile soluzione: tenuta all'aria, movimenti nel tempo in conseguenza dei cambiamenti climatici, stabilità strutturale. Lo spessore della sola parte strutturale parte da indicativamente 140mm.

Il blockbau viene spesso scelto proprio in virtù della finitura estetica esterna che ricorda le baite alpine ed è pertanto piuttosto raro trovare una coibentazione esterna; l'isolante viene quindi prevalentemente posto nella parte interna.

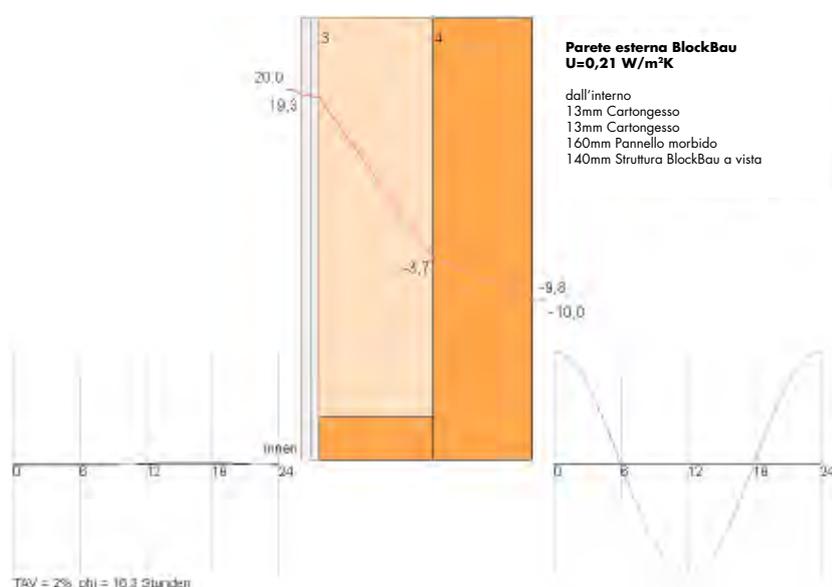


Fig. 7.3 - Esempio di analisi termoigrometrica parete blockhaus

7.2 Telaio (Holzrahmenbau o Platform frame)

Il telaio è senza alcuni dubbio tra le tipologie costruttive più antiche e di conseguenza anche pluri-collaudate. Essa si compone di montanti verticali disposti ad interasse costante e chiusi in alto ed in basso da altri due elementi sempre in legno. L'insieme così ottenuto è naturalmente labile, privo di capacità portante nei confronti dei carichi orizzontali e si deve pertanto approntare un sistema di controventamento che normalmente è realizzato o con pannelli (OSB, MDF, etc...) o con un tavolato grezzo disposto a 45°. Allo stato attuale si tende ad utilizzare il pannello OSB sul lato interno così da avere allo stesso tempo tenuta all'aria e regolazione del passaggio del vapore: l'OSB presenta infatti un valore di permeabilità al vapore $\mu=200-300$ e considerando uno spessore di 15mm si arriva a $Sd=3.0m-4.5m$ ovvero un fre-



Fig. 7.4 - Costruzione a telaio vista dall'interno

no vapore. Lo spessore dei montanti è normalmente compresa tra i 120mm ed i 160mm con base tra 80mm e 120mm mentre i pannelli di rivestimento hanno spessore tra 15 mm e 30 mm.

I vuoti tra un montante e l'altro sono quindi riempiti con del materiale isolante prima della chiusura della parete sul lato esterno. Internamente viene ricavato un vano per la posa degli impianti ed esternamente viene applicato un ulteriore pannello isolante. Le finiture interne ed esterne possono essere le più diverse: cartongesso, fibrogesso, pannelli porta intonaco, facciate ventilate, etc...

Si raccomanda di eseguire sempre una analisi termoigrometrica per evitare la formazione di pericolose condense interstiziali che potrebbero sul medio termine causare il deterioramento anzitempo della parete.



Fig. 7.5 - Costruzione a telaio

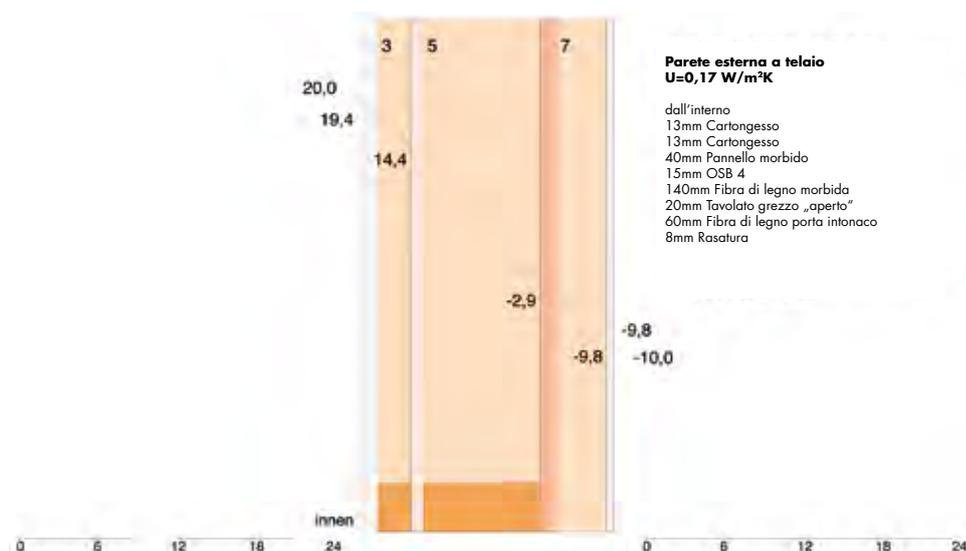


Fig. 7.6 - Esempio di analisi termoigrometrica parete e telaio



Fig. 7.7 - Esempio di progettazione CAD di casa a telaio

Attenzione: dal punto di vista termico la struttura a telaio presenta una disomogeneità costituita dai montanti. Il suo effetto va considerato in fase di calcolo in accordo alle indicazioni contenute nella norma UNI EN ISO 6946.

Le figure seguenti mostrano il risultato di una analisi termica ad elementi finiti di una struttura tipo a telaio: visualizzazione aree, isoterme e flusso termico.

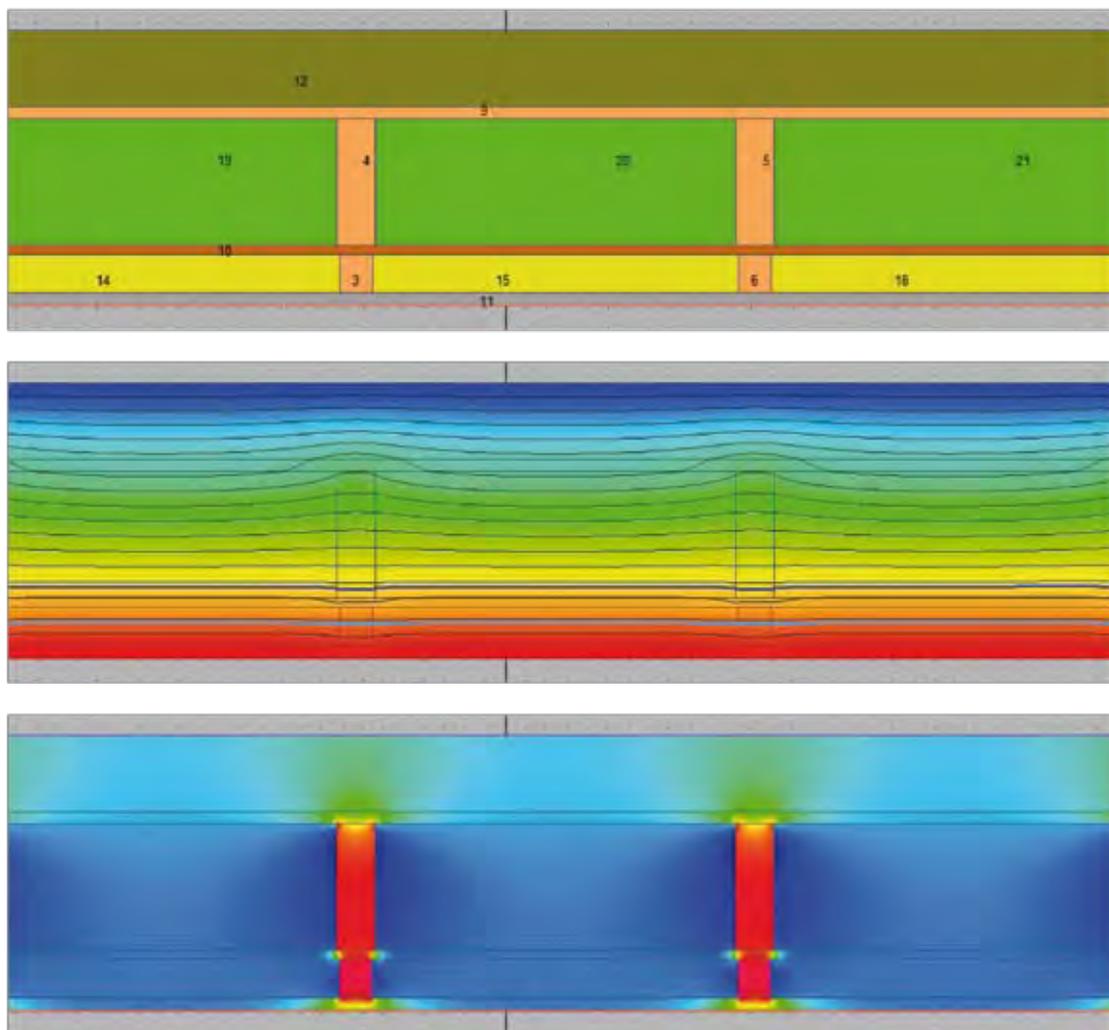


Fig. 7.8 - Analisi termica ad elementi finiti di una parete a telaio

Si può vedere come le isoterme si discostino dalle condizioni di parallelismo in prossimità dei montanti generando quindi un ponte termico di modesta entità ma che comunque va considerato. L'immagine del flusso mette poi in evidenza i punti dove si concentrano le dispersioni ovvero attraverso i materiali con conducibilità maggiore (legno rispetto all'isolante circostante: $\lambda=0.13\text{W/mK}$ contro $\lambda=0.04\text{W/mK}$). La presenza dei montanti peggiora le prestazioni termiche anche del 10-15%.

La progettazione di una struttura a telaio, analogamente a quanto avviene per le altre tipologie, non può prescindere dall'utilizzo di un software CAD tridimensionale che permette di disegnare ogni singolo dettaglio da far poi eseguire alle macchine a controllo numerico. Questa fase è particolarmente delicata ed indubbiamente basilare per la buona riuscita della costruzione.



Fig. 7.9 Struttura a telaio in fase di montaggio



7.3 Pannello chiodato

Il fissaggio tra i vari strati di tavole che compongono la parete può essere fatto per mezzo di chiodi (o altri elementi metallici). Il risultato è un pannello mulistrato in legno con delle proprietà statiche e termoigrometriche ben specifiche: spessore elevato (per le pareti si parte da indicativamente 160mm), peso notevole e di conseguenza buona inerzia termica estiva. Analogamente a quanto si vedrà per l'Xlam nei paragrafi successivi anche questa tecnica costruttiva è piuttosto recente e le prestazioni termiche della pareti con essa realizzate vengono migliorate aggiungendo un cappotto esterno ed una coibentazione interna (vano tecnico per impianti).



Fig. 7.10 - Parete a pannello chiodato

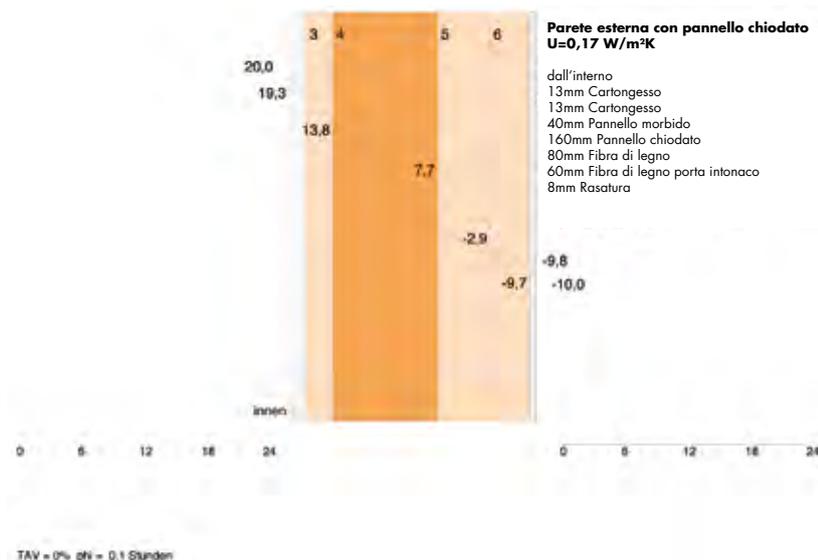


Fig. 7.11 - Esempio di analisi termoigrometrica parete a pannello chiodato

In egual maniera all'Xlam anche la parete fissata con chiodi non presenta intrinsecamente delle disomogeneità da considerare nel calcolo termico. Solitamente questi elementi monolitici non garantiscono autonomamente la tenuta all'aria ed è pertanto necessario utilizzare una membrana esterna che non comprometta le verifiche igrometriche: si suggerisce l'utilizzo di guaine traspiranti con $S_d < 0,1 \text{ m}$.

7.4 Pannello con perni

Altra variante al caso visto precedentemente è rappresentata dai pannelli dove i chiodi vengono sostituiti con perni in faggio (a bassissimo contenuto di umidità) infissi a pressione in opportuni fori calibrati effettuati trasversalmente alla parete che ha spessori indicativamente dai 160mm in su. I perni sono quindi bagnati così da produrre un aumento permanente del loro diametro e rendere solidali le tavole componenti i vari strati.

Un'ulteriore variante piuttosto recente, a dimostrazione del grande fermento che circonda il settore delle costruzioni in legno, prevede l'utilizzo di perni filettati e quindi avvitati anziché infissi e poi bagnati.

La coibentazione esterna ed interna completa la parete in maniera analoga ai casi precedenti.



Fig. 7.12 - Costruzione a pannello fissato con perni

In questi ultimi due casi le prestazioni termiche sono talvolta incrementate (ovvero si riduce il valore della conducibilità λ [W/mK]) considerando gli strati d'aria ferma che si formano tra le tavole.

In accordo alle indicazioni legislative nazionali l'eventuale valore migliorato del parametro λ deve essere dichiarato nel certificato CE; un singolo test di laboratorio non autorizza l'utilizzo di valori di conducibilità diversi da quelli del legno massiccio con flusso ortogonale alla fibra ($\lambda=0.13\text{W/mK}$).

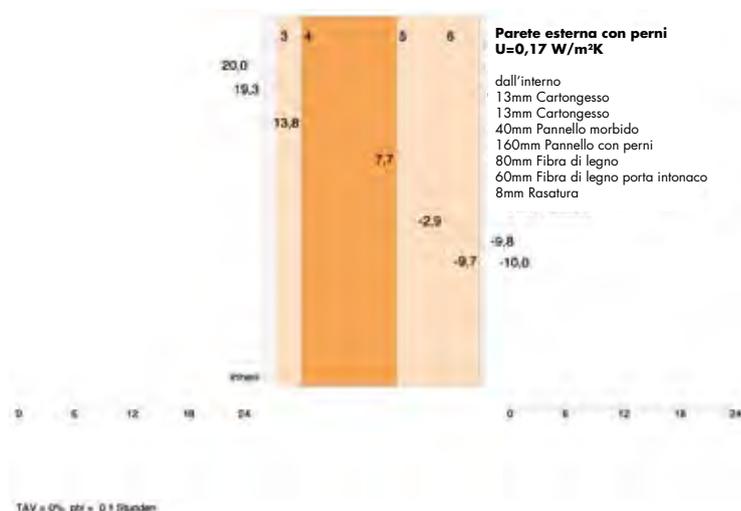


Fig. 7.13 - Esempio di analisi termoigrometrica parete a pannello fissato con perni

Come già scritto nei paragrafi sopra queste ultime due tipologie costruttive (chiodi e perni) presentano spessori delle pareti in opera piuttosto elevati da cui ne deriva un peso kg/m^2 della parete grezza anch'esso alto: circa 100kg/m^2 . Questa caratteristica deve essere considerata in fase di programmazione della posa per il corretto dimensionamento della gru di cantiere.

7.5 Pannello incollato (X-Lam)



Fig. 7.14 - Costruzione a pannello



Fig. 7.15 - Costruzione a pannello

Il pannello multistrato (o CrossLam o X-Lam) è un'invenzione recente ed è arrivato sul mercato poco più di una decina di anni fa come prodotto di sfogo per il recupero del legname di seconda qualità non adatto alla produzione del legno lamellare. La produzione prevede l'incollaggio di diversi strati di tavole sovrapposti ed incrociati tra loro a 90° a formare una struttura bidimensionale anche di grandi dimensioni; il numero di strati e lo spessore finale dipende dal produttore e dalla resistenza richiesta dal progettista.

La pressione necessaria per garantire l'ideale presa dell'incollaggio viene effettuata per mezzo di pistoni idraulici (vedere foto seguente) o in alternativa aspirando aria e quindi creando il vuoto all'interno di un "sacco" a perfetta tenuta nel quale è inserito il pannello in fase di produzione. Per quanto riguarda le dimensioni massime del pannello il vincolo principale è rappresentato dal trasporto per cui solitamente ci si limita ad una larghezza di 3.0m per una lunghezza di 12.0m circa.

Dal punto di vista statico il pannello ha un'elevatissima rigidità nel suo piano ed è estremamente versatile in quanto può essere utilizzato per la realizzazione di pareti, solai piani ed inclinati, travi parete, etc... In assenza di problematiche specifiche le pareti hanno spessore compreso tra gli 80mm ed i 100mm sufficienti per arrivare fino a 3 piani; oltre questo numero di piani l'altezza deve generalmente essere aumentata. Se utilizzato come elemento solaio gli spessori aumentano variando da 140mm fino anche a 300mm ed oltre per richieste particolari.



Fig. 7.16 Pressa idraulica per l'incollaggio dei pannelli



Nella scelta del tipo di pannello è molto importante considerare la tenuta all'aria che deve essere certificata dal produttore.

Nel caso in cui il prodotto sia sprovvisto di tale attestato si deve ricorrere ad una membrana esterna le cui prestazioni siano tali da non compromettere le verifiche igrometriche: si suggerisce l'utilizzo di guaine traspiranti con $S_d < 0.1$ m. Se non viene utilizzata la membrana esterna si deve prestare particolare attenzione affinché tutti i dettagli e giunzioni tra elementi diversi (solaio-parete, tetto-parete, serramento-parete, parete-parete, etc...) garantiscano la tenuta all'aria utilizzando gli opportuni materiali quali nastri butilici o acrilici, nastri espandenti, gomme EPDM, etc...

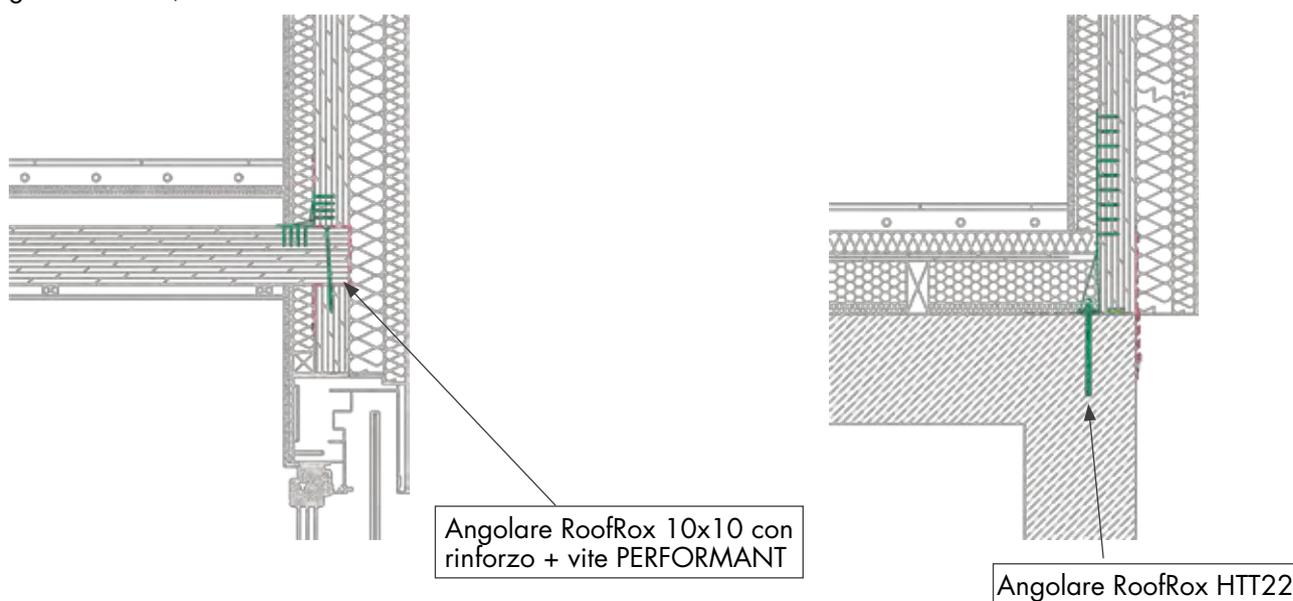


Fig. 7.17 - Esempio di analisi termoigrometrica parete a pannello

La coibentazione di questi pannelli viene applicata sia internamente (vano impianti) che esternamente (finitura a cappotto) come riportato nella figura 7.18.

Dal punto di vista termico la struttura non presenta disomogeneità e pertanto il calcolo può essere svolto in maniera semplice con le formule riportate nella UNI EN ISO 6946.

Vista la presenza di colla tra i vari strati si ritiene opportuno spendere alcune parole relativamente alla traspirabilità del prodotto che rimane garantita come dimostrato dai test di laboratorio e su campo condotti dalle varie case produttrici. Il parametro di traspirabilità μ del pannello Xlam varia tra 60 ed 80 a fronte di valori del legno massiccio puro (tra 40 e 60). Uno strato di colla dello spessore di 0.1 mm ostacola il passaggio del vapore in maniera analoga ad una tavola in legno massiccio di spessore 25mm⁽¹⁾.

Il pannello Xlam ha portato senza alcun dubbio una ventata di novità nel settore delle costruzioni in legno ed ha di fatto permesso a molti soggetti nuovi di affacciarsi sul mercato e proporre il proprio prodotto. Grazie alla loro versatilità e soprattutto all'elevatissima resistenza i pannelli rappresentano il materiale ideale per costruire edifici multipiano.

Il calcolo statico dei pannelli è piuttosto complesso e si rimanda pertanto al capitolo 8 dove l'argomento è trattato in maniera esaustiva.

Il taglio dei pannelli viene fatto con elevata precisione per mezzo di macchine a taglio numerico nel rispetto del progetto precedentemente preparato dall'ufficio tecnico. Come si può vedere dalle foto seguenti sono possibili anche lavorazioni piuttosto complesse.



Fig. 7.18

⁽¹⁾ risultati test effettuati dall'azienda Purbond

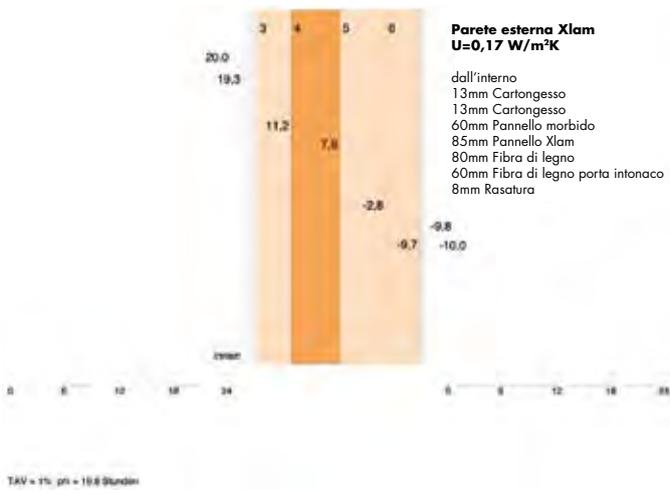


Fig. 7.19 - Esempio di analisi termoigrometrica parete a pannello



Fig. 7.20 - Esempi di costruzioni in X-lam



8. Principi di calcolo statico per i pannelli Xlam

Il calcolo statico dei pannelli Xlam è un argomento non molto conosciuto ai progettisti e merita pertanto di essere approfondito. Di seguito verranno forniti alcuni principi base necessari per poter procedere al dimensionamento dei vari elementi che compongono la struttura: pareti, solaio orizzontale o inclinato.

Va anzitutto precisato che il pannello Xlam non è un materiale omogeneo e la sua composizione a strati incrociati a 90° tra loro accentua ulteriormente alcune caratteristiche proprie del legno di cui si è discusso al paragrafo 1.5. La figura seguente mostra il confronto nel calcolo delle proprietà geometriche ed inerziali necessarie per il calcolo statico mettendo a confronto le possibili situazioni successivamente esposte:

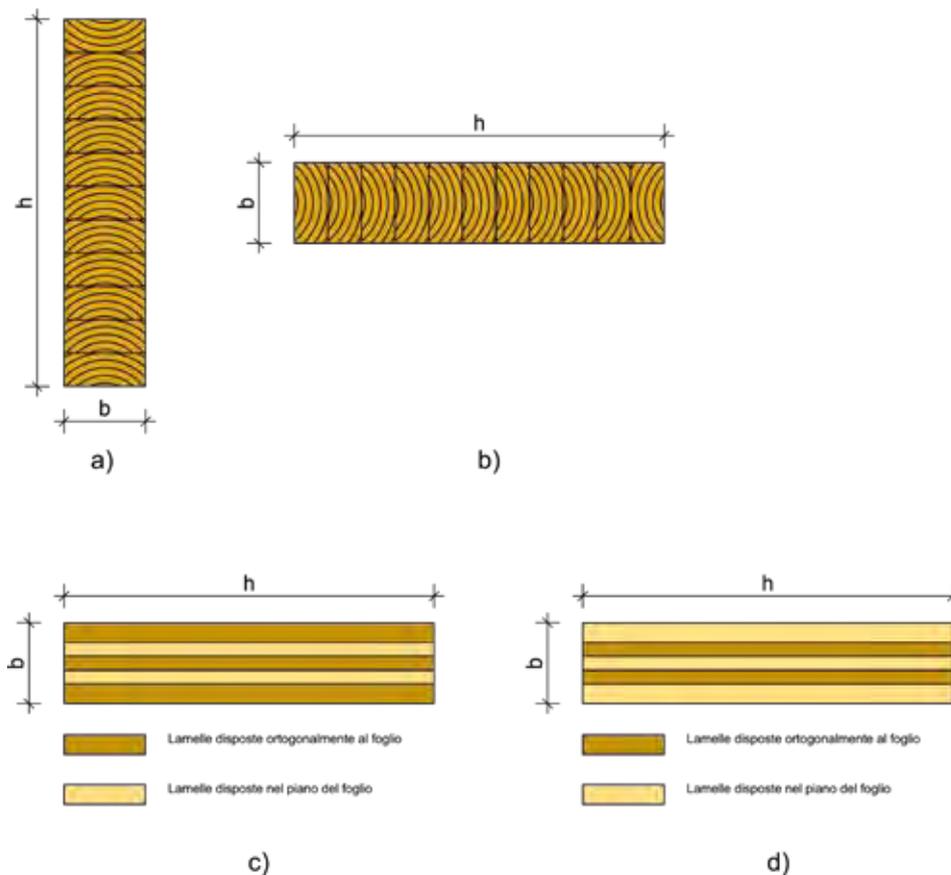


Fig. 8.1

a)	Trave in legno lamellare <ul style="list-style-type: none"> - $A=b \cdot h$ - $W=(b \cdot h^2)/6$ - $J=(b \cdot h^3)/12$ 	b)	Trave in legno lamellare usata come elemento solaio <ul style="list-style-type: none"> - $A=b \cdot h$ - $W=(h \cdot b^2)/6$ - $J=(h \cdot b^3)/12$
c)	Solaio Xlam <ul style="list-style-type: none"> - $A_0=b \cdot h$ - $W_0 < (h \cdot b^2)/6$ - $J_0 < (h \cdot b^3)/12$ 	d)	Solaio Xlam ruotato 90° <ul style="list-style-type: none"> - $A_{90}=b \cdot h$ - $W_{90} < (h \cdot b^2)/6$ - $J_{90} < (h \cdot b^3)/12$

Tab. 8.1

La presenza di strati trasversali all'interno del pannello deve essere tenuta in conto quando si calcolano le proprietà inerziali della sezione poiché rappresenta un indebolimento. Queste lamelle non concorrono infatti all'aumento dell'inerzia se non in minima parte: ne segue che i valori $W_{,0}$ e $W_{,90}$ come anche $J_{,0}$ e $J_{,90}$ risulteranno molto diversi tra loro con una derivante difformità tra le capacità di carico del pannello a 0° e ruotato di 90° . Il calcolo delle reali proprietà geometriche per il dimensionamento a flessione e nei confronti dell'instabilità a compressione va effettuato in accordo alla teoria dell'elasticità tenendo in considerazione l'orientamento delle lamelle ed il loro numero. Senza entrare nel merito dei calcoli specifici si riporta di seguito un esempio numerico.

Dati di partenza:

Sezione rettangolare: $b=1000\text{mm}$, $h=165\text{mm}$

Sezione Xlam 5 strati da 33mm ciascuno

	Sezione piena omogenea	Xlam, 0°¹	Efficienza²	Xlam, 90°¹	Efficienza²
J (mm ⁴)	374343750	299099295	79,9%	87836018	23,5%

Tab. 8.2

I dati sopra riportati possono essere interpretati con un'altra chiave di lettura: la sezione in Xlam, 0° con base 1000mm può essere calcolata e dimensionata come se si trattasse di un elemento omogeneo di base 799mm ed altezza 165mm. Discorso analogo poi per la il pannello ruotato di 90° .

Le due immagini seguenti mostrano il diagramma con l'andamento delle tensioni nei vari strati nelle due condizioni 0° e 90° : a pari sollecitazione di taglio (V_d) e flessione (M_d) la verifica risulta soddisfatta o meno in base all'orientamento degli strati.

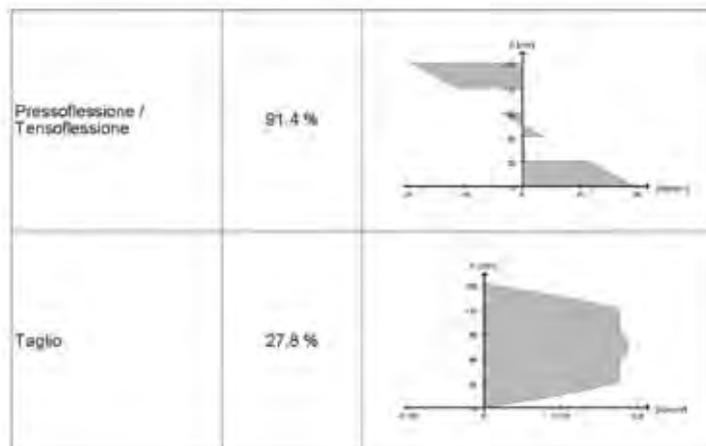


Fig. 8.2

Fig. 8.2 - Diagramma delle tensioni (holz.bau forschungs gmbh, www.cltdesigner.at)

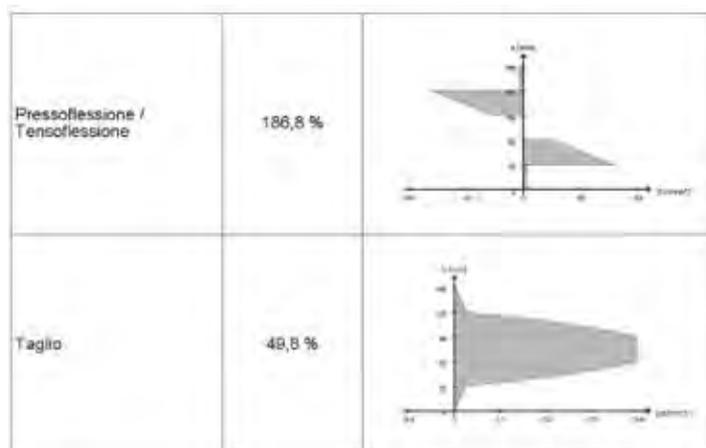


Fig. 8.3 - Diagramma delle tensioni (holz.bau forschungs gmbh, www.cltdesigner.at)

⁽¹⁾ 0° indica che le lamelle sono disposte nel verso di maggior inerzia / ⁽²⁾ L'efficienza è valutata relativamente alla sezione omogenea di partenza

Sulla base di quanto esposto sopra risulta chiaro come sia estremamente importante specificare sempre in fase di progetto l'orientamento che devono avere le lamelle nei singoli pannelli per evitare problemi statici anche molto gravi difficilmente risolvibili in cantiere.

Per gli stessi motivi di cui sopra particolare attenzione dovrà essere prestata alle connessioni che dovranno necessariamente tenere in considerazione l'orientamento dei singoli strati che vanno a comporre la sezione. Ad esempio le viti sviluppano la loro massima resistenza quando sono infisse ortogonalmente alla fibra mentre se infisse parallelamente perdono buona parte della loro capacità portante.

Le analisi computerizzate ad elementi finiti su questo genere di strutture devono tenere in considerazione il loro comportamento ortotropo.

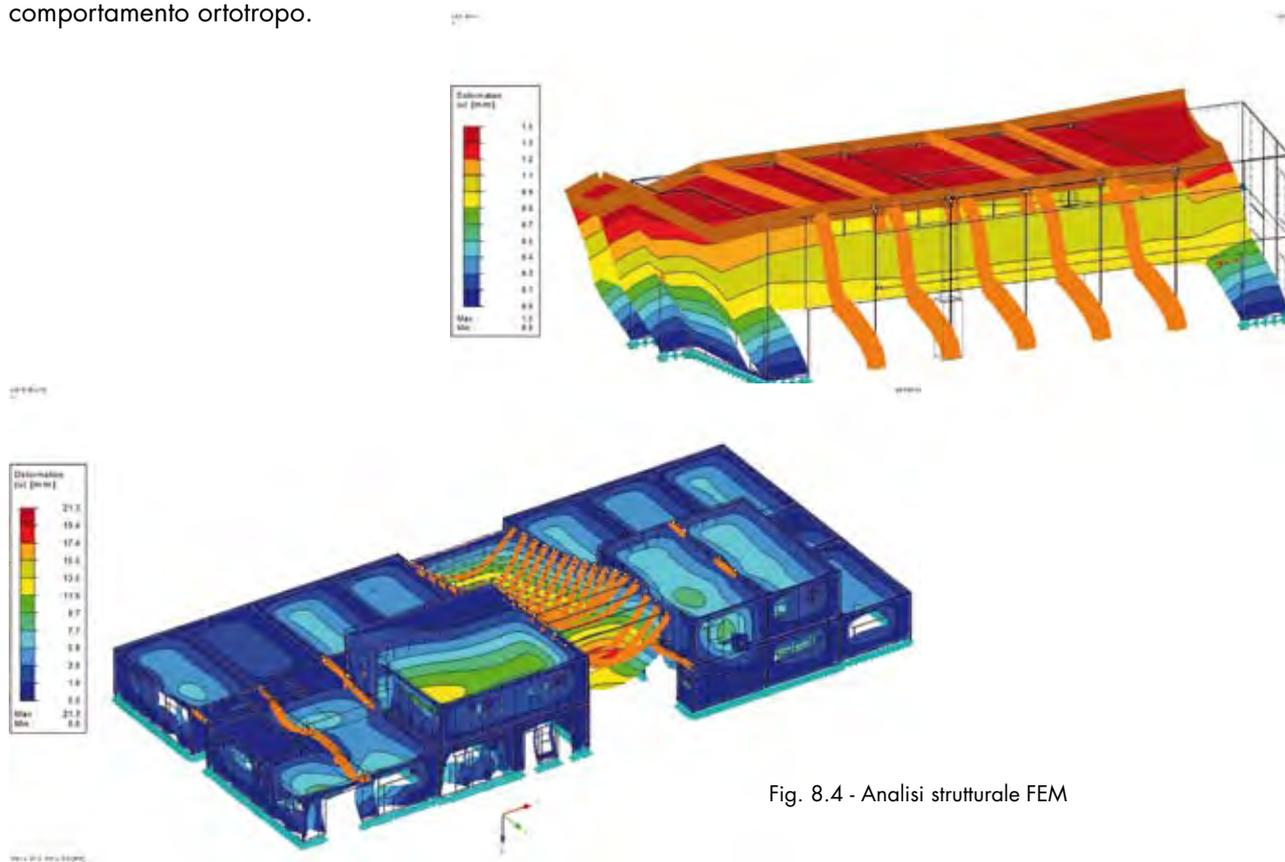


Fig. 8.4 - Analisi strutturale FEM

Esempio di utilizzo speciale degli elementi Xlam come travi parete o travi ponte. La parete appoggia sui due pilastri laterali e porta il peso del solaio e della copertura .



Fig. 8.5 - Pannello X-lam usato come trave parete

9. Schemi di calcolo e distribuzione delle forze per un edificio

Nei paragrafi precedenti si è affrontato il calcolo delle azioni (neve, vento, sisma) con una sintetica presentazione del calcolo di una copertura e le relative connessioni. Il calcolo di un intero edificio è decisamente molto più complesso e spesso richiede l'ausilio di specifici software di calcolo in grado di modellare con buona precisione il comportamento statico e dinamico della struttura esaminata.

L'analisi di un edificio deve tenere in considerazione tutte le azioni viste precedentemente combinate tra loro in maniera opportuna nel rispetto delle indicazioni della normativa NTC '08. Le immagini seguenti mostrano l'analisi ad elementi finiti di un edificio multipiano.

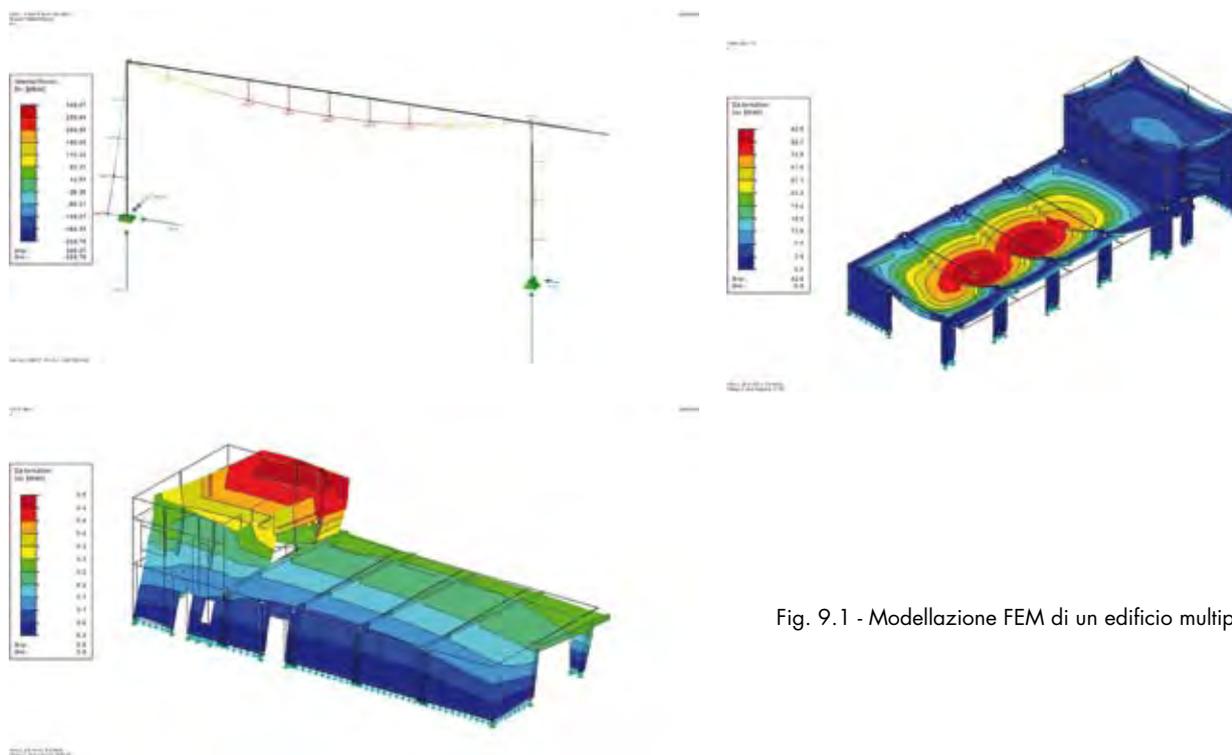


Fig. 9.1 - Modellazione FEM di un edificio multipiano

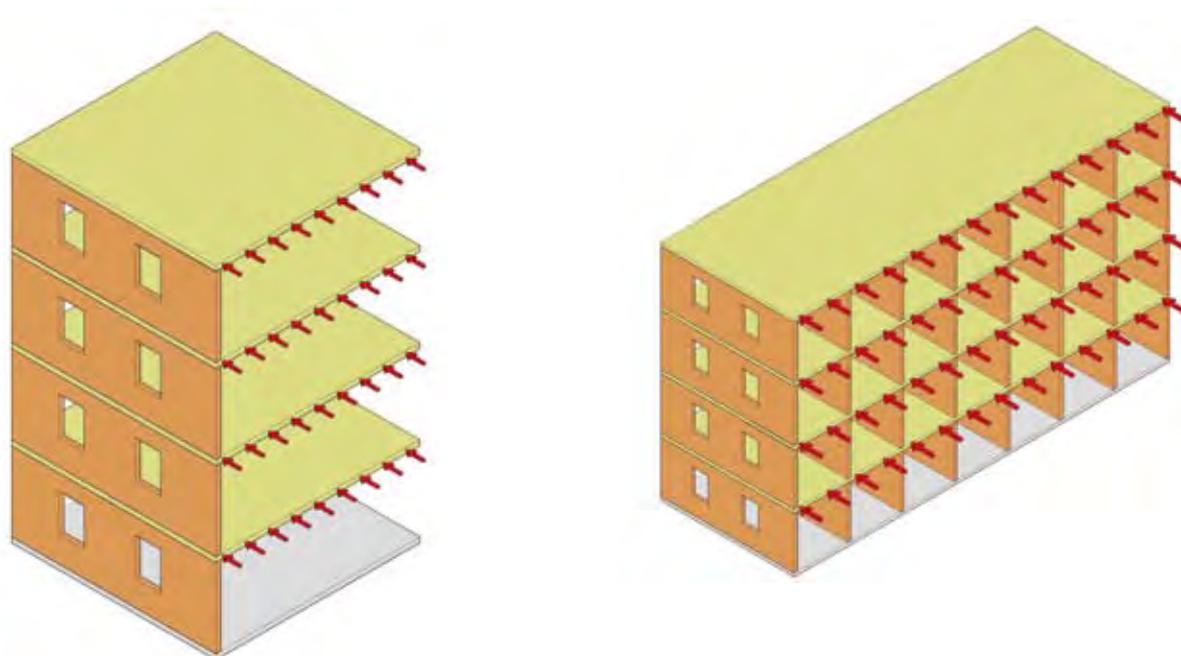


Fig. 9.2 - Disposizione azioni orizzontali sui piani

Per effetto delle azioni orizzontali (sisma e vento) su ogni singola parete portante di taglio dell'edificio agisce un sistema di forze la cui conseguenza è la roto-traslazione della parete.

Naturalmente tutto ciò va evitato con l'ausilio di ferramenta opportunamente dimensionata per resistere a queste forze di ribaltamento che vengono modellate come una coppia di forze trazione-compressione (braccio indicativamente pari alla base dell'elemento considerato) agente in combinazione con una forza di taglio alla base (pari alla forza orizzontale agente in sommità della parete) come indicato nello schema seguente.

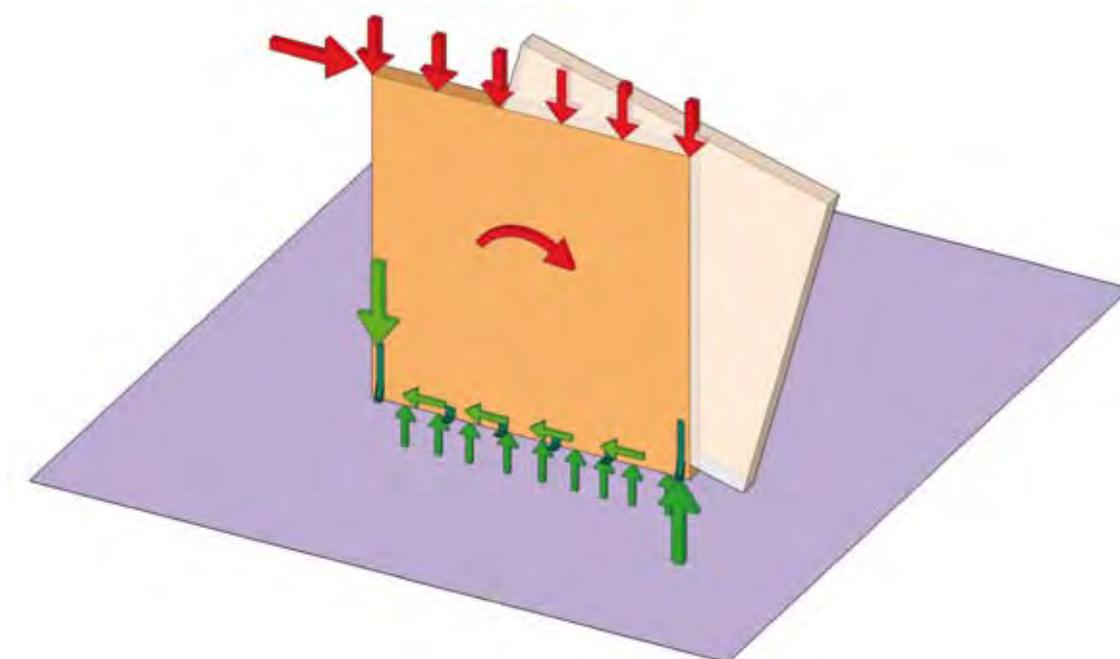


Fig. 9.3 - Azioni agenti sulla parete: Le frecce rosse indicano le azioni mentre quelle verdi le reazioni

Nel caso di edifici multipiano il solaio svolge la funzione di "raccogliere" le forze orizzontali e distribuirle quindi sulle sottostanti pareti assieme a quelle verticali.

È pertanto molto importante realizzare una connessione staticamente idonea tra i vari elementi implicati ovvero: parete piano superiore, solaio interpiano, parete piano inferiore fino al piano terra ossia alla fondazione in cemento armato.

Il flusso delle forze segue questo percorso con riferimento alla Figura 8.9:

- dal solaio in sommità arriva una forza orizzontale (vento o sisma) che si scarica sulla parete sottostante $F_{h,1}$
 - questa forza di taglio genera alla base della parete una coppia di forze (trazione – compressione: $F_{t,1}$ e $F_{c,1}$) ed una azione tagliante $F_{h,1}$
 - il taglio viene trasferito direttamente sul solaio interpiano mentre le forze trazione-compressione sulla parete sottostante
 - dal solaio interpiano arriva una nuova forza di taglio $F_{h,2}$ che va a sommarsi alla precedente $F_{h,1}$
 - analogamente al caso precedente questa forza orizzontale $F_{h,3} = (F_{h,1} + F_{h,2})$ genera una nuova coppia di forze ($F_{t,2}$ e $F_{c,2}$) che si scaricano poi sul solaio sottostante ovvero in questo caso sulla platea in cemento armato
- Le immagini seguenti mostrano il flusso delle forze e la configurazione corretta della ferramenta di fissaggio.

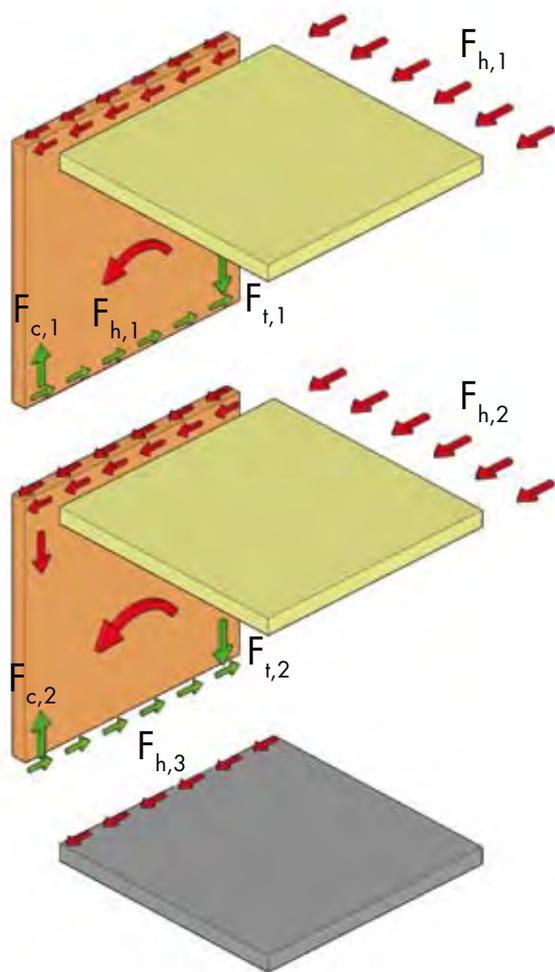


Fig. 9.4 - Distribuzione azioni sui vari piani

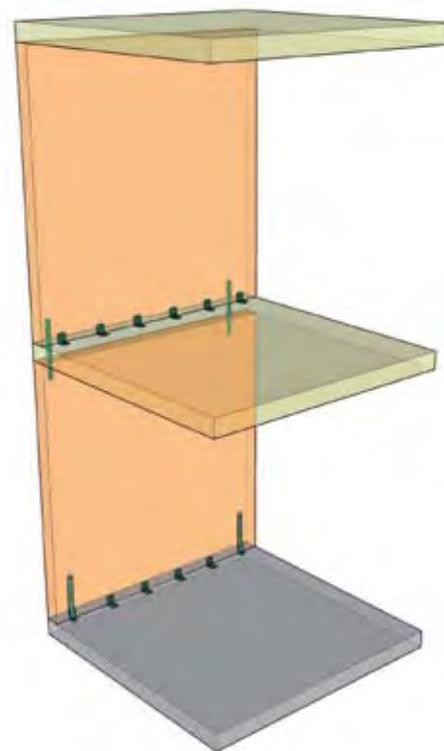


Fig. 9.5 - Distribuzione forze da solaio a pareti a fondazione

Per garantire un corretto trasferimento delle forze dal solaio alle pareti sottostanti è necessario irrigidire gli orizzontamenti nel loro piano qualora questi siano realizzati con struttura a travetti e non a pannello Xlam. Sono tutt'ora in corso delle ricerche per determinare le effettive rigidità raggiunte con i vari sistemi ma una possibilità è rappresentata da nastri forati disposti a croce come indicato nelle figure seguenti:



Fig. 9.6 - Posa del nastro forato



Connessione parete/platea cls

Nota l'entità delle forze di reazione è possibile quindi passare alla scelta della ferramenta più idonea per ottenere un sistema di connessioni a terra come indicato nella seguente figura :

- le staffe più basse (angolari 105x105) resistono a taglio
- le staffe più alte, chiamate anche comunemente "holdown" (angolari HTT22) resistono invece solo ed esclusivamente a trazione

CASO A

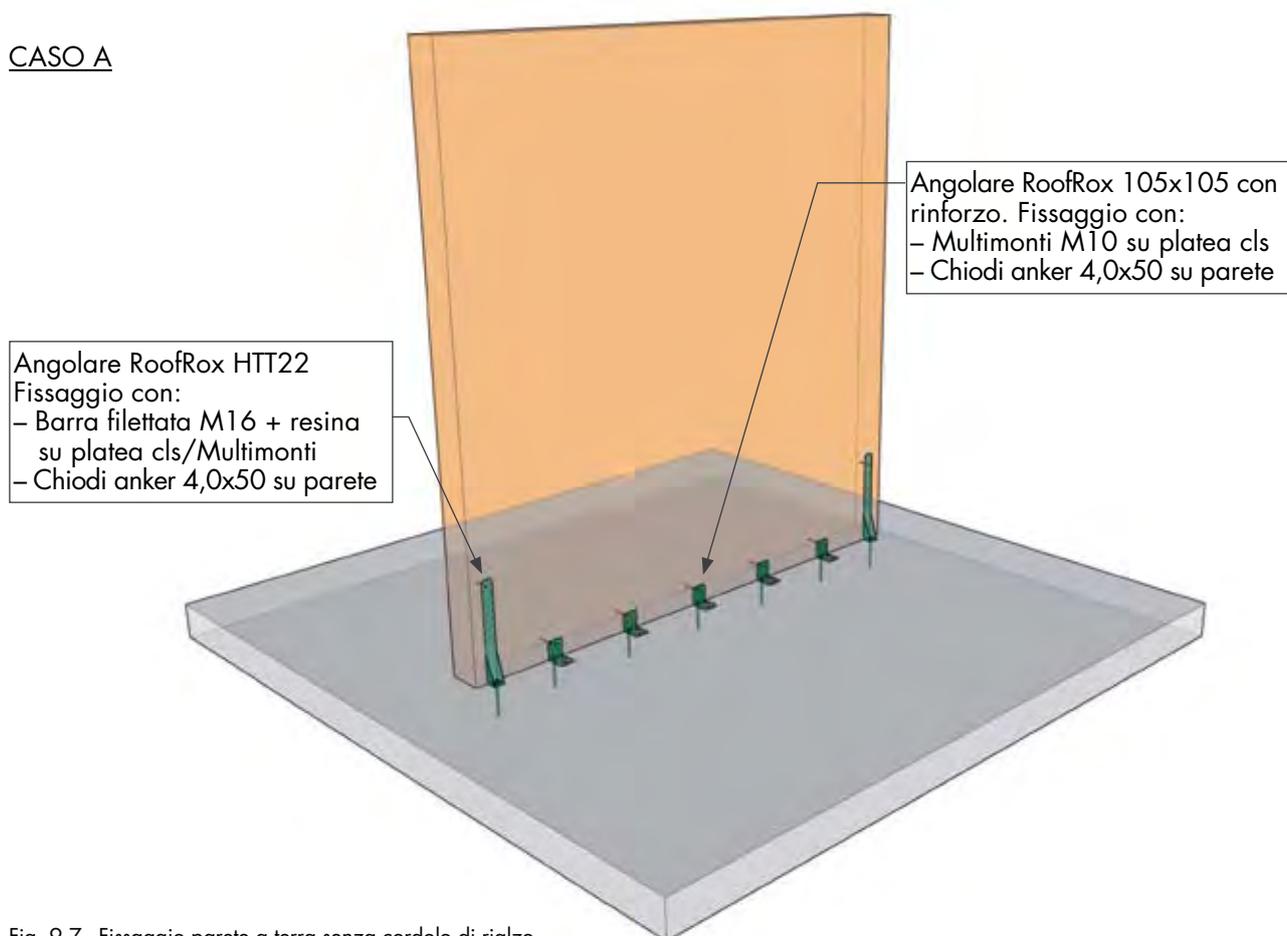


Fig. 9.7 - Fissaggio parete a terra senza cordolo di rialzo

Nota: l'angolare basso va posizionato in maniera tale da avere i tasselli più vicino possibile al legno e ridurre così l'eccentricità della connessione!



Fig. 9.8

Nel caso di fissaggio su cordolo rialzato in cemento armato si procede come indicato nella figura seguente:

CASO B

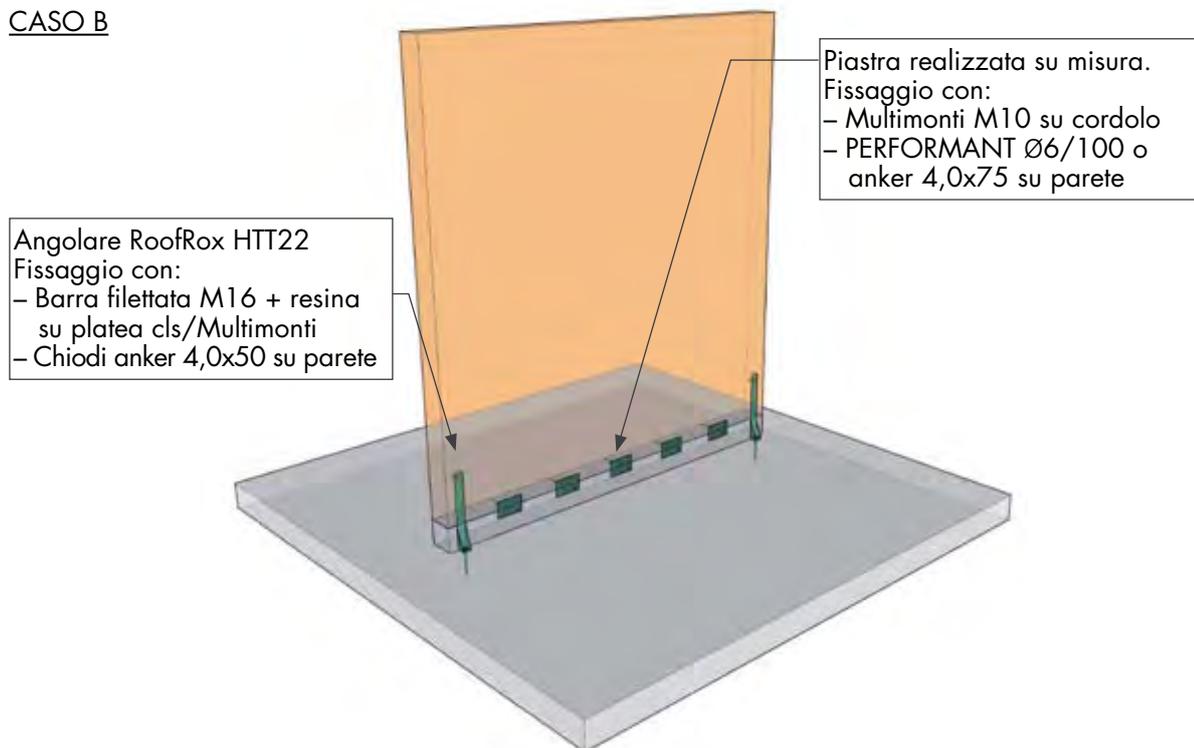


Fig. 9.9 - Fissaggio parete a terra con cordolo di rialzo

Talvolta viene prevista la posa di un travetto di livellamento in larice alla base della parete in legno come indicato in figura 8.15. La connessione in questo caso diventa piuttosto complessa in quanto il flusso delle forze non va direttamente dalla parete alla fondazione ma passa prima per l'elemento in larice che può essere fissato a terra o con tasselli meccanici Roofrox Multimonti M12 o con angolari Roofrox 10x10. Tra il cordolo in larice e la parete vengono disposte delle piastre forate che resistono solo taglio e chiodate con anker 4.0x60.

CASO C

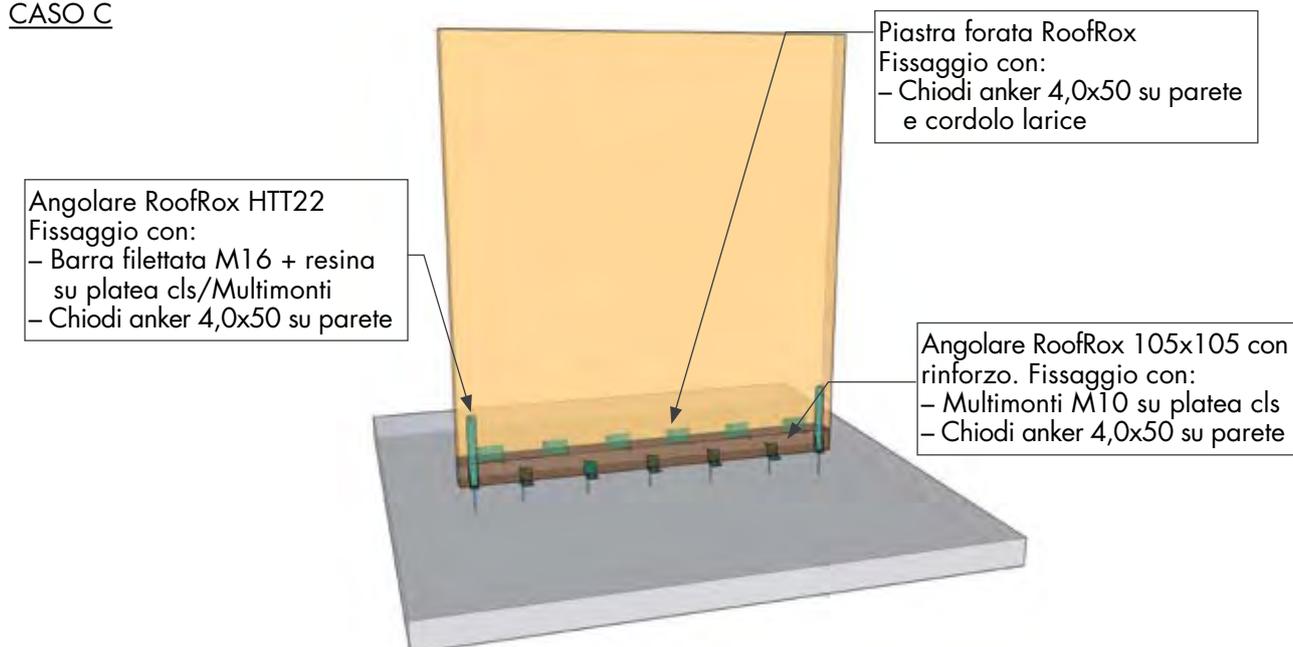


Fig. 9.10 - Fissaggio parete a terra con cordolo di rialzo in legno

Vale la pena sottolineare che le staffe HTT22 sono totalmente prive di resistenza a taglio e quindi il loro utilizzo va limitato alle sole zone dove si ha effettivamente una forza di sollevamento. Una disposizione come quella indicata nella figura seguente è staticamente scorretta in quanto mancano gli elementi resistenti a taglio che impediscono i movimenti laterali della parete.



Fig. 9.11 - Disposizione errata

Un corretto dimensionamento della connessione a terra è basilare per la buona riuscita di un progetto in quanto rappresenta uno dei punti più delicati. E' quindi importantissimo avere a disposizione in cantiere una base di appoggio piana per le pareti livellata alla quota desiderata con tolleranze limitate onde evitare di dover spessorare come si vede in figura.



Fig. 9.12 - Problema quote errate in fondazione

Può risultare necessario talvolta procedere al riempimento dello spazio tra la platea e la parete con della malta speciale antiritiro e con buone capacità di portata:



Fig. 9.13 - Riempimento con malta espansiva anti-ritiro

Sulla scorta di quanto visto sopra si suggerisce alla carpenteria di dare indicazioni specifiche alle imprese che realizzano le parti in cemento armato in maniera tale da evitare problemi e conseguenti rallentamenti in cantiere durante le fasi di montaggio. L'appoggio continuo della parete a terra è molto importante per garantire una uniforme distribuzione degli sforzi e può essere garantito solo se l'estradosso delle fondazioni è planare con tolleranze molto contenute dell'ordine di $\pm 5\text{mm}$.

Se la parete presenta delle aperture di dimensioni non trascurabili (es.: finestre o porte finestre) si deve andare a considerare l'effetto di queste discontinuità e pertanto la ferramenta di aggancio a terra dovrà essere disposta in accordo all'immagine seguente. Ai fini del calcolo statico la parete viene considerata come se fosse divisa in strisce verticali a sinistra ed a destra delle aperture.

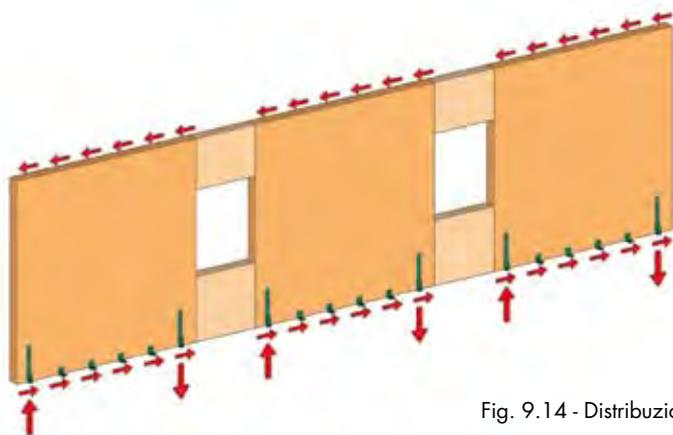


Fig. 9.14 - Distribuzione forze su pareti con aperture

E' oramai piuttosto frequente l'utilizzo di pareti tagliate in strisce verticali di larghezza pari a 125cm. In questo caso si devono tenere in considerazione le forze che mutualmente si scambiano i diversi "settori" di parete come indicato nella figura seguente.

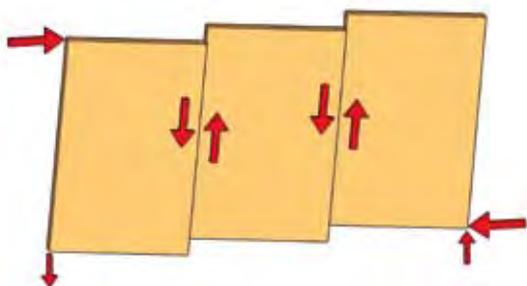


Fig. 9.15 - Distribuzione forze tra elementi della stessa parete

Gli stessi concetti per la connessione a terra visti nelle pagine precedenti possono chiaramente essere poi applicati anche alle costruzioni a telaio.



Fig. 9.16 - Connessioni a terra pareti telaio

A proposito di telaio l'immagine seguente mostra un esempio di assemblaggio telaio per mezzo di graffe RoofRox specifiche separate per mezzo di apposite pistole pneumatiche:



Fig. 9.17 - Fissaggio pannello OSB su parete a telaio

La tipologia costruttiva a telaio impone alcune accortezze aggiuntive rispetto all'Xlam poiché gli angolari (soprattutto gli holdown) non possono essere fissati in una posizione arbitrariamente scelta ma devono necessariamente andare a coincidere con i montanti verticali che compongono la parete. I chiodi ad aderenza migliorata (anker 4.0x60) infissi nel solo pannello OSB non sarebbero in grado di sviluppare la loro massima resistenza a taglio e quindi renderebbero vana la posa dell'angolare.

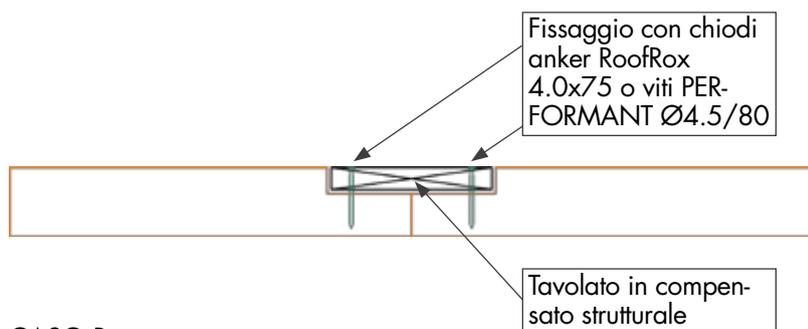
Nel caso di edifici con più di 3 piani o forti irregolarità geometriche i dettagli costruttivi dei fissaggi andranno dimensionati con riferimento alla loro duttilità e robustezza nel rispetto della gerarchia delle resistenze.

Connessione fra parete/parete

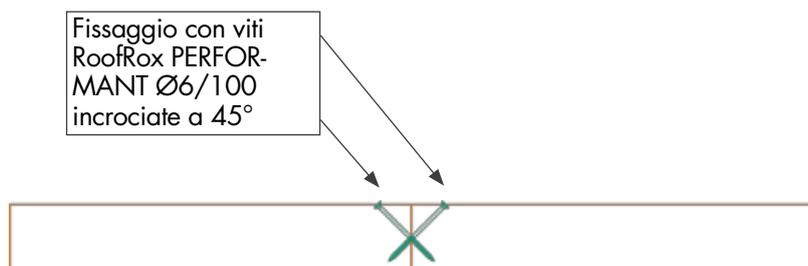
La connessione tra le pareti può essere realizzata in diversi modi. Si riportano quelli più comuni nelle immagini seguenti raccomandando di prestare la massima attenzione alle distanze dai bordi.

Nota: la connessione si sviluppa lungo l'altezza della parete.

CASO A



CASO B



CASO C

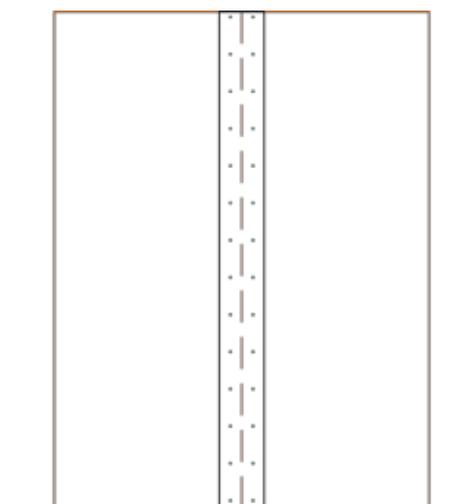
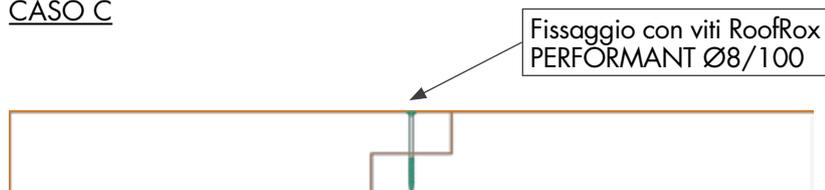
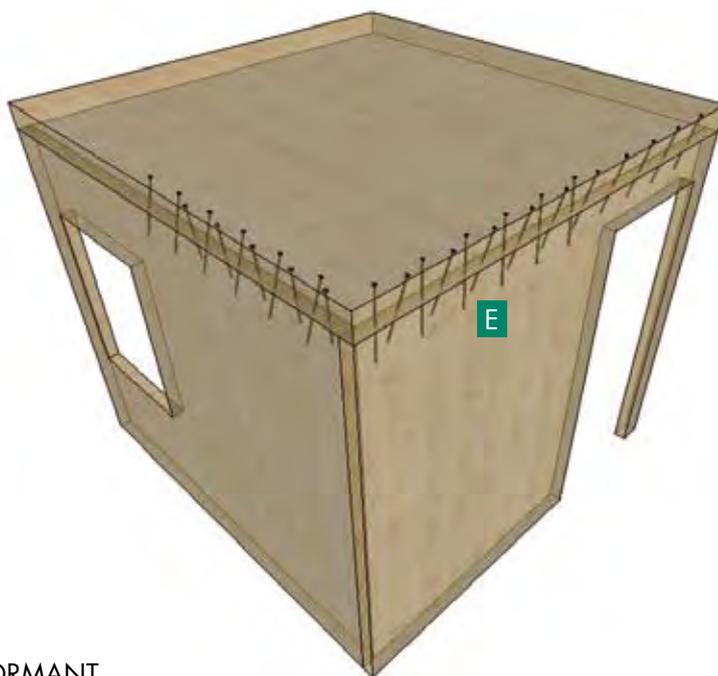


Fig. 9.18 - Fissaggio elementi della stessa parete

La tipologia di connessioni viste sopra per le pareti viene solitamente utilizzata anche per il fissaggio tra loro dei pannelli Xlam qualora utilizzati con funzione di solai orizzontali o inclinati.

Connessione fra solaio/parete

Le viti utilizzate per la connessione non sono fissate ortogonalmente alla superficie ma sono leggermente inclinate (5° - 10°) nei due piani. Per via delle caratteristiche intrinseche del legno la resistenza delle viti crolla drasticamente qualora siano infisse parallelamente alla fibratura. In fase di montaggio non sempre è possibile riuscire a controllare che la vite entri nello strato ortogonale al suo asse e pertanto una debole inclinazione permette di limitare la diminuzione di portata del connettore.



E Viti RoofRox PERFORMANT

Fig. 9.19 - Fissaggio solaio - pareti

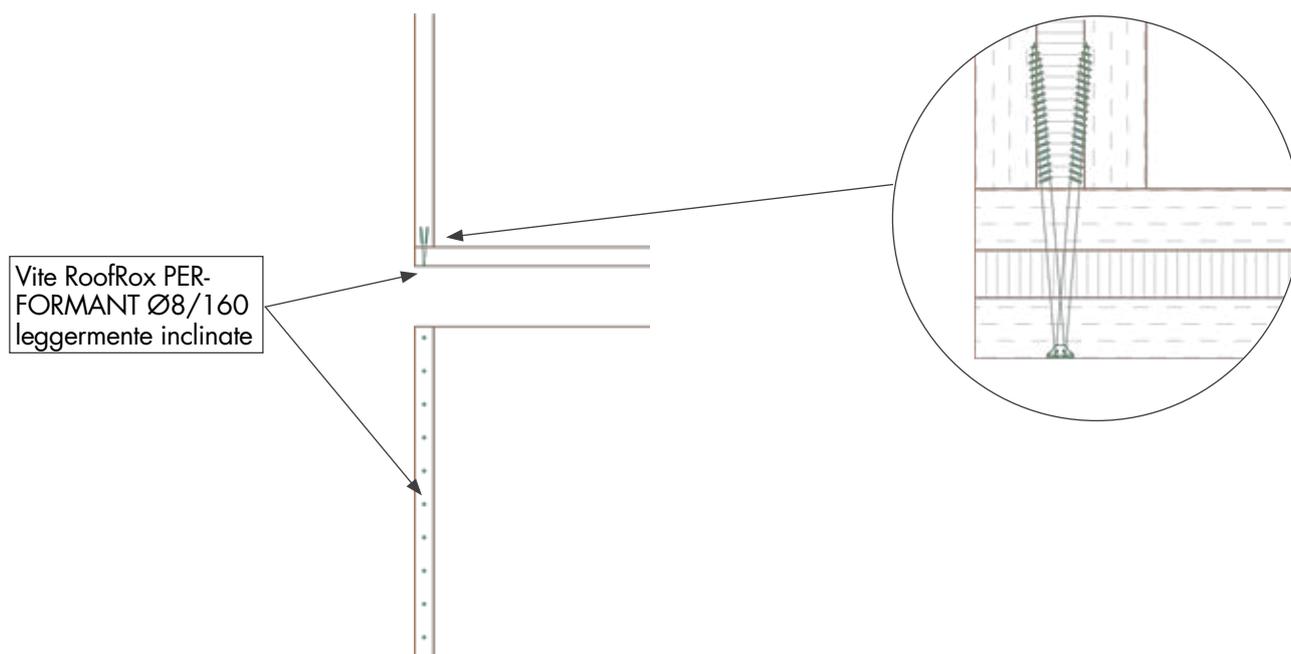
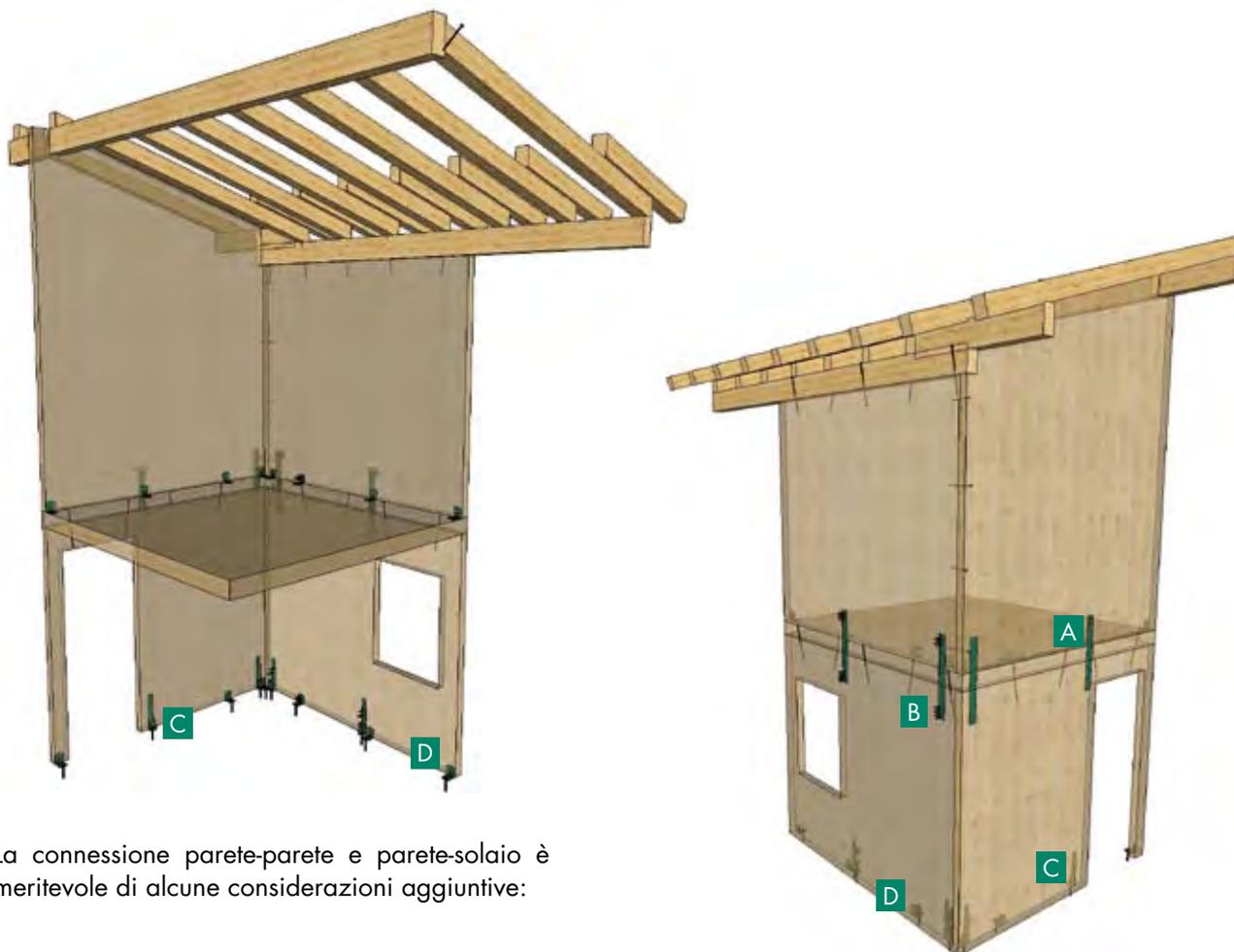


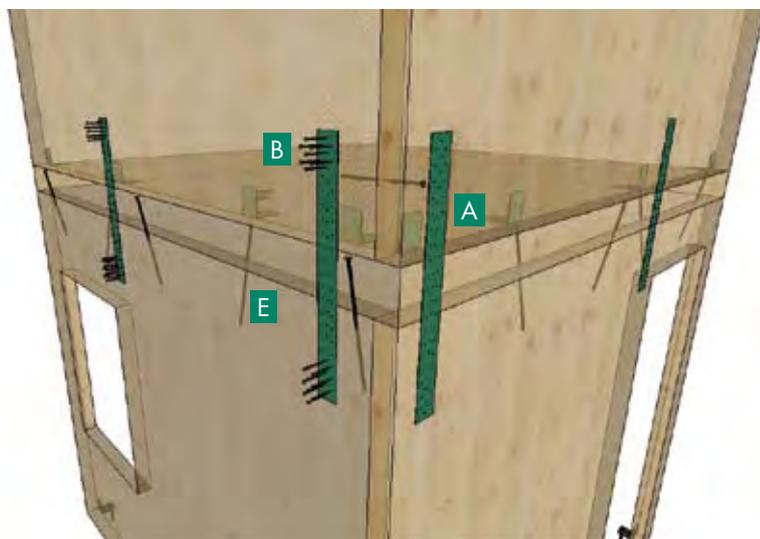
Fig. 9.20 - Fissaggio pareti - pareti

Connessioni per strutture multipiano

Va poi posta particolare attenzione in fase di dimensionamento generale nel garantire la continuità delle forze agenti tra i vari piani. Le figure seguenti mostrano uno spaccato tipo di una costruzione completa di connessioni vista dall'interno e dall'esterno. La continuità delle forze di trazione verticali è garantita dal nastro forato posto esternamente.



La connessione parete-parete e parete-soffitto è meritevole di alcune considerazioni aggiuntive:



- A** Nastro forato RoofRox o piastra forata RoofRox F4
- B** Chiodi RoofRox ANKER 4,0x60 (usati per tutti i fissaggi)
- C** Angolari RoofRox HOLDOWN HTT 22
- D** Angolari RoofRox 105x105 con rinforzo
- E** Viti RoofRox PERFORMANT

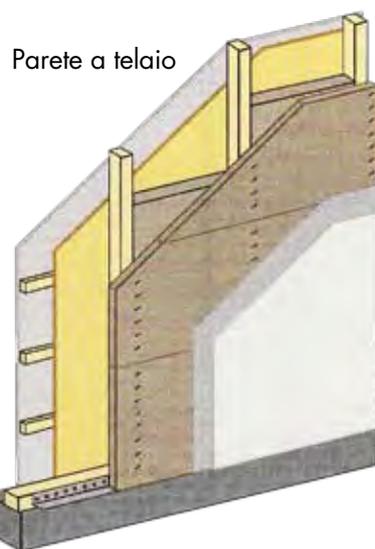
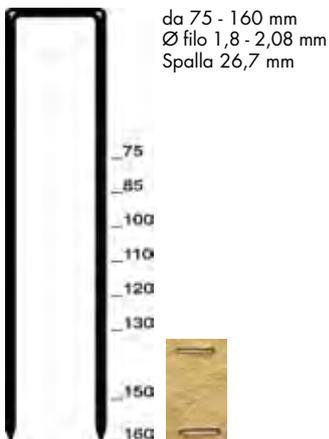
Fig. 9.21 - Fissaggi tra i vari piani

Sistemi di fissaggio innovativi per cappotti su strutture in legno con graffe RoofRox tipo WP-CRF INOX

9X-WP160



Fissaggio di lastre da cappotto esterno o interno in fibra di legno, lana di roccia e sughero su parete tipo X-Lam o telaio in legno con graffe certificate e testate tipo WP – CRF INOX Roofrox. L'utilizzo di questo sistema innovativo di fissaggio permette un abbattimento dei tempi di posa di oltre il 50%, riducendo i ponti termici e migliorando il risultato finale in modo da rendere il cappotto omogeneo ed eliminare il tipico effetto "onda" causato dall'utilizzo di tasselli in solo 6 punti di ancoraggio.



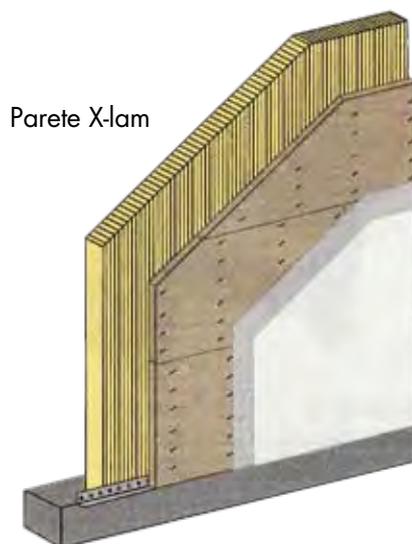
Per CSV:



Per CRF:



Fig. 9.22 - Posa cappotto esterno su parete a telaio con graffe



Sistemi di fissaggio innovativi per pannelli in gessofibra e cartongesso con graffe RoofRox tipo Z

5x-z50



Grazie alla continua evoluzione dei prodotti per il fissaggio ad aria compressa, alla costante collaborazione con le più prestigiose marche produttrici di materiali specifici per la costruzione, si è giunti ad ottimizzare attrezzature per la perfetta posa in opera che, oltre a garantire una perfetta tenuta e una durabilità nel tempo, sono in grado di abbattere in maniera esponenziale i costi e il tempo di posa.

Per fissaggi che vengono sottoposti a lungo termine a forze di estrazione, RoofRox propone ai sensi della normativa inerente le costruzioni in legno DIN 1052, graffe certificate dall'istituto di sorveglianza dei lavori di costruzione e dalla legislazione edilizia vigente.



Tabella esplicativa del corretto dimensionamento delle graffe Roofrox-Prebena in funzione dello spessore dei pannelli utilizzati

Accoppiamento lastra su lastra (solo gessofibra)

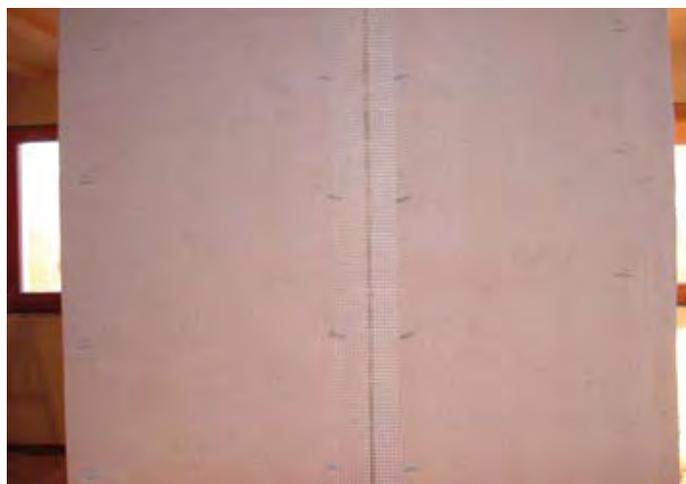
	numero graffe	distanza	tipo graffa
10 mm lastra su 10 mm lastra	43	12 cm	Z19CDNKHA
10 mm lastra su 12,5 mm lastra	43	12 cm	Z19CDNKHA
12,5 mm lastra su 12,5 mm lastra	43	12 cm	Z22CDNKHA
12,5 mm lastra su 15 mm lastra	43	12 cm	Z25CDNKHA
15 mm lastra su 15 mm lastra	43	12 cm	Z25CDNKHA

Lastra su superficie in legno di coperture/pareti non portanti

Spessore lastra	numero graffe	distanza	tipo graffa
10 mm lastra	30	15 cm	Z40CSVHA
12,5 mm lastra	30	15 cm	Z40CSVHA
15 mm lastra	30	15 cm	Z50CSVHA
18 mm lastra	30	15 cm	Z60CSVHA

Lastra su superficie in legno di coperture/pareti sollecitate staticamente (solo gessofibra)

Spessore lastra	numero graffe	distanza	tipo graffa
10 mm lastra	30	15 cm	Z50CSVHA
12,5 mm lastra	30	15 cm	Z50CSVHA
15 mm lastra	30	15 cm	Z60CSVHA
18 mm lastra	30	15 cm	Z60CSVHA



Fissaggio di lastre in gessofibra e cartongesso su struttura a telaio in legno o parete tipo X-Lam con graffe certificate e testate tipo Z-CSV Roofrox. L'utilizzo di questo sistema innovativo di fissaggio permette un abbattimento dei tempi di posa di oltre il 50%, migliorando il punto di stuccatura finale e diminuendo notevolmente il rischio di fessurazione fra le lastre stesse. Il sistema di fissaggio con graffe Roofrox permette con estrema facilità l'accoppiamento lastra su lastra di gessofibra, utilizzando graffe divergenti tipo Z - CDNK Roofrox che, espandendosi nel secondo strato, garantiscono tenute eccezionali.

Fig.9.23 - Fissaggio lastre in gessofibra con graffe



10. Principi base di risparmio energetico

Garantire che la casa resista a tutte le azioni viste sopra è sicuramente uno dei compiti primari del progettista ma non è di certo l'unico: l'edificio deve infatti anche consumare poca energia e garantire un elevato comfort ai suoi abitanti. Il tema del risparmio energetico deve necessariamente essere tenuto in considerazione sin dalle primissime fasi della progettazione analogamente a tutti gli aspetti statici.

Da qualche tempo è ormai entrata nell'uso comune l'associazione tra case a basso consumo e CasaClima © che ha proposto con molto successo un modello di certificazione basato sulla qualità dell'involucro e riferito al fabbisogno energetico parametrizzato rispetto alla superficie calpestabile.

Nota: CasaClima certifica in base al fabbisogno energetico dell'involucro e non all'energia primaria (Legge italiana Dlgs 192 così come modificato Dlgs 311).

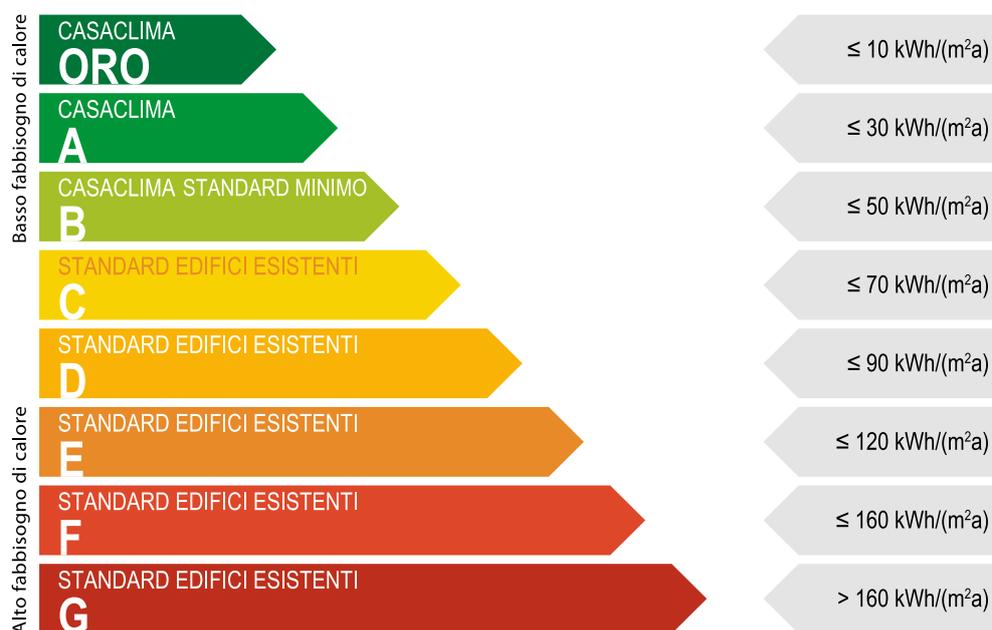


Fig. 10.1 - Classificazione energetica degli edifici secondo CasaClima

Gli indici energetici sopra riportati trovano un immediato riscontro a livello pratico poiché 10 kWh a livello di potere calorifico corrispondono circa ad 1 litro di gasolio utilizzato nelle caldaie (oppure 1 metro cubo di metano). Da qui il detto Casa a 7, 5, 3 o addirittura un litro riferito al consumo dell'abitazione. Questo ultimo concetto permette di fare molto rapidamente un sommario conteggio dei consumi previsti dalla abitazione: è sufficiente in fatti moltiplicare l'indice energetico per la superficie netta calpestabile per sapere la quantità di combustibile necessaria ogni anno per il riscaldamento dell'involucro.

Un buon consulente energetico deve saper consigliare la propria committenza in maniera opportuna con indicazioni sul tipo di materiale da utilizzare e con quale spessore sulla base delle specifiche richieste: fabbisogno massimo, preferenze sui materiali, etc...

Al termine della parte progettuale interviene però un fattore determinante per ottenere una elevata qualità costruttiva ed avere una effettiva riduzione dei consumi: la posa in cantiere. Ogni materiale va infatti lavorato e posato a regola d'arte utilizzando utensili e mezzi di fissaggio ben specifici per non influire negativamente sulle sue prestazioni reali.

Le immagini precedenti mostrano alcuni esempi di un corretto utilizzo dei sistemi di fissaggio relativi ai materiali da costruzione privi o con limitate funzioni strutturali.

10.1 Test tenuta all'aria

Parlando di costruzioni in legno e di risparmio energetico non si può non trattare l'argomento della tenuta all'aria che riveste un ruolo di primaria importanza: l'edificio deve garantire una elevata ermeticità ovvero essere privo di spifferi. Chi sarebbe disposto ad acquistare un'automobile con i finestrini o le portiere non sigillate ermeticamente?

Ogni spiffero rappresenta un difetto costruttivo, un dettaglio non correttamente analizzato a livello progettuale o non realizzato secondo le indicazioni del tecnico ed è fonte di diverse problematiche più o meno gravi quali ad esempio:

- formazione di condense superficiali ed interstiziali dovute al flusso d'aria incontrollato che durante la stagione invernale porta con sé verso l'esterno grandi quantità di vapore in poco tempo (fenomeno di trasporto per convezione)
- condizione di discomfort per via delle correnti d'aria a temperatura diversa che si muovono nell'ambiente
- perdite di energia durante la stagione invernale ma anche in quella estiva quando è attivo il condizionatore. Attraverso lo spiffero si instaura uno scambio d'aria tra interno ed esterno che comporterà un aumento dei consumi poiché l'aria in ingresso si troverà ad una temperatura diversa da quella esistente e dovrà essere opportunamente trattata (riscaldata o raffreddata a seconda della stagione) con notevole dispendio in termini energetici. L'entità di queste perdite non è facilmente quantificabile numericamente in quanto dipende da numerosi fattori ed in maniera particolare dalla ventosità della zona e dall'esposizione dell'edificio. Il vento è infatti il principale fattore che determina scompensi di pressione tra interno ed esterno edificio
- peggioramento delle prestazioni acustiche previste della facciata: si deve infatti ricordare che dove passa aria passa anche molto facilmente l'onda acustica che non trova ostacoli di alcun tipo. Spesso le non conformità rispetto ai valori minimi di legge sono causate non tanto da una errata scelta dei materiali quanto da una scorretta posa che non tiene conto dell'ermeticità all'aria. E' questo il caso per esempio dei serramenti dove la posa e la scelta dei materiali corretti per la sigillatura concorrono in maniera determinante al raggiungimento dei risultati desiderati.

L'ermeticità all'aria degli edifici viene misurata attraverso un test specifico "BlowerDoor" per mezzo della strumentazione mostrata nella figura seguente. Fondamentalmente si tratta di una ventola azionata e gestita da un apposito software che produce una differenza di pressione in positivo ed in negativo tra interno ed esterno oscillante solitamente tra 10Pa ed 80Pa. Durante questo processo si riesce a determinare la quantità d'aria che entra (o esce) da tutti gli spifferi presenti nell'involucro e che andrà poi parametrizzata rispetto al volume dell'edificio per ottenere un numero indicato con " n_{50} ". Il test viene eseguito sia in depressione che in sovrappressione per poi fare la media aritmetica dei due risultati ottenuti.

Ad un valore basso di n_{50} corrispondono minori perdite e quindi maggiore qualità costruttiva.

Il test è tanto importante quanto severo in quanto permette di valutare in maniera oggettiva la qualità costruttiva dell'involucro. Proprio per questi motivi CasaClima ha reso obbligatorio il test BlowerDoor in diversi passi:

2007	Obbligo per tutti gli edifici dotati di impianto di ventilazione
2009	Obbligo per tutti gli edifici in legno o con struttura a secco indipendentemente dalla classe energetica e dalla presenza o meno della VMC
2010	Obbligo per il 100% degli edifici indipendentemente dalla classe energetica e dalla presenza o meno della VMC

Tab. 10.1

I valori attualmente richiesti dall'agenzia CasaClima per concludere positivamente l'iter di certificazione sono i seguenti (Direttiva versione 2001):

Classe energetica	Valore massimo di n_{50} [h^{-1}]
Gold	0.60 +/- 0.1
A	1.00 +/- 0.1
B,C	2.00 +/- 0.1

Tab. 10.2

L'immagine seguente mostra il grafico ottenuto al termine del test:

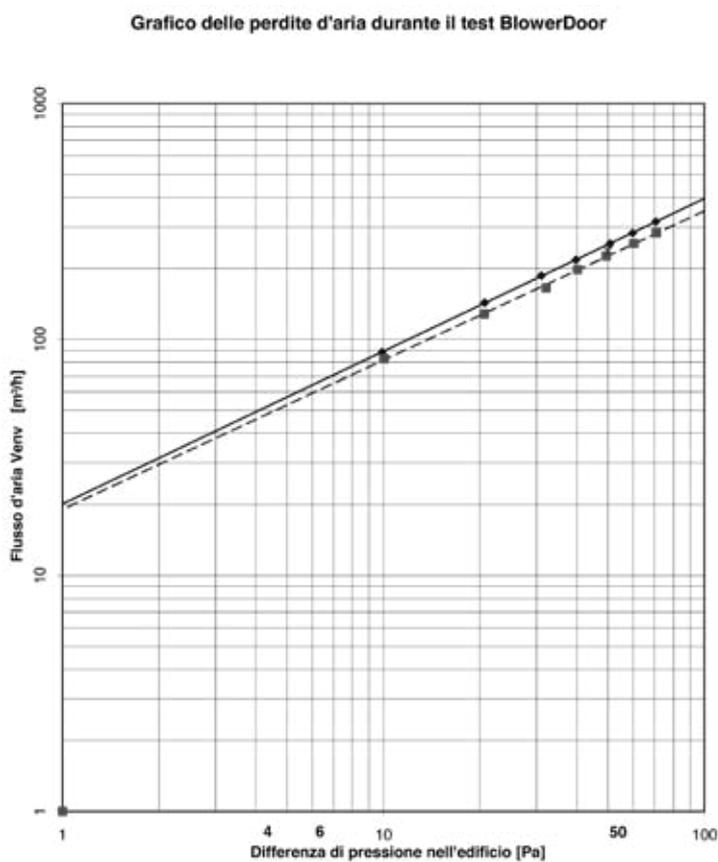


Fig. 10.2 - Diagramma test



Fig. 10.3 - Strumentazione Blower Door

11. Riferimenti normativi

Riferimenti normativi

- Legge n. 1086 del 05-11-1971
- Legge n. 64 del 02-02-1974
- D.M. 14-01-08 – Norme tecniche per le costruzioni
- UNI EN 338: Legno strutturale - Classi di resistenza
- EN 1194: Strutture di legno - Legno lamellare incollato - Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27)
- UNI EN 1995-1-1:2005. Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici
- UNI EN 1998-1:2005. Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- DIN 1052:2008 - Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken –Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- CNR-DT 206/2007: Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno
- UNI EN ISO 13788:2003 - Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo
- UNI EN ISO 13786:2008 - Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche -Metodi di calcolo
- UNI EN ISO 6946:2008 – Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo
- Direttiva CasaClima 2011
- Direttiva CasaClima per l'esecuzione del test di tenuta all'aria secondo UNI EN ISO 13829
- UNI EN ISO 137829:2002 - Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore



RoofRox srl

Sede Operativa: Via Brughiera, 12
22060 Novedrate (CO)

Sede Legale: Via XXIV Maggio, 6 – 22063 Cantù (CO)
Tel. +39 031-789-959 Fax +39 031-794-00-98
e.mail: info@roofrox.com – www.roofrox.com