

Stefano Cascio

Tettoie di legno

CALCOLO DELLE TETTOIE DI LEGNO E DELLE RELATIVE CONNESSIONI

- Connessioni tradizionali e metalliche
- Teoria di Johansen per le connessioni
- Calcolo della struttura di legno
- Verifiche delle connessioni legno-legno
- Connettori di acciaio: chiodi, bulloni, spinotti, viti
- Verifiche delle connessioni acciaio-legno
- Connessioni con scarpe metalliche e staffe a scomparsa
- **Aggiornato all'Eurocodice 5**
Progettazione delle strutture di legno (UNI EN 1995:2009)

Stefano Cascio
TETTOIE DI LEGNO

ISBN 13 978-88-8207-526-2
EAN 9 788882 07526-2

Software, 66
Prima edizione, settembre 2013

Stefano Cascio <1950-> Tettoie di legno / Stefano Cascio. – Palermo : Grafill, 2013. (Software ; 66) ISBN 978-88-8207-526-2 1. Tettoie di legno. 694.2 CDD-22 SBN Pal0257780 CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

*Si ringrazia l'ing. Giuseppe Clemenza
per la fattiva collaborazione alla revisione del testo.*

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo
Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313
Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di settembre 2013
presso **Tipolitografia Luxograph S.r.l.** Piazza Bartolomeo Da Messina, 2/e – 90142 Palermo

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

Indice

PREMESSA	p.	7
1. TIPI DI LEGNO E RELATIVE CLASSI DI RESISTENZA	"	11
1.1. Tipi di legno	"	11
1.1.1. Legno massiccio	"	11
1.1.2. Legno lamellare	"	13
1.2. Classi di resistenza	"	14
1.2.1. Classificazione sulla base delle proprietà delle lamelle	"	16
1.2.2. Attribuzione diretta in base a prove sperimentali	"	17
2. VERIFICA DELLA RESISTENZA STRUTTURALE	"	21
3. AZIONI SULLE COSTRUZIONI E LORO COMBINAZIONE	"	27
3.1. Pesi propri dei materiali strutturali	"	27
3.2. Carichi permanenti non strutturali	"	27
3.2.1. Elementi divisori interni	"	28
3.3. Carichi variabili	"	28
3.3.1. Carichi variabili orizzontali	"	30
3.4. Classificazione delle azioni	"	30
3.5. Caratterizzazione delle azioni elementari	"	31
3.6. Combinazioni delle azioni	"	31
3.7. Azioni nelle verifiche agli stati limite	"	33
3.8. Vita nominale	"	34
4. CARICO DOVUTO ALLA NEVE CON ESEMPIO PRATICO DI CALCOLO	"	35
4.1. Azioni della neve	"	35
4.2. Valore caratteristico del carico neve al suolo	"	35
4.3. Coefficiente di esposizione	"	36
4.4. Coefficiente termico	"	37
4.5. Carico neve sulle coperture	"	37
4.6. Coefficiente di forma per le coperture	"	37
4.6.1. Coperture adiacenti o vicine a costruzioni più alte	"	38
4.6.2. Copertura ad una falda	"	40

4.6.3.	Copertura a due falde	p.	40
4.7.	Esempio pratico di calcolo del carico neve	"	41
5.	CARICO DOVUTO AL VENTO		
	SECONDO LE NTC 2008	"	43
5.1.	Azioni del vento	"	43
5.2.	Velocità di riferimento	"	43
5.3.	Velocità di riferimento e periodo di ritorno	"	44
5.4.	Pressione del vento	"	45
5.5.	Pressione cinetica di riferimento	"	45
5.6.	Coefficiente di esposizione	"	46
5.7.	Coefficiente di forma (o aerodinamico)	"	48
5.7.1.	Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve	"	48
5.7.2.	Coperture multiple	"	50
5.7.3.	Vento diretto normalmente alle linee di colmo	"	50
5.7.4.	Vento diretto parallelamente alle linee di colmo	"	50
5.7.5.	Tettoie e pensiline isolate	"	50
5.8.	Coefficiente dinamico	"	51
5.9.	Azione tangenziale del vento	"	51
6.	COSTRUZIONI IN LEGNO	"	53
6.1.	La valutazione della sicurezza	"	53
6.2.	Analisi strutturale	"	53
6.3.	Azioni e loro combinazioni	"	54
6.4.	Classi di durata del carico	"	54
6.5.	Classi di servizio	"	54
6.6.	Resistenza di calcolo	"	55
6.7.	Stati limite di esercizio	"	55
6.8.	Stati limite ultimi	"	55
6.8.1.	Verifiche di resistenza	"	55
6.8.2.	Verifiche di stabilità	"	55
6.9.	Elementi strutturali	"	56
6.10.	Sistemi strutturali	"	57
6.11.	Robustezza	"	57
6.12.	Durabilità	"	58
6.13.	Resistenza al fuoco	"	58
7.	VERIFICHE DI RESISTENZA TRAVI DI LEGNO CON ESEMPI DI CALCOLO	"	61
7.1.	Verifiche di resistenza	"	61
7.1.1.	Trazione parallela alla fibratura	"	61
7.1.2.	Trazione perpendicolare alla fibratura	"	61
7.1.3.	Compressione parallela alla fibratura	"	61

7.1.4.	Compressione perpendicolare alla fibratura.....	p.	62
7.1.5.	Compressione inclinata rispetto alla fibratura.....	"	63
7.1.6.	Flessione.....	"	63
7.2.	Esempio di calcolo di una trave soggetta a flessione retta.....	"	64
7.3.	Esempio di calcolo della dimensione di una trave soggetta a flessione semplice.....	"	67
7.4.	Esempio di calcolo di una trave soggetta a flessione deviata.....	"	68
7.5.	Esempio di verifica a taglio di una trave soggetta a flessione semplice.....	"	70
7.6.	Esempio di verifica a instabilità della trave semplicemente appoggiata.....	"	74
7.7.	Esempio di verifica a instabilità del pilastro.....	"	76
8.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO CON ESEMPIO DI CALCOLO.....	"	79
8.1.	Verifica agli stati limite d'esercizio.....	"	79
8.2.	Norme specifiche per elementi inflessi.....	"	80
8.3.	Esempio di calcolo della deformazione.....	"	81
9.	CONNESSIONI.....	"	85
9.1.	Calcolo connessioni tradizionali.....	"	86
9.2.	Calcolo connettori metallici: Teoria di Johansen.....	"	89
9.2.1.	Connessioni legno-legno.....	"	89
9.3.	Modalità operative dei connettori metallici.....	"	95
9.4.	Unioni chiodate.....	"	97
9.4.1.	Chiodi caricati lateralmente.....	"	98
9.4.2.	Chiodi caricati assialmente.....	"	99
9.4.3.	Chiodi caricati sia lateralmente sia assialmente.....	"	101
9.5.	Unioni a vite.....	"	103
9.5.1.	Collegamenti con viti soggette a sollecitazioni laterali.....	"	104
9.5.2.	Collegamenti con viti soggette a sollecitazioni assiali.....	"	106
9.5.3.	Collegamenti con viti soggette a sollecitazioni combinate taglianti ed assiali.....	"	108
9.6.	Unioni bullonate.....	"	109
9.6.1.	Bulloni caricati lateralmente.....	"	110
9.6.2.	Bulloni caricati assialmente.....	"	111
9.7.	Spinotti.....	"	111
9.8.	Calcolo collegamenti fra elementi strutturali.....	"	113
9.9.	Calcolo dei connettori a gambo cilindrico.....	"	113
9.9.1.	Chiodi.....	"	114
9.9.2.	Bulloni e spinotti.....	"	114
9.9.3.	Viti.....	"	115
9.9.4.	Procedura di calcolo.....	"	115
9.10.	Protezione dei mezzi di unione.....	"	116

10. TIPOLOGIA DEGLI ELEMENTI DI ACCIAIO	
PER UNIRE ELEMENTI DI LEGNO	p. 119
10.1. Giunzione con scarpa di lamierino d'acciaio.....	" 120
10.2. Calcolo analitico della scarpa	" 121
10.3. Giunzione con staffe a scomparsa	" 128
10.3.1. Staffe a scomparsa del tipo ALU.....	" 128
11. SCHEMI STATICI DELLE TETTOIE	" 131
11.1. Arcareccio di base.....	" 131
11.2. Falsi puntoni	" 133
11.3. Pilastro	" 136
11.3.1. Vincolo alla base	" 136
11.3.2. Vincolo alla testa	" 139
11.4. Collegamenti edificio esistente	" 140
11.5. Travi con intaglio all'appoggio.....	" 141
12. ANCORANTI MECCANICI E CHIMICI	" 145
12.1. Generalità.....	" 145
12.2. Le certificazioni	" 146
12.3. Le tipologie di installazione.....	" 146
12.4. Funzionamento degli ancoranti.....	" 148
12.5. Scelta degli ancoraggi.....	" 149
13. ESEMPI DI CALCOLO ATTINENTI LE CONNESSIONI	" 153
13.1. Verifica appoggi sagomati.....	" 154
13.2. Calcolo di una capriata	" 162
13.3. Verifica giunzione della catena di una capriata.....	" 175
13.4. Verifica di un puntone con tirante	" 178
13.5. Dimensionamento di una scarpa in lamierino.....	" 187
13.6. Calcolo di una staffa a scomparsa.....	" 208
13.7. Esempio di calcolo di una tettoia	" 216
14. ESEMPIO ELABORATO CON IL SOFTWARE ALLEGATO	" 243
15. INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO	" 305
15.1. Introduzione	" 305
15.2. Requisiti minimi hardware e software	" 305
15.3. Download del software e richiesta della password di attivazione	" 306
15.4. Installazione e attivazione del software	" 306

Premessa

Nel mondo dell'edilizia, in particolare nel campo degli edifici di civile abitazione, i sistemi costruttivi utilizzati si rifanno soprattutto a tradizioni locali ben radicate nel tempo. Nella stragrande maggioranza si tratta di edifici di cemento armato, muratura portante (nelle sue varie tipologie: pietre naturali, laterizi, mattoni, ecc.), o di acciaio. Anche il legno, in zone particolarmente vocate, è stato ed è utilizzato in maniera profusa.

Oggi l'interesse sempre più diffuso per le costruzioni bioecologiche ha ampliato l'impiego del legno.

Esso è, quasi certamente, in edilizia il materiale più rinnovabile e più largamente disponibile. Ha ottime caratteristiche meccaniche che ne fanno un materiale adatto alla creazione di abitazioni confortevoli e in equilibrio con l'ambiente circostante.

La robustezza e la complessità di queste costruzioni sono legate allo sviluppo della tecnologia. Si è passati dall'utilizzo del legno nella sua forma più naturale, dove una trave era semplicemente un tronco d'albero appena sgrassato, a sistemi più complessi dove anche una semplice trave può essere un insieme di lamelle di legno incollate fra loro (legno lamellare). Oggi, l'utilizzo di questo materiale è disciplinato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni pubblicate il 14 gennaio 2008 (G.U.R.I. 04-02-2008, n. 29), che da qui in avanti, per brevità e comodità, indicheremo con NTC 2008 o semplicemente NTC.



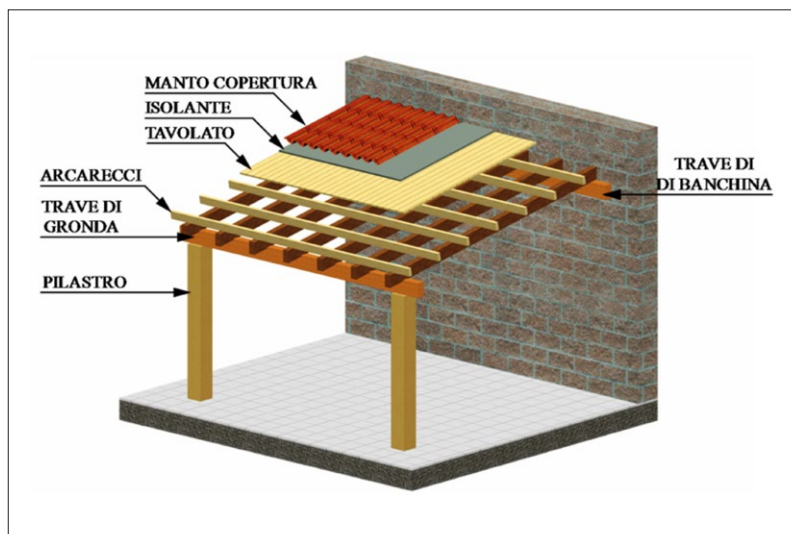
Una tipologia di opere, oramai quasi sempre realizzate in legno, sono quelle di arredo agli edifici, i quali, talvolta, diventano elementi architettonici molto importanti. Ci riferiamo alla tettoia realizzata a protezione di una veranda, di un ingresso importante o come copertura di parte di un terrazzo.

Intendiamo per tettoia la struttura costituita da uno o più spioventi, poggiate da un lato su pilastri e dall'altro lato su un muro perimetrale di un edificio esistente, utilizzata per coprire l'ambiente sottostante, lasciandolo però aperto verso lo spazio circostante

Una struttura simile è il gazebo il quale è sempre e comunque una struttura autonoma da collocare in qualsiasi punto del giardino o terrazzo, mentre la tettoia è generalmente attaccata (variamente vincolata) ad una costruzione esistente.

Il presente testo tratterà esclusivamente delle tettoie realizzate in legno.

Si ritiene necessario, considerando che lo stesso componente di un tetto è indicato in letteratura con nomi diversi, riportare le definizioni che si utilizzeranno nel presente testo.



Si precisa che il termine “arcareccio o terza” è utilizzato per indicare la trave secondaria orizzontale, poggiate sui falsi puntoni.

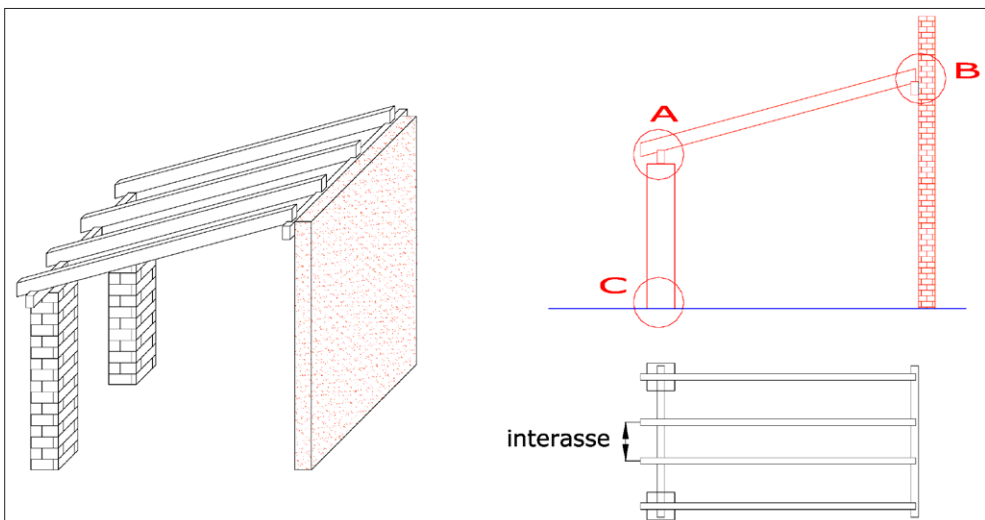
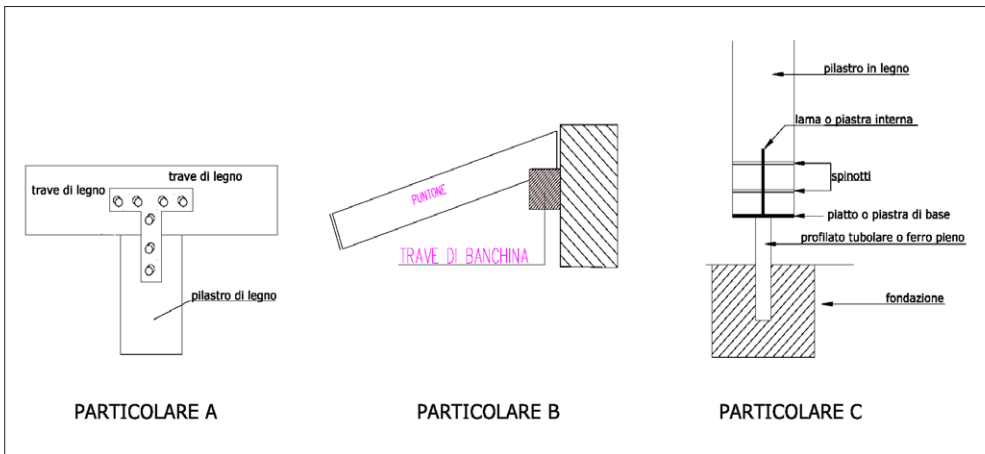
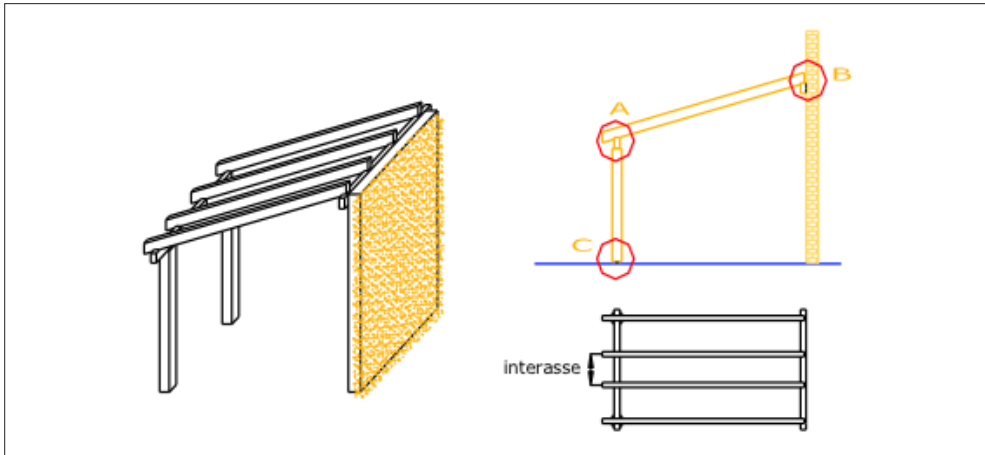
Le travi che appoggiano sulla trave di gronda e sulla trave di colmo sono definiti “falsi puntoni”.

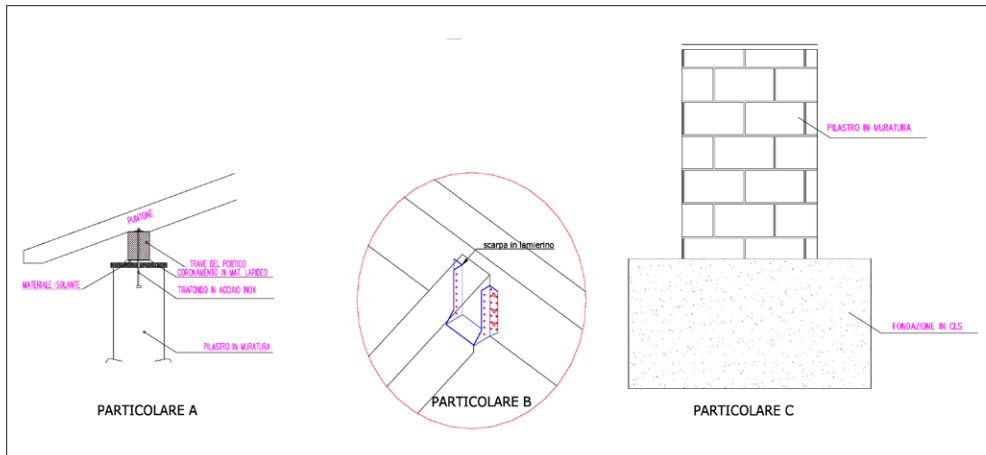
Gli schemi costruttivi presi in esame, nella presente trattazione riguardano il classico “falso puntone” variamente vincolato sia al colmo sia alla gronda.

In genere il colmo è posto in adiacenza a una struttura già esistente e a questa vincolato, mentre la gronda, costituita da una trave di legno portata da pilastri (legno o muratura), è a una certa distanza dal colmo e a quota più bassa. Saranno presi in esame i seguenti schemi statici:

- 1) tettoia vincolata al fabbricato esistente, tramite trave di banchina;
- 2) tettoia vincolata al fabbricato esistente tramite scarpe in lamierino;
- 3) tettoia vincolata al fabbricato esistente tramite scarpe in lamierino su trave di banchina.

All'interno di questi schemi trovano posto diverse soluzioni progettuali, alcuni dei quali riportati nelle immagini seguenti:





Nel testo sono esaminate le caratteristiche fisico-meccaniche del legno, la variazione del modulo elastico con l'umidità, la viscosità del legno, le classi di servizio della struttura, le classi di durata del carico, il coefficiente k_{def} , il coefficiente k_{mod} , la resistenza di calcolo. Si completa con la trattazione delle verifiche strutturali: azioni di calcolo, resistenza di progetto, verifiche agli Stati Limite Ultimi, verifiche agli Stati Limite Esercizio, elementi snelli caricati assialmente – carico di punta, instabilità laterale o flesso torsionale.

Con riferimento alla tipologia strutturale in esame, sono illustrate nel prosieguo le connessioni metalliche necessarie a unire le varie parti strutturali tra di loro. In dettaglio si tratteranno: tipologia e progetto delle unioni – connettori a gambo cilindrico –, dettagli costruttivi, vincoli corrispondenti ai vari tipi di unioni, teoria di Johansen, calcolo dei connettori. Diversi esempi di calcolo svolti nei singoli passaggi completano il testo.

Capitolo 1

Tipi di legno e relative classi di resistenza

1.1. TIPI DI LEGNO

La normativa in vigore individua per l'uso strutturale due tipi di legname:

- legno massiccio;
- legno lamellare.

1.1.1. Legno massiccio

Per legno massiccio strutturale s'intende il prodotto ottenuto dal legno tondo tramite taglio parallelo al tronco ed eventuale piallatura, senza superfici incollate e senza giunti a pettine. In funzione delle dimensioni si distinguono:

- listelli;
- tavole o lamelle;
- tavoloni;
- legname squadrato.

In linea generale la distinzione può essere operata come riportato in tabella:

Denominazione	Spessore d [mm]	Larghezza b [mm]
Listello	$6 \text{ mm} \leq d \leq 40 \text{ mm}$	$b < 80 \text{ mm}$
Tavola	$6 \text{ mm} \leq d \leq 40 \text{ mm}$	$b \geq 80 \text{ mm}$
Tavolone	$d > 40 \text{ mm}$	$b > 3 \cdot d$
Legname squadrato	$b \leq h \leq 3 \cdot b$	$b > 40 \text{ mm}$

Il legname squadrato è utilizzato in edilizia per pilastri e travi, formazione di capriate, piccola e grossa orditura dei tetti. Le essenze generalmente impiegate sono:

- conifere: abete rosso, abete bianco, douglas, larice, pino;
- latifoglie: castagno, faggio, noce, pioppo, quercia, rovere.

Altri due importanti elementi di legno massiccio sono le cosiddette travi **Uso Trieste** e **Uso Fiume**, entrambi realizzati generalmente con abete, larice o rovere. Sono ottenuti tramite: scortecciatura, squadratura meccanica, angoli smussati, grezzi o piallati per tutta la lunghezza. Le due tipologie si differenziano per la costanza delle dimensioni trasversali nelle "Uso Fiume", mentre in quella "Uso Trieste" la trave segue la conicità del tronco da cui è ricavata. In genere quest'ultima si usa nelle carpenterie mentre la "Uso Fiume" nella realizzazione di tetti a vista o lavori architettonicamente impegnativi.

Questi elementi strutturali in termini di prestazioni meccaniche differiscono rispetto ai normali segati da costruzione. Nelle travi "Uso Trieste o Fiume" si ha un miglioramento delle

caratteristiche meccaniche dovuto alla conservazione delle fibre legnose. Di contro tali travi sono posti in opera con un elevato tasso di umidità che ne abbassa le prestazioni meccaniche e incrementa le deformazioni in fase di esercizio.

Alla data non esiste un quadro normativo per la definizione di questi prodotti a base di legno. La produzione di elementi strutturali di legno massiccio a sezione rettangolare dovrà risultare conforme alla norma europea armonizzata UNI EN 14081, e secondo quanto specificato al punto A) recare la Marcatura CE (“Conformité Européenne”, ed indica che il prodotto che lo porta è conforme ai *requisiti essenziali* previsti da Direttive in materia di sicurezza, sanità pubblica, tutela del consumatore, ecc.). Qualora non sia applicabile la marcatura CE, i produttori di elementi di legno massiccio per uso strutturale devono essere qualificati così come specificato al paragrafo 11.7.10 delle NTC 2008.

Il legno massiccio per uso strutturale è un prodotto naturale, selezionato e classificato in dimensioni d’uso secondo la resistenza, elemento per elemento, sulla base delle normative applicabili. I criteri di classificazione garantiscono all’elemento prestazioni meccaniche minime statisticamente determinate, senza necessità di ulteriori prove sperimentali e verifiche, definendone il profilo resistente, che raggruppa le proprietà fisico-meccaniche, necessarie per la progettazione strutturale. La classificazione può avvenire assegnando all’elemento una categoria, definita in relazione alla qualità dell’elemento stesso con riferimento alla specie legnosa e alla provenienza geografica, sulla base di specifiche prescrizioni normative. Al legname appartenente a una determinata categoria, specie e provenienza, può essere assegnato uno specifico profilo resistente, utilizzando le regole di classificazione previste nelle normative applicabili.

La Classe di Resistenza di un elemento è definita mediante uno specifico profilo resistente unificato; a tal fine può farsi utile riferimento alle norme UNI EN 338:2009 ed UNI EN 1912:2012, per legno di provenienza estera, ed UNI 11035:2010 parti 1 e 2 per legno di provenienza italiana. Ad ogni tipo di legno può essere assegnata una classe di resistenza se i suoi valori caratteristici di resistenza, valori di modulo elastico e valore caratteristico di massa volumica, risultano non inferiori ai valori corrispondenti a quella classe.

In generale è possibile definire il profilo resistente di un elemento strutturale anche sulla base dei risultati documentati di prove sperimentali, in conformità a quanto disposto nella UNI EN 384:2010.

Le prove sperimentali per la determinazione di resistenza a flessione e modulo elastico devono essere eseguite in maniera da produrre gli stessi tipi di effetti delle azioni alle quali il materiale sarà presumibilmente soggetto nella struttura.

Per tipi di legno non inclusi in normative vigenti (emanate da CEN o da UNI), e per i quali sono disponibili dati ricavati su campioni “piccoli e netti”, è ammissibile la determinazione dei parametri di cui sopra sulla base di confronti con specie legnose incluse in normative di dimostrata validità.

Legno strutturale con giunti a dita

In aggiunta a quanto prescritto per il legno massiccio, gli elementi di legno strutturale con giunti a dita devono essere conformi alla norma UNI EN 385:2003, e laddove pertinente alla norma UNI EN 387:2003. Nel caso di giunti a dita a tutta sezione il produttore dovrà comprovare la piena efficienza e durabilità del giunto stesso.

La determinazione delle caratteristiche di resistenza del giunto a dita dovrà basarsi sui risultati di prove eseguite in maniera da produrre gli stessi tipi di effetti delle azioni alle quali il giunto sarà soggetto per gli impieghi previsti nella struttura. Elementi in legno strutturale massiccio con giunti a dita non possono essere usati per opere in classe di servizio 3.

1.1.2. Legno lamellare

L'idea di accostare o sovrapporre travi di dimensioni minori al fine di aumentare la resistenza complessiva nasce con l'arte del costruire. L'esigenza di superare i limiti imposti dalle dimensioni e delle forme del tondame naturale, spingeva i costruttori ad ideare vari sistemi di connessioni tra le tavole. Esempi in questo campo ci vengono da Leonardo, Philibert Delorme, ed altri.

La moderna tecnica d'utilizzo del legno consiste nella divisione del tronco in lamelle di spessore calibrato (generalmente di 33 mm di spessore e in ogni caso non maggiore di 40 mm), disposte a pacchi e tra loro incollate a formare le travi, elementi strutturali composti aventi dimensioni, sezione e caratteristiche indipendenti dal tondame di partenza. Tecnicamente si ha legno lamellare quando si hanno più di due lamelle incollate tra loro con una larghezza di 220 mm.

Potendo scegliere le tavole che andranno a costituire il legno lamellare, ed eliminando da esse i difetti, le caratteristiche meccaniche di resistenza che si ottengono, grazie anche ai collanti sintetici di elevata resistenza, sono superiori a quelle del legno massiccio.

Da osservare come eventuali limiti alle dimensioni degli elementi strutturali sono dati da problemi di produzione, trasporto e montaggio.

Legno lamellare incollato

Gli elementi strutturali di legno lamellare incollato debbono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 14080. I produttori di elementi di legno lamellare per uso strutturale, per cui non è ancora obbligatoria la procedura della marcatura CE ai sensi del D.P.R. n. 246/1993, per i quali si applica il caso B di cui al paragrafo 1, devono essere qualificati così come specificato al paragrafo 11.7.10 delle NTC. Nel sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (<http://www.clsp.it>) è possibile consultare l'elenco delle aziende qualificate e dei centri di lavorazione regolarmente dichiarati.

Il sistema di gestione della qualità del prodotto che sovrintende al processo di fabbricazione deve essere predisposto in coerenza con le norme UNI EN ISO 9001:2000 e certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con le norme UNI CEI EN ISO/IEC 17021:2006.

Ai fini della certificazione del sistema di garanzia della qualità del processo produttivo, il produttore e l'organismo di certificazione di processo potranno fare utile riferimento alle indicazioni contenute nelle relative norme europee od internazionali applicabili.

I documenti che accompagnano ogni fornitura devono indicare gli estremi della certificazione del sistema di gestione della qualità del processo produttivo.

Ai produttori di elementi in legno lamellare è fatto altresì obbligo di:

- a) sottoporre la produzione, presso i propri stabilimenti, ad un controllo continuo documentato condotto sulla base della norma UNI EN 386:2003. Il controllo della produzione deve essere effettuato a cura del Direttore Tecnico di stabilimento, che deve prov-

vedere alla trascrizione dei risultati delle prove su appositi registri di produzione. Detti registri devono essere disponibili al Servizio Tecnico Centrale e, limitatamente alla fornitura di competenza, per il Direttore dei Lavori e il collaudatore della costruzione;

- b) nella marchiatura dell'elemento, oltre a quanto già specificato nel paragrafo 11.7.10.1, deve essere riportato anche l'anno di produzione.

Le dimensioni delle singole lamelle dovranno rispettare i limiti per lo spessore e l'area della sezione trasversale indicati nella norma UNI EN 386:2003.

I giunti a dita "a tutta sezione" devono essere conformi a quanto previsto nella norma UNI EN 387:2003. I giunti a dita "a tutta sezione" non possono essere usati per elementi strutturali da porre in opera nella classe di servizio 3 (*quando l'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% per molte settimane all'anno*), quando la direzione della fibratura cambi in corrispondenza del giunto.

1.2. CLASSI DI RESISTENZA

Ai fini della valutazione del comportamento e della resistenza delle strutture in legno, questo viene identificato mediante le classi di resistenze contraddistinte di valori caratteristici delle resistenze a flessione, espressa in *MPa*.

Nelle Istruzioni CNR DT 206/2007 si danno le seguenti esplicitazioni e specifiche. Si definiscono valori caratteristici di resistenza di un tipo di legno i valori del frattile al 5% della distribuzione delle resistenze, ottenuti sulla base dei risultati di prove sperimentali effettuate con una durata di 300 secondi su provini all'umidità di equilibrio del legno corrispondente alla temperatura di 20 °C ed umidità relativa dell'aria del 65%. Per il modulo elastico, si fa riferimento sia ai valori caratteristici corrispondenti al frattile al 5% sia ai valori medi, ottenuti nelle stesse condizioni di prova sopra specificate. Si definisce massa volumica caratteristica il valore del frattile al 5% della relativa distribuzione, con massa e volume misurati in condizioni di umidità di equilibrio del legno alla temperatura di 20 °C ed umidità relativa dell'aria del 65%.

Il progetto e la verifica, secondo le dette Istruzioni, di strutture realizzate con legno massiccio, lamellare o con prodotti per uso strutturale derivati dal legno, richiedono la conoscenza dei valori di resistenza, modulo elastico e massa volumica costituenti il profilo resistente, che deve comprendere almeno:

- Resistenza caratteristica a flessione $f_{m,k}$;
- Resistenza a trazione parallela alla fibratura $f_{t,0,k}$;
- Resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura $f_{t,90,k}$;
- Resistenza a compressione parallela alla fibratura $f_{c,0,k}$;
- Resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura $f_{c,90,k}$;
- Resistenza caratteristica a taglio $f_{v,k}$;
- Modulo elastico medio parallelo alle fibre $E_{0,mean}$;
- Modulo elastico caratteristico $E_{0,05}$;
- Modulo elastico medio perpendicolare alle fibre $E_{90,mean}$;
- Modulo di taglio medio $G_{g,mean}$;
- Massa volumica caratteristica ρ_k .

I valori indicati nei profili resistenti possono essere introdotti nei calcoli come valori massimi per le grandezze cui si riferiscono.

Per il **legno massiccio**, i valori caratteristici di resistenza, desunti da indagini sperimentali, sono riferiti a dimensioni standardizzate del provino secondo le norme pertinenti. In particolare, per la determinazione della resistenza a flessione l'altezza della sezione trasversale del provino è pari a 150 mm, mentre per la determinazione della resistenza a trazione parallela alla fibratura, il lato maggiore della sezione trasversale del provino è pari a 150 mm.

Di conseguenza, per elementi di legno massiccio sottoposti a flessione o a trazione parallela alla fibratura che presentino rispettivamente una altezza o il lato maggiore della sezione trasversale inferiore a 150 mm, i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$, indicati nei profili resistenti, possono essere incrementati tramite il coefficiente moltiplicativo k_h , così definito:

$$k_h = \left[\left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} ; 1,3 \right]$$

essendo h , in millimetri, l'altezza della sezione trasversale dell'elemento inflesso oppure il lato maggiore della sezione trasversale dell'elemento sottoposto a trazione.

Riportiamo adesso una tabella dove viene mostrato l'aumento di resistenza al diminuire dell'altezza o del lato maggiore della sezione trasversale inferiore a 150 mm.

Lato maggiore o altezza in mm	$k_h = \left[\left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} ; 1,3 \right]$	Aumento %
150	1	–
140	1,013894214	1%
130	1,029033661	2,9%
120	1,045639553	4,5%
110	1,063995313	6,4%
100	1,084471771	8,4%
90	1,107566343	10,7%
80	1,133966578	13,4%
70	1,164658616	16,4%
60	1,201124434	20,1%
50	1,24573094	24,5%
40	1,302585542	30%

Il legno massiccio di conifera e pioppo è identificato con le classi di resistenza C seguite da una cifra che corrisponde al valore caratteristico della resistenza a flessione; C14 individua quindi un legno di conifera con resistenza a flessione $f_{m,k} = 14$ MPa.

Per il legno di latifoglie (escluso il pioppo) valgono le stesse considerazioni, salvo che le classi di resistenza sono identificate con la lettera D.

Legno di conifera e pioppo													
Parametro	u. m.	Classe di resistenza											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
$f_{m,k}$	MPa	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	0
$f_{t,0,k}$	MPa	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
$f_{t,90,k}$	MPa	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	MPa	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
$f_{c,90,k}$	MPa	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
$f_{v,k}$	MPa	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
$E_{0,mean}$	GPa	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
$E_{0,05}$	GPa	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
$E_{90,mean}$	GPa	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
$G_{g,mean}$	GPa	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
ρ_k	daN/m ³	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
ρ_m	daN/m ³	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Legno di latifoglie (tranne il pioppo)							
Parametro	u. m.	Classe di resistenza					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
$f_{m,k}$	MPa	30	35	40	50	60	70
$f_{t,0,k}$	MPa	18	21	24	30	36	42
$f_{t,90,k}$	MPa	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	MPa	23	25	26	29	32	34
$f_{c,90,k}$	MPa	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
$f_{v,k}$	MPa	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
$E_{0,mean}$	GPa	10	10	11	14	17	20
$E_{0,05}$	GPa	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,80
$E_{90,mean}$	GPa	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
$G_{g,mean}$	GPa	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
ρ_k	daN/m ³	530	560	590	650	700	900
ρ_m	daN/m ³	640	670	700	780	840	1080

Per il **legno lamellare** l'attribuzione degli elementi strutturali ad una classe di resistenza viene effettuata dal produttore secondo quanto previsto ai punti seguenti.

1.2.1. Classificazione sulla base delle proprietà delle lamelle

Le singole lamelle vanno tutte individualmente classificate dal produttore come previsto al paragrafo 11.7.2 delle NTC 2008.

L'elemento strutturale di legno lamellare incollato può essere costituito dall'insieme di lamelle tra loro omogenee (elemento "omogeneo") oppure da lamelle di diversa qualità (elemento "combinato") secondo quanto previsto nella norma UNI EN 1194:2000. Nella citata norma è indicata la corrispondenza tra le classi delle lamelle che compongono l'elemento strutturale e la classe di resistenza risultante per l'elemento lamellare stesso, sia omogeneo che combinato.

1.2.2. Attribuzione diretta in base a prove sperimentali

Nei casi in cui il legno lamellare incollato non ricada in una delle tipologie previste dalla UNI EN 1194:2000, è ammessa l'attribuzione diretta degli elementi strutturali lamellari alle classi di resistenza sulla base di risultati di prove sperimentali, da eseguirsi in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14080.

Per il legno lamellare incollato i valori caratteristici di resistenza, desunti da indagini sperimentali, sono riferiti a dimensioni standardizzate del provino secondo le norme pertinenti. In particolare, per la determinazione della resistenza a flessione l'altezza della sezione trasversale del provino è pari a 600 mm, mentre per la determinazione della resistenza a trazione parallela alla fibratura, il lato maggiore della sezione trasversale del provino è pari a 600 mm.

Di conseguenza, per elementi di legno lamellare sottoposti a flessione o a trazione parallela alla fibratura che presentino rispettivamente una altezza o il lato maggiore della sezione trasversale inferiore a 600 mm, i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$, indicati nei profili resistenti, possono essere incrementati tramite il coefficiente moltiplicativo k_h , così definito:

$$k_h = \min \left[\left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} ; 1,1 \right]$$

essendo h , in millimetri, l'altezza della sezione trasversale dell'elemento inflesso oppure il lato maggiore della sezione trasversale dell'elemento sottoposto a trazione.

Lato maggiore o altezza in mm	$k_h = \min \left[\left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} ; 1,1 \right]$	Aumento %
600	1	–
500	1,018399376	1,8%
400	1,041379744	4,1%
350	1,05537869	5,5%
300	1,071773463	7,1%
250	1,091493426	9,1%
200	1,116123174	10%
150	1,148698355	10%
100	1,196231199	10%

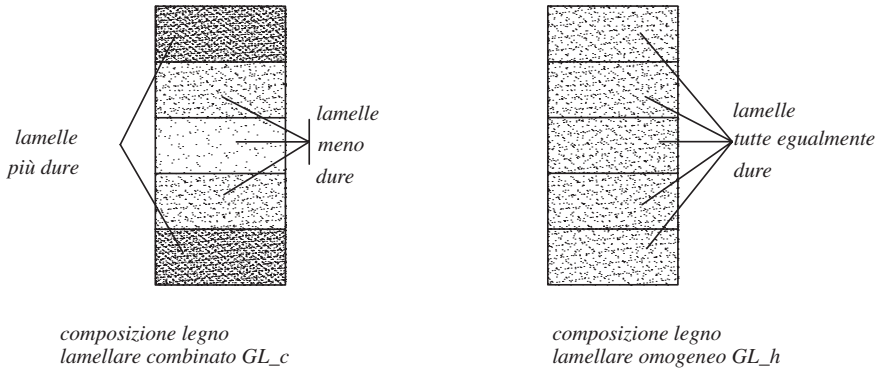
Il legno lamellare è definito con le classi di resistenza GL seguite da una cifra (che corrisponde al valore caratteristico della resistenza a flessione) e da una lettera: h per legno lamellare omogeneo, c per legno lamellare combinato.

Ad esempio: GL24h individua un legno lamellare omogeneo con $f_{m,k} = 24$ Mpa, mentre la sigla GL24c individua un legno lamellare combinato con $f_{m,k} = 24$ Mpa.

Legno lamellare omogeneo					
Parametro	u. m.	Classe di resistenza			
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
$f_{m,k}$	MPa	24	28	32	36
$f_{t,0,k}$	MPa	16,5	19,5	22,5	26
$f_{t,90,k}$	MPa	0,40	0,45	0,5	0,6
$f_{c,0,k}$	MPa	24	26,5	29	31
$f_{c,90,k}$	MPa	2,70	3,0	3,3	3,6
$f_{v,k}$	MPa	2,70	3,2	3,8	4,3
$E_{0,mean}$	MPa	11.600	12.600	13.700	14.700
$E_{0,05}$	MPa	9.400	10.200	11.100	11.900
$E_{90,mean}$	MPa	390	420	460	490
$G_{g,mean}$	MPa	720	780	850	910
ρ_k	daN/m ³	380	410	430	450

Legno lamellare combinato					
Parametro	u. m.	Classe di resistenza			
		GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
$f_{m,k}$	MPa	24	28	32	36
$f_{t,0,k}$	MPa	14	16,5	19,5	22,5
$f_{t,90,k}$	MPa	0,35	0,4	0,45	0,5
$f_{c,0,k}$	MPa	21	24	26,5	29
$f_{c,90,k}$	MPa	2,4	2,7	3,0	3,3
$f_{v,k}$	MPa	2,2	2,7	3,2	3,8
$E_{0,mean}$	MPa	11.600	12.600	13.700	14.700
$E_{0,05}$	MPa	9.400	10.200	11.100	11.900
$E_{90,mean}$	MPa	320	390	420	460
$G_{g,mean}$	MPa	590	720	780	850
ρ_k	daN/m ³	350	380	410	430

La sostanziale differenza tra un legno lamellare omogeneo e uno composito si realizza nella differente durezza delle lamelle che lo compongono: in quello omogeneo hanno tutte la stessa durezza, in quello composito le lamelle fatte di legno più duro sono poste all'estremità della trave.



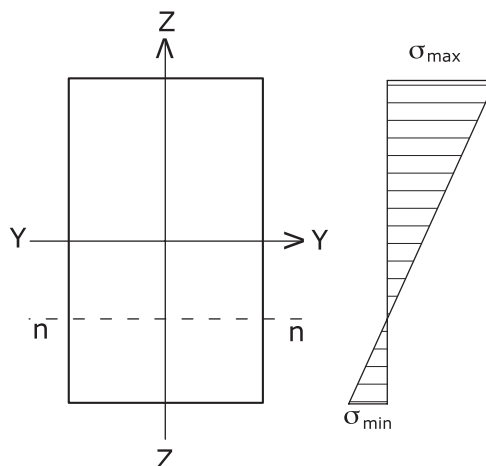
Osserviamo il diagramma delle tensioni dovute alla flessione retta in una generica sezione di legno riportato nella pagina a fianco.

Osserviamo che le tensioni più alte sono agli estremi della sezione. Il legno lamellare componendo rinforzando le fibre più distanti dall'asse neutro meglio si adatta a tale situazione tensionale.

In sostanza la sezione di legno lamellare composito si comporta come una sezione a doppio T, che offre la maggiore resistenza lì dove occorre.

Nella pratica professionale, sovente, accade di dovere sottoporre a verifica strutture lignee esistenti, si pensi, ad esempio, a vecchie travi o capriate di legno in edifici storici da restaurare. Il problema della determinazione della valutazione delle caratteristiche meccaniche di tali elementi in opera, può essere affrontato facendo riferimento alla norma UNI 11119:2004. Beni culturali – Manufatti lignei – Strutture portanti degli edifici – Ispezione *in situ* per la diagnosi degli elementi in opera.

Tale norma stabilisce procedure e requisiti per la diagnosi dello stato di conservazione e la stima della resistenza e della rigidità di elementi lignei in opera nelle strutture portanti di edifici compresi nell'ambito dei beni culturali, attraverso l'esecuzione di ispezioni in situ e l'impiego di tecniche e metodologie di prova non distruttive.



Tale norma precisa le deroghe ammissibili allo scopo di rendere applicabile agli elementi strutturali lignei in opera, il metodo della classificazione secondo la resistenza, anche quando le condizioni operative sono significativamente diverse da quelle riscontrabili nella normale classificazione dei segati a piè d'opera. Ad esempio la UNI 11035 (parti 1 e 2) descrive una metodologia di classificazione applicabile anche a elementi strutturali in opera, purché siano soddisfatte una serie di condizioni che non sempre è possibile riscontrare (in particolare la visibilità e accessibilità dell'elemento devono essere estese ad almeno 3 lati e ad una delle due testate).

La norma stabilisce che ogni elemento strutturale ligneo sia classificato secondo la resistenza. Tale classificazione deve basarsi su metodi di valutazione visiva dell'elemento ligneo, di misurazione non distruttiva di una o più proprietà fisico-meccaniche, oppure su opportune combinazioni delle precedenti. La classificazione deve essere eseguita secondo le modalità operative riportate nella norma stessa.

Relativamente ai metodi di calcolo le NTC 2008 (punto 2.7) consentono di eseguire calcoli alle tensioni ammissibili solo per le costruzioni di tipo 1 ($V_N \leq 10$ anni) e 2 ($50 \text{ anni} \leq V_N < 100$ anni) e Classe d'uso I e II, limitatamente a siti ricadenti in Zona 4, e facendo riferimento alle norme tecniche di cui al decreto del Ministero dei lavori pubblici 14 febbraio 1992, per le strutture in calcestruzzo e in acciaio, al D.M. LL.PP. 20 novembre 1987, per le strutture in muratura e al decreto del Ministero dei lavori pubblici 11 marzo 1988 per le opere e i sistemi geotecnici. Le dette norme si debbono in tal caso applicare integralmente, salvo per i materiali e i prodotti, le azioni e il collaudo statico, per i quali valgono le prescrizioni riportate nelle vigenti norme tecniche. Tuttavia, per il caso specifico (strutture lignee esistenti) dato che non vi sono decreti o norme di legge antecedenti alle NTC 2008 cui far riferimento per la stesura del calcolo, non è possibile, di fatto, eseguire un calcolo alle tensioni ammissibili. Dovrà quindi effettuarsi il calcolo secondo l'attuale normativa.