



MARCO BOSCOLO BIELO

LEGNO

MANUALE TECNICO

PROGETTO E VERIFICA DI STRUTTURE
E CONNESSIONI IN ZONA SISMICA

Panorama normativo
completo e aggiornato

Sviluppo di numerosi
esempi di calcolo

Lamellari, X-LAM,
massicci, compositi

Estesa casistica dei
tipi di collegamento

Tabellari per costruzioni
nuove ed esistenti



WEBAPP
INCLUSA

Marco Boscolo Bielo

LEGNO - MANUALE TECNICO

PROGETTO E VERIFICA DI STRUTTURE
E CONNESSIONI IN ZONA SISMICA

Ed. I (05-2026)

ISBN 13 978-88-277-0538-4

EAN 9 788827 7 05384

Collana **MANUALI**

*L'Autore desidera ringraziare
l'Ing. Luigi Nulli e Concrete s.r.l. per Sismicad.*



**Licenza d'uso da leggere attentamente
prima di attivare la WebApp o il Software incluso**

Usa un QR Code Reader
oppure collegati al link <https://grafill.it/licenza>

Per assistenza tecnica sui prodotti Grafill aprire un ticket su <https://www.supporto.grafill.it>

L'assistenza è gratuita per 365 giorni dall'acquisto ed è limitata all'installazione e all'avvio del prodotto, a condizione che la configurazione hardware dell'utente rispetti i requisiti richiesti.

© **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

**CONTATTI
IMMEDIATI**



Pronto GRAFILL
Tel. 091 6823069



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare presso **Tipografia Publistampa S.n.c. - Palermo**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

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.



**PRONTO
GRAFILL**



**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

SOMMARIO

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| PREFAZIONE | p. | 11 |
| 1. IL LEGNO NATURALE | " | 13 |
| 1.1. Introduzione | " | 13 |
| 1.2. Conifere e latifoglie | " | 18 |
| 1.3. Idealizzazione del materiale | " | 21 |
| 1.4. Comportamento del legno naturale | " | 22 |
| 1.5. Tipi di legname | " | 24 |
| 1.5.1. Abete bianco | " | 25 |
| 1.5.2. Abete rosso | " | 28 |
| 1.5.3. Larice | " | 30 |
| 1.5.4. Pino silvestre | " | 33 |
| 1.5.5. Castagno | " | 35 |
| 1.5.6. Ontano | " | 37 |
| 1.5.7. Rovere | " | 38 |
| 1.5.8. Tabella riassuntiva dei parametri meccanici di varie essenze legnose | " | 39 |
| 1.6. Caratterizzazione meccanica dei legnami nelle costruzioni esistenti | " | 42 |
| 2. LEGNO STRUTTURALE MASSICCIO | " | 43 |
| 2.1. Generalità | " | 43 |
| 2.2. Utilizzo di materiali e prodotti a base di legno | " | 44 |
| 2.3. Parametri che influenzano il comportamento strutturale del legno massiccio | " | 45 |
| 2.3.1. I nodi e la deviazione della fibratura | " | 46 |
| 2.3.2. Inclinazione della fibratura | " | 47 |
| 2.3.3. Massa volumica | " | 48 |
| 2.3.4. Conformazione degli anelli di accrescimento | " | 48 |
| 2.3.5. Fessurazioni longitudinali da ritiro | " | 49 |
| 2.3.6. Cipollatura | " | 49 |

| | | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| 2.3.7. | Conformazione del midollo e del legno giovanile..... | p. | 50 |
| 2.3.8. | Legno di reazione | " | 50 |
| 2.3.9. | Deformazioni..... | " | 52 |
| 2.3.10. | Degrado e lesioni..... | " | 52 |
| 2.4. | Definizione dei parametri meccanici | " | 53 |
| 2.5. | Il fattore "k _n " | " | 54 |
| 2.6. | Classificazione e Tabelle UNI EN 338 | " | 55 |
| 3. | LEGNO LAMELLARE INCOLLATO | " | 58 |
| 3.1. | Generalità..... | " | 58 |
| 3.2. | Il sistema di "certificazione" | " | 59 |
| 3.3. | Classificazione e tabelle UNI EN 1194 | " | 59 |
| 3.4. | Il fattore "k _n " | " | 61 |
| 3.5. | Giunti "a dita" o "a pettine" | " | 61 |
| 3.6. | Collanti..... | " | 62 |
| 4. | ALTRI PRODOTTI DA COSTRUZIONE A BASE DI LEGNO | " | 63 |
| 4.1. | Glued solid timber (bilama, trilama) | " | 63 |
| 4.2. | Pannelli OSB..... | " | 64 |
| 4.3. | Pannelli di compensato (plywood) | " | 65 |
| 4.4. | Pannelli di legno massiccio..... | " | 69 |
| 4.5. | Pannelli di fibre | " | 70 |
| 4.6. | Pannelli LVL..... | " | 73 |
| 4.7. | Pannelli X-LAM (CLT) | " | 74 |
| 5. | CERTIFICAZIONI DEI MATERIALI | " | 76 |
| 5.1. | Disposizioni generali | " | 76 |
| 5.2. | Disposizioni specifiche per prodotti strutturali in legno o a base di legno | " | 78 |
| 5.3. | Oneri del Direttore dei Lavori..... | " | 80 |
| 6. | METODO PROBABILISTICO AGLI STATI LIMITE | " | 82 |
| 6.1. | Considerazioni preliminari..... | " | 82 |
| 6.2. | Modelli di valutazione della sicurezza..... | " | 84 |
| 6.3. | Metodo semiprobabilistico agli stati limite..... | " | 87 |
| 6.4. | Gli stati limite..... | " | 88 |
| 6.5. | Azioni elementari | " | 89 |
| 6.6. | Combinazioni di carico..... | " | 90 |
| 6.7. | Coefficienti parziali da assumere per i materiali | " | 93 |
| 6.8. | Determinazione dei parametri meccanici di progetto..... | " | 94 |

| | | | |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|
| 6.10. | Classi di servizio | p. | 96 |
| 6.11. | Ipotesi per le verifiche agli stati limite..... | " | 98 |
| 6.11.1. | Stati Limite di Esercizio..... | " | 98 |
| 6.11.2. | Stati Limite Ultimi | " | 98 |
| 7. | TRAZIONE E COMPRESSIONE | " | 101 |
| 7.1. | Generalità..... | " | 101 |
| 7.2. | Trazione parallela alle fibre | " | 103 |
| 7.3. | Trazione perpendicolare alle fibre | " | 105 |
| 7.4. | Compressione parallela alla fibratura | " | 107 |
| 7.5. | Compressione perpendicolare alla fibratura | " | 107 |
| 7.6. | Compressione inclinata rispetto alla fibratura..... | " | 111 |
| 8. | INSTABILITÀ EULERIANA E FLESSO TORSIONALE | " | 113 |
| 8.1. | Instabilità per carico di punta..... | " | 113 |
| 8.2. | Verifiche per instabilità di carico di punta..... | " | 118 |
| 8.2.1. | Valutazione di luci libere di inflessione e verifiche | " | 118 |
| 8.2.2. | Elementi snelli lungo una direzione | " | 121 |
| 8.3. | Instabilità flessione torsionale | " | 121 |
| 8.3.1. | Il momento critico M_{cr} | " | 121 |
| 8.3.2. | Lunghezza libera di inflessione L_{eff} per instabilità flessione-torsionale | " | 123 |
| 8.3.3. | Tensione critica di inflessione $\sigma_{m,crit}$ per instabilità flessione-torsionale | " | 124 |
| 9. | FLESSIONE, TENSOFFLESSIONE, PRESSOFFLESSIONE | " | 126 |
| 9.1. | Flessione retta ed instabilità flessione torsionale (SLU) | " | 126 |
| 9.2. | Flessione deviata (SLU) | " | 134 |
| 9.3. | Tensoflessione (SLU) | " | 137 |
| 9.4. | Pressoflessione stabile (SLU) | " | 141 |
| 9.5. | Pressoflessione deviata instabile (SLU)..... | " | 142 |
| 9.6. | Pressoflessione retta instabile (SLU)..... | " | 142 |
| 9.7. | Pressoflessione secondo DT CNR 206/2018 | " | 145 |
| 9.8. | Verifiche per gli Stati Limite di Esercizio (SLE)..... | " | 146 |
| 9.8.1. | Generalità..... | " | 146 |
| 9.8.2. | Deformazioni istantanee e a lungo termine | " | 146 |
| 10. | TAGLIO | " | 152 |
| 10.1. | Generalità..... | " | 152 |
| 10.2. | Verifica a taglio per SLU | " | 153 |
| 10.3. | Torsione..... | " | 155 |
| 10.4. | Taglio e torsione | " | 158 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| 11. COLLEGAMENTI | p. 160 |
| 11.1. Generalità | " 160 |
| 11.2. Tipologie | " 160 |
| 11.2.1. Collegamenti di carpenteria | " 160 |
| 11.2.2. Bulloni | " 163 |
| 11.2.3. Viti | " 166 |
| 11.2.4. Spinotti | " 167 |
| 11.2.5. Anelli e caviglie | " 168 |
| 11.2.6. Piastre dentate | " 169 |
| 11.2.7. Cambrette o graffe | " 170 |
| 11.3. Resistenza dei collegamenti di carpenteria | " 170 |
| 11.3.1. Generalità | " 170 |
| 11.3.2. Unioni a dente singolo | " 170 |
| 11.3.3. Unioni a dente doppio | " 173 |
| 11.3.4. Unioni a trazione | " 173 |
| 11.4. Resistenza dei collegamenti | |
| con mezzi di unione metallica a gambo cilindrico | " 174 |
| 11.4.1. Piani di taglio e resistenza f_{uk} | " 174 |
| 11.4.2. Collegamenti con mezzi di unione multipli | " 175 |
| 11.4.3. Collegamenti con forze inclinate | |
| rispetto alla direzione delle fibre | " 176 |
| 11.4.4. Forze alternate | " 177 |
| 11.4.5. Meccanismi di rottura fragile | " 177 |
| 11.4.6. Cenni sulla Teoria di Johansen | " 178 |
| 11.4.7. Capacità portante | |
| di unioni legno-legno e pannello-legno | " 179 |
| 11.4.8. Resistenza al rifollamento | |
| e momento di snervamento del connettore | " 182 |
| 11.4.9. Capacità portante di unioni acciaio-legno | " 184 |
| 11.4.10. Connessioni con chiodi | " 187 |
| 11.4.11. Unioni con cambrette | " 195 |
| 11.4.12. Unioni con bulloni | " 197 |
| 11.4.13. Unioni con spinotti | " 201 |
| 11.4.14. Unioni con viti | " 203 |
| 11.5. Collegamenti con elementi di acciaio incollati | " 207 |
| 11.5.1. Generalità | " 207 |
| 11.5.2. Resistenza di collegamenti | |
| con barre incollate | " 208 |
| 11.5.3. Resistenza di connessioni | |
| con piastre metalliche incollate | " 212 |
| 11.6. Rigidezza dei giunti e valori di K_{ser} | " 213 |
| 11.7. Disposizioni costruttive | " 214 |

| | | |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 11.8. | Disposizioni costruttive dei collegamenti previste dall'Eurocodice 8..... | p. 215 |
| 12. | CRITERI DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA | " 217 |
| 12.1. | L'accelerazione sismica attesa al suolo | " 217 |
| 12.2. | Spettro di risposta elastico in accelerazione | " 220 |
| 12.3. | Sistemi piani ad un grado di libertà | " 222 |
| 12.4. | Spettro di risposta di progetto e fattore di struttura q | " 224 |
| 12.5. | Spettri per azioni verticali e per gli spostamenti | " 225 |
| 12.6. | Sistemi ad n gradi di libertà..... | " 225 |
| 12.7. | L'impalcato infinitamente rigido..... | " 228 |
| 12.8. | La "regolarità" delle costruzioni..... | " 229 |
| 12.8.1. | Generalità..... | " 229 |
| 12.8.2. | Regolarità in pianta | " 229 |
| 12.8.3. | Regolarità in altezza | " 229 |
| 12.8.4. | Precisazioni della Circolare n. 7/2019 sulla "regolarità"..... | " 230 |
| 12.9. | La duttilità strutturale..... | " 231 |
| 12.10. | Comportamento isteretico dei collegamenti con mezzi metallici | " 233 |
| 12.11. | Comportamento dissipativo e non dissipativo delle strutture | " 235 |
| 12.12. | Strutture a comportamento dissipativo | " 235 |
| 12.13. | Fattore q per strutture dissipative..... | " 237 |
| 12.14. | Fattore q per strutture non dissipative | " 238 |
| 12.15. | Verifiche di sicurezza | " 239 |
| 12.16. | Regole di dettaglio | " 239 |
| 12.16.1. | Disposizioni costruttive per i collegamenti | " 239 |
| 12.16.2. | Disposizioni costruttive per gli impalcati in legno..... | " 240 |
| 12.17. | Fondazioni | " 240 |
| 13. | ANALISI SISMICHE | " 242 |
| 13.1. | Tipi di analisi..... | " 242 |
| 13.1.1. | Generalità..... | " 242 |
| 13.1.2. | Analisi lineare dinamica..... | " 242 |
| 13.1.3. | Analisi lineare statica..... | " 243 |
| 13.1.4. | Analisi non lineare statica..... | " 243 |
| 13.2. | Generalità e ipotesi di base per l'applicazione dell'analisi lineare statica | " 243 |
| 13.3. | Esempio di analisi lineare statica | " 245 |

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------|--------|
| 13.3.1. | Descrizione della struttura | p. 245 |
| 13.3.2. | Caratteristiche della costruzione e del sito di riferimento | " 246 |
| 13.3.3. | Determinazione del periodo proprio di vibrazione T_1 | " 247 |
| 13.3.4. | Determinazione del fattore di struttura | " 248 |
| 13.3.5. | Diagrammi degli spettri di risposta orizzontali..... | " 248 |
| 13.3.6. | Carichi verticali | " 250 |
| 13.3.7. | Valutazione dell'azione sismica (tagliante di base) | " 250 |
| 13.4. | Giudizio motivato di accettabilità dei risultati..... | " 253 |
| 13.5. | Contemporaneità delle azioni sismiche | " 254 |
| 13.6. | Zone a bassa sismicità | " 255 |
| 14. | ELEMENTI STRUTTURALI PARTICOLARI | " 256 |
| 14.1. | Travi rastremate | " 256 |
| 14.2. | Travi a semplice rastremazione | " 259 |
| 14.3. | Travi a doppia rastremazione..... | " 264 |
| 14.4. | Travi curve | " 267 |
| 14.5. | Travi centinate | " 269 |
| 14.6. | Colonne composte..... | " 272 |
| 14.6.1. | Generalità..... | " 272 |
| 14.6.2. | Colonne composte da elementi non divaricati..... | " 273 |
| 14.6.3. | Colonne composte da elementi divaricati | " 275 |
| 14.7. | Colonne a traliccio | " 279 |
| 14.7.1. | Ipotesi di base..... | " 279 |
| 14.7.2. | Capacità portante | " 280 |
| 14.7.3. | Forze di taglio | " 282 |
| 14.8. | Elementi di controventamento compressi..... | " 282 |
| 14.8.1. | Generalità..... | " 282 |
| 14.8.2. | Forza stabilizzante minima per appoggi intermedi | " 282 |
| 14.8.3. | Rigidezza minima dei supporti intermedi..... | " 284 |
| 14.8.4. | Controventatura di sistemi di travi e/o capriate | " 286 |
| 15. | SOLAI | " 289 |
| 15.1. | Travi composte a "T" | " 289 |
| 15.1.1. | Generalità..... | " 289 |
| 15.2. | Connessione a rigidezza nulla | " 290 |
| 15.3. | Connessione a rigidezza infinita | " 291 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| 15.4. | Connessione a rigidità finita (semirigida) | p. 292 |
| 15.5. | Solai composti legno-calcestruzzo | " 295 |
| 15.5.1. | Generalità | " 295 |
| 15.5.2. | Profondità di infissione dei connettori | " 297 |
| 15.5.3. | Verifica a rifollamento del materiale legno | " 298 |
| 15.6. | Solai composti legno-legno | " 299 |
| 15.7. | Travi a "I" o ad "H" | " 299 |
| 15.8. | Efficienza dei connettori | " 301 |
| 15.9. | Vibrazioni nei solai | " 301 |
| 15.9.1. | Generalità | " 301 |
| 15.9.2. | Frequenza fondamentale di solaio a pianta rettangolare | " 302 |
| 15.9.3. | Verifiche | " 302 |
| 15.9.4. | Determinazione della velocità di risposta all'impulso unitario | " 303 |
| 15.10. | Esempio di verifica di un solaio legno-legno | " 304 |
| 15.10.1. | Modello di calcolo | " 304 |
| 15.10.2. | Descrizione del solaio | " 305 |
| 15.10.3. | Verifiche allo SLU degli elementi in legno a tempo iniziale | " 306 |
| 15.10.4. | Verifiche allo SLU della connessione a tempo iniziale | " 309 |
| 15.10.5. | Verifiche di freccia (SLE) a tempo iniziale | " 310 |
| 15.10.6. | Verifiche allo SLU degli elementi in legno a tempo infinito | " 311 |
| 15.10.7. | Verifiche allo SLU della connessione a tempo infinito | " 313 |
| 15.10.8. | Efficienza della connessione a tempo infinito | " 313 |
| 15.10.9. | Verifiche di freccia (SLE) a tempo infinito | " 314 |
| 15.10.10. | Verifica delle vibrazioni | " 315 |
| 16. | PARETI X-LAM | " 316 |
| 16.1. | Costruzioni con pareti portanti in X-LAM | " 316 |
| 16.2. | Azioni sul macroelemento | " 317 |
| 16.3. | Flessione fuori piano | " 317 |
| 16.4. | Flessione nel piano | " 319 |
| 16.5. | Trazione e compressione nel piano | " 319 |
| 16.6. | Azioni taglianti | " 319 |
| 16.7. | Coefficiente di sistema | " 320 |
| 16.8. | Verifica di una parete X-LAM | " 321 |
| 16.9. | Analisi sismica di una costruzione con pareti portanti in X-LAM | " 325 |

| | | |
|--------------------------------------------------------------------|----|-----|
| 17. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SU ELEMENTI ESISTENTI | p. | 332 |
| 17.1. Generalità | " | 332 |
| 17.2. Valutazione della sicurezza e indicatori di rischio | " | 332 |
| 17.3. Verifica di un solaio esistente | " | 334 |
| 18. ROBUSTEZZA E DURABILITÀ | " | 336 |
| 18.1. Robustezza | " | 336 |
| 18.2. Durabilità | " | 337 |
| LA WEBAPP INCLUSA: CONTENUTI E ATTIVAZIONE | " | 338 |
| – Contenuti della WebApp | " | 338 |
| – Requisiti hardware e software | " | 338 |
| – Attivazione della WebApp | " | 338 |
| BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE | " | 339 |

PREFAZIONE

Questo volume tratta i principi della progettazione e del calcolo strutturale di opere realizzate in legno e/o con prodotti a base di legno, nonché dei tipi di collegamento. L'attuale normativa tecnica a disposizione dei progettisti offre una molteplicità di fonti che spesso possono rendere poco pratica la reperibilità e il coordinamento fra i vari contenuti che, a volte, si discostano fra loro.

Allo stato attuale, i principali riferimenti sono i seguenti:

- le *Norme Tecniche per le Costruzioni*, emanate con D.M. 17/01/2018 (NTC 2018);
- l'Eurocodice 5 EN 1995 (EC5, *Progettazione di Strutture in Legno*);
- le *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture in Legno* (CNR-DT 206/2018);
- l'Eurocodice 8 EN 1998 (EC8, *Progettazione delle Strutture per la Resistenza Sismica*);
- diversi riferimenti contenuti nelle regole tecniche emanate dall'Ente Italiano di Normazione (UNI), che qualificano una serie di prove sperimentali e di parametri meccanici da attribuire alle varie tipologie di prodotti in commercio;
- la Direttiva UE 3110/2024 (*Regolamento dei Prodotti da Costruzione*).

Il testo è stato, dunque, elaborato sulla base di questi autorevoli e qualificati riferimenti, in modo da offrire ai progettisti e tecnici di settore, un completo compendio di riferimento in un unico volume. Questa operazione di sintesi può avere grande utilità, se non altro per il risparmio di tempo di cui l'utilizzatore potrà giovarsi.

Oltre ad una vasta serie di esempi applicativi, tali da rendere più espliciti i contenuti degli algoritmi di calcolo, il volume riporta anche indicazioni utili in fase di accettazione del prodotto da parte dei Direttori dei Lavori.

IL LEGNO NATURALE

1.1. Introduzione

Il legno è un materiale naturale il cui principale costituente è la cellulosa. Nella terminologia chimica il suffisso "osio" (da cui "osa") indica uno zucchero: la cellulosa è infatti lo zucchero associato alle cellule vegetali, in particolare alle loro pareti.

Il glucosio è sintetizzato nelle foglie per effetto della luce solare su acqua e anidride carbonica, con l'aiuto di un catalizzatore: la clorofilla. Passa poi in soluzione nella linfa ed è trasportato nelle zone di crescita della pianta.

A livello macroscopico, analizzando una sezione trasversale di un tronco d'albero, possiamo distinguere varie zone (figura 1.1):

- la *corteccia*, divisibile in *esterna* ed *interna (libro)*;
- il *legno*, costituente la parte principale con l'*alburno* ed il *durame* più o meno distinguibili (legno differenziato o indifferenziato), con gli *anelli di accrescimento*, con i *raggi midollari* ed altri tessuti;
- il *midollo* al centro.

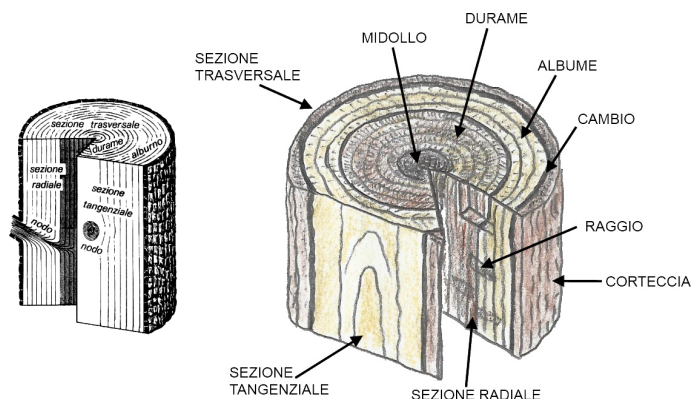


Figura 1.1. Tronco di legno e rappresentazione delle sezioni trasversale, radiale e tangenziale

Com'è noto, la crescita della pianta, oltre che in altezza (crescita primaria), avviene anche in direzione radiale del fusto (crescita secondaria), attraverso la generazione di successivi anelli.

LEGNO STRUTTURALE MASSICCIO

2.1. Generalità

L'attuale normativa tecnica¹ definisce le costruzioni a struttura portante lignea facendo la seguente distinzione:

- costruzioni di **legno strutturale** (legno massiccio, segato, squadrato o tondo);
- costruzioni con **prodotti strutturali a base di legno** (legno lamellare incollato, pannelli a base di legno).

Per **segato di legno massiccio** si intende un singolo segato ottenuto da un tronco tramite lavorazione meccanica. Non sono compresi in questa definizione i prodotti incollati o assemblati (per esempio legno giuntato a dita sull'intera sezione, legno lamellare, prodotti tipo bilama e trilama, pannelli di tavole incollate o assemblate con unioni meccaniche). Gli elementi strutturali così ottenuti appartengono a una **specie legnosa** (ad esempio botanica: abete, acero, faggio, castagno ecc.) oppure ad un gruppo di specie (in accordo alla UNI EN 13556).

Il **tipo di legname** viene, invece, definito da parametri quali la *specie*, la *provenienza* e la *categoria*. La *provenienza* coincide con l'area geografica di crescita degli alberi dai quali si ottengono i segati, mentre la categoria è l'insieme a cui viene assegnato il legname *classificato a vista* secondo la resistenza meccanica in base a criteri normati (ad esempio UNI EN 14081-1).

Ogni tipo di legname comprende assortimenti di varia sezione e lunghezza, i quali devono contribuire, tutti assieme, alla determinazione dei valori caratteristici.

La produzione di elementi strutturali di legno massiccio a sezione rettangolare deve risultare conforme alla norma europea armonizzata UNI EN 14081 e recare la Marcatura CE. Qualora non sia applicabile la marcatura CE, i produttori di legno massiccio per uso strutturale, devono essere qualificati mediante attestazione rilasciata dal Servizio Tecnico Centrale del CSLLP.

Il legno massiccio per uso strutturale è un prodotto naturale, selezionato e classificato per dimensioni d'uso secondo la resistenza. I criteri previsti dalle NTC 2018 e dalla marcatura CE garantiscono prestazioni meccaniche minime, statisticamente determinate e controllate, senza necessità di ulteriori prove o verifiche sperimentali.

¹ D.M. 17 gennaio 2018.

LEGNO LAMELLARE INCOLLATO

3.1. Generalità

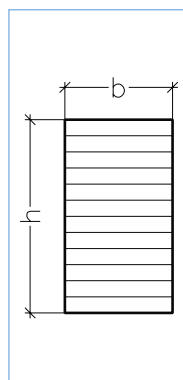
Il *legno lamellare incollato* (in inglese *glued laminated*, da cui l'abbreviazione *glu lam* e acronimo *GL*), è un prodotto industriale ottenuto con procedure normalizzate di incollaggio, pressatura ed essiccamento, di singole lamelle¹ le cui dimensioni variano da 33 a 40 mm di spessore per una larghezza che dipende dal profilo commerciale prescelto, mentre la lunghezza varia da 150 a 500 mm.

Con queste modalità si ottengono profili di elementi strutturali di ottime capacità meccaniche, di notevoli dimensioni e curvature.

In tabella 3.1 sono riportate alcune dimensioni che si trovano in commercio.

Tabella 3.1. Dimensioni di produzione di sezioni rettangolari in legno lamellare

| Larghezza b ... [cm] | | | | | | |
|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 8.0 | 10.0 | 12.0 | 14.0 | 16.0 | 20.0 | 22.0 |
| Altezza h ... [cm] | | | | | | |
| 12 | 48.3 | 84.9 | 121.3 | 157.8 | 194.2 | |
| 16 | 52.4 | 88.9 | 125.4 | 161.8 | 198.2 | |
| 20 | 56.4 | 93 | 129.4 | 165.9 | 202.3 | |
| 24 | 60.5 | 97 | 133.5 | 169.9 | 206.4 | |
| 28 | 64.6 | 101.1 | 137.5 | 174 | 210.4 | |
| 32 | 68.7 | 105.1 | 141.6 | 178 | 214.5 | |
| 36 | 72.7 | 109.2 | 145.6 | 182.1 | 218.5 | |
| 40 | 76.8 | 113.2 | 149.7 | 186.1 | 222.6 | |
| 44.3 | 80.8 | 117.3 | 153.7 | 190.2 | | |



I vantaggi più evidenti della realizzazione di profili in legno lamellare incollato sono:

- eliminazione dei difetti attraverso la cernita delle lamelle;
- produzione di elementi con parametri meccanici certificati e controllati;
- facilità nella stagionatura degli elementi;
- realizzazione di elementi caratterizzati da diversa qualità delle lamelle (elementi compositi classificati con aggiunta della sigla "c") mediante collocazione di quelle

¹ Nell'attuale normativa tecnica (NTC 2018), come già evidenziato al paragrafo 2.1, il legno lamellare incollato fa parte della categoria definita come *prodotti strutturali a base di legno*.


ALTRI PRODOTTI DA COSTRUZIONE A BASE DI LEGNO

4.1. Glued solid timber (bilama, trilama)

Da qualche tempo il mercato propone nuovi elementi strutturali a base di legno composti da lamelle di legno massiccio normate da UNI 14080 che si differenziano dal legno lamellare in quanto sono composte da un minimo di 2 ad un massimo di 5 lamelle di spessore maggiore, ovvero variabile da 45 mm a 85 mm.

I legnami fanno sempre parte delle classificazioni di cui si è detto al capitolo 2 con i parametri meccanici indicati nelle tabelle 2.2, 2.3 e 2.4, tuttavia in commercio si trovano prevalentemente elementi realizzati con legno di conifera e pertanto la tabella di riferimento è la 2.2. I collanti e i tipi di giunzione utilizzabili sono gli stessi utilizzati nella produzione del legno lamellare così come le procedure di controllo di qualità e di marcatura CE.

Questo tipo di legno strutturale è denominato in lingua anglosassone come *glue solid timber* mentre nella denominazione tedesca si può trovare l'acronimo KVH (*konstruktion-svollholz*). In Italia si identificano con i termini "bilama" o "trilama" in quanto si riferiscono al numero di lamelle che costituiscono la sezione (vedi figura 4.1). La sezione massima del prodotto raggiungibile con questo tipo di prodotto è di 280 mm × 280 mm, limite indicato sempre dalla UNI 14080.



| Dimensioni tipiche [mm] | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Larghezza | Altezza delle travi Duo | | | | | | | | |
| | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | |
| 80 | | | | • | • | • | • | • | |
| 100 | • | | | • | • | • | • | • | |
| 120 | | • | | • | • | • | • | • | |
| 140 | | | • | | | • | - | - | |
| 160 | • | • | | • | | - | - | - | |
| Larghezza | Altezza delle travi Trio | | | | | | | | |
| | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | |
| 180 | | | | | • | • | • | | |
| 200 | | | | • | | • | | - | |
| 240 | | • | • | • | • | - | - | - | |

Lunghezza fino a 13000 mm (giunti a pettine)

Figura 4.1. Profili commerciali bilama (a sinistra) e trilama (a destra), secondo la UNI 14080 la sezione può essere composta da un numero minimo di 2 lamelle ad un massimo di 5 lamelle

CERTIFICAZIONI DEI MATERIALI

5.1. Disposizioni generali

Nel complesso iter procedurale, che va dall'ideazione del progetto alla sua realizzazione, una delle tappe fondamentali risulta essere quella dell'identificazione e accettazione dei materiali in cantiere da parte del Direttore dei Lavori.

Le elaborazioni di calcolo effettuate dallo strutturista sono infatti conseguenti anche ad una specifica scelta dei materiali e delle loro caratteristiche meccaniche (nel caso del legno la *classificazione*). È evidente che una fornitura non conforme alle indicazioni progettuali invalida le verifiche di calcolo, come avverrebbe ad esempio, utilizzando un calcestruzzo avente R_{ck} 250 anziché R_{ck} 300 nel caso di strutture in calcestruzzo armato.

Nei precedenti capitoli si è già accennato al fatto che le caratteristiche dei materiali devono essere garantite dai fornitori e/o produttori, in base a specifiche normative di livello europeo e nazionale.

Per quanto attiene la normativa italiana il riferimento fondamentale è rappresentato dal D.M. 17/01/2018 (NTC 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni).

A livello europeo, invece, la commercializzazione dei prodotti da costruzione è attualmente regolamentata dal RE 3110/2024¹.

In generale, tutti i materiali e i prodotti da costruzione devono essere:

- *identificati* univocamente a cura del *fabbricante*;
- *qualificati* sotto la responsabilità del *fabbricante*;
- *accettati* dal Direttore dei Lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

L'*identificazione* e la *qualificazione* è garantita dal fabbricante o fornitore degli stessi mediante una documentazione che ne accompagna la consegna in cantiere.

A livello europeo, nella circolazione delle merci si configurano i seguenti casi:

- A) Materiali e prodotti per uso strutturale per i quali **sia disponibile una norma europea armonizzata** pubblicata nella gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea (GUUE)².

¹ A volte indicato con acronimo CPR: "Construction Products Regulation".

² Potrebbe verificarsi il caso in cui la norma europea è contemporaneamente in vigore con una norma nazionale. Ciò può accadere solo per un periodo transitorio in quanto le norme europee prevalgono su quelle nazionali. In tal caso al termine del periodo di coesistenza l'impiego di questi prodotti è possibile soltanto se in possesso della Dichiarazione di Prestazione (DoP) e della Marcatura CE prevista dal Regolamento UE 3110/2024.

METODO PROBABILISTICO AGLI STATI LIMITE

6.1. Considerazioni preliminari

Se consideriamo dal punto di vista *strutturale* l'azione del vento su di un albero (figura 6.1) ci accorgiamo che i termini della questione sono sostanzialmente 3:

- 1) Come schematizzare l'azione del vento?
- 2) Come schematizzare il "sistema strutturale albero"?
- 3) Come schematizzare la sua capacità di far fronte o meno all'azione del vento?



Figura 6.1. Esempio di struttura soggetta ad azioni

Per rispondere alla prima domanda si potrebbe pensare di elaborare una statistica dei venti caratteristici della zona in cui si trova l'albero e di assimilarne l'azione a delle forze agenti in un determinato modo. Occorrerebbe poi quantificare numericamente tali azioni e dunque effettuare delle misurazioni.

La seconda domanda ci pone di fronte la questione dello *schema statico*: ovvero di un modello che riassume le caratteristiche dei vincoli, l'assimilazione del fusto ad un'asta più o meno rettilinea, la caratterizzazione del suolo su cui si innestano le radici, ecc.

Infine, e si arriva al terzo quesito, la capacità di far fronte all'azione del vento senza spezzarsi, dipenderà dalle caratteristiche del materiale: ci saranno legni più o meno duri, più o meno umidi, e via dicendo. Per avere un'idea della resistenza dei vari legnami occorrerà dunque fare delle prove sui diversi materiali.

Ogni volta che ci troviamo di fronte a problemi del genere la sostanza della questione è sempre riconducibile ai termini di cui sopra (figura 6.2).

TRAZIONE E COMPRESSIONE

7.1. Generalità

A causa dell'anisotropia del materiale, le verifiche degli stati tensionali di trazione e compressione si devono eseguire tenendo conto dell'angolo tra direzione della fibratura e direzione della tensione.

Nel giudicare la direzione di sollecitazione, è bene sempre tenere presente le possibili condizioni illustrate in figura 1.10¹, ovvero l'effettivo andamento delle fibre rispetto alla sezione, come nei casi indicati negli esempi di figura 7.1.

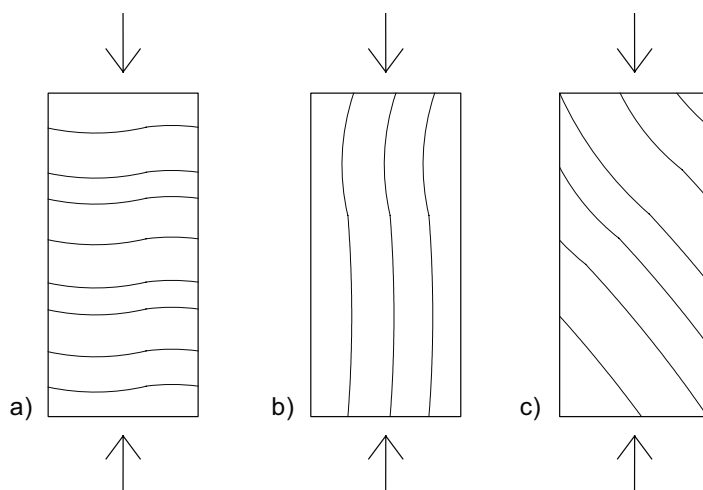


Figura 7.1. Direzione delle sollecitazioni in funzione dell'andamento delle fibre rispetto alla sezione trasversale di un elemento: **a)** compressione ortogonale alle fibre; **b)** compressione parallela alle fibre; **c)** compressione genericamente orientata

A livello microscopico la forma allungata delle fibre può essere schematizzata mediante un fascio di tubi. Nel caso in cui si abbia *compressione* lungo la loro direzione si osserva che il collasso avviene per instabilizzazione delle medesime (vedi figura 7.2).

¹ Modello anisotropo del materiale legno con indicazione delle tre direzioni principali: longitudinale (L), tangenziale (T) e radiale (R).

INSTABILITÀ EULERIANA E FLESSO TORSIONALE

8.1. Instabilità per carico di punta

Nel paragrafo 7.4 si è analizzato il caso di verifica a compressione per aste tozze, ovvero per i casi che non risentono della condizione di instabilità, mentre nel paragrafo 6.2, a proposito dei modelli di verifica, sono stati riportati i principi che regolano le condizioni di verifica per confronto fra capacità resistente (R) ed effetti delle azioni esterne (E) in relazione alla "portanza", citando il caso della determinazione del carico critico euleriano.

Il valore del **carico critico euleriano** P_{CR} (o carico di punta) è dato dalla nota formula:

$$P_{CR} = \pi^2 \frac{E \cdot J_{\min}}{L_0^2} \quad (8.1)$$

dove:

- E = modulo di elasticità longitudinale del materiale;
- L_0 = lunghezza o luce libera di inflessione dell'asta;
- J_{\min} = momento d'inerzia minimo della sezione.

La **lunghezza o luce libera d'inflessione** dipende dalle condizioni di vincolo dell'estremità dell'asta. In figura 8.1 sono rappresentati i valori relativi alle lunghezze libere d'inflessione dei casi di vincolo più ricorrenti.

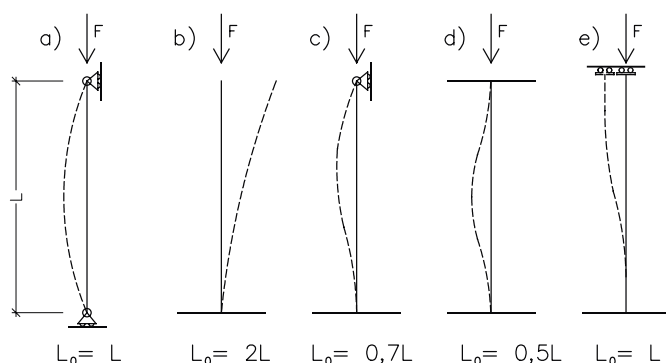


Figura 8.1. Luci libere d'inflessione: **a)** asta incernierata alle estremità; **b)** asta incastrata ad un estremo; **c)** asta con incastro e carrello verticale; **d)** asta incastrata alle estremità; **e)** asta con incastro e carrello orizzontale

FLESSIONE, TENSOFFLESSIONE, PRESSOFLESSIONE

9.1. Flessione retta ed instabilità flessio torsionale (SLU)

Quando il momento flettente agisce in riferimento all'asse forte yy di una sezione (figura 9.1) la verifica a flessione retta allo SLU si esegue nel rispetto della seguente condizione:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,m,y} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (9.1)$$

dove:

$$- \sigma_{m,d,y} = \frac{M_{d,y}}{W_y} = \text{tensione di flessione conseguente a } M_{y,d} \quad (9.2)$$

$$- W_y = \text{modulo di resistenza elastico riferito a } yy \quad (9.3)$$

$$- f_{m,d,y} = k_{mod} \cdot k_h \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = \text{resistenza flessionale rispetto all'asse } yy \quad (9.4)$$

$$- k_{crit,m,y} = \text{coefficiente di instabilità flessio-torsionale} \quad (9.5)$$

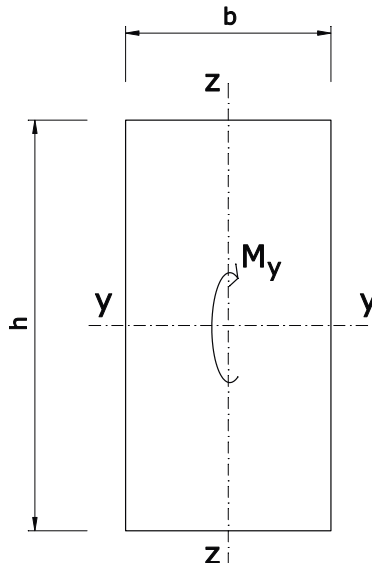


Figura 9.1. Assi di riferimento e simbologia per flessione retta

TAGLIO

10.1. Generalità

In una sezione ideale di un elemento in legno massiccio le *sollecitazioni di taglio* possono essere raggruppate secondo tre tipologie: *taglio ortogonale*, *taglio parallelo*, *rolling shear*, in funzione delle direzioni delle azioni rispetto all'andamento delle fibre come indicato in figura 10.1.

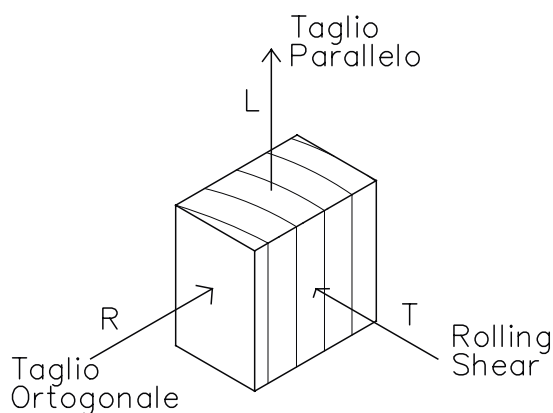


Figura 10.1. Tipi di taglio in funzione della direzione delle fibre

Come indicato in figura 10.2, nel *taglio ortogonale* la fibratura viene sollecitata perpendicolarmente al suo asse. Nel *taglio parallelo*, invece, la sollecitazione comporta uno scorrimento parallelo alle fibre. Anche nel taglio di tipo *rolling shear* si ha uno scorrimento fra le fibre, tuttavia esse tendono a scorrere con andamento rotatorio (seguendo la direttrice della circonferenza degli anelli). La rottura per *rolling shear* avviene per valori tensionali inferiori a quelli relativi ai tipi di rottura taglianti precedenti.

Nonostante ciò le norme tecniche non fanno distinzione limitandosi a fissare un solo valore di riferimento $f_{v,k}^1$

¹ Altre norme, quali la DIN 1052:2004, assumono invece un valore doppio di quello di resistenza a trazione ortogonale alle fibre per quanto concerne la rottura per *rolling shear*.

COLLEGAMENTI

11.1. Generalità

Le modalità di calcolo dei *collegamenti* (o *unioni*) di elementi lignei o a base lignea non sono direttamente illustrati nelle NTC 2018, ma come per altri casi, il progettista deve utilizzare altri codici di comprovata validità ai quali faremo riferimento nel prosieguo della presente trattazione¹. Nella codifica dei tipi di unione si possono avere:

- *collegamenti di carpenteria lignea*, realizzati per lavorazione delle superfici di contatto, in cui le sollecitazioni vengono trasmesse direttamente tramite sforzi di compressione;
- *collegamenti meccanici*, nei quali la trasmissione degli sforzi avviene prevalentemente attraverso appositi elementi metallici e, eventualmente, mediante presenza di adesivi (*unioni meccaniche*).

Le *unioni meccaniche* si suddividono in:

- *unioni con mezzi di collegamento metallici a gambo cilindrico* (bullone, chiodo, spinotto o elemento simile, con superfici lisce o zigriate);
- *unioni con connettori metallici di superficie* (caviglie, anelli, piastre dentate).

È ammesso l'uso di sistemi di unione di tipo diverso, ad esempio adesivi tipo resine epossidiche, che incollano barre metalliche ad elementi lignei. Il comportamento deve comunque essere chiaramente individuato su base teorica e/o sperimentale e garantire livelli di sicurezza non inferiore a quanto previsto nelle specifiche norme tecniche.

11.2. Tipologie

11.2.1. Collegamenti di carpenteria

I *collegamenti di carpenteria*, detti anche *tradizionali*, sono connessioni ottenute tramite intagli sugli elementi, che permettono il combaciamento delle facce per favorire la trasmissione degli sforzi e la stabilità della giunzione (figura 11.1).

Spesso questo tipo di collegamento è integrato da chiodature, fasciature metalliche o biette in legno più duro, frequenti nell'edilizia storica.

¹ Anche se nel caso di verifica singoli elementi metallici quali ad esempio chiodi, spinotti, bulloni ecc. ci si può direttamente riferire al paragrafo 11.3.4.6 del D.M. 17/01/2018.

CRITERI DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

12.1. L'accelerazione sismica attesa al suolo

Dal punto di vista sismico il territorio nazionale è suddiviso in 10.751 capisaldi di riferimento a cui vengono attribuiti alcuni *parametri* necessari alla valutazione di azioni equivalenti agli effetti determinati dal sisma sulle costruzioni. Detti parametri sono:

- a_g = accelerazione massima attesa al suolo;
- F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

L'accelerazione massima attesa al suolo a_g rappresenta il valore massimo che ci si attende in un determinato sito di progetto. A volte viene individuata anche con il termine PGA, acronimo di "peak ground acceleration" e in forma adimensionalizzata, ovvero normalizzata in g (accelerazione gravitazionale pari a $9,81 \text{ m/s}^2$).

Ad esempio, $a_g = 0,25$ significa:

$$\frac{a}{9,81 \text{ m/s}^2} = 0,25 \Rightarrow a = 0,25 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 2,4525 \text{ m/s}^2 \quad (12.1)$$

Spesso si tende ad arrotondare il valore di g a 10 m/s^2 , per cui la valutazione di a è più immediata:

$$\frac{a}{10 \text{ m/s}^2} = 0,25 \Rightarrow a = 0,25 \times 10 \text{ m/s}^2 = 2,5 \text{ m/s}^2 \quad (12.2)$$

Ad ogni modo, come anzidetto, la determinazione di a_g avviene mediante criteri probabilistici che si basano su un *periodo di ritorno* T_R così definito:

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (12.3)$$

dove:

- V_R = periodo di riferimento;
- P_{VR} = probabilità di accadimento nel periodo di riferimento V_R .

ANALISI SISMICHE

13.1. Tipi di analisi

13.1.1. Generalità

Le NTC 2018 prevedono una serie di metodi per il calcolo delle strutture che si distinguono nei seguenti tipi:

- a) analisi lineare statica;
- b) analisi lineare dinamica (o analisi modale);
- c) analisi non lineare statica (o pushover);
- d) analisi non lineare dinamica¹.

Nella pratica professionale corrente i primi tre trovano diffusa applicazione, mentre l'analisi non lineare dinamica ha ottenuto riscontri crescenti solo negli ultimi anni.

Le "analisi lineari" (statiche o dinamiche) si fondano sul presupposto che il comportamento del modello che descrive la struttura (ad esempio lo schema di un telaio piano o tridimensionale) sia costituito da elementi composti da materiale a comportamento elastico-lineare. In tal senso, all'aumentare dei carichi aumentano proporzionalmente le sollecitazioni (M , N , T). Si accetta, tuttavia, la contraddizione che, *in sede di verifica*, la determinazione delle *resistenze* avvenga considerando che quello stesso materiale abbia comportamento *non lineare*. Per quanto attiene invece alla qualifica di "statica" o "dinamica" dell'analisi, ci si riferisce al fatto che, il modello di applicazione delle azioni che simulano il sisma, derivi dalla soluzione di condizioni di equilibrio statico o dinamico.

13.1.2. Analisi lineare dinamica

Come si è avuto modo di accennare nel capitolo precedente l'**analisi lineare dinamica** affronta il problema in *termini di equilibrio dinamico* e, attraverso gli algoritmi propri dell'*analisi dinamica*, determina i *modi di vibrare* di una struttura traendone un *sistema di azioni convenzionali (forze) che simulano gli effetti di un sisma*.

Possiamo distinguere le seguenti fasi:

¹ Esiste anche la possibilità di effettuare *analisi dei cinematismi* di collasso, ma queste vengono in genere utilizzate per verifiche su edifici esistenti che presentino caratteristiche di comportamento monolitico delle membrature, sotto particolari condizioni.

ELEMENTI STRUTTURALI PARTICOLARI

14.1. Travi rastremate

Per travi rastremate si intendono quelle che presentano l'andamento di intradosso rettilineo e l'altezza della sezione variabile così da avere una inclinazione costante a rispetto all'orizzontale (vedi figura 14.1).

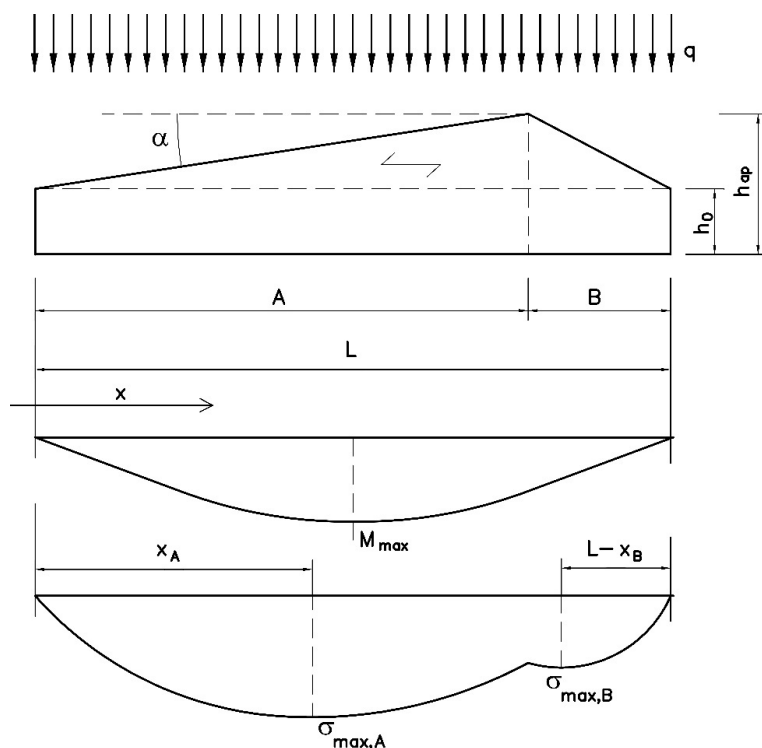


Figura 14.1. Punti notevoli nelle travi a doppia rastremazione

La variabilità dell'altezza fa sì che la sezione maggiormente sollecitata non risulti quella in mezzeria ma, sempre con riferimento alla figura 14.1, vi siano punti notevoli lungo la trave, dove la sezione è maggiormente sollecitata a momento flettente, individuati dalle ascisse:

15.1. Travi composte a "T"

15.1.1. Generalità

Nella presentazione trattazione ci occuperemo principalmente di solai del tipo *legno-calcestruzzo* e *legno-legno*, ovvero di orizzontamenti a comportamento unidirezionale rispettivamente schematizzabili con una sezione composta da anima in legno e soletta collaborante in calcestruzzo o legno.

Nella fattispecie, dunque, i sistemi sono riconducibili allo studio di travi composte del tipo a "T", dove la trave lignea (anima di sezione A_2 e modulo elastico E_2) viene accoppiata ad una soletta (ala di sezione A_1 e modulo elastico E_1) attraverso l'utilizzo di vari tipi di connettori (vedi figura 15.1).

L'efficienza dell'elemento strutturale così composto dipende dalla rigidezza della connessione. I casi limite estremi sono rappresentati da rigidezza nulla ($k = 0$) e infinita ($k = \infty$). Nel primo caso, a flessione, il sistema tende a comportarsi come se fosse costituito da due travi sovrapposte slegate l'una dall'altra, il cui funzionamento avviene *in parallelo* (figura 15.1b); nel secondo caso, invece, la sezione si comporta come se fosse unica e lo stato deformativo mantiene le sezioni piane (figura 15.1c).

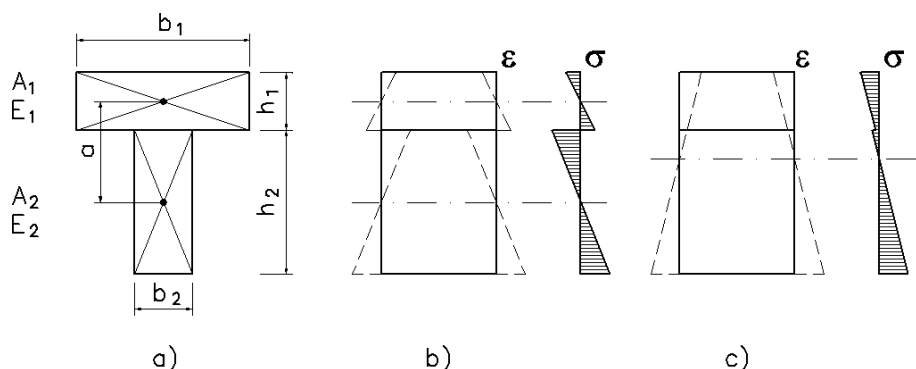


Figura 15.1. Trave composta a T: a) Schema con 2 materiali aventi aree di sezione A_1, A_2 e moduli elastici E_1, E_2 ; b) Caso limite di sezioni non connesse funzionanti in parallelo (stato deformativo e tensionale a flessione); c) Caso limite di connessione a rigidezza infinita (stato deformativo e tensionale a flessione)

PARETI X-LAM

16.1. Costruzioni con pareti portanti in X-LAM

I sistemi costruttivi moderni e i recenti sviluppi tecnologici hanno comportato la diffusione di edifici costruiti con sistemi portanti in pareti X-LAM, spesso accompagnati a soluzioni di orizzontamenti in legno, di varie tipologie, così da avere una struttura portante interamente in legno, con ovvia esclusione dell'apparato fondale.

Con tali sistemi i pannelli verticali, con comportamento prevalente a lastra, svolgono la funzione di sopportare i carichi verticali e le azioni orizzontali (vento, sisma etc.). Essi costituiscono la gran parte delle pareti verticali esterne ed interne dell'edificio e, in genere, presentano altezza pari a quella di un piano e lunghezza limitata dalle dimensioni della pianta e dalle possibilità di trasporto.

In generale si tende a dare un comportamento scatolare all'intero sistema costruttivo, pur considerando che, dal punto di vista normativo, l'obiettivo di raggiungere un comportamento infinitamente rigido del solaio, è ottenibile esclusivamente attraverso le condizioni indicate nel paragrafo 12.7, ovvero, volendo utilizzare al massimo la componente del legno, mediante orizzontamenti di tipo legno-cls. Negli altri casi, non previsti dalle definizioni delle NTC 2018, si dovrà optare per una modellazione semi-rigida del solaio, in funzione delle caratteristiche proprie del legname e delle geometrie del sistema. In favore dell'utilizzo di solai costituiti integralmente da componenti lignee si può evidenziare la relativa leggerezza, in termini di massa, la quale implica, tra le altre cose, la diminuzione degli effetti sismici.

I collegamenti dei pannelli X-LAM con gli altri elementi costruttivi (fondazioni, solai, travi, ecc.) è ottenuto, in generale, mediante l'utilizzo di piastrame di acciaio (piatti, angolari, ecc.), chiodati o bullonati ai pannelli di legno, o da altri dispositivi metallici, in grado di trasmettere gli sforzi di trazione e/o di taglio generati dalle caratteristiche della sollecitazione nelle sezioni di collegamento.

I pannelli verticali sono collegati tra loro nei giunti verticali e negli angoli (croci di muro) mediante chiodatura o avvitatura diretta o mediante fasce di lamiera di acciaio chiodate o bullonate ai pannelli lignei o angolari metallici.

Nel caso di edifici di altezza non eccessiva possono essere utilizzati pannelli continui per più di un piano, o se le geometrie lo consentono, per tutta l'altezza dell'edificio. In questo caso i collegamenti con gli impalcati e con i traversi (solai) richiedono soluzioni specifiche da definire caso per caso.

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SU ELEMENTI ESISTENTI

17.1. Generalità

Gli interventi su edifici esistenti rappresentano un campo professionale per il quale il quadro di riferimento generale, rispetto alla normativa, è dato dal capitolo 8 delle NTC 2018. In generale valgono i contenuti delle tematiche illustrate nei capitoli precedenti, sia per quanto concerne i modelli di verifica, sia per quanto riguarda la determinazione delle azioni. Per quanto concerne, invece, la valutazione delle resistenze di progetto, ci si riferisce a quanto indicato al paragrafo 1.6.

Gli aspetti fondamentali da considerare in relazione al comportamento strutturale di edifici esistenti, con particolare riguardo a quelli di carattere storico, sono i seguenti:

- le costruzioni riflettono lo stato delle conoscenze del tempo in cui sono state realizzate;
- in esse possono essere insiti, ma non palesi, difetti di impostazione e di realizzazione;
- possono essere state soggette ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;
- possono presentare significativi caratteri di degrado;
- possono essere state oggetto di modifiche, nel tempo, rispetto alla situazione originaria.

Nella definizione del loro modello strutturale di comportamento le considerazioni di cui sopra dovranno coniugarsi in un livello di approfondimento conoscitivo che dipende da molti fattori e, in particolare:

- dalla documentazione disponibile relativa ai progetti originari;
- dalle analisi sui materiali costituenti l'organismo strutturale.

A tali scopi si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità delle informazioni disponibili mediante la messa in atto di criteri che potrebbero condurre all'esecuzione di prove strumentali in situ e/o in laboratorio (piano di indagini).

17.2. Valutazione della sicurezza e indicatori di rischio

L'aspetto formale fondamentale quando si interviene in una costruzione esistente è la cosiddetta *valutazione della sicurezza*.

ROBUSTEZZA E DURABILITÀ

18.1. Robustezza

Il concetto di *robustezza strutturale* viene regolarmente inserito nella moderna normativa tecnica. Per *robustezza* si intende:

La capacità potenziale della struttura a sopravvivere ad azioni eccezionali non esplicitamente previste in sede progettuale.

Questa condizione è molto importante in quanto implica un requisito che, in un certo senso, *va oltre* le mere prescrizioni tecniche e di calcolo, nel senso che *al di là* di tutte le possibili verifiche di resistenza, di deformabilità, di qualsiasi altro possibile agente esterno che determini la rovina della costruzione, vi debbono comunque essere *delle riserve* tali che il sistema possa opporsi al collasso per eventi eccezionali.

Al fine di offrire indicazioni per l'ottenimento del requisito di robustezza, le NTC 2018 individuano alcuni aspetti fondamentali quali, almeno, i seguenti

- protezione della struttura e dei suoi elementi componenti nei confronti dell'umidità;
- utilizzazione di mezzi di collegamento intrinsecamente duttili o di sistemi di collegamento a comportamento duttile;
- utilizzazione di elementi a comportamento duttile;
- limitazione delle zone di materiale legnoso sollecitate a trazione perpendicolarmente alla fibratura, soprattutto nei casi in cui tali stati di sollecitazione si accompagnino a tensioni tangenziali (come nel caso degli intagli) e, in genere, quando siano da prevedere elevati gradienti di umidità nell'elemento durante la sua vita utile.

Anche le CNR-DT 206/2018 entrano nel merito della robustezza, aggiungendo, a quanto sopra indicato:

- la scelta di sistemi statici poco sensibili a collassi parziali;
- la scelta e la disposizione corretta dei sistemi di controventamento;
- la scelta di sistemi di collegamento poco sensibili all'azione dell'incendio;
- l'utilizzazione di mezzi di collegamento intrinsecamente duttili o di sistemi di collegamento a comportamento duttile;
- l'utilizzazione di più elementi funzionanti in parallelo o di collegamenti realizzati con un numero elevato di mezzi elementari di unione.

LA WEBAPP INCLUSA: CONTENUTI E ATTIVAZIONE

Contenuti della WebApp

La WebApp inclusa, parte integrante della pubblicazione, gestisce lo **Speciale Progettazione Strutturale Antisismica**, banca dati di normativa e giurisprudenza costantemente aggiornata a cura della redazione di www.lavoripubblici.it.

Requisiti hardware e software

- Dispositivi con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android;
- Accesso a internet e browser web con Javascript attivo;
- Software per gestire documenti PDF e Office.

Attivazione della WebApp

- 1) Collegati al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0538_4.php

- 2) Inserisci i codici **[A]** e **[B]** riportati alla fine del libro e clicca **[Continua]**;
- 3) Accedi al tuo **account Grafill** oppure creane uno;
- 4) Clicca sul pulsante **[Gcloud]**;
- 5) Clicca sul pulsante **[WebApp]** in corrispondenza del prodotto acquistato;
- 6) Fai il *login* con le credenziali del tuo **account Grafill**;
- 7) Clicca sulla copertina del libro presente nello scaffale **Le mie App**;
- 8) Si aprirà una finestra di dialogo con le risorse disponibili.

