



Stefano Cascio

Solai X-Lam

VERIFICA STATICA DI SOLAI ORIZZONTALI AGLI STATI LIMITI ULTIMI E DI ESERCIZIO

- **Caratteristiche di resistenza dei pannelli di X-Lam**
- **Calcolo solai parete**
- **Tipologia delle connessioni**
- **Esempi per la realizzazione di solai con pannelli di X-Lam**
 - Solaio costituito da un'unica campata e sbalzo a sinistra
 - Solaio costituito da due campate
 - Solaio costituito da due campate e sbalzo a sinistra e a destra
- **Software conforme alle NTC 2008 e all'Eurocodice 5/2015**
 - Gestione Archivio Sezioni
 - Calcolo e verifica agli Stati Limite Ultimi
 - Calcolo agli Stati Limite di Esercizio

SOFTWARE INCLUSO

VERIFICA STATICA, AGLI STATI LIMITI ULTIMI E AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO,
DI SOLAI ORIZZONTALI REALIZZATI CON PANNELLI DI X-LAM

Stefano Cascio

SOLAI X-LAM

ISBN 13 978-88-8207-770-9

EAN 9 788882 077709

Software, 84

Prima edizione, giugno 2015

Cascio, Stefano <1950->
Solai X-LAM / Stefano Cascio. – Palermo : Grafill, 2015.
(Software ; 84)
ISBN 978-88-8207-770-9
1. Solai in legno.
694.2 CDD-22 SBN Pal0280870
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il volume è **disponibile anche in versione eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.
Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con conto corrente postale, bonifico bancario, carta di credito e paypal.
Per i pagamenti con carta di credito e paypal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno smartphone o un tablet il codice QR sottostante.



I lettori di codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **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 giugno 2015

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

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.

La verifica dell'idoneità dei programmi per ottenere certi risultati, l'installazione, l'uso e la gestione sono onere e responsabilità esclusive dell'utente; l'autore e l'editore non garantiscono che le funzioni contenute nel programma soddisfino in tutto o in parte le esigenze dell'utente o funzionino in tutte le combinazioni che possono essere scelte per l'uso, non potendo fornire alcuna garanzia sulle prestazioni e sui risultati ottenibili dal loro uso, né essere ritenuti responsabili dei danni o dei benefici risultanti dall'utilizzazione degli stessi.

INDICE

INTRODUZIONE	p.	1
1. TIPI DI LEGNO E RELATIVE CLASSI DI RESISTENZA	"	5
1.1. Tipi di legno	"	5
1.1.1. Legno massiccio	"	5
1.1.2. Legno lamellare	"	7
1.2. Classi di resistenza	"	8
1.2.1. Classificazione sulla base delle proprietà delle lamelle	"	10
1.2.2. Attribuzione diretta in base a prove sperimentali	"	11
2. VERIFICA DELLA RESISTENZA STRUTTURALE DEL LEGNO	"	14
3. AZIONI SULLE COSTRUZIONI E LORO COMBINAZIONE	"	19
3.1. Pesi propri dei materiali strutturali	"	19
3.2. Carichi permanenti non strutturali	"	19
3.2.1. Elementi divisori interni	"	20
3.3. Carichi variabili	"	20
3.3.1. Carichi variabili orizzontali	"	22
3.4. Classificazione delle azioni	"	22
3.5. Caratterizzazione delle azioni elementari	"	23
3.6. Combinazioni delle azioni	"	23
3.7. Azioni nelle verifiche agli stati limite	"	25
3.7.1. Stati limite ultimi	"	25
3.8. Vita nominale	"	26
4. INTRODUZIONE AI PANNELLI X-LAM	"	27
4.1. Generalità	"	27
4.2. I pannelli X-Lam	"	27
4.3. Dimensione commerciale pannelli X-Lam	"	28
4.4. Le caratteristiche fisiche	"	29
4.5. Stabilità dimensionale	"	29
5. CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI PANNELLI DI X-LAM	"	31
5.1. Solette X-Lam	"	32
5.2. Giunti tra i pannelli	"	35

5.3.	Comportamento a flessione.....	p.	37
5.4.	Rigidezza flessionale secondo la UNI EN 1995-1-1:2015	"	38
5.5.	Spessori dello strato.....	"	44
5.6.	Rigidezza flessionale secondo la teoria di Timoshenko.....	"	46
5.6.1.	Comportamento a taglio.....	"	47
6.	VERIFICA DI RESISTENZA PANNELLI X-LAM.....	"	50
6.1.	Calcolo delle resistenze di progetto.....	"	50
6.2.	Resistenza del sistema (UNI 1995-1:2015)	"	50
6.3.	Verifica a trazione parallela alla fibratura	"	50
6.4.	Verifica a trazione trasversale agli strati	"	52
6.5.	Verifica a compressione parallela alla fibratura (testa dei pannelli)	"	52
6.6.	Verifica a compressione trasversale all'area dei pannelli	"	53
6.7.	Verifica a flessione nella direzione longitudinale	"	55
6.8.	Verifica a flessione nella direzione trasversale	"	56
6.9.	Verifica a pressoflessione.....	"	62
6.10.	Verifica a tensoflessione.....	"	62
6.11.	Verifica a taglio nella direzione longitudinale	"	62
6.12.	Verifica a taglio sezione sagomata.....	"	65
6.13.	Verifica a torsione	"	66
6.14.	Verifica taglio e torsione	"	67
6.15.	Verifiche di stabilità.....	"	67
7.	VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI	"	68
7.1.	Verifica agli stati limite ultimi (SLU).....	"	68
7.2.	Le configurazioni di carico	"	70
7.3.	I diagrammi involuppo	"	72
7.4.	Calcolo delle sollecitazioni nelle sole sezioni principali.....	"	72
7.5.	Trave continua a due campate.....	"	73
7.6.	Trave continua a due campate e sbalzi laterali	"	74
7.7.	Trave continua a tre campate	"	75
7.8.	Trave continua a tre campate e sbalzi laterali.....	"	77
8.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITI DI ESERCIZIO	"	80
8.1.	Norme specifiche per elementi inflessi.....	"	83
9.	RICHIAMI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	"	90
9.1.	Metodo delle forze.....	"	90
10.	COLLEGAMENTO SOLAIO PARETE	"	97
10.1.	Collegamento solaio parete.....	"	97
11.	TIPOLOGIA DELLE CONNESSIONI	"	100
11.1.	Calcolo connettori metallici: teoria di Johansen.....	"	100

11.1.1. Connessioni legno-legno.....	p.	100
11.2. Modalità operative dei connettori metallici.....	"	106
11.3. Unioni chiodate.....	"	108
11.3.1. Chiodi caricati lateralmente.....	"	109
11.3.2. Chiodi caricati assialmente.....	"	110
11.3.3. Chiodi caricati sia lateralmente sia assialmente.....	"	112
11.4. Unioni a vite.....	"	114
11.4.1. Collegamenti con viti soggette a sollecitazioni laterali.....	"	115
11.4.2. Collegamenti con viti soggette a sollecitazioni assiali.....	"	116
11.4.3. Collegamenti con viti soggette a sollecitazioni combinate taglianti ed assiali.....	"	119
11.5. Unioni bullonate.....	"	120
11.5.1. Bulloni caricati lateralmente.....	"	121
11.5.2. Bulloni caricati assialmente.....	"	122
11.6. Spinotti.....	"	122
11.7. Calcolo collegamenti fra elementi strutturali.....	"	124
11.8. Calcolo dei connettori a gambo cilindrico.....	"	124
11.8.1. Chiodi.....	"	124
11.8.2. Bulloni e spinotti.....	"	125
11.8.3. Viti.....	"	126
11.8.4. Procedura di calcolo.....	"	126
11.9. Protezione dei mezzi di unione.....	"	127
 12. INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO.....	"	129
12.1. Introduzione.....	"	129
12.2. Requisiti hardware e software.....	"	129
12.3. Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	129
12.4. Installazione ed attivazione del software.....	"	130
 13. MANUALE D'USO DEL SOFTWARE.....	"	132
13.1. Menu File.....	"	133
13.2. Menu Gestione Archivio Sezioni.....	"	134
13.3. Menu impostazioni generali.....	"	135
13.4. Menu Dati sezione.....	"	136
13.5. Menu Schema statico.....	"	138
13.6. Menu Analisi dei carichi.....	"	139
13.7. Menu Calcola allo SLU.....	"	139
13.8. Menu Verifica allo SLU.....	"	142
13.9. Menu Calcola allo SLE.....	"	142
 14. ESEMPIO 1. SOLAIO COSTITUITO DA UN'UNICA CAMPATA E SBALZO A SINISTRA.....	"	143

15. ESEMPIO 2. SOLAIO COSTITUITO DA DUE CAMPATE	p. 155
16. ESEMPIO 3. SOLAIO COSTITUITO DA DUE CAMPATE E SBALZO A SINISTRA E A DESTRA	" 171
LICENZA D'USO	" 193
CODICI PER IL DOWNLOAD DEL SOFTWARE E PER LA RICHIESTA DELLA PASSWORD DI ATTIVAZIONE	" 194

INTRODUZIONE

Il legno strutturale è il più antico materiale da costruzione utilizzato dall'uomo per le proprie costruzioni sia di carattere civile (muri e tetti della propria casa) che militare (palizzate di difesa, torri d'assedio, ecc.). Oggi, l'utilizzo di questo materiale nelle costruzioni 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.

Le Norme Tecniche per le costruzioni hanno definitivamente sdoganato il legno strutturale, dal limbo dove era confinato, ridandogli la dignità di onesto e vantaggioso materiale da costruzione.

Le NTC 2008 ora dicono in maniera forte che il legno è “materiale da costruzione” come il conglomerato cementizio o l'acciaio. Ne segue che al pari degli altri materiali da costruzione è inserito nel contesto normativo per essere progettato (calcoli di progetto, calcoli di verifica, e infine collaudato).

I principali punti di riferimento normativo sono:

Paragrafo	Contenuto
4.4	Si considerano strutture portanti quelle realizzate con elementi di legno strutturale (legno massiccio, segato, squadrato oppure tondo) o con prodotti strutturali a base di legno (legno lamellare incollato, pannelli a base di legno) assemblati con adesivi oppure con mezzi di unione meccanici, eccettuate quelle oggetto di una regolamentazione apposita a carattere particolare; La norma può essere usata anche per le verifiche di strutture in legno esistenti.
7.7	La norma illustra i provvedimenti specifici da adottare, in presenza di azioni sismiche, finalizzandoli alla progettazione e costruzione delle opere nuove.
11.7	Si danno istruzioni sulla l'identificazione, qualificazione, e l'accettabilità del prodotto “legno strutturale”; modalità di assunzione delle resistenze meccaniche.

Alle NTC 2008 vanno affiancate le cosiddette “norme di prodotto” che servono a definirne le proprietà meccaniche. Essenzialmente queste sono:

- UNI EN 14081 (Legno strutturale con sezione rettangolare, classificato secondo la resistenza);
- UNI EN 14080 (Legno lamellare);
- UNI EN 338 (Legno strutturale. Classi di resistenza);
- UNI EN 1912 (Legno strutturale. Classi di resistenza. Assegnazione delle categorie visuali e delle specie);
- UNI EN 1194 (Legno lamellare incollato. Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici);

- UNI 11035 (Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica) – Parte 3: Travi Uso Fiume e Uso Trieste: Ottobre 2010;
- UNI EN 1995-1-1 2015 (Progettazione delle strutture di legno. Regole generali – regole comuni e regole per gli edifici).

Utile anche la consultazione del documento CNR DT 206/2007, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno*.

Considerazioni normative

Questa norma ci dà l'insieme delle operazioni necessarie a verificare che l'elemento stesso sia convenientemente proporzionato e, in generale di tutta la costruzione, a svolgere la funzione cui è destinato. Si tratta cioè di applicare i principi e le regole della scienza delle costruzioni. In sostanza dobbiamo effettuare il calcolo dell'elemento per la determinazione di sforzi, sollecitazioni, resistenze, deformazioni, sezioni minime, coefficienti di sicurezza e altro. In questo testo ci occuperemo del calcolo strutturale dell'elemento di legno che vogliamo realizzare.

In generale tutti i materiali ed i prodotti per uso strutturale, utilizzati nelle opere soggette alle NTC 2008, devono rispondere ai requisiti indicati nel seguito.

I materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

- *identificati* univocamente a cura del produttore o dal centro di lavorazione;
- *qualificati* sotto la responsabilità del fornitore (produttore o centro di lavorazione);
- *accettati* dal Direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

In particolare, per quanto attiene l'identificazione e la qualificazione, possono configurarsi i seguenti casi:

- a) materiali e prodotti per uso strutturale per i quali sia disponibile una norma europea armonizzata
- b) il cui riferimento sia pubblicato su G.U.U.E.. Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se in possesso della Marcatura CE, prevista dalla Direttiva 89/106/CEE "Prodotti da costruzione" (CPD), recepita in Italia dal D.P.R. n. 246/1993, così come modificato dal D.P.R. n. 499/1997;
- c) materiali e prodotti per uso strutturale per i quali non sia disponibile una norma armonizzata ovvero la stessa ricada nel periodo di coesistenza, per i quali sia invece prevista la qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle presenti norme. E' fatto salvo il caso in cui, nel periodo di coesistenza della specifica norma armonizzata, il produttore abbia volontariamente optato per la Marcatura CE;
- d) materiali e prodotti per uso strutturale innovativi o comunque non citati nel presente capitolo e non ricadenti in una delle tipologie A) o B). In tali casi il produttore potrà pervenire alla Marcatura CE in conformità a Benestare Tecnici Europei (ETA), ovvero, in alternativa, dovrà essere in possesso di un Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Ad eccezione di quelli in possesso di Marcatura CE, possono essere impiegati materiali o prodotti conformi ad altre specifiche tecniche qualora dette specifiche garantiscano un livello di sicurezza equivalente a quello previsto nelle presenti norme. Tale equivalenza sarà

accertata attraverso procedure all'uso stabilite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sentito lo stesso Consiglio Superiore.

Per i materiali e prodotti recanti la Marcatura CE sarà onere del Direttore dei Lavori, in fase di accettazione, accertarsi del possesso della marcatura stessa e richiedere ad ogni fornitore, per ogni diverso prodotto, il Certificato ovvero Dichiarazione di Conformità alla parte armonizzata della specifica norma europea ovvero allo specifico Benestare Tecnico Europeo, per quanto applicabile. Sarà inoltre onere del Direttore dei Lavori verificare che tali prodotti rientrino nelle tipologie, classi e/o famiglie previsti nella detta documentazione.

Per i prodotti non recanti la Marcatura CE, il Direttore dei Lavori dovrà accertarsi del possesso e del regime di validità dell'Attestato di Qualificazione (caso B) o del Certificato di Idoneità Tecnica all'impiego (caso C) rilasciato del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

La Direttiva Prodotti da Costruzione 89/106 prescrive la marcatura CE di tutti i prodotti interessati. Nel caso dei prodotti strutturali a base di legno sono attualmente previste le seguenti tipologie:

- *legno massiccio a sezione rettangolare*, marcatura secondo EN 14081 obbligatoria da settembre 2012;
- *legno lamellare incollato*, marcatura secondo EN 14080 obbligatoria da dicembre 2011.

La norma armonizzata di riferimento per il legno massiccio a sezione rettangolare è la UNI EN 14081-1 (*Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza – requisiti generali*), il cui periodo di coesistenza è terminato il 31 dicembre 2011. **Ad oggi quindi è cogente per i produttori la marcatura CE.**

Il Direttore dei Lavori nel caso d'utilizzo di legno strutturale effettua il controllo d'accettazione redigendo il relativo certificato. Generalmente la fornitura in cantiere è effettuata da commercianti o trasformatori. In questo caso la DL dovrà acquisire:

- a) certificato di qualificazione del prodotto del Servizio Tecnico Centrale sul quale deve essere riportato il riferimento del documento di trasporto accompagnato da una documentazione relativa alle caratteristiche tecniche del prodotto (legno massiccio) con l'aggiunta, nel caso di legno lamellare, degli estremi di qualificazione del produttore secondo la norma UNI EN 9001;
- b) riferimento al documento di trasporto del commerciante stesso o del trasformatore intermedio in maniera da documentarne la provenienza anche in assenza di marchiatura.

Il Direttore dei Lavori provvederà poi a controllare che le procedure di posa in opera siano conformi alle specifiche tecniche del produttore (paragrafo 11.71 delle NTC 2008).

Nel caso di non conformità rispetto a quanto sopra indicato, il Direttore dei Lavori è tenuto a rifiutare la fornitura (paragrafo 11.3.1.5 delle NTC 2008). Tale documentazione deve essere archiviata e tenuta a disposizione da parte dell'utilizzatore finale per almeno 10 anni. (paragrafo 11.3.1.4 delle NTC 2008).

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.

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 toname 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 toname 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.clspl.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 produ-

zione deve essere effettuato a cura del Direttore Tecnico di stabilimento, che deve provvedere 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 (formula 3.1 della UNI 1995:2015):

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

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 (formula 3.2 della UNI 1995:2015):

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

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%

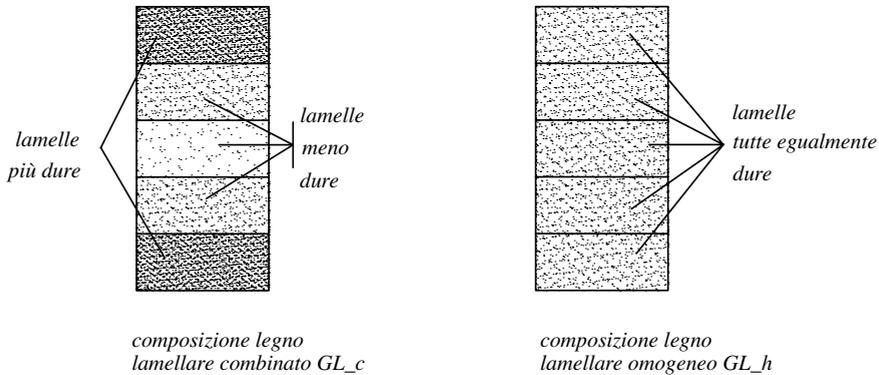
Il legno lamellare è definito con le classi di resistenza GL seguite da una cifra (che corrisponde al valore caratteristico della resistenza a flessione) e da una lettera: *h* per legno lamellare omogeneo, *c* per legno lamellare combinato.

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 di seguito.

Osserviamo che le tensioni più alte sono agli estremi della sezione. Il legno lamellare composito 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.

