

# QUADERNI TECNICI DI ASSOLEGNO



**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018**

**COSTRUZIONI IN LEGNO - PROGETTAZIONE IN  
CONDIZIONI STATICHE (PAR. 4.4 NTC 2018)**

[www.assolegno.it](http://www.assolegno.it)

[www.assolegnorisponde.it](http://www.assolegnorisponde.it)

[assolegno@federlegnoarredo.it](mailto:assolegno@federlegnoarredo.it)

**FLA**  
FEDERLEGNOARREDO



Milano, settembre 2021



*Il presente volume fa parte della raccolta "I Quaderni Tecnici di Assolegno", una serie di pubblicazioni redatte a cura della struttura di Assolegno di FederlegnoArredo che hanno l'obiettivo di promuovere il corretto uso del legno nelle costruzioni e di fornire chiarimenti in merito al quadro normativo vigente.*

*Sono autori di questa pubblicazione il Dott. Marco Luchetti (Responsabile di Assolegno), l'Ing. Matteo Izzi (Ufficio Tecnico di Assolegno) e l'Ing. Mauro Andreolli (Timbertech).*

## INTRODUZIONE AL QUADERNO TECNICO

Il presente Quaderno Tecnico è il primo di una serie di pubblicazioni a cura della struttura di Assolegno, destinate ad approfondire le tematiche trattate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) 2018 e dalla relativa Circolare Esplicativa.

Il fine di questa collana di volumi è quello di avvicinare il testo tecnico-legislativo delle NTC a quanto successivamente applicato in ambito professionale e industriale, introducendo un linguaggio comune tra gli operatori di settore (Progettisti, Direttori Lavori ed Imprese Costruttrici) e individuando un'utile linea guida nella concezione quanto nella realizzazione di un'opera.

Scopo del presente approfondimento è fornire uno strumento tecnico-operativo volto a discutere criticamente i principali dettami inerenti alla progettazione statica delle opere di ingegneria in legno.

Il volume è quindi una delle tante iniziative dell'Associazione, volta a facilitare il dialogo tra tutte le parti coinvolte e rappresenta un ulteriore tassello dell'impegno di Assolegno per una corretta divulgazione del quadro normativo corrente.

Angelo Luigi Marchetti  
*Presidente di Assolegno*

Aldo Dattomi  
*Consigliere del Gruppo Case  
ed Edifici a Struttura di Legno*

# ***INDICE DEI CONTENUTI***

## INDICE DEI CONTENUTI

<b>1</b>	<b>IL LEGNO STRUTTURALE</b>	<b>2</b>
1.1	VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA	4
1.2	ANALISI STRUTTURALE	6
<b>2</b>	<b>AZIONI E RESISTENZA</b>	<b>10</b>
2.1	CLASSI DI DURATA DEL CARICO	10
2.2	CLASSI DI SERVIZIO	12
2.3	RESISTENZA DI PROGETTO	14
<b>3</b>	<b>STATI LIMITE DI ESERCIZIO</b>	<b>18</b>
3.1	VIBRAZIONI	20
<b>4</b>	<b>STATI LIMITE ULTIMI</b>	<b>22</b>
4.1	VERIFICHE A TAGLIO	22
4.2	VERIFICHE DI STABILITÀ	25
4.3	SISTEMI STRUTTURALI - PARETI INTELAIATE	26
4.4	ROBUSTEZZA	30
4.5	DURABILITÀ	33
<b>5</b>	<b>REGOLE PER L'ESECUZIONE</b>	<b>36</b>
5.1	VERIFICHE PER SITUAZIONI TRANSITORIE	39
5.2	PROGETTAZIONE INTEGRATA DA PROVE E VERIFICA MEDIANTE PROVE	39

# **1. IL LEGNO STRUTTURALE**

# 1 IL LEGNO STRUTTURALE

Il paragrafo §4.4 delle NTC 2018 disciplina la progettazione statica di opere costituite con elementi di legno strutturale o con prodotti strutturali a base di legno. In particolare, viene specificato che “i materiali e i prodotti devono rispondere ai **requisiti indicati nel §11.7**” e che “tutto il legno per impieghi strutturali deve essere **classificato secondo la resistenza prima della sua messa in opera**”.



## Box di approfondimento

Come discusso dettagliatamente all'interno del cap. §11 delle NTC 2018, sono previsti tre possibili iter di qualificazione per i materiali e i prodotti ad uso strutturale:

- È disponibile una norma europea armonizzata i cui riferimenti sono pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea (GUUE o OJEU, Official Journal of the European Union). Al termine del periodo di coesistenza della norma, il loro impiego è possibile solo se corredati della Marcatura CE e della Dichiarazione di Prestazione;
- Non è disponibile una norma europea armonizzata oppure la stessa ricade entro il periodo di coesistenza, per i quali è prevista la qualificazione con le modalità e le procedure date dalle NTC. È fatto salvo il caso in cui, nel periodo di coesistenza della norma europea armonizzata, il fabbricante abbia optato per la Marcatura CE volontaria;
- Materiali e prodotti che non ricadono nelle precedenti tipologie A o B. Per essi il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE secondo una Valutazione Tecnica Europea o presentare una istruttoria al Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per un Certificato di Valutazione Tecnica (CVT).

Inoltre, le NTC 2018 precisano che l'obbligo di denuncia dell'attività di lavorazione degli elementi in legno strutturale è da ritenersi cogente sia nel caso di trasformazione di prodotti marcati CE, che di prodotti oggetto di qualificazione nazionale. L'Attestato di denuncia dell'attività di lavorazione è da considerarsi parte integrante dei documenti di accompagnamento a ciascuna fornitura.

Nell'elaborazione del paragrafo §4.4, il Normatore ha avuto come obiettivo la creazione di un quadro legislativo nazionale di riferimento, da completare alla luce degli adempimenti dati all'interno dell'Eurocodice 5.

### **Box di approfondimento**

*Come indicato nel cap. §12 delle NTC 2018, gli Eurocodici sono considerati documenti di comprovata validità. Infatti, tale capitolo recita:*

*“Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:*

- *Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali;*
- *Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;*
- *Norme per prove su materiali e prodotti pubblicate da UNI.*

*Inoltre, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:*

- *Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;*
- *Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;*
- *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sul documento stesso;*
- *Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).*

*Per quanto non trattato nella presente norma o nei documenti di comprovata validità sopracitati, possono essere utilizzati anche altri codici internazionali; è responsabilità del progettista garantire espressamente livelli di sicurezza coerenti con quelli delle presenti Norme tecniche.*

*Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per il tramite del Servizio Tecnico Centrale, predisporre e pubblica, sentiti il Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) e l'Ente Italiano di Normazione (UNI), l'elenco dei documenti che costituiscono riferimento tecnico per le Norme Tecniche per le Costruzioni ai sensi del presente capitolo. Con analoga procedura sono anche predisposti e pubblicati gli aggiornamenti periodici a tale elenco, nonché gli aggiornamenti degli elenchi delle specifiche tecniche volontarie UNI, EN ed ISO richiamate nella presente norma”.*

**Le indicazioni fornite nel paragrafo §4.4 possono essere usate anche per le verifiche di strutture in legno esistenti, purché il progettista provveda ad una corretta valutazione delle caratteristiche del legno** e in particolare degli eventuali stati di degrado. In tal senso, giova ricordare quanto chiarito all'interno della Circolare Esplicativa, cioè: *“l'impostazione generale relativa alla valutazione della sicurezza [...] può essere utilizzata anche per le strutture di legno esistenti, purché si provveda ad una valutazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del legno con metodi di prova diretti o indiretti. I calcoli, riferiti alle reali dimensioni geometriche degli elementi in sito, terranno opportunamente conto dei difetti del legno, degli eventuali stati di degrado, delle condizioni effettive dei vincoli e dei collegamenti. Con riferimento anche a quanto previsto nel §8.5 delle NTC, particolare attenzione va posta inoltre per le costruzioni antiche di rilevante interesse storico per le quali risulta opportuno il mantenimento dei materiali originali e per le quali si giustifica l'impiego di prove e criteri di valutazione che tengano conto anche delle prestazioni dimostrate dagli elementi strutturali nel corso della storia dell'opera”.*

## 1.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La sicurezza deve essere valutata secondo il metodo degli stati limite, tenendo in conto le particolarità del materiale legno. A tal proposito, il §C4.4.1 della Circolare Esplicativa dice che: **“le caratteristiche naturali del legno** (presenza di nodi, inclinazione della fibratura, presenza di cretti, di legno di reazione etc.) **possono rappresentare da un punto di vista strutturale dei difetti che vanno debitamente considerati** procedendo a una accurata selezione e classificazione secondo quanto indicato nel §11.7 delle NTC.

Una delle principali caratteristiche fisiche che influenza le prestazioni del legno è data dal **comportamento igroscopico**, connesso alla capacità di assorbire e di rilasciare umidità all'atmosfera circostante. La definizione degli stati limite, sia in condizioni ultime che nelle condizioni di esercizio, tiene perciò conto di tali specifiche caratteristiche che sono influenzate dall'umidità del materiale e dalle sue variazioni.

Per quanto riguarda la **durabilità**, dovrà essere tenuta in considerazione la sensibilità del legno al **biodegrado**, principalmente **per azione di funghi ed insetti xilofagi**".



### Box di approfondimento

La classificazione secondo la resistenza con metodi a vista, che tiene conto dei difetti presenti, e l'influenza del grado di umidità sulle proprietà meccaniche saranno trattate con maggior rigore in altre parti di questa collana di Quaderni Tecnici; ai fini di questo documento, verrà affrontato soltanto il tema della durabilità.

Il legno può essere deteriorato da agenti biodegradanti, principalmente funghi e insetti, che trovano nutrimento nei costituenti chimici delle pareti cellulari o nelle sostanze di riserva in esse accumulate. In particolare:

- è attaccato da funghi xilofagi quando il contenuto di umidità supera il 18-20%;
- è attaccato da insetti, la cui modalità di attacco dipende essenzialmente dalla famiglia di appartenenza, dalla classe di durabilità propria della specie legnosa impiegata (a tal proposito si veda la EN 350 "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Prove e classificazione della durabilità agli agenti biologici del legno e dei materiali a base di legno") e dall'umidità del segato oggetto di analisi.

Nel legno utilizzato nelle strutture i danni maggiori sono causati dai Cerambicidi, insetti che hanno dimensioni tra i 10 e i 25 mm, caratterizzati da lunghe antenne che possono talvolta superare anche la lunghezza dell'insetto stesso. Tali insetti risultano essere i più pericolosi per le strutture lignee, poiché scavano gallerie che possono raggiungere anche un centimetro di diametro in direzione variabile rispetto alle fibre del legno. Tra questi l'*Hylotrupes bajulus* (Capricorno delle case) è il più diffuso e trova come habitat preferenziale le travi in legno di conifera dei sottotetti poiché la temperatura migliore per il suo sviluppo durante lo stadio larvale è tra 28°C e 30°C. Le infestazioni riscontrate

*in legno vecchio sono sempre esaurite, poiché la larva di Hylotrupes basa il suo sviluppo sul contenuto di azoto del legno (non avendo simbionti nel suo apparato digerente), il cui valore nutrizionale diminuisce dopo poche decadi. Attacchi in atto e grande entità si riscontrano invece in legno messo in opera in restauri relativamente recenti (max. 80 anni) in cui siano state effettuate massicce sostituzioni.*

*Per completezza si riporta un breve prospetto riepilogativo con esempi di riferimento (A=alburno; D= durame):*

Famiglia di insetti	Condizioni ambientali e legno preferito	Caratteristiche dei fori di sfarfallamento	Rosume
<b>Anobidi</b>	Legno secco di conifera o di latifoglia (A, talvolta D)	Circolari 1.5 - 3 mm	Polvere fine e pallottoline ellittiche
<b>Cerambicidi</b>	Legno in stagionatura o stagionato di conifera o latifoglia (A, talvolta D)	Circolari - ovali 3 - 13 mm	Polvere farinosa e pallottoline
<b>Lictidi</b>	Legno appena stagionato di latifoglia A (amido > 3%; larghezza vasi > 0,07 mm)	Circolari - ovali 0.8 - 2 mm	Polvere simile al talco

## 1.2 ANALISI STRUTTURALE

L'analisi della struttura può essere condotta assumendo un **comportamento elastico dei materiali e dei collegamenti**, considerando i valori pertinenti (medi o caratteristici) delle proprietà meccaniche e della rigidezza a seconda sia dello stato limite che della verifica considerati.

Per tutte le strutture, in particolare per quelle aventi parti con diverso comportamento reologico, **le verifiche**, per gli stati limite ultimi e di esercizio **devono essere effettuate con riferimento, oltre alle condizioni iniziali, anche alle condizioni finali** (a tempo infinito).

Nell'analisi globale della struttura, in quella dei sistemi di controvento e nel calcolo delle membrature si deve tener conto delle imperfezioni geometriche e strutturali. A tal fine si possono adottare adeguate imperfezioni geometriche equivalenti, il valore delle quali può essere reperito in normative di comprovata validità.

I calcoli devono essere svolti usando appropriate schematizzazioni e, qualora necessario, supportati da prove sperimentali. Lo schema adottato deve simulare con una ragionevole precisione il comportamento dell'opera, tenute anche in conto le modalità costruttive previste.

**Per quelle tipologie strutturali in grado di redistribuire le azioni interne**, anche grazie alla presenza di giunti di adeguata duttilità, **si può far uso di metodi di analisi non lineari**.

È inoltre interessante evidenziare la nota inserita nella Circolare Esplicativa, relativa alla dilatazione termica delle membrature in legno: *“i coefficienti di dilatazione termica dati in Tab. 3.5.III del §3.5.7 delle NTC si riferiscono al materiale legno in condizioni ideali anidre. Nelle condizioni reali di umidità (classi di servizio 1, 2, 3), tali valori dovranno essere valutati adeguatamente tenendo presente che per gli elementi strutturali di legno o per i materiali derivati le variazioni dimensionali per effetto termico sono trascurabili. Deve essere sempre considerato l'effetto del ritiro e/o rigonfiamento del legno causato dalle variazioni della sua umidità [...]”*.

### Box di approfondimento

Per la valutazione degli effetti delle azioni termiche, si riportano di seguito i coefficienti  $\alpha_T$  dati in Tab. 3.5.III delle NTC 2018:

- Legno parallelo alla fibratura  $\alpha_T = 5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- Legno perpendicolare alla fibratura  $\alpha_T = 30 \div 70 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Come è possibile notare dai valori sopracitati, il coefficiente di dilatazione termica per il legno mantiene valori contenuti; allo stesso modo le variazioni dimensionali causate da variazioni di umidità assumono un'altra importanza. Di seguito si riportano i valori estratti dalla EN 336 (“Legno strutturale - Dimensioni, scostamenti ammissibili”) e dalla EN 14080 (“Strutture di legno - Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato - Requisiti”).

Per il **legno di conifera e per il Pioppo** la EN 336 indica: "Si assume che lo spessore e la larghezza di un elemento ligneo aumentino dello 0.25% per ogni variazione dell'1% di umidità maggiore del 20% fino ad arrivare al 30% e diminuiscano dello 0.25% per ogni variazione dell'1% di umidità minore del 20% ( $k=0,0025$ )".

Per il **legno di latifolia** la EN 336 indica: "Si assume che lo spessore e la larghezza di un elemento ligneo aumentino dello 0.35% per ogni variazione dell'1% di umidità maggiore del 20% fino ad arrivare al 30% e diminuiscano dello 0.35% per ogni variazione dell'1% di umidità minore del 20% ( $k=0,0035$ )".

Per il **legno lamellare incollato** la EN 14080 specifica un contenuto di umidità "normale" pari al 12%; qualora l'umidità dell'elemento in legno lamellare differisca da tale valore, la dimensione effettiva deve essere calcolata come segue:

$$l_{corr} = l_a [1 + k (\omega_{ref} - \omega_a)]$$

dove:

- $l_{corr}$  = è la dimensione corretta, in mm
- $l_a$  = è la dimensione effettiva, in mm
- $\omega_a$  = è il contenuto di umidità effettivo, in percentuale
- $\omega_{ref}$  = è il contenuto di umidità "normale", in percentuale
- $k$  = coefficiente di ritiro, dato come segue:

Direzione	k
Perpendicolare alla fibratura	0.0025
Parallelo alla fibratura	0.0001

I valori sopracitati sono applicabili al legno di conifera e di pioppo e per un contenuto di umidità compreso tra il 6% ed il 25%. Il coefficiente di ritiro perpendicolare alla fibratura è il valor medio tra i ritiri radiali e tangenziali

Le indicazioni fornite dalla EN 14080 per il legno lamellare incollato sono applicabili anche ai pannelli di tavole incollate a strati incrociati (CLT/XLAM).

## **2. AZIONI E RESISTENZA**

## 2 AZIONI E RESISTENZA

Il presente capitolo presterà attenzione al comportamento reologico del materiale e alle relative classi di servizio, nonché al significato dei coefficienti correttivi e di sicurezza da utilizzare nel dimensionamento degli elementi strutturali in legno. Di contro, non verranno approfondite le formule dedicate alle verifiche di resistenza, facilmente consultabili sia nell'Eurocodice 5 che nelle linee guida rilasciate dal CNR (CNR DT 206/R1).

### 2.1 CLASSI DI DURATA DEL CARICO

**Il comportamento reologico del materiale ha un effetto diretto sulla resistenza e sulla deformabilità degli elementi di legno.** È quindi di fondamentale importanza tener conto della correlazione esistente tra il tempo di permanenza dell'azione e le caratteristiche di resistenza e deformabilità del materiale. Per citare un caso concreto, la deformabilità dei solai rappresenta un punto critico nella progettazione di una struttura in legno, poiché per i sistemi di luce ordinaria il comportamento in esercizio è una verifica più stringente di quella data dallo stato limite ultimo.

Nella tabella di seguito si riportano le classi di durata del carico previste dalle NTC 2018:

Classe di durata del carico	Durata del carico	Esempio di durata del carico
Permanente	Più di 10 anni	Peso proprio
Lunga durata	6 mesi - 10 anni	Carico di esercizio nei locali usati a deposito
Media durata	1 settimana - 6 mesi	Carico di esercizio generico, neve > 1000 m
Breve durata	Meno di 1 settimana	Azione media del vento, neve sotto i 1000 m
Istantaneo	-	Azione di picco del vento, carichi eccezionali

Classi di durata del carico (Tab. 4.4.l delle NTC 2018 - modificata)

Proprio in merito al carico da neve, è opportuno sottolineare una indicazione fornita nella Circolare Esplicativa: *“il carico provocato dalla neve, valutato secondo il §3.4 delle NTC per uno specifico sito ad una certa altitudine di riferimento  $a_s$ , deve essere considerato*

almeno di media durata per altitudini  $a_s$  superiori a 1000 m; per altitudini inferiori la classe di durata dovrà essere scelta in funzione delle caratteristiche del sito e comunque almeno di breve durata”.

Le classi di durata del carico sono introdotte nella progettazione strutturale di un’opera in legno attraverso il **coefficiente  $k_{mod}$** . Quest’ultimo tiene conto dell’influenza del contenuto di umidità e della durata del carico sulla resistenza del materiale. Infatti, i coefficienti di resistenza caratteristica di una proprietà meccanica sono sempre riferiti a risultati di test a rottura della durata di 5 minuti su campioni aventi un contenuto di umidità, all’atto della prova, pari al 12%. I valori di  $k_{mod}$  sono riportati nella Tab. 4.4.IV delle NTC2018.

Elemento	Classe di servizio	Classe di durata del carico				
		Perm.	Lunga	Media	Breve	Istant.
Legno massiccio Legno lamellare <sup>(*)</sup> LVL	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
	2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
	3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Compensato	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
	2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
	3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Pannello OSB	1 (OSB/2)	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
	1 (OSB/3-4)	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
	2 (OSB/3-4)	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90

<sup>(\*)</sup> I valori indicati possono essere adottati anche per i pannelli di tavole incollate a strati incrociati (CLT/XLAM), ma limitatamente alle classi di servizio 1 e 2.

Valori di  $k_{mod}$  (Tab. 4.4.IV delle NTC 2018 - semplificata)

Nel caso in cui una combinazione di carico comprenda azioni appartenenti a classi di durata del carico differenti, si dovrà scegliere un valore di  $k_{mod}$  corrispondente all’azione di minor durata.

## 2.2 CLASSI DI SERVIZIO

Le strutture (o parti di esse) devono essere assegnate ad una delle 3 classi di servizio elencate nella Tab. 4.4.II delle NTC 2018. Il sistema delle classi di servizio ha lo scopo di definire la dipendenza delle resistenze di progetto e dei moduli elastici del legno e di tutti i materiali da esso derivati dalle condizioni ambientali in cui si troverà in opera.

Come inoltre evidenziato all'interno della Circolare Esplicativa, "elementi posti in ambienti particolarmente umidi, ivi compresi ambienti interni quali piscine, palaghiacci, depuratori e simili, saranno di regola assegnati alla classe di servizio 3. Scelte diverse da quelle sopra indicate dovranno essere giustificate da adeguati dati previsionali relativi alle condizioni termo-igrometriche previste in opera durante l'intero intervallo di vita della struttura".

Nella tabella di seguito si riportano le classi di servizio previste dalle NTC 2018:

Classe di servizio	Descrizione
1	Elementi in <b>ambiente chiuso e riscaldato</b> (è caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno)
2	Elementi in <b>ambiente interno non riscaldato, elementi in ambiente esterno protetti</b> dall'esposizione diretta agli agenti atmosferici (è caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria che superi l'85% solo per poche settimane all'anno)
3	Elementi in <b>ambiente esterno esposti direttamente agli agenti atmosferici</b> (è caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2)

Classi di servizio (Tab. 4.4.II delle NTC 2018 - modificata)

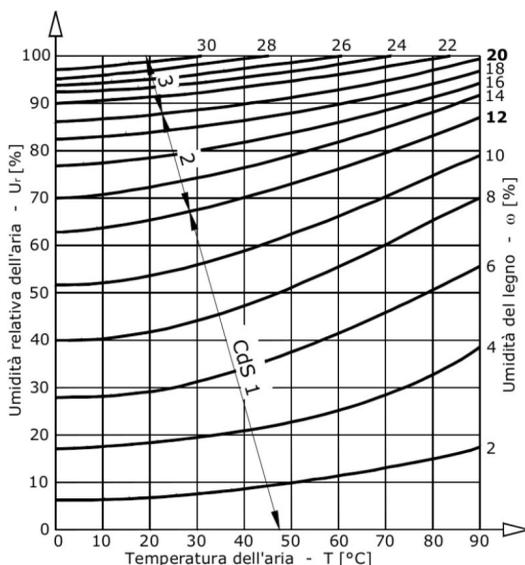


### Box di approfondimento

L'individuazione rigorosa della classe di servizio dipende dalle condizioni dell'ambiente in cui l'elemento/struttura verrà posta in opera: i valori di temperatura/umidità relativa

dell'ambiente sono legati al grado di umidità che sarà presente nel materiale stesso. Un elemento di legno posto in un ambiente avente temperatura e umidità relativa costanti raggiunge, dopo un determinato lasso di tempo, una umidità di equilibrio.

L'andamento della relazione tra umidità del legno e parametri climatici è semplificato nelle curve riportate nella figura sottostante, la quale è tratta dalle linee guida del CNR (CNRDT 206/R1).



Come si nota dalla figura e come riportato al punto 2.3.1.3 dell'Eurocodice 5 (EN 1995-1-1) tali condizioni corrispondono ad un contenuto di umidità medio nella maggior parte del legno di conifera non maggiore del 12% per la classe di servizio 1 e non maggiore del 20% per la classe di servizio 2.

Tipicamente:

- **Classe di servizio 1:** possono appartenere a tale classe gli elementi lignei protetti contro le intemperie come quelli posti in ambienti climatizzati all'interno degli edifici. Qualora, gli elementi siano sottoposti a condizioni ambientali peggiori per alcune settimane l'anno, il contenuto di umidità nel legno tende a non variare in modo significativo a causa dei tempi necessari per instaurare tale modifica;

- **Classe di servizio 2:** possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici ma protetti, anche solo parzialmente, dalle intemperie e dall'irraggiamento solare diretto. Si deve notare che, per come sono definite le classi di servizio, in alcuni casi gli elementi costruttivi della stessa opera possono appartenere a classi di servizio diverse: è il caso di una trave di copertura che esce in gronda (la parte interna all'edificio si trova in classe di servizio 1, la parte esterna si trova in classe di servizio 2);
- **Classe di servizio 3:** possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici direttamente esposti alle intemperie senza protezione. Gli elementi costruttivi devono essere assegnati alla classe di servizio 3 quando non è possibile garantire le condizioni la classe di servizio 1 oppure 2.

L'attribuzione alla classe di servizio 3 può interessare anche elementi costruttivi posti in ambienti interni che eccedono frequentemente le condizioni per l'attribuzione alla classe di servizio 2. I palaghiaccio, ad esempio, sono ambienti caratterizzati da un alto grado di umidità e, a causa delle basse temperature, presentano un grado di umidità del legno maggiore a parità di umidità relativa dell'aria e la possibilità di condensazione del vapore d'acqua sugli elementi freddi; in assenza di giustificazioni basate su previsioni relative alle condizioni termo-igrometriche in opera, tali strutture vanno assegnate alla classe di servizio 3.

## 2.3 RESISTENZA DI PROGETTO

Il valore di progetto di una proprietà del materiale  $X_d$  viene definita a partire dal suo valore caratteristico e facendo riferimento combinato sia alle classi di servizio che alle classi di durata del carico. Tale valore viene calcolato mediante la relazione:

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dove:

- $X_k$  è il valore caratteristico della proprietà del materiale o della resistenza del collegamento.
- $\gamma_M$  è il coefficiente parziale di sicurezza, i cui valori sono dati in Tab. 4.4.III delle NTC 2018;

- $k_{mod}$  è un coefficiente correttivo che considera l'effetto della durata del carico e dell'umidità sui parametri di resistenza i cui valori sono dati in Tab. 4.4.IV delle NTC.

Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico, si dovrà scegliere un valore di  $k_{mod}$  che corrisponde all'azione di minor durata.

In merito alla scelta del coefficiente  $\gamma_M$ , le NTC 2018 indicano che: *“Il coefficiente  $\gamma_M$  è valutato secondo la colonna A della tabella 4.4.III. Si possono assumere i valori riportati nella colonna B della stessa tabella, per produzioni continuative di elementi o strutture, soggette a controllo continuativo dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valor medio) della resistenza non superiore al 15%. Le suddette produzioni devono essere inserite in un sistema di qualità di cui al §11.7”.*

Stati limite ultimo	Colonna A ( $\gamma_M$ )	Colonna B ( $\gamma_M$ )
<b>Combinazioni fondamentali</b>		
Legno massiccio	1.50	1.45
Legno lamellare incollato	1.45	1.35
Pannelli di tavole incollate a strati incrociati	1.45	1.35
Pannelli di particelle o fibre	1.50	1.40
LVL, compensato, pannelli di scaglie orientate	1.40	1.30
Unioni	1.50	1.40
<b>Combinazioni eccezionali</b>	1.00	1.00

Coefficienti parziali di sicurezza (Tab. 4.4.III delle NTC 2018)

Come è stato successivamente chiarito nella Circolare Esplicativa, *“i valori appartenenti alla colonna A possono essere sempre adottati; i valori riportati nella colonna B possono essere adottati purché i materiali utilizzati siano prodotti secondo un sistema di qualità e quindi siano certificati secondo la lettera A) o C) (ETA) di cui al §11.1 delle NTC”.* Quindi nel caso di elementi incollati (quali ad esempio legno lamellare incollato e CLT), oggetto di marcatura CE e da cui risulti un controllo continuativo della produzione, questi possono essere attribuiti alla colonna B della Tab. 4.4.III attraverso la seguente documentazione accompagnatoria (come anche indicato nella Circolare Esplicativa al §11.7.10.1.2 “Forniture

e documentazione di accompagnamento”) senza la necessità di corredare la fornitura di ulteriori documenti:

- Una copia della documentazione che attesti il possesso della marcatura CE;
- La Dichiarazione di Prestazione di cui al Regolamento Europeo n. 305/2011.



### Box di approfondimento

*In relazione alla scelta del coefficiente parziale di sicurezza, è necessario fornire un breve chiarimento in relazione agli elementi in legno massiccio. La nota presente al §C11.7.10 (“Fabbricanti e Centri di Lavorazione”) infatti aggiunge quanto segue:*

*“Il fabbricante deve assicurare un sistema di controllo della produzione in fabbrica, tale da poter attribuire al prodotto i coefficienti parziali di sicurezza previsti al §4.4.6 delle NTC. Qualora il fabbricante intendesse attribuire il tipo di legname alla colonna “B” della tabella 4.4.III delle NTC, nella documentazione di accompagnamento delle forniture deve essere fatto esplicito riferimento ai coefficienti di variazione calcolati in fase di caratterizzazione fisico-meccanica dei prodotti”.*

*Si ricorda che la dicitura “tipo di legname” si riferisce ad elementi in legno massiccio e ha una sua precisa collocazione normativa, definita all’interno della UNI 11035-1 “Legno Strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica” (tale norma è richiamata dalle medesime NTC). Per facilità di lettura si riporta la definizione di “tipo di legname”:*

*“Materiale al quale si applicano i valori caratteristici. Il tipo di legname viene definito da parametri quali specie, provenienza e categoria. Ogni tipo di legname comprende assortimenti di varia sezione e lunghezza, i quali devono contribuire tutti insieme alla determinazione dei valori caratteristici”.*

*Quindi, solamente in relazione ad elementi in legno massiccio, qualora il produttore sia interessato ad attribuire i coefficienti della colonna B, dovrà -nella documentazione accompagnatoria- fare riferimento ai coefficienti di variazione calcolati durante le fasi di caratterizzazione fisico-meccanica, elaborando una dichiarazione dedicata.*

# **3. STATI LIMITE DI ESERCIZIO**

### 3 STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Il comportamento reologico del legno non influenza solamente le proprietà di rigidezza e di resistenza, ma anche il comportamento dell'intera struttura. Come specificato al §4.4.7 delle NTC 2018, *“in generale nella valutazione delle deformazioni delle strutture si deve tener conto della deformabilità dei collegamenti”*.

Nel caso delle verifiche agli **stati limite di esercizio** si devono valutare **sia la deformazione istantanea che quella finale**, che considera anche la deformazione a lungo termine. Vale la relazione:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{inst}} + u_{\text{dif}}$$

dove:

- $u_{\text{fin}}$  è la deformazione finale;
- $u_{\text{inst}}$  è la deformazione istantanea;
- $u_{\text{dif}}$  è la deformazione differita

Nel caso di un elemento inflesso, la freccia netta  $u_{\text{net}}$  riferita alla corda congiungente i punti della trave in corrispondenza degli appoggi, è data da:

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

dove:

- $u_0$  è la controfreccia iniziale (qualora presente);
- $u_1$  è la freccia dovuta ai soli carichi permanenti;
- $u_2$  è la freccia dovuta ai soli carichi variabili.

La deformazione istantanea  $u_{\text{inst}}$  va calcolata sotto la combinazione caratteristica (o rara) delle azioni, utilizzando il valore medio dei moduli di elasticità normale e tangenziale del materiale per le membrature, e il valore istantaneo del modulo di scorrimento delle unioni.

La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici per le membrature, opportunamente ridotti attraverso un fattore adimensionale pari a  $1/(1 + k_{\text{def}})$ , e riducendo allo stesso modo il modulo di scorrimento medio nel caso dei collegamenti. Il coefficiente  $k_{\text{def}}$  tiene conto di come aumenta la deformabilità nel tempo per l'effetto combinato della viscosità, dell'umidità del materiale e delle sue variazioni. I valori di  $k_{\text{def}}$  sono riportati nella Tab. 4.4.V delle NTC2018.

Elemento	Tipo	Classe di servizio		
		1	2	3
Legno massiccio	-	0.60	0.80	2.00
Legno lamellare <sup>(*)</sup>	-	0.60	0.80	2.00
LVL	-	0.60	0.80	2.00
Compensato	-	0.80	1.00	2.50
Pannello OSB	OSB/2	2.25	-	-
	OSB/3-4	1.50	2.25	-

<sup>(\*)</sup> I valori indicati possono essere adottati anche per i pannelli di tavole incollate a strati incrociati (CLT/XLAM), ma limitatamente alle classi di servizio 1 e 2.

Valori di  $k_{def}$  (Tab. 4.4.V delle NTC 2018 - semplificata)

Di grande interesse la nota posta al piede della Tab. 4.4.V delle NTC 2018, dove si dice che *“per materiale posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione delle fibre, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico il valore di  $k_{def}$  dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni sommando ai termini della tabella un valore, comunque, non inferiore a 2.00”*.

**In aggiunta alla verifica di freccia istantanea** dovuta ai carichi variabili nella combinazione di carico rara (riportata nel §4.4.7 delle NTC e discussa poco sopra) **la Circolare Esplicativa consiglia**, per la medesima combinazione di carico, **di limitare opportunamente anche la freccia istantanea totale derivante dai carichi permanenti e variabili**. Tale prescrizione è di particolare interesse per gli impalcati che sopportano elementi portati fragili, come le tramezzature in laterizio, le pavimentazioni ceramiche etc. A tal proposito le NTC indicano i seguenti limiti ( $L$  è la luce dell'elemento o il doppio dello sbalzo, nel caso di mensole):

- $u_{inst} \leq L/300$
- $u_{fin} \leq L/200$

Le stesse NTC 2018 precisano infine che *“i limiti indicati per la freccia costituiscono solo requisiti minimi indicativi. Limitazioni più severe possono rivelarsi necessarie in casi particolari, ad esempio in relazione ad elementi portati non facenti parte della struttura”*.

### 3.1 VIBRAZIONI

Di grande interesse l'approfondimento incluso in Circolare Esplicativa al §C4.4.7 per le vibrazioni indotte nelle opere strutturali in legno. In particolare, **“si dovrà verificare che le azioni previste sulla struttura non producano vibrazioni che ne possano compromettere la normale utilizzazione o comunque ridurre il comfort degli utenti.**

*Si raccomanda che gli effetti provocati sui solai da vibrazioni e urti indotti dal calpestio siano limitati, in modo da garantire un accettabile livello di comfort per gli utilizzatori. Per solai aventi una frequenza fondamentale maggiore o uguale a 8 Hz, le verifiche devono essere effettuate limitando il valore massimo di freccia verticale indotto da un carico concentrato  $F$  agente su qualsiasi punto del solaio, nonché limitando il valore di velocità iniziale data da un carico impulsivo agente nel punto del solaio che fornisce la massima risposta. A tal proposito è possibile fare riferimento a quanto proposto dalla EN 1995-1-1. Nel caso in cui la frequenza fondamentale del solaio risulti inferiore a 8 Hz, si raccomanda, al fine di scongiurare fenomeni di amplificazione, di limitare la massima accelerazione verticale indotta da un carico dinamico rappresentativo del fenomeno di calpestio lungo il solaio, anche facendo riferimento a documenti di comprovata validità.*

*Nel calcolo dei parametri necessari alle verifiche sopra riportate, si raccomanda di tenere in conto la collaborazione laterale dipendente dalla rigidità trasversale del solaio. Si suggerisce di adottare un valore di massa del solaio corrispondente alla combinazione di carico quasi-permanente”.*



#### Box di approfondimento

*Le vibrazioni indotte dai passi di un essere umano hanno una frequenza pari a 2 Hz (cioè 2 passi/secondo). Le prescrizioni date dall'Eurocodice 5 si basano sugli studi di Ohlsson e sono applicabili a solai di massa particolarmente ridotta, mentre mal si prestano ai solai pesanti (es. CLT). Successivamente diversi studiosi (es. Kreuzinger e Mohr) hanno proposto metodologie di verifica valide anche nel caso di frequenze inferiori a 8 Hz (i solai pesanti di cui sopra) e basate, oltre che su un criterio di rigidità minima (freccia massima sotto l'azione di una forza unitaria), su una limitazione dell'accelerazione del solaio ad un valore di  $0.1 \text{ m/s}^2$ .*

# **4. STATI LIMITE ULTIMI**

## 4 STATI LIMITE ULTIMI

Il presente capitolo presenterà un commento ragionato sugli aspetti di maggior interesse introdotti all'interno delle NTC 2018. Di contro, non verranno approfondite puntualmente le formule dedicate alle verifiche di resistenza, facilmente consultabili nel testo originale delle NTC 2018.

### 4.1 VERIFICHE A TAGLIO

Le NTC 2018, così come le precedenti NTC 2008, prescrivono per la verifica a taglio che:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

dove:

- $\tau_d$  è la massima tensione tangenziale di progetto, valutata in accordo con la teoria di Jourawski considerando una larghezza di trave opportunamente ridotta per la presenza di eventuali fessurazioni;
- $f_{v,d}$  è la corrispondente resistenza di progetto a taglio.

È interessante la definizione della  $\tau_d$  in quanto, rispetto al testo incluso nelle NTC 2008, si specifica che nell'effettuare questo calcolo **deve essere considerata "una larghezza di trave opportunamente ridotta per la presenza di eventuali fessurazioni"**. Tale indicazione è chiarita nella Circolare Esplicativa, dove si spiega che: *"le fessurazioni, che possono instaurarsi anche in tempi successivi alla messa in opera, determinano una riduzione della larghezza della trave che si ripercuote sullo stato tensionale. Pertanto, ai fini del calcolo della tensione massima di taglio  $\tau_d$  dovrà essere presa in considerazione una larghezza di trave ridotta secondo il fattore  $k_{cr}$  che assume i valori seguenti:*

- $k_{cr} = 2.0/f_{v,k}$  per legno massiccio;
- $k_{cr} = 2.5/f_{v,k}$  per legno lamellare;
- $k_{cr} = 1.0$  per gli altri prodotti a base legno secondo le EN 13986 e EN 14374

*essendo  $f_{v,k}$  il valore della resistenza caratteristica a taglio dell'elemento considerato".*

Nel caso di sezione rettangolare (base  $b$  e altezza  $h$ ) la tensione massima agente dovrà quindi essere calcolata come:

$$\tau_d = 1.5 \frac{V_d}{k_{cr} b h}$$

Indicazioni simili si trovano anche all'interno dell'Eurocodice 5, dove è specificato che "per la verifica della resistenza a taglio di elementi sottoposti a flessione, si raccomanda che l'influenza delle fessurazioni sia tenuta in conto usando una larghezza efficace data da:

$$b_{ef} = k_{cr} b$$

dove  $b$  è la larghezza della sezione pertinente dell'elemento".

### Box di approfondimento

L'introduzione della larghezza efficace, che in passato non era considerata, è dovuta al processo evolutivo delle norme di riferimento sviluppate a livello di CEN. A fronte della riduzione della larghezza di calcolo, sono stati infatti rielaborati i profili caratteristici sia per il legno massiccio a sezione rettangolare che per il legno lamellare incollato. A tal riguardo, la tabella sottostante confronta la resistenza caratteristica a taglio data per le classi di resistenza C18 e C24 nella EN 338:2004 e nella EN 338:2016:

A fronte di un notevole incremento dei valori di resistenza, la EN 338:2016 specifica che tali valori di resistenza caratteristica a taglio sono riferiti a legno privo di fessurazioni, la cui presenza deve quindi essere introdotta con un fattore correttivo.

Classe di resistenza	EN 338:2004 $f_{v,k}$ [MPa]	EN 338:2016 $f_{v,k}$ [MPa]
C18	2.0	3.4
C24	2.5	4.0

Un discorso analogo vale per il legno lamellare incollato: si considerino, ad esempio, le classi di resistenza GL24c e GL24h, e i valori della EN 1194:2000 e della EN 14080:2013:

Classe di resistenza	EN 1194:2000 $f_{v,k}$ [MPa]	EN 14080:2013 $f_{v,k}$ [MPa]
GL24c	2.2	3.5
GL24h	2.7	3.5

Esplícitando la verifica a taglio, il fattore  $k_{cr}$  può essere visto come un coefficiente che abbatte la resistenza caratteristica a taglio anziché le proprietà geometriche proprie della sezione:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{k_{cr} b h} \leq f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$$

Classe di resistenza	EN 338:2004 $f_{v,k}$ [MPa]	Eurocodice 5 $k_{cr} f_{v,k}$ [MPa]	Circolare NTC $k_{cr} f_{v,k}$ [MPa]
C18	2.0	$0.67 \cdot 3.4 = 2.28$	$2.0/3.4 \cdot 3.4 = 2.0$
C24	2.5	$0.67 \cdot 4.0 = 2.68$	$2.0/4.0 \cdot 4.0 = 2.0$

e

Classe di resistenza	EN 1194:2000 $f_{v,k}$ [MPa]	Eurocodice 5 $k_{cr} f_{v,k}$ [MPa]	Circolare NTC $k_{cr} f_{v,k}$ [MPa]
C18	2.2	$0.67 \cdot 3.5 = 2.35$	$2.5/3.5 \cdot 3.5 = 2.5$
C24	2.7	$0.67 \cdot 3.5 = 2.35$	$2.5/3.5 \cdot 3.5 = 2.5$

Alla luce di quanto sopra esposto, si può notare che la riduzione di resistenza dovuta al fattore  $k_{cr}$  è bilanciata dall'aumento dei valori di  $f_{v,k}$  legati agli aggiornamenti normativi. Si può allo stesso modo constatare che i valori di  $k_{cr}$  adottati dalla Circolare Esplicativa riconducono la verifica a taglio a una **verifica sulla sezione lorda di trave**, considerando valori di resistenza pari 2.0 MPa (legno massiccio) e 2.5 MPa (legno lamellare incollato) indipendentemente dalle classi di resistenza utilizzate.

La formulazione proposta dall'Eurocodice 5 presenta un fattore  $k_{cr}$  identico per il legno massiccio ed il legno lamellare, sebbene in realtà il legno lamellare presenti una minor attitudine alla fessurazione. Il valore di  $k_{cr}$  proposto è inoltre indipendente dalla classe di servizio, mentre in realtà ci si aspettano fessurazioni maggiori per elementi in classe di servizio 3. Per tale ragione le indicazioni della normativa europea sono state corrette negli Allegati Nazionali (National Annexes, NA) di diversi Paesi Europei.

La soluzione adottata nella Circolare Esplicativa delle NTC è la medesima adottata da Germania e Austria (in questo caso con leggere differenze). È interessante osservare come il documento di applicazione nazionale svedese proponga per  $k_{cr}$  un unico valore

*per legno massiccio e lamellare, pari a  $3.0/f_{v,k}$ , a meno che gli elementi non siano esposti alle intemperie e alla radiazione solare, nel quale caso si deve assumere pari a 0.67.*

## 4.2 VERIFICHE DI STABILITÀ

Oltre alle verifiche di resistenza agli stati limite ultimi devono essere eseguite le verifiche necessarie ad accertare la sicurezza della struttura o delle singole membrature rispetto ai possibili fenomeni di instabilità, quali l'instabilità flessotorsionale (svergolamento) delle travi inflesse e lo sbandamento laterale degli elementi compressi o pressoinflessi.

Nella valutazione della sicurezza all'instabilità occorre tener conto della curvatura iniziale dell'elemento, dell'eccentricità del carico assiale e delle eventuali deformazioni (frecce o controfrecce) imposte.

Una descrizione puntuale di tutte le verifiche da svolgere è inclusa nei due sottoparagrafi presenti al §4.4.8.2 delle NTC 2018. A tal proposito, si evidenzia che le NTC possono essere lette in sinergia con quanto indicato nelle CNR DT 206/R1 al §7.6.1.2. Per queste verifiche si devono utilizzare i valori caratteristici al frattile 5% per i moduli elastici dei materiali.

Relativamente all'argomento, è interessante segnalare che le NTC 2018 al §4.4.11 indicano che *"la stabilità delle singole membrature nelle strutture intelaiate deve essere verificata tenendo conto delle effettive condizioni dei vincoli nonché della deformabilità dei nodi e della presenza di eventuali sistemi di controventamento.*

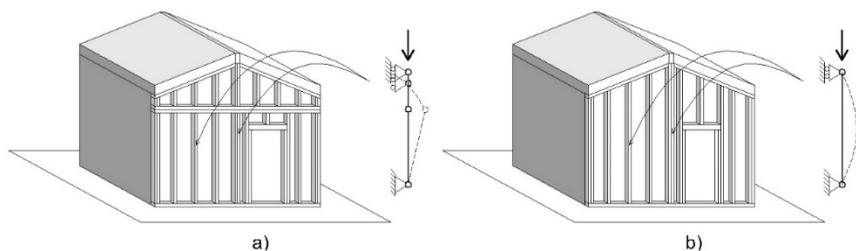
*La stabilità delle strutture intelaiate deve essere verificata considerando, oltre agli effetti instabilizzanti dei carichi verticali, anche le imperfezioni geometriche e strutturali, inquadrando le corrispondenti azioni convenzionali nella stessa classe di durata dei carichi che le hanno provocate.*

*Qualora la stabilità laterale sia assicurata dal contrasto di controventamenti adeguati, la lunghezza di libera inflessione dei piedritti, in mancanza di un'analisi rigorosa, si può assumere pari all'altezza d'interpiano".* A tali indicazioni la Circolare Esplicativa aggiunge al §C4.4.11 che *"per assicurare un'adeguata resistenza nei confronti della instabilità, deve essere assicurata la continuità flessionale della porzione di parete compresa tra due impalcati successivi".*

## Box di approfondimento

Per comprendere la prescrizione relativa alla continuità flessionale della porzione di parete compresa tra due impalcati successivi si deve ricordare che il vincolo alla base ed in sommità di una parete in legno, nella direzione ortogonale alla stessa, può essere schematizzato come una cerniera lineare. Pertanto, un collegamento efficace con gli impalcati è di fondamentale importanza per evitare il ribaltamento della parete stessa fuori dal proprio piano e per minimizzare il rischio di instabilità.

Per chiarire il concetto si osservi l'immagine sottostante. Il diaframma di base e le falde della copertura, opportunamente controventate e vincolate alla sommità della parete, potranno essere considerati vincoli al ribaltamento fuori piano della parete. In figura (a) la parete è realizzata interrompendo i montanti: tale configurazione rappresenta una struttura labile, essendo ogni montante schematizzabile come un insieme di due aste con tre cerniere allineate. Per evitare labilità è necessario realizzare dei montanti continui dall'impalcato di base fino alla copertura, come raffigurato in figura (b).



Nell'esempio si è presa a riferimento una parete intelaiata, ma considerazioni del tutto analoghe valgono anche per pareti realizzate in pannelli massicci tipo il CLT/XLAM.

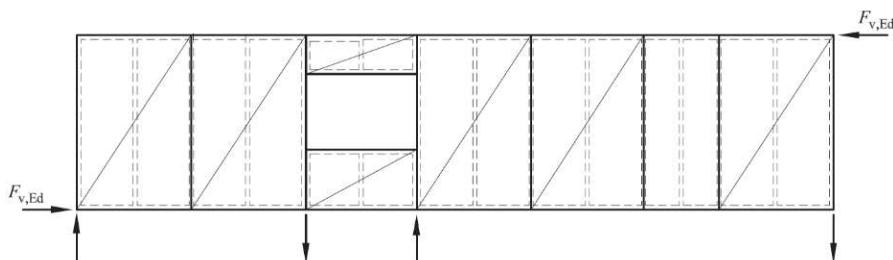
### 4.3 SISTEMI STRUTTURALI - PARETI INTELAIATE

Le NTC2018 indicano al §4.4.11 che "qualora gli elementi di parete svolgano anche funzioni di controventamento nel loro piano (diaframma per pareti), la capacità di esplicare tale funzione con un comportamento a mensola verticale deve essere verificata, tenendo conto delle modalità di realizzazione e delle caratteristiche dei mezzi di unione".

Con specifico riferimento alle strutture a pareti intelaiate, le quali hanno sia la funzione di assorbire i carichi verticali, sia quella di controventamento, la Circolare Esplicativa riporta maggiori indicazioni: *"nelle strutture la cui tipologia strutturale può essere ricondotta a quella di pannelli di parete a telaio leggero, qualora gli elementi di parete svolgano anche funzione di controventamento nel loro piano, è necessario escludere dalle verifiche il contributo della porzione di parete contenente un'apertura di porta o finestra"*. Con tale affermazione, la Circolare fa riferimento al metodo di calcolo proposto dall'Eurocodice 5.

### Box di approfondimento

*Per determinare la resistenza nel piano di una parete intelaiata si deve far riferimento alla procedura di calcolo denominata Metodo A descritta al §9.2.4 dell'Eurocodice 5. Al punto (6) di tale paragrafo viene spiegato che: "si raccomanda che i pannelli contenenti un'apertura di porta o finestra non siano considerati come in grado di contribuire alla capacità portante di piastra". Ai fini della trasmissione delle azioni orizzontali i pannelli contenenti un'apertura di porta o finestra dovranno pertanto essere considerati come delle bielle, non in grado di trasmettere azione tagliante. Per questo motivo è quindi necessario introdurre delle connessioni resistenti a trazione prima e dopo ogni pannello contenente aperture. A tal proposito al punto (10) si specifica che "le forze esterne che si generano nei pannelli contenenti aperture di porta o finestra (...) possono essere trasmesse alla costruzione soprastante o sottostante".*

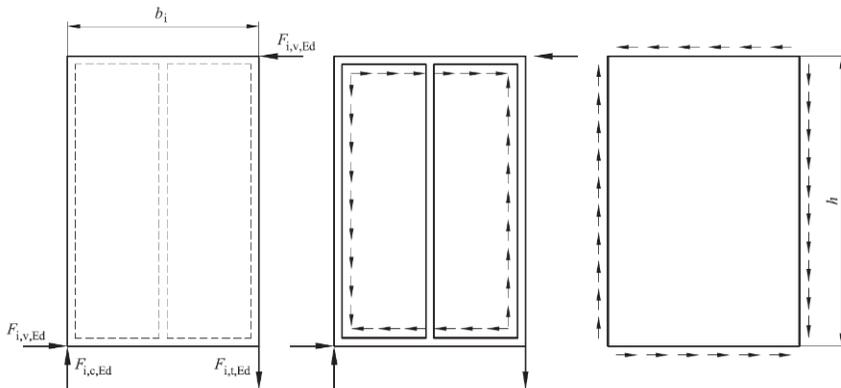


La Circolare Esplicativa prosegue sottolineando che *"nel caso di pareti a telaio leggero tutti i bordi dei rivestimenti strutturali devono essere collegati agli elementi del telaio: i*

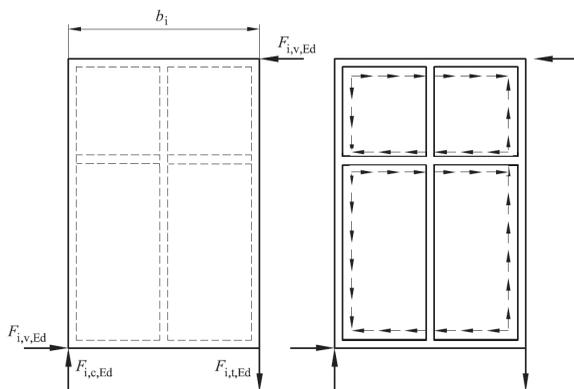
rivestimenti che non terminano su elementi del telaio (ad esempio fogli di rivestimento giuntati in altezza) devono essere sostenuti e collegati da appositi elementi di bloccaggio taglio-resistenti”.

### Box di approfondimento

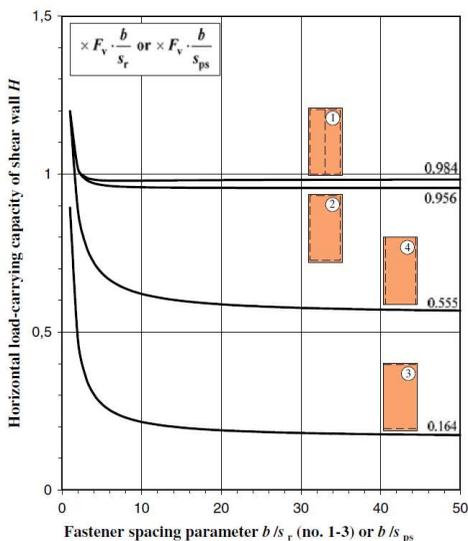
La prescrizione precedente nasce dall'ipotesi alla base della procedura di calcolo data dall'Eurocodice 5, ovvero che i fogli di rivestimento siano chiodati lungo tutti i bordi, così da garantire la trasmissione del flusso di taglio in accordo con la figura riportata sotto. Se questo non accade allora il modello di calcolo non è più applicabile.



Nella pratica progettuale è comune avere pareti con i pannelli di rivestimento interrotti in altezza: questo accade ogniqualvolta la parete ha un'altezza maggiore di quella dei pannelli. In questi casi è necessario prevedere l'inserimento di un traverso intermedio su cui sia possibile chiodare il bordo dei pannelli consentendo così il trasferimento degli sforzi di taglio.

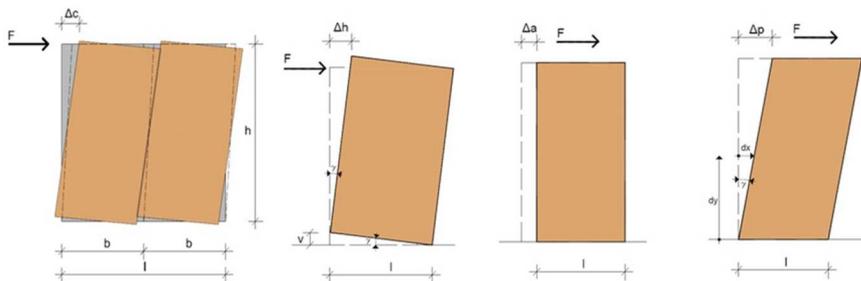


Qualora tale elemento di bloccaggio (taglio-resistente) non fosse previsto allora ci si troverebbe in una situazione simile alla numero (4) della figura riportata sotto (tratta da Kallsner et al. 2009, Analysis of fully anchored light-frame timber shear walls-elastic model", Materials and Structures), in cui gli unici bordi collegati al telaio sono i verticali: si noti che la resistenza, nel caso di studio citato, è circa la metà rispetto al caso di fogli di rivestimento chiodati su tutti i bordi. Un discorso analogo è ripetibile per la rigidezza.



La Circolare Esplicativa ricorda inoltre che “la valutazione della rigidezza della parete dovrà tener conto della cedevolezza di tali connessioni” (connessioni dovute al giunto chiodato in corrispondenza del traverso intermedio).

Giova ricordare che lo spostamento elastico orizzontale di una parete a telaio soggetta a un carico orizzontale è somma dei contributi derivanti da quattro meccanismi, ovvero la deformazione delle connessioni pannello-telaio, la rotazione rigida per effetto della deformabilità delle connessioni a trazione (hold-down, etc.), la traslazione rigida data dalla deformabilità delle connessioni a taglio alla base della parete (tasselli, angolari a taglio, etc.) e dalla deformazione a taglio del pannello. I quattro meccanismi sono visibili nella figura sottostante (Casagrande et al., 2016, Proposal of an analytical procedure and a simplified numerical model for elastic response of single-storey timber shear walls, Construction and Building Materials).



Alla luce della figura soprastante è facile intuire che qualora sia presente un pannello di tamponamento interrotto in altezza, collegato ad un traverso intermedio mediante chiodatura, la rigidezza della parete è ridotta a seguito della deformabilità aggiuntiva dovuta alla giunzione in corrispondenza del traverso.

#### 4.4 ROBUSTEZZA

In relazione alla robustezza, le NTC indicano che “i requisiti [...] possono essere raggiunti anche mediante l’adozione di opportune scelte progettuali e di adeguati provvedimenti costruttivi che, per gli elementi lignei, devono riguardare almeno:

- la protezione della struttura e dei suoi componenti nei confronti dell’umidità;

- l'utilizzazione di mezzi di collegamento intrinsecamente duttili o di sistemi di collegamento a comportamento duttile;
- l'utilizzazione di elementi composti a comportamento globalmente duttile;
- la limitazione delle zone di materiale sollecitate a trazione perpendicolarmente alla fibratura soprattutto nei casi in cui tali stati di sollecitazione si accompagnano 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".

### Box di approfondimento

Il concetto di "robustezza strutturale" è apparso in tempi relativamente recenti nel mondo dell'ingegneria civile strutturale, a causa di crolli di lieve e grande entità (uno fra tutti quello del World Trade Center di New York nel settembre del 2001). Le strutture non sono sempre in grado di resistere ad eventi eccezionali, come ad esempio impatti, esplosioni, incendi. Tali scenari presentano infatti bassa probabilità di accadimento ma conseguenze talvolta catastrofiche (riguardo a vittime, danni ambientali, economici, patrimoniali e interruzioni dei servizi di pubblica utilità).

Per definizione la robustezza strutturale è una caratteristica intrinseca di una struttura e indica la sua capacità di evitare collassi sproporzionati o progressivi per effetto di danneggiamenti locali. Pertanto, una costruzione è definita robusta quando, a seguito della perdita di uno o più elementi, riesce a creare dei percorsi di carico alternativi e a ridistribuire adeguatamente le forze al resto dell'insieme strutturale.

L'Eurocodice 0 (EN 1990) specifica al §2.1 che una struttura deve essere progettata ed eseguita in modo tale da non essere danneggiata da eventi come esplosioni, impatti e conseguenze degli errori umani, in misura sproporzionata rispetto alla causa di origine. Il danneggiamento potenziale dovrà, di regola, essere limitato o evitato mediante la scelta appropriata di una o più delle seguenti modalità:

- evitando, eliminando o riducendo i rischi a cui la struttura viene esposta;
- scegliendo una forma strutturale scarsamente sensibile ai rischi considerati;
- scegliendo una forma strutturale e uno schema di progettazione che possano adeguatamente sopportare l'eliminazione eccezionale di un elemento;

- *evitando sistemi strutturali che possono collassare senza preavviso;*
- *provvedendo la struttura di adeguati incatenamenti.*

*Al fine di soddisfare tali disposizioni, l'Eurocodice 1 nella Parte 1-7 (EN 1991-1-7) indica una serie di approcci atti a garantire che la struttura possenga tale proprietà, tra cui:*

- *progettazione di alcuni "componenti chiave" per aumentare la probabilità di sopravvivenza della struttura dopo un evento eccezionale;*
- *progettazione di adeguati dettagli costruttivi e con materiali ed elementi strutturali duttili;*
- *realizzazione di una sufficiente iperstaticità nella struttura, per facilitare il trasferimento delle azioni sfruttando percorsi di carico alternativi.*

*Le NTC 2018, dal canto loro, al §3.6 classificano le azioni eccezionali come quelle che si presentano in occasione di eventi quali incendi, esplosioni ed urti ed affermano che è opportuno che le costruzioni posseggano un grado adeguato di robustezza, in funzione dell'uso previsto, individuando gli scenari di rischio e le azioni eccezionali rilevanti ai fini della sua progettazione. A tal proposito, al §2.2.5 suggeriscono alcune strategie di progettazione a cui fare riferimento per garantire un adeguato livello di robustezza:*

- *progettazione della struttura in grado di resistere ad azioni eccezionali di carattere convenzionale, combinando valori nominali delle azioni eccezionali alle altre azioni esplicite di progetto;*
- *prevenzione degli effetti indotti dalle azioni eccezionali alle quali la struttura può essere soggetta o riduzione della loro intensità;*
- *adozione di una forma e tipologia strutturale poco sensibile alle azioni eccezionali considerate;*
- *adozione di una forma e tipologia strutturale tale da tollerare il danneggiamento localizzato causato da un'azione di carattere eccezionale;*
- *realizzazione di strutture quanto più ridondanti, resistenti e/o duttili è possibile;*
- *adozione di sistemi di controllo, passivi o attivi, adatti alle azioni e ai fenomeni ai quali l'opera può essere sottoposta.*

## 4.5 DURABILITÀ

**Il tema della durabilità è di centrale importanza quando si parla di costruzioni in legno e trova spazio all'interno delle NTC nel §4.4.13, dove è riportato quanto segue: "in relazione alla classe di servizio della struttura e alle condizioni di carico, dovrà essere predisposto in sede progettuale un programma delle operazioni di manutenzione e di controllo da effettuarsi durante la vita della struttura".**

L'indicazione riportata qui sopra deve essere letta assieme a quanto prescritto al §11.7.9.1 delle stesse NTC 2018, dove si dice che: "Al fine di garantire [...] adeguata durabilità, si devono considerare i seguenti fattori correlati:

- la classe di servizio prevista;
- la destinazione d'uso della struttura;
- le condizioni ambientali prevedibili;
- la composizione, le proprietà e le prestazioni dei materiali;
- la forma degli elementi strutturali ed i particolari costruttivi;
- la qualità dell'esecuzione ed il livello di controllo della stessa;
- le particolari misure di protezione;
- la manutenzione programmata durante la vita presunta.

Si adotteranno in fase di progetto idonei provvedimenti volti alla protezione dei materiali. Per i materiali trattati con agenti preservanti contro attacchi di tipo biologico si dovrà fare riferimento ai principi generali della EN 15228".



### Box di approfondimento

La progettazione di strutture in legno impone da sempre un attento confronto con il tema della durabilità, vista la naturale tendenza del legno al degrado biologico quando i fattori ambientali lo favoriscono. In perfetta analogia con le verifiche strutturali, si possono individuare delle "azioni" che mettono a rischio la durabilità e dei meccanismi di "resistenza al degrado". In generale si può intervenire su entrambi gli aspetti: le azioni possono essere ridotte tramite provvedimenti costruttivi, es. una adeguata concezione dell'opera o l'impiego di elementi aventi prettamente funzione di protezione del legno. Viceversa, l'aumento della resistenza può avvenire tramite la scelta e l'utilizzo di specie

legnose più resistenti o tramite l'utilizzo di trattamenti (superficiali o impregnazione). Questi ultimi, pur favorendo la durabilità, necessitano di adeguata manutenzione e non possono sostituire in toto i provvedimenti costruttivi, molto più efficienti e duraturi.

Per quanto riguarda le "azioni", il fattore che maggiormente mina la durabilità di una costruzione in legno è legato alla presenza di acqua. Il progetto deve quindi evitare che essa ristagni a contatto con il legno, e deve consentire una buona ventilazione in ogni parte dell'opera per garantire un contenuto di umidità sempre inferiore al 20% (soglia al disopra della quale è più elevato il rischio di attacchi fungini). Il progetto deve evitare inoltre che l'acqua venga assorbita per capillarità (es. per contatto diretto con materiali igroscopici o contenenti acqua, come nel caso di elementi appoggiati su fondazioni in CA o direttamente sul terreno). Il progetto deve poi prevenire i problemi di condensa, i quali si possono manifestare in diverse situazioni:

- all'interno dei pacchetti costruttivi, quando le stratigrafie adottate non riescono a diffondere efficacemente il vapore presente;
- sulle superfici degli elementi, se le condizioni climatiche sono particolarmente severe e favoriscono la condensazione del vapore atmosferico (es. formazione di un sottile strato di ghiaccio, che si scioglie all'aumentare della temperatura);
- all'interno di locali non ventilati e, in caso di apporto notevole di umidità, anche in ambiente domestico.

L'accumulo di neve in prossimità degli elementi costruttivi può avere a sua volta effetti sulla durabilità dell'opera. La neve, infatti, impedisce la ventilazione delle superfici e si trasforma in acqua non appena la temperatura risale e può portare a infiltrazioni di acqua in parti che, altrimenti, potrebbero essere considerate protette.

Riguardo alle azioni associate a sostanze diverse dall'acqua, sebbene il legno sia poco sensibile a un buon numero di sostanze chimiche, non si devono sottovalutare gli effetti sulle connessioni e sui connettori metallici. In particolare, la presenza di acqua nel legno in quantità sufficiente favorisce la corrosione dei metalli e di conseguenza il degrado del legno. Anche in questo caso, i fenomeni possono essere facilmente evitati limitando il grado di umidità e proteggendo opportunamente gli elementi metallici.

# **5. REGOLE PER L'ESECUZIONE**

## 5 REGOLE PER L'ESECUZIONE

Il quadro normativo dedicato alle regole per l'esecuzione è stato notevolmente ampliato nelle NTC 2018 e nella relativa Circolare Esplicativa, rispetto a quanto presente in passato nelle NTC 2008. In particolare, il §4.4.15 prevede che: *"in assenza di specifiche prescrizioni contenute nelle pertinenti norme di prodotto, le tolleranze di lavorazione così come quelle di esecuzione devono essere definite in fase progettuale"*.

A tal proposito giova riprendere quanto indicato nella Circolare al §C4.4.15: *"le limitazioni sull'arcuatura, contenute nella maggior parte delle regole di classificazione secondo la resistenza meccanica, sono inadeguate ai fini della selezione del materiale per questi elementi, e pertanto si raccomanda che sia posta una particolare attenzione al controllo di rettilineità"*.

Risulta inoltre utile riportare anche il seguente estratto, che fa sempre riferimento al par. 4.4.15: *"per tutte le membrature per le quali sia significativo il problema dell'instabilità, lo scostamento dalla configurazione geometrica teorica non dovrà superare 1/500 della distanza tra due vincoli successivi, nel caso di elementi lamellari incollati, e 1/300 della medesima distanza, nel caso di elementi di legno massiccio"*.



### Box di approfondimento

Le limitazioni sullo scostamento dalla configurazione geometrica teorica (1/500 della distanza tra due vincoli successivi per elementi in lamellare e 1/300 per gli elementi in legno massiccio) si ritrovano nella definizione delle curve di instabilità per la verifica a compressione e presso-flessione degli elementi strutturali. Nello specifico le NTC 2018 e l'Eurocodice 5 propongono i seguenti valori dei coefficienti di imperfezione  $\beta_c$  validi per gli elementi definiti poco sopra:

- $\beta_c = 0.2$  per il legno massiccio
- $\beta_c = 0.1$  per il legno lamellare incollato

Sempre al §C.4.4.15 della Circolare Esplicativa vi sono alcune regole di esecuzione utili per la corretta realizzazione di un'opera in legno. Di seguito si riportano gli stralci di maggior interesse:

- *“Nelle zone di materiale interessate dai collegamenti di carpenteria e di quelli meccanici dovrà essere limitata la presenza di nodi, cretti, smussi o altri difetti, che possano ridurre la capacità portante del collegamento [...]”;*
- *“Se non diversamente previsto in sede progettuale ed espressamente specificato, si raccomanda che i chiodi siano infissi ortogonalmente rispetto alla fibratura e fino a una profondità tale che le superfici delle teste risultino a filo della superficie del legno”;*
- *“[...] il diametro delle perforature non sia maggiore di  $0,8 d$ , essendo  $d$  il diametro del chiodo”;*
- *“[...] i fori per i bulloni abbiano un diametro che non sia più grande di  $1 \text{ mm}$  rispetto al diametro  $d$  del bullone”;*
- *“Nelle piastre di acciaio, i fori per i bulloni abbiano un diametro che non sia più grande di  $\max [2 \text{ mm}; 0,1d]$  rispetto al diametro  $d$  del bullone”;*
- *“Al di sotto della testa del bullone e del dado dovranno essere utilizzate rondelle aventi lunghezza del lato o diametro pari ad almeno  $3d$  e spessore pari ad almeno  $0,3d$  e che le rondelle appoggino per intero sul legno”.*

La stessa Circolare, al §C.11.7.10.2 precisa anche le modalità di controllo delle distanze dei collegamenti a cura della Direzione Lavori: *“in relazione ai collegamenti il Direttore Lavori dovrà assicurarsi che le distanze [...] (dai bordi o dalle estremità degli elementi lignei, e gli interassi tra i medesimi elementi), siano quelle indicate nel progetto. Può essere prevista una tolleranza sulle distanze indicate in sede di progetto al massimo pari al 5%”.*

Inoltre, in linea con quanto in corso di elaborazione in tema di “Execution” delle opere in legno presso il Comitato Europeo di Normazione, le NTC 2018 sembrano anticipare il piano di controllo dell'umidità, da realizzare a cura del Direttore dei Lavori e del Costruttore, per quanto di sua competenza: *“prima di essere utilizzato nella costruzione, si raccomanda che il legno sia stagionato fino al valore di umidità appropriato alle condizioni climatiche di esercizio della struttura finita. Limitatamente ai casi previsti al §4.4.15 delle NTC per i quali siano accettate umidità maggiori durante la messa in opera, specifica attenzione verrà posta nella definizione delle condizioni necessarie per una corretta stagionatura in*

*opera prevedendo, in fase progettuale, gli effetti del processo di essiccamento sul comportamento strutturale”.*

A riguardo di quanto esposto qui sopra, il testo della Circolare Esplicativa (forse in modo improprio) definisce al §C11.7.10.2 ulteriori controlli in fase realizzativa, di cui si riporta un estratto: *“in relazione ad elementi lineari o planari che devono essere incorporati in pacchetti costruttivi atti a definire la stratigrafia di strutture opache orizzontali, verticali e coperture assemblate in situ, non ventilati, il Direttore Lavori è opportuno che provveda ad assicurarsi che l’umidità degli elementi portanti al momento della chiusura della stratigrafia interessata sia inferiore o uguale al 18%. Tale controllo dovrà interessare almeno il 10% del materiale strutturale fornito ed essere uniformemente distribuito su tutta la fornitura messa in opera”.*



### **Box di approfondimento**

*Un tema che merita un particolare approfondimento è quello legato alla gestione del cantiere. È molto importante pensare a proteggere le strutture durante il montaggio, sia quotidianamente da eventi atmosferici improvvisi e inaspettati come temporali che nei fermi di cantiere associati ad eventi meteorologici persistenti (periodi di pioggia) o di altra natura (fermo amministrativo).*

*Nel primo caso occorre prestare attenzione alla protezione delle teste dei pilastri in legno e delle pareti, visto che sono zone in cui l’assorbimento dell’acqua è maggiore. Una soluzione pratica è prevedere una protezione con guaine traspiranti adeguatamente assicurate agli stessi elementi strutturali in modo da impedire il passaggio d’acqua, che possono essere posizionate facilmente e poi rimosse. La stessa soluzione va utilizzata anche per i solai, avendo cura di togliere i teli per consentire l’asciugatura nelle giornate di sole.*

*Nei casi di periodi di fermo prolungato occorre prevedere soluzioni più laboriose da mettere in opera ma tutto sommato semplici, economiche ed efficaci. Una soluzione è impiegare teli traspiranti su tutto il perimetro esterno dell’edificio e proteggere anche i ponteggi esterni dall’acqua battente attraverso un telo protettivo esterno. Riguardo*

*a ciò, si segnala l'importanza di proteggere anche le aperture di porte e finestre nei casi in cui gli infissi non siano stati ancora installati, mediante soluzioni provvisorie.*

## 5.1 VERIFICHE PER SITUAZIONI TRANSITORIE

Le NTC 2018 riportano al §4.4.16 che: *“per situazioni costruttive transitorie, come quelle che si hanno durante le fasi della costruzione, dovranno adottarsi tecnologie costruttive e programmi di lavoro che non possono provocare danni permanenti alla struttura o agli elementi strutturali e che comunque non possano riverberarsi sulla sicurezza dell’opera [...] L’assegnazione delle azioni di progetto ad una delle classi di durata del carico e delle classi di servizio dovrà essere congruente con la effettiva durata della situazione transitoria in esame”.* Tali aspetti hanno grande importanza sia per la positiva conclusione dei lavori che per la sicurezza degli operatori di cantiere.

Sul tema, la Circolare Esplicativa al § C4.4.16 scinde l’argomento in tre casistiche:

- Controlli in fase di costruzione;
- Controlli sulla struttura completa;
- Controlli della struttura in esercizio.

Giova infine sottolineare che la stessa Circolare Esplicativa riserva particolare attenzione ai collegamenti, di cui si riporta un breve estratto di riferimento tanto per la Direzione dei Lavori che per il Costruttore:

*“I controlli in fase di costruzione potranno essere realizzati sia in cantiere sia fuori cantiere quindi sia in fase di produzione che di esecuzione; essi potranno comprendere [...]*

- *verifica dei dettagli strutturali e in particolare dei collegamenti (n. degli elementi costituenti il collegamento, chiodi, bulloni, dimensioni di fori, caratteristiche dei fori, spaziature e distanze dalle estremità e dai bordi degli elementi lignei, presenza di rotture per spacco ecc.)”.*

## 5.2 PROGETTAZIONE INTEGRATA DA PROVE E VERIFICA MEDIANTE PROVE

Nella parte finale del §4.4 è stato aggiunto un paragrafo in cui si consente di misurare la resistenza e la funzionalità di strutture e di elementi strutturali in legno attraverso prove su campioni di adeguata numerosità. I risultati delle prove sperimentali devono essere

trattati con i metodi dell'analisi statistica, in modo tale da ricavare parametri significativi quali media, deviazione standard e fattore di asimmetria della distribuzione. Tali dati sono utilizzati per caratterizzare un modello probabilistico che descriva le quantità indagate (variabili aleatorie). Indicazioni più dettagliate al riguardo e metodi operativi completi per la progettazione integrata da prove sono reperibili nella Appendice D dell'Eurocodice 0.





**FEDERLEGNOARREDO**

**ASSOLEGNO**

Foro Buonaparte 65, 20121 Milano

[www.assolegno.it](http://www.assolegno.it)

[www.assolegnorisponde.it](http://www.assolegnorisponde.it)

[assolegno@federlegnoarredo.it](mailto:assolegno@federlegnoarredo.it)